ISSN 0910－1160

研　究　紀　要

第 52 号

平成26年3月

RESEARCH REPORTS
OF
KOBE CITY COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 52

MARCH, 2014

神戸市立工業高等専門学校

目　　次

論　　文

目　　次

資　　料

CONTENTS

PAPERS

CONTENTS

RESEARCHES AND FINDINGS

各種燃焼方式によるマイクロフレームの燃焼特性

髙寺健太郎*　吉本隆光**

Combustion Characteristics of Micro Flame for Various Species of Combustion Method

Kentaro TAKATERA*　Takamitsu YOSHIMOTO**

ABSTRACT

The burning techniques are used in numerous regions from the heating furnace, the gas turbine and the boiler to the small burning receptacles. Retaining stable combustion is an important burning technique for using effective energy. Recently, a small flame (which is called micro flame) is formed on the tip of nozzle at atmospheric pressure. This flame has some characteristics of combustion that are different from ones of normal diffusion flame. On the other hand, the combustion method with using the plasma attracts attention has been studied. It is reported that the optical emission profile at the discharge area between the electrodes shows that the plasma had fuel make CH* radical. It is possible to enhance plasma-assisted combustion with these radicals. In this study the micro flame for methane, hydrogen and fuel gas diluted with nitrogen is formed by using the burner nozzle whose various inner diameters are less than 1mm. There are diffusion combustion, premixed combustion and plasma-assisted combustion as the combustion methods. The flame configuration and the stability limit of diffusion combustion are compared with that of plasma-assisted combustion in the case of micro flame.

Keywords: micro flame, diffusion combustion, premixed combustion, plasma-assisted combustion

1. 諸言

現在膨大に消費されるエネルギーの効率的使用は重要であり，また，機器の小型化に対して有効的な燃焼技術の進展が求められている．

燃焼技術に関して，ガス燃料を用いた燃焼に注目が集められ，その中でもバイオマスガス(1)は新エネルギー源として注目されている．しかしバイオマスガスは低カロリーガス燃料であるため，火炎を安定に保つことが困難である．また，気体燃料の燃焼は，拡散燃焼，予混合燃焼，部分予混合燃焼(2),(3)に分けられる．火炎を安定に保つ燃焼形態は，燃焼技術において重要な要素である．また，ノズル口径が 1mm 以下で形成される火炎（マイクロフレーム）では球状の火炎を形成することや，燃料噴出角度に火炎形状が依存しない等のノズル口径 1mm 以上で形成される火炎とは異なる形状，特性が報告されている(4),(5),(6),(7),(8)．

一方，近年は燃焼技術へのプラズマを利用するプラズマ支燃技術(9)が注目されている．

本報では燃料にメタンを用い拡散燃焼，予混合燃焼においてノズル口径 1mm 以下で形成されるマイクロフレームの燃料噴出速度による火炎形状の遷移の観察，火炎内温度分布，火炎安定限界について調べマイクロフレームの燃焼特性を明らかにすることを目的とする．

また，燃料にメタンを用いて燃料ガスを大気圧低温プラズマにさらすことで燃料ガスをラジカル状態にし，プラズマ支援燃焼を行う．さらにバイオマスガスなどの低カロリー燃料に対して有効的な燃焼技術であるか検討する．

*　専攻科　機械システム工学専攻
**　機械工学科　教授

2. 実験装置

2.1 実験装置の構成　Fig.1 に実験装置の概略図を示す．Table 1 にノズル寸法を示す．拡散燃焼では燃料にメタンを用い，また，予混合燃焼では燃料にメタン，酸化剤として空気を用いる．これらの燃料はフロート式流量計で流量調整し，ノズルから噴出させて火炎を形成する．ノズル先端に設置した電極間で放電することでプラズマを発生させ，プラズマ支援燃焼を行う．

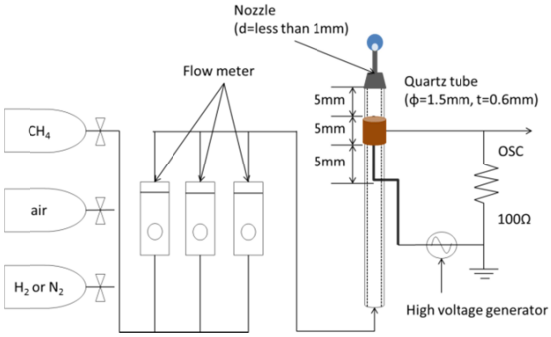


Fig.1 Schematic drawing of experimental equipment

Table1 Nozzle dimension

Inner diameter (d)	Outer diameter (D)
0.41mm	0.72mm
0.51mm	0.81mm
0.59mm	0.89mm
0.69mm	1.08mm
0.82mm	1.25mm

2.2 火炎温度分布測定装置　温度測定には素線0.1mmのR型熱電対（Pt-PtRh13%）を用いた．2本の絶縁管内に2それぞれ熱電対の素線を通し，接合させた接合点で温度測定を行う．なお，温度分布について各種火炎における傾向を見るため測定した温度の値に輻射などの補正は行っていない．

2.3 火炎 NO_X 濃度分布測定器　Fig.2にサンプリングプローブの形状を示す．NO_X濃度の測定にはサンプリングプローブを用いてサンプリングバッグに吸引しNO_X分析計を使用し測定を行った．

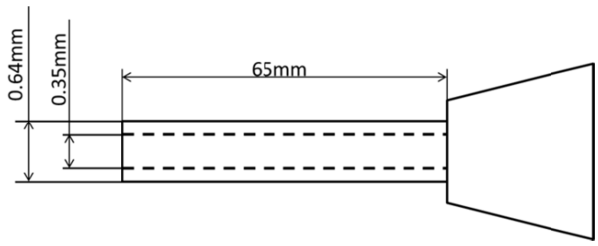


Fig.2 Configuration sampling probe

3. 実験結果

3.1 火炎形状　Fig.3にノズル口径0.82mmを用いた拡散燃焼における火炎形状の変遷，Fig.4にプラズマ支援燃焼における火炎形状の変遷，Fig.5に予混合燃焼における火炎形状の変遷を示す．Fig.5(a)に燃料流量10mL/min一定で空気流量を増加させた予混合燃焼，Fig5(b)に総流量70mL/min一定で燃料と空気の割合を変化させた予混合燃焼での火炎形状を示す．

Fig.3およびFig.4より，燃料流量0.4から0.5L/min付近までは火炎下流部の閉じた層流火炎を形成し，0.6L/min以上の燃料流量では火炎下流部が開いた乱流火炎へと変化する遷移域での火炎を形成していることがわかる．燃料流量が増加するにつれて火炎長さも増加する傾向が見られた．

また，プラズマを用いることで通常の拡散燃焼では火炎が吹き飛びに至る燃料流量域で火炎を形成していることがわかる．したがって，プラズマを燃料中に発生させることでラジカルの状態になった活性種（CHラジカル）が燃料の酸化反応を促進させることで，燃焼性が向上し，より火炎を安定に保つことができたと考えられる．

Fig.5(a)より，予混合燃焼では当量比が減少すると火炎形状は縦長に変化する．つまり燃料中の空気の量が増加すると火炎形状は球状から縦長へ変化することがわかる．また，総流量は増加しても火炎長さはどの当量比の場合でも一定であった．この原因として，当量比１のところに火炎面が形成されるため，予め酸化剤を燃料中に混合した予混合火炎では火炎の燃え切りが速くなる．したがって総流量が増加しても火炎長さは増加しなかったと考えられる．

Fig.5(b)より，総流量を一定にすると当量比が減少すると火炎長さは短くなることがわかる．

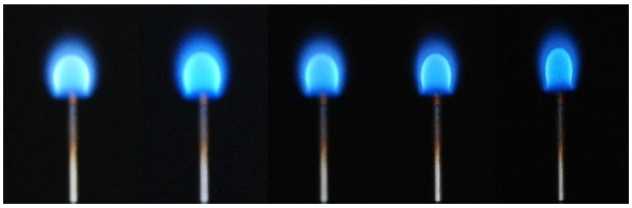
Fig.5(a)および(b)より，予混合燃焼における火炎長さは当量比，総流量に依存せず，燃料流量に依存すると考えられる．

Q = 0.01　0.1　0.2　0.3　0.4　L/min

Fig.3 Flame configuration on diffusion combustion

Q = 0.01　0.1　0.2　0.3　0.4　0.5　0.6 L/min

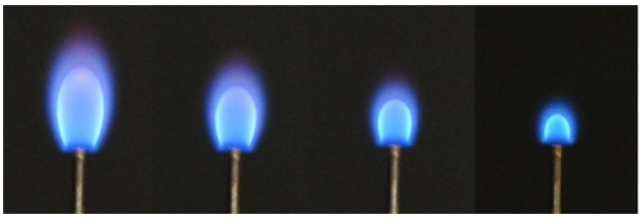
Fig.4 Flame configuration on plasma-assisted combustion



Φ= 10.58 8.65 6.35 4.76 3.17

(a) Premixed combustion

(Fuel flow rate =10mL/min, constant)



Φ= 12.69 7.14 3.81 1.59

(b) Premixed combustion

(Total flow rate =70mL/min, constant)

Fig.5 Flame configurations on premixed combustion

3.2 火炎吹き飛び速度 Fig.6 に燃料にメタン，各種ノズル口径を用いて拡散燃焼，プラズマ支援燃焼させた火炎の吹き飛び速度を示す．

拡散燃焼ではノズル口径が増加するにつれて火炎の吹き飛び速度は増加しより安定した火炎を形成することができた．また，プラズマを用いることで全体的にどのノズル口径においても火炎の吹き飛び速度の増加は見られた．したがって，火炎を安定に保つ燃焼技術の一つとしてプラズマ支援燃焼は有効的であると考えられる．

Fig.7 に燃料にメタン，酸化剤に空気，0.82mm，0.69mmのノズル口径を用いて予混合燃焼させた火炎の各当量比における吹き飛び速度を示す．

予混合燃焼では当量比が増加するにつれて火炎の吹き飛び速度が増加し，どのノズル口径においても火炎の吹き飛び速度は一定の値をとることがわかる．つまり，燃料中の空気の量が減少するにつれて火炎は安定する傾向にある．

また，Fig.4 および Fig.5 より火炎の安定という観点からみると予混合燃焼よりも拡散燃焼の方がより安定に火炎を保つことができると考えられる．

Fig.8 にメタンを窒素で 5：5，3：7 にそれぞれ希釈して拡散燃焼，プラズマ支援燃焼での各種ノズル口径における火炎の吹き飛び速度を示す．

拡散燃焼では各種ノズル口径においてそれぞれの希釈割合で火炎の吹き飛び速度は一定の値を取ることがわかる．また，拡散燃焼，プラズマ支援燃焼共に燃料の窒素希釈割合が増加するにつれて火炎の吹き飛び速度は減少する傾向が見られた．また，プラズマを用いることで各希釈割合においても火炎の吹き飛び速度の増加していることがわかる．

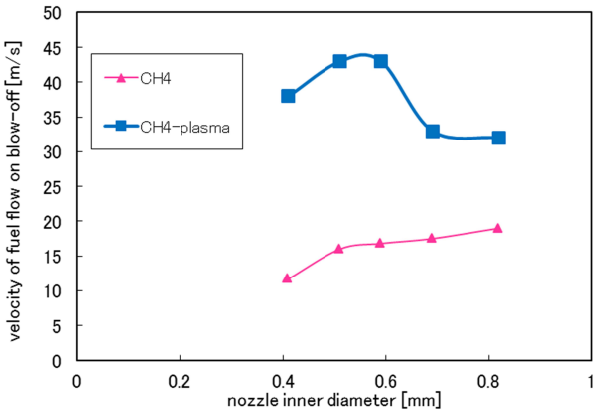


Fig.6 Blow-off velocity for nozzle inner diameter w/o plasma

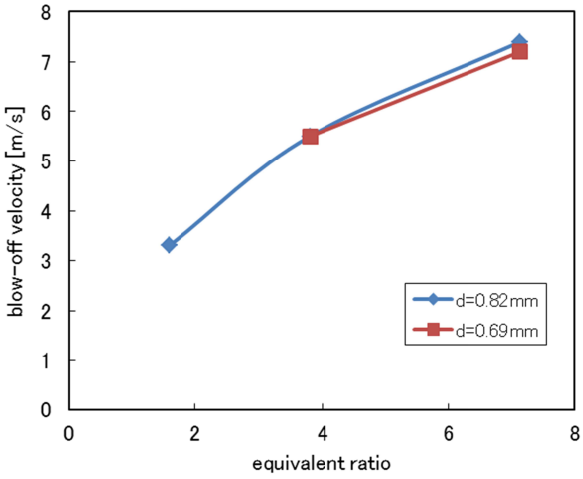


Fig.7 Blow-off velocity for equivalent ratio

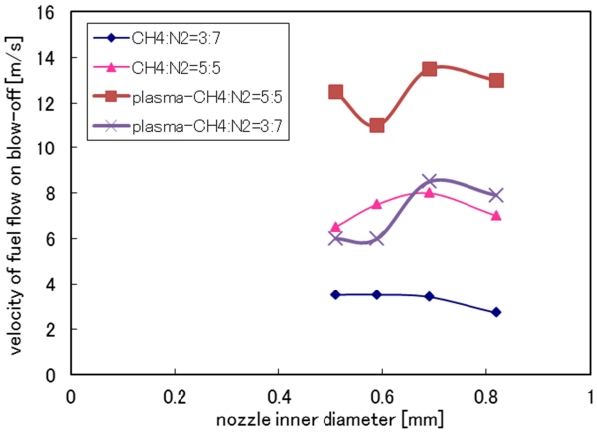


Fig.8 Blow-off velocity for nozzle inner diameter in methane diluting with nitrogen

3.3 最小流量及び燃料希釈割合　Fig.9 に燃料にメタンを用いて各ノズル口径における火炎形成可能な最小燃料流量及び最小燃料噴出速度を示す.

Fig.9 よりノズル口径が増加するにしたがって最小燃料噴出速度は減少していることがわかる．また，最小燃料流量について着目するとノズル口径に関わらず，およそ 4mL/min で一定の値を取っていることがわかる．したがって，メタン火炎の安定限界の下限はノズル口径に関わらず燃料流量に依存すると考えられる.

Fig.10 に燃料メタンを用いて拡散燃焼，プラズマ支援燃焼での各種ノズル口径における火炎形成可能な最小流量を示す.

また，Fig.10 よりプラズマを用いることで全体的にどのノズル口径においても最小流量が増加している．プラズマ発生時に生じるイオン風の影響を受けて火炎基部に気流の乱れが生じて火炎が不安定になったと考えられる.

Fig.11 に燃料に窒素で希釈したメタンを用いて総流量 70mL/min 一定で拡散燃焼，プラズマ支援燃焼での各ノズル口径における火炎形成可能な燃料割合を示す.

拡散燃焼, プラズマ支援燃焼共にノズル口径が増加するにつれて燃料割合はより低い割合でも火炎を形成した．また，拡散燃焼では燃料割合 20%が限界で，プラズマを用いることで通常の燃焼よりも低い燃料割合でも火炎を形成することができた.

また，Fig.8 および Fig.11 よりプラズマを用いることで可燃性ガスの割合が少ない火炎でもより安定に火炎を保つことがわかる．これは，プラズマにより生成された CH ラジカルが酸化反応を促進したことで燃焼性が向上したためだと考えられる．したがって，バイオマスガスなどの火炎を安定に保つことが困難な低カロリーガス燃料にプラズマを用いることは，有効的な燃焼技術の一つとして考えられる.

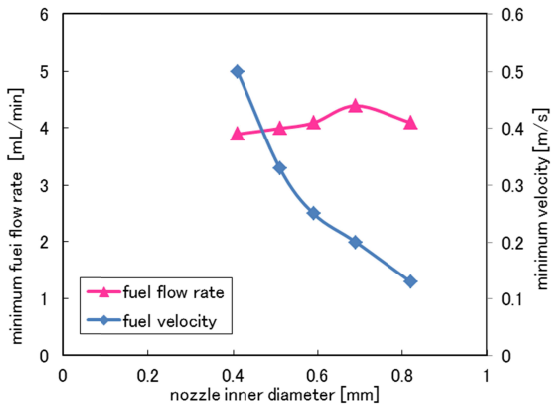


Fig.9 Minimum fuel flow rate and fuel velocity for nozzle inner diameter

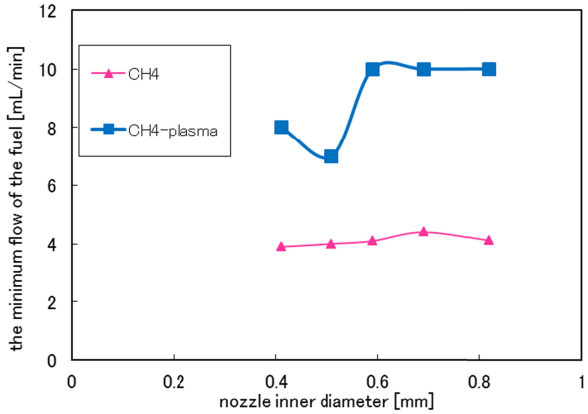


Fig.10 Minimum fuel flow rate for nozzle inner diameter

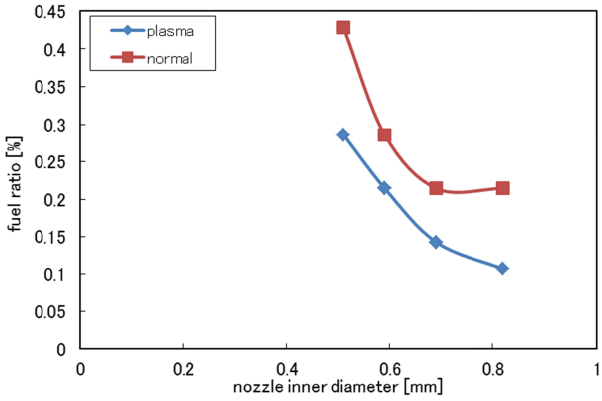


Fig.11 Fuel ratio for nozzle inner diameter

3.4 火炎内温度分布　Fig.12 に燃料にメタンを用いてノズル口径 0.82mm，燃料流量 20mL/min でのマイクロフレームの火炎内の温度分布を示す.

Fig.13 に燃料にメタン，ノズル口径 3.4mmを用いた拡散燃焼での火炎の温度分布を示す.

Fig.12 および Fig.13 より一般的に使用される拡散火炎では火炎の温度分布が火炎の中心部分から離れた燃焼反応が起こっている火炎面近傍に高温点が分布するのに対して，マイクロフレームでは火炎の中心付近に高温点が分布していることがわかる．また，マイクロフレームの方がより均一な温度分布を持つことがわかる.

マイクロフレームの温度分布で火炎の中心付近に高温点が分布する原因として，マイクロフレームの火炎の形成形態として自然対流に支配されるのではなく，燃料の拡散により強く支配されるため，形状が球体になり，また火炎サイズが小さいため火炎面が通常の火炎よりも火炎中心に位置するため，伝播や輻射の影響を受けて火炎の中心付近に高温点が分布すると考えられる.

Fig.14 に各種燃焼方式における温度分布を示す. Fig.14(a)に高さ 3mm，Fig.14(b)に高さ 4mm，Fig.14(c)に高さ 5mm における各断面の温度分布を示す. 拡散燃

焼，プラズマ支援燃焼は Fig.10 と同じ条件で温度測定を行い，予混合燃焼では，燃料にメタン，酸化剤に空気，ノズル口径 0.82mm，当量比 3.81，メタン流量 20mL/min，空気流量 50mL/min で温度測定を行った．

拡散燃焼にプラズマを用いたことによる温度分布への影響は見られなかった．しかし，予混合燃焼を行うことで火炎内部の各断面において拡散燃焼よりもフラットな温度分布になったことがわかる．これは，予混合燃焼を行うことで拡散燃焼に比べて，未燃域が減少し火炎面が火炎中心に近づくことで燃焼反応が行われる反応域が増加したと考えられる．

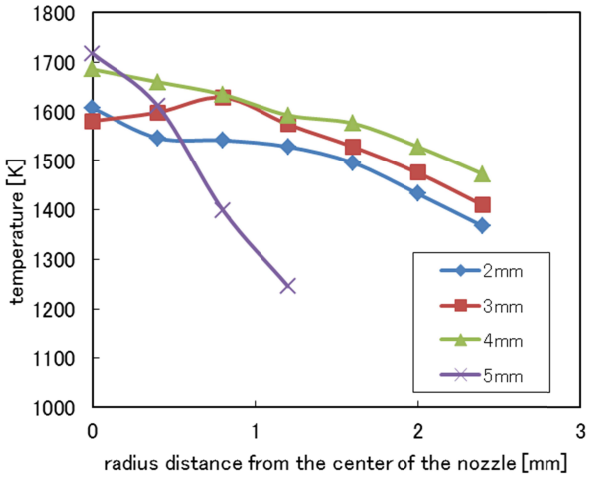


Fig.12 Temperature profiles of micro flame

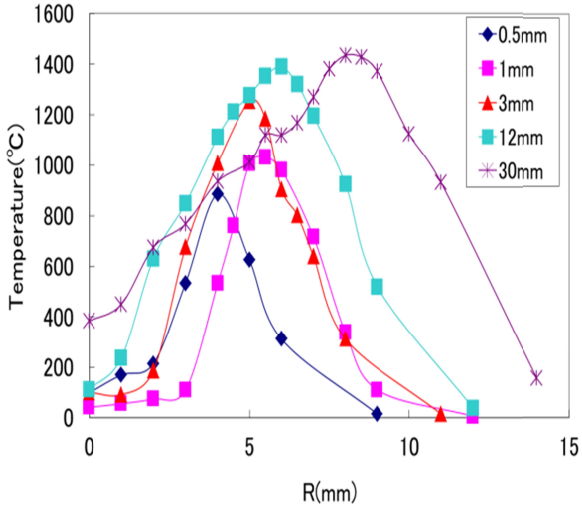
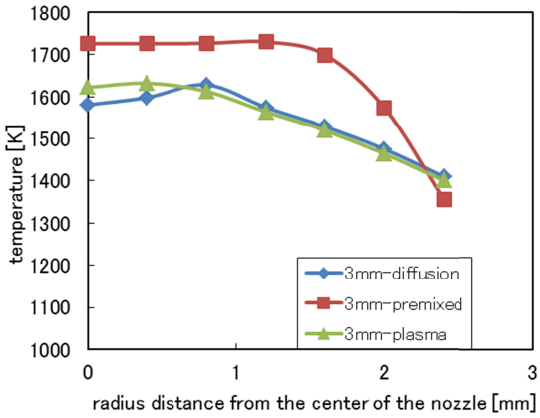
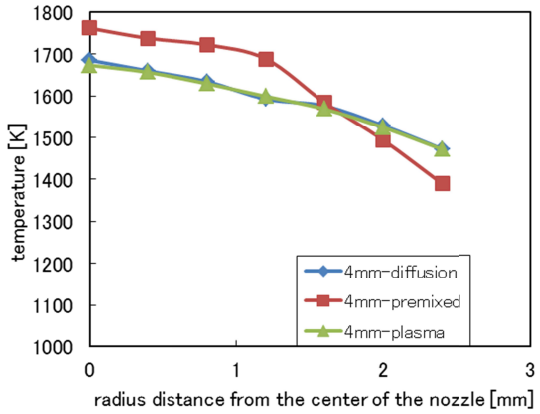


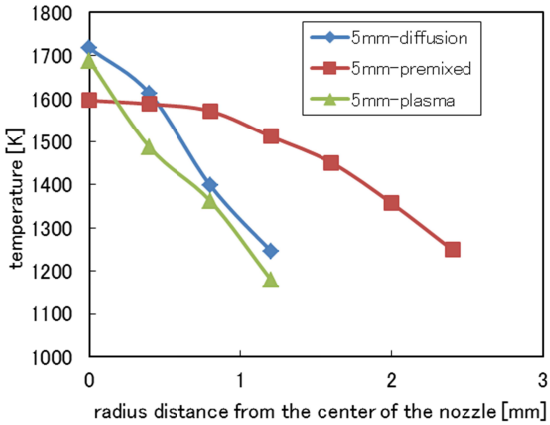
Fig.13 Temperature profiles of normal diffusion flame



(a) H=3mm



(b) H=4mm



(c) H=5mm

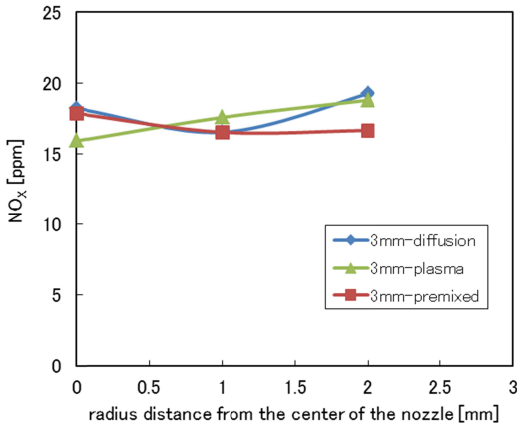
Fig.14 Temperature profile of various combustions flames on various cross sections

3.5 火炎内 NO_X 濃度　Fig.15 に各種燃焼方式における NO_X 濃度を示す．Fig.15(a)に高さ 3mm，Fig.15(b)に高さ 4mm における各断面の NO_X 濃度を示す．拡散燃焼，プラズマ支援燃焼には燃料にメタン，ノズル口径 0.82mm，燃料流量 20mL/min を使用して NO_X 測定

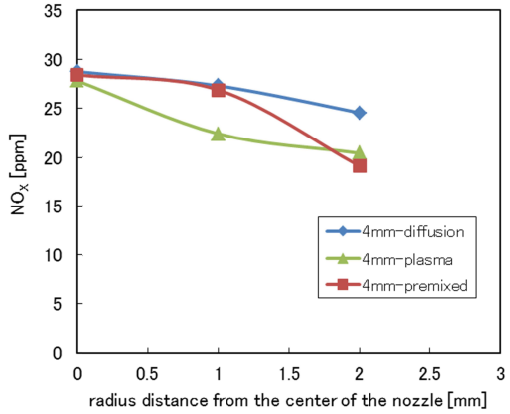
を行い，予混合燃焼では，燃料にメタン，酸化剤に空気，ノズル口径 0.82mm，当量比 3.81，メタン流量 20mL/min，空気流量 50mL/min で NO_X 測定を行った．

Fig.15 より NO_X 分布も火炎の温度分布と同様に，マイクロフレームでは火炎の中心付近に NO_X のピーク値が分布することがわかる．この原因として．NO_X の生成量に火炎の温度が大きく関係していることから火炎の温度分布と同様の分布になったと考えられる．

また，ノズルから 3mmの断面では NO_X 濃度の差違はあまり見られなかったが，4mmの断面においてプラズマによる影響が見られ NO_X が低減した．この原因として，プラズマにより生成された CH ラジカルが強い化学反応性を持つため窒素分子よりも先に CH ラジカルが酸素と反応するため，窒素分子と反応する酸素の量が減少したため NO_X の生成量が減少したと考えられる．



(a) H=3mm



(b) H=4mm

Fig.15 NO_X profile of various combustions flames on various cross sections

4. まとめ

各種燃焼方式においてマイクロフレームの火炎形状の観察や火炎の安定限界，火炎内の構造などを測定することで燃焼特性と安定性に関して以下の結論を得た．

(1) 拡散燃焼，プラズマ支援燃焼において火炎長さは燃料流量が増加するにつれて長くなり，予混合燃焼では火炎長さは燃料流量に依存する．

(2) 拡散燃焼において火炎の吹き飛び速度はノズル口径が増加すると増加し，希釈割合が増加すると吹き飛び速度は減少する．プラズマを用いると火炎はより安定した．予混合燃焼では当量比が減少し，拡散燃焼に近づくと吹き飛び速度は増加した．

(3) 火炎の安定限界の下限は各ノズル口径に関係なく，燃料流量が一定の値で存在すると考えられる．

(4) 火炎の希釈限界はメタン火炎において燃料割合は 20%が限界であると考えられる．また，プラズマを用いることでさらに希釈した状態での燃焼を行うことができた．

(5) 温度分布は火炎の中心付近に高温点が分布する．また，予混合燃焼を行うことでよりフラットな温度分布が見られた．

(6) NO_X 濃度は火炎の中心付近に分布し，プラズマを用いることで測定位置によっては NO_X の減少が見られた．

参考文献

(1) 水谷幸夫：「燃焼工学」，森北出版株式会社，’2008’

(2) 新岡嵩・河野道方・佐藤順一：「燃焼現象の基礎」，株式会社オーム社,2001

(3) 久保田浪之介：「トコトンやさしい燃焼学の本」，日刊工業新聞社,2012

(4) 吉本・木之下・北村・谷川：「各種ガス燃料のマイクロフレームの挙動と安定性」，高温学会誌，vol.36，No.5，pp233-239,2010

(5) 中村・窪田・山下・斎藤：「マイクロフレームの火炎構造に関する数値解析ー火炎小型化に向けた可能性の追求ー」，日本機械学会論文集，vol.74，No.739,2008

(6) 中村：「火炎構造から探るマイクロ燃焼の特徴とこれから」，日本機械学会論文集，vol.55，No.171，2013

(7) TAKATERA.K：“Stability Limits and Behaviors of Micro Flames for Methane, Hydrogen and Diluted Fuel with Nitrogen”, Proceedings of the 3rd International Forum on Heat Transfer, Summary or Paper-IFHT139, 2012

(8) TAKATERA.K：“Stability Limits and Behaviors of Micro Flame”, Proceedings of The 4th International Symposium on Micro and Nano Technology, ID-27, 2013

(9) 赤松浩・金田知大・市川和典：「簡単に始められる大気圧低温プラズマジェットの実験」，神戸市立工業高等専門学校研究紀要第 50 号，pp.87-92 ,2012

超音波を用いたFRP成形板の硬化不良検出

大久保政欣*　　和田明浩**

Ultrasonic Detection of Uncured Region in FRP Laminates

Masayoshi OKUBO*　Akihiro WADA**

ABSTRACT

Polymer based laminated composites play an increasing important role in industry today. In the field of civil engineering laminated plates consisting of thermoplastic and SMC are used to rehabilitate aged sewerage pipes. Pipe rehabilitation method, which is one of several trenchless rehabilitation methods to repair aged sewerage pipes, creates a close-fit ‘pipe-within-a-pipe’. To guarantee the integrity of rehabilitated pipes, inspection of uncured region in a constructed pipe is required. In this study, ultrasonic testing is applied to the detection of uncured region in a laminated composite plate. In addition to wave attenuation, Acousto-Ultrasonic (AU) parameters and AIC(Akaike’s Information Criterion) are introduced to evaluate the degree of cure. It is found that application of AU parameters and AIC are expected to improve the precision of inspection.

Keywords : ultrasonic, Lamb wave, laminated composite, spectrum analysis

1. はじめに

現在，高度経済成長期に敷設された多くの下水管が老朽化している．例えば，神戸市の下水道は昭和 26 年の整備開始以来約 60 年が経過し，汚水管きょの布設延長は 4036km とほぼ全域で整備が概成した．しかし管年齢 30 年を超過した老朽化管きょが全体の約 50%を占めており，管きょの老朽化に起因した道路陥没，漏水等の事故の増加が懸念される(1)．このため，適切な管理による下水道の定期的な検査，補修が重要となる．補修法として古くなった下水管の中に未硬化の FRP 積層シートを引き込み，管内で膨らませ蒸気などで管内面に圧着，硬化させ FRP パイプを形成する管更生工法がある．この工法では施工時に地下水の侵入などにより未硬化領域が生じる可能性があり，施工後に非破壊検査による未硬化領域の検査が必要となる．これまでに板厚方向の超音波検査が検討されているが，一度に検査できる領域が狭く，対象物全体を検査するには平面走査が必要となる．本研究では検査時間の短縮を目的としてタイヤ探触子を用いた未硬化領域の検査法について検討した． また，超音波の減衰率にかわる新たな材料評価パラメータとして広帯域信号の分析に用いられる Acousto-Ultrasonic パラメータ（AU パラメータ）や赤池情報量基準（AIC）に基づく超音波伝播速度を適用し，硬化不良部検出に対する各パラメータの有効性を調べた．

*　専攻科 機械システム工学専攻
**　機械工学科　教授

2. 超音波による材料評価法

2.1 超音波測定法

板面内方向に超音波を効率よく送受信する方法として屈折の法則を利用した斜角入射法がある．斜角入射法とは Fig. 1 に示すように送受信探触子を対称に設置し，一方の探触子から超音波を斜角入射して材料中に伝播させ，受信側の探触子で漏洩波を受信する．この際，検査領域は送受信探触子に挟まれた領域となる．しかし，この方法では探触子と試料の間には超音波の伝達効率を高めるために水を配置する必要があり，検査対象物を水没させなければならないため実際の下水管の検査には適さない．そこで，Fig. 2 のようなタイヤ探触子を用いた測定方法が提案されている．タイヤ探触子のタイヤ内部には探触子が斜角で配置されており，探触子から発生した超音波は充填液およびゴムタイヤを介して表面から試料内部に入射される．タイヤが試料表面上を転がることによって連続的な測定が可能となる．

超音波の減衰率は試料の材料特性に依存しているため，受信波強度の変化が未硬化領域検出の指標となる．しかし，受信波強度は超音波の入射効率に影響されるため，受信波強度に基づく評価では検査結果に揺らぎが生じる可能性がある．そこで本研究では，受信波の減衰率に基づく評価に加えて周波数領域での変化を評価するために AU パラメータを用いた．また新たに超音波伝播速度に注

目した．超音波伝播速度の算出はゼロクロスポイントの計測に基づく場合が多いが，受信波強度がゆらぐと計測点に誤差が生じる恐れがある．そこで，地震波の到達時刻予測などにも利用されている赤池情報量基準（AIC）を導入して伝播速度測定の精度を高めた．

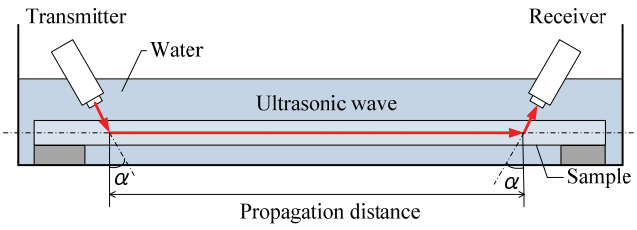


Fig. 1　Schematic diagram of ultrasonic oblique incidence.

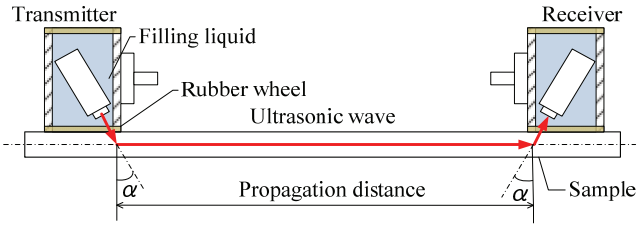


Fig. 2　Schematic diagram of ultrasonic testing with wheel type probes.

2.2 AU パラメータについて

AU パラメータは被検査材を伝播する広帯域超音波のスペクトル線図から算出されるパラメータであり，受信波が持つ周波数特性の定量的な評価に利用される[2]．AU パラメータは次式であらわされるスペクトルモーメントにより算出される[3] [4]．

$$M_n = \int_0^{f_m} W(f) f^n df \qquad (1)$$

ここで $W(f)$ はスペクトル密度関数，f は周波数，f_m はナイキスト周波数であり，n はスペクトルモーメントの次数を表す．これまでに複数の AU パラメータが提案されているが本研究では以下の 2 つのパラメータを利用する．

$$A1 = M_0 \qquad A2 = \frac{M_1}{M_0} \qquad (2)$$

$A1$ パラメータはスペクトル線図の 0 次モーメントと等しく，波の総エネルギーに相当する．$A2$ パラメータはスペクトル線図の図心に相当し，波の中心周波数を表している．

2.3 AIC パラメータについて

今回の測定で得られた波形データの先頭部には入力波の影響やノイズが含まれている．そのため，波形データから波の到達時刻を正確に読み取るためには波形データをノイズ部と波形部に分ける分割点を求める必要がある．この区間分割の判断基準として地震波自動処理システムにおける到達時刻の読み取りと評価にも用いられる赤池情報量基準（AIC）を用いた．AIC を用いることで数学的客観性を保ちつつ精度のよい読み取りが可能となる．AIC は

AIC＝－2{（モデルの最大対数尤度）－
モデルの自由パラメータの数}　(3)

で定義される[5]．この値を最小にするモデルを最適なモデルとみなす．区間分割は次の手順で行う．

(1) Fig. 3 のように n 個の点を 2 つに分け，区間 1（1～k）に MODEL1，区間 2（k+1～n）に MODEL2 を最尤法によりあてはめ， AIC を計算する（AIC（k）と記す）．
(2) AIC（k）を最小にする点 k_{min} を探し分割点とする．

今回は測定より得られた波形データのモデルとして正規分布モデルを用いる．正規分布モデルを用いた AIC(k)は次のような式で表される．

$$\mathrm{AIC}(k) = n\log 2\pi + k\log\sigma_1^2 + (n-k)\log\sigma_2^2 + n + 8 \qquad (4)$$

ここでσ_1^2，σ_2^2はそれぞれ区間 1，区間 2 に正規分布モデルをあてはめたときの分散である．この区間分割法を入力波の波形到達時刻の読み取りに使用する．

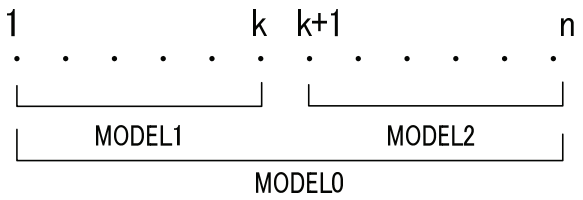


Fig. 3　Illustration of the method to divide a section.

3. 測定条件の選定

3.1 供試材について

実際に下水道更生管に使用されているものと同じ材料構成で成形した平板状試料を評価対象とした．試料は平板でFig. 4に示すように内面側（探触子設置側）から，熱可塑性樹脂，有機繊維製織物，SMC，有機繊維製織物の積層構造である．厚さは9mm,12mmの2種類である．

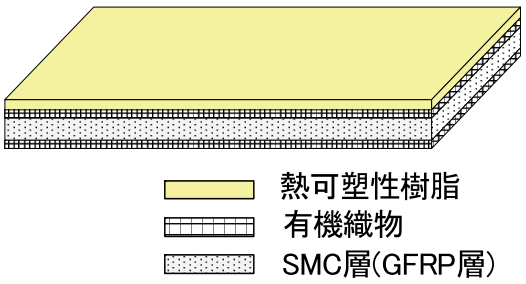


Fig. 4　Configuration of a laminated composite plate.

板厚のちがいはSMC層の積層数に起因している．このFRP 積層板に人工的に硬化不良部を形成し，硬化領域から未硬化領域にかけてタイヤ探触子を用いて連続測定し受信波の分析を行った．

3.2 入力周波数の選定

材料中を伝播する超音波の減衰特性は入力周波数によって異なる．そこで本研究では FRP 積層板の硬化領域において入力周波数の最適値を探索した．測定には共振周波数が 180kHz のタイヤ探触子を用いた．入射波は振幅 100V のバースト波（カウント 5）とし，伝播距離は 100mm に設定した．入力周波数を 100kHz から 10kHz 刻みで 400kHz まで変化させ，各周波数での受信波形の最大振幅を測定した．測定結果を Fig. 5 に示す．いずれの板厚においてもタイヤ探触子の共振周波数である 180kHz 付近でピークが生じている．

これらの結果より，板厚 9mm においてはピーク周波数である 160kHz を入力周波数とした．また，板厚 12mm においては 110～180kHz で受信波強度に大差がないため，波長が短く直進性の良い 180kHz を入力周波数とした．またタイヤ探触子の 2 次共振周波数付近の波である 320kHz の入力波についても調査した．

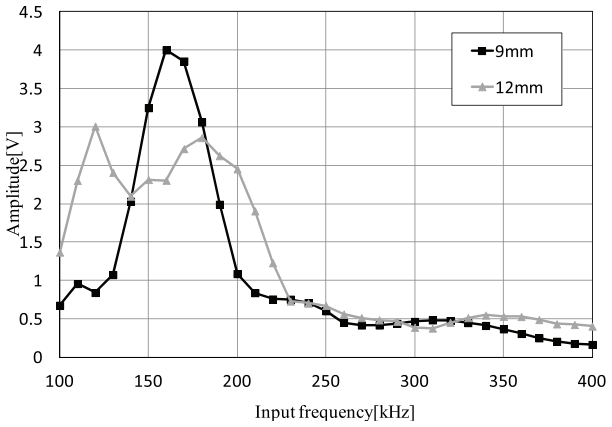


Fig. 5　Variation in the intensity of received waves with the input frequency.

4. 受信波強度を用いた未硬化領域の検出

硬化度が傾斜的に変化したFRP積層板を人工的に成形し，タイヤ探触子を用いて超音波検査を行った．走査距離は硬化領域から未硬化領域にかけての300mmとし，10mm間隔で波形を取り込んだ．またタイヤ探触子間の超音波伝播距離を100mm，120mm，140mmnの3パターンに変化させて伝播距離の変化が測定結果に与える影響を調査した．Fig. 6に入力周波数が160kHz（9mm）と180kHz（12mm）の場合の各測定位置における受信波強度を示す．縦軸は受信波の最大振幅，横軸は波形取り込み位置に対応している．いずれの測定結果も未硬化領域は硬化領域に比べ超音波の伝播効率が悪くなるため，波

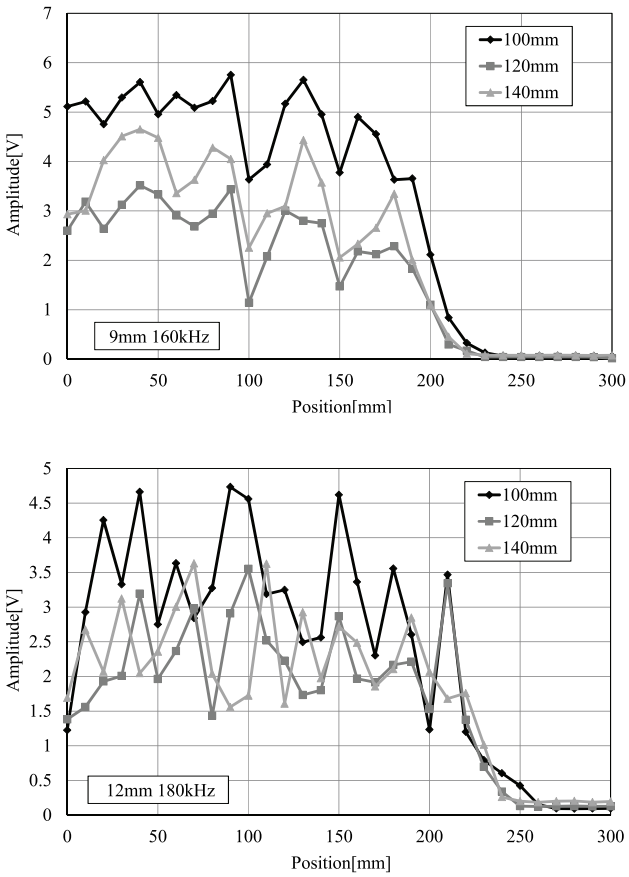


Fig. 6　Variation in amplitude with propagation distance.

形取り込み位置が 200mm を越えたあたりから振幅が大きく減衰しているのが分かる．また，伝播距離が短い 100mm の場合は，他の伝播距離に比べて波の減衰が少なく受信波強度が高い傾向が確認できた．しかし，硬化領域においても振幅が大きくばらつく傾向がみられる．これはタイヤ探触子と試料の接触状態のばらつきになどに起因すると考えられる．入力周波数が 320kHz の場合も同様の傾向が見られた．以上のことから，受信波強度に基づく評価は未硬化領域の検出は可能であるが，さらなる検査精度の向上が望まれる．

5. AU パラメータを用いた未硬化領域の検出

波の総エネルギーを表す $A1$ パラメータは Fig. 6 に示す受信波強度の変化と同様の傾向を示したため以下ではスペクトル線図の図心を表す $A2$ パラメータに注目する．また，入力周波数が 160,180kHz の場合は $A2$ パラメータに大きな変化が見られなかったので以下では入力周波数が 320kHz の場合に着目する．Fig. 7 に各板厚における硬化領域と未硬化領域での受信波形のスペルクトル線図を示す．板厚 9mm における硬化領域のスペクトル線図においてバースト波で励起した 320kHz 付近の波と 180kHz 付近の波が強く検出されていることが分かる．一方で，板厚 12mm における硬化領域のスペクトル線図では入力周

波数である 320kHz 付近の波が強く検出された．またどちらの板厚においても未硬化領域のスペクトル線図ではスペクトルの強度が大きく低下し，入力周波数である 320kHz 付近の波よりも 100～180kHz 付近の波が相対的に強く検出された．これは未硬化領域においてバースト波の高周波数成分が著しく減衰したためと考えられる．この傾向は波形取り込み位置が 230mm 以降で顕著に確認できた．

入力周波数が 320kHz の場合の *A2* パラメータの変化を Fig. 8 に示す．どちらの板厚においても未硬化領域において *A2* パラメータが低下する傾向が見られた．これは Fig. 7 に示したように高周波数成分の減衰によってスペクトル線図の図心が低周波数側に移動したことを反映している．また超音波の伝播距離が長くなるにつれて，波に含まれる高周波数成分の減衰が著しくなるため未硬化領域において *A2* パラメータの低下位置が早まる傾向が見られた．

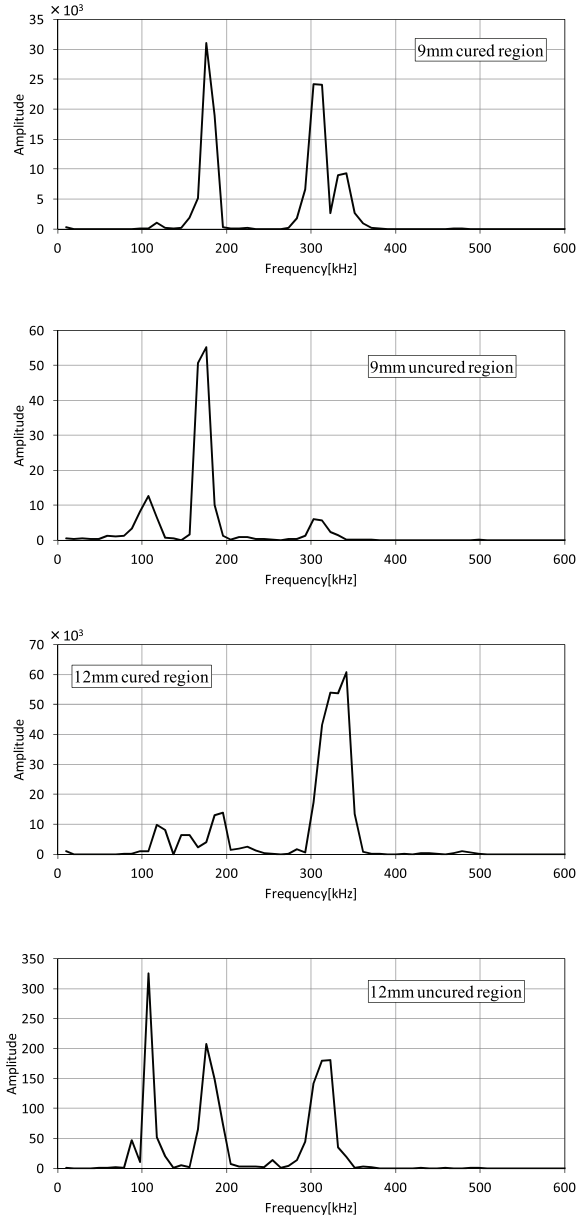


Fig. 7　Variation in spectrum diagram with cure degree.

ここで硬化領域に注目すると，どちらの板厚においても *A2* パラメータは比較的安定している．さらに，板厚が 12mm の場合は 9mm の場合と比較してスペクトル線図の図心が高周波数側である．よって高周波数成分の波が安定して励起されるかどうかは試料の板厚や表面材の状態に依存するといえる．また超音波の伝播距離が増加するにつれて受信波の高周波数成分が低周波数成分よりも先に減衰するためスペクトル線図の図心が低周波数側に移動する．その結果，硬化領域においても超音波の伝播距離が長くなるにつれて *A2* パラメータが低下する傾向が見られた．

以上の結果より，高周波数成分が励起可能であるならば，*A2* パラメータを用いた未硬化領域の検出が可能である．しかし第 4 章の受信波強度を用いた評価と比較すると *A2* パラメータは未硬化領域に対する感度が低い．

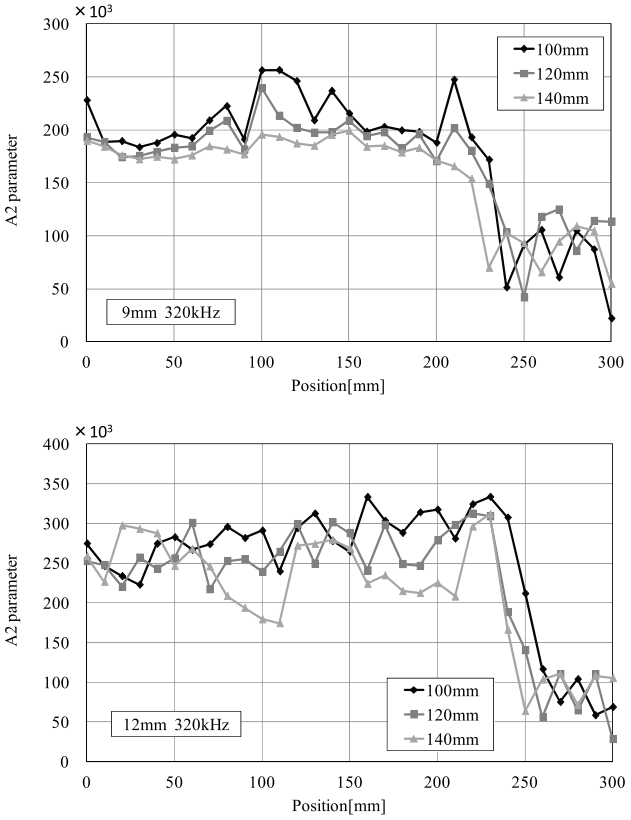


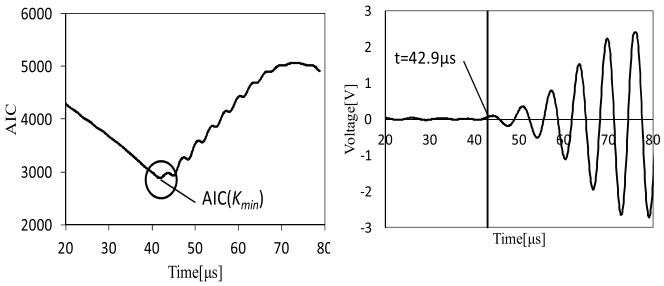
Fig. 8　Variation in *A2* parameter with the position.

6. 超音波伝播速度を用いた未硬化領域の検出

6.1 超音波伝播速度の算出

超音波の伝播速度は材料の弾性率に依存するため材料の弾性率が低下する未硬化領域において超音波の伝播速度も低下すると考えられる．そこで超音波伝播速度を評価パラメータとして FRP 成形板の未硬化領域の検出を試みた．本研究では波形到達時刻の導出に式(4)に示した AIC を使用した．測定で得られた波形データの各時刻

における AIC を計算し，AIC が最小となる時刻を波形到達時刻とした． AIC の計算結果の一例を Fig. 9(a)に示す．また AIC が最小となる時刻で波形データを分割したものを Fig. 9(b)に示す．本研究ではタイヤ探触子の中心間距離を超音波伝播距離として，AIC を用いて算出した波形到時刻で割ったものを超音波伝播速度と定義した．



(a) (b)

Fig. 9 Example of AIC analysis to divide a section.

6.2 評価結果

AIC 解析には高い SN 比の信号を用いる方が良いため以下では入力周波数が 160,180kHz の場合について注目する．Fig. 10 に入力周波数 160kHz(9mm)と 180kHz (12mm)の場合の波形取り込み位置に対する超音波伝播速度の変化を示す．どちらの板厚においても超音波伝播速度は硬化領域で比較的安定し未硬化領域で低下する傾向が見られた．波形取り込み位置が 230mm 以降で受信波形の強度が著しく低下し，受信波形の波形データ部とノイズの分割が困難となるため今回用いた方法では超音波伝播速度を算出することができなかった．また， 第 5 章の *A*2 パラメータを用いた評価結果と比較すると，どちらの板厚においても超音波伝播速度のほうが *A*2 パラメータよりも先に低下していることが分かる．このことから *A*2 パラメータよりも超音波伝播速度の方が FRP 積層板の未硬化領域に対する感度が良いと言える．

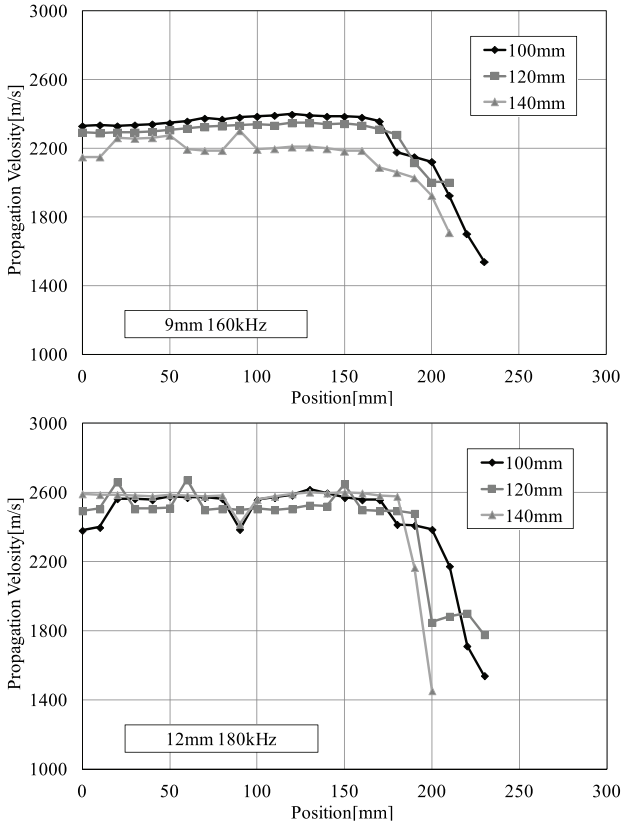


Fig. 10 Variation in propagation velocity with the position.

7. 超音波測定結果と力学特性との比較

前章までに示した超音波測定結果と実際の材料強度・剛性との間にどの程度の相関があるのかを調べるために，JIS K 7171 に基づき三点曲げ試験を行った．Fig. 11～13 は受信波強度・AU パラメータ・超音波伝播速度と曲げ強度・弾性率を比較したものであり，位置 0mm の値を基準として縦軸を正規化したものである．材料強度が低下している領域で各評価パラメータが低下しており，両者に相関が見られる．しかし，*A*2 パラメータは材料強度よりも低下位置が遅いことから未硬化領域に対する感度が低いと言える．また，受信波強度は硬化領域でバラつく傾向にあるが，超音波伝播速度は安定している．これらのことから超音波伝播速度を用いることで安定した未硬化領域の検出が可能であるといえる．

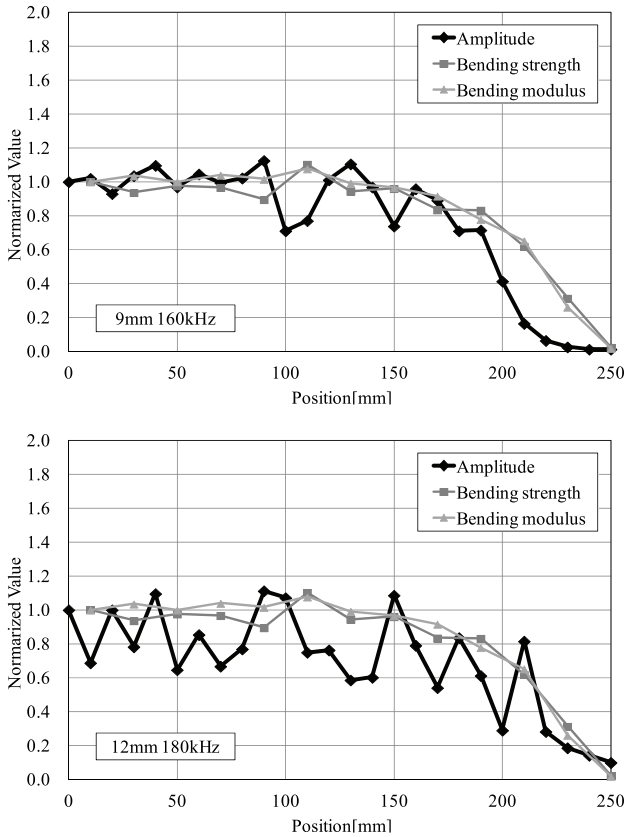


Fig .11 Comparison between wave attenuation and mechanical properties.

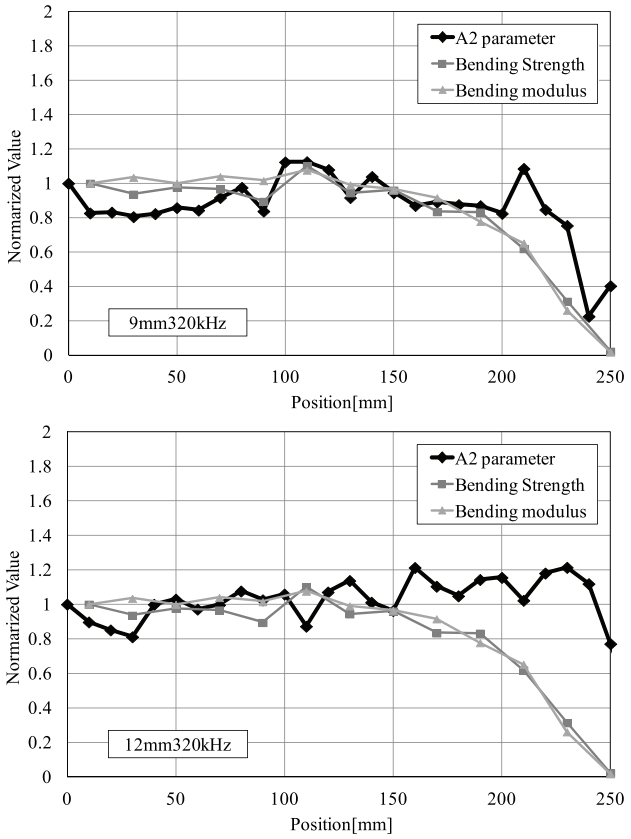


Fig .12　Comparison between *A2* parameter and mechanical properties.

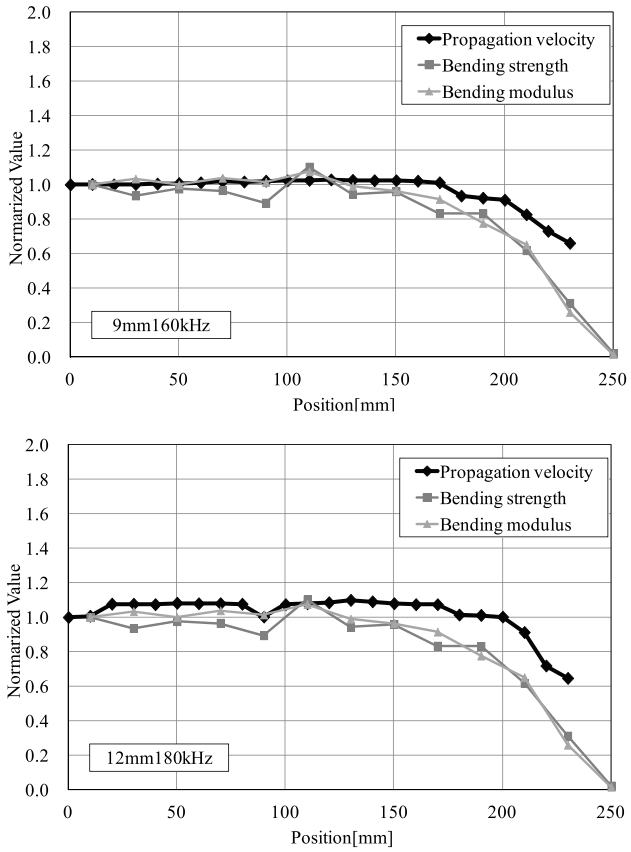


Fig .13　Comparison between propagation velocity and mechanical properties.

8. 結言

本研究では超音波による FRP 成形板の硬化不良部検出の時間短縮を目的として，タイヤ探触子を用いた検査法について検討した．評価パラメータとして受信波強度に加えて AU パラメータ･AIC に基づく超音波伝播速度の適用を試みた．以下に得られた結論を示す．

(1) 受信波強度および受信波の総エネルギーを表す *A1* パラメータを用いることで硬化不良部の検出が可能であるが，被検査材に対する超音波の入射効率の影響を受けるため硬化部においてもデータの揺らぎが生じやすい．

(2) スペクトル線図の図心に相当する *A2* パラメータを利用した評価では，入力周波数 320kHz を用いることで，未硬化領域の検出が可能である．また，硬化領域においてデータのゆらぎが少ない．

(3) AIC に基づく超音波伝播速度の測定では，硬化領域において安定し，未効果領域で低下する傾向が見られた．また，*A2* パラメータよりも未硬化領域に対する感度が良い．

(4) 超音波測定結果と曲げ試験結果を比較し，受信波強度および超音波伝播速度と材料強度の相関が良好であることを確認した．

以上の結果より，入力周波数がタイヤ探触子の共振周波数である 180kHz 付近では，受信波強度と超音波伝播速度による評価を併用することで FRP 積層板の未硬化領域検出の精度向上が期待できることがわかった．

謝辞

本研究で使用した試料，および計測装置の一部は芦森工業株式会社より提供して頂いた．ここに謝意を表します．

参考文献

(1) 松木靖:「神戸市の汚水管きょ改築更新基本計画と管更生材の品質管理」，月刊下水道, Vol.35, No.61, pp.25-28, 2012.

(2) 和田明浩，元木信弥，山崎友裕:「ラム波スペクトラム解析による FRP 積層板の衝撃損傷検出」，日本機械学会論文集 A 編, Vol.78, No.790, pp.879-889, 2012.

(3) M.T.Kiernan and J.C.Duke,Jr : “Acousto-ultrasonics as a monitor of material anisotoropy”, Materials Evaluation, Vol.46, pp.1105-1113, 1988.

(4) M.T.Kiernan and J.C.Duke,Jr : “PC analysis of an acousto-ultrasonic signal”, Materials Evaluation, Vol.46, pp.1344-1352, 1988.

(5) 前田直樹:「地震波自動処理システムにおける読み取り評価」，地震第 2 輯，第 38 巻，pp.365-379, 1985.

片面温水劣化したGFRP積層板の超音波検査

武知佑輔*　　和田明浩**

Ultrasonic Testing of GFRP Laminate Degraded with Hot Water through One Surface

Yusuke TAKECHI*　　Akihiro WADA**

ABSTRACT

In this research, ultrasonic testing is applied to GFRP laminate degraded with hot water. GFRP vessels have been used to store acid solution and alkaline solution because of their excellent corrosion resistance. However, integrity evaluation of GFRP vessels is becoming important with the increase of aged vessels. Because degradation proceeds gradually from the inner surface of vessels, damage evaluation through thickness direction is required. In this research, GFRP laminate is degraded with hot water through one surface. Then, through-thickness ultrasonic inspection is conducted to evaluate damage state of the composites. It is found that the change in wave attenuation and *A*2 parameter, which corresponds to the centroid of spectrum density curve, can be used as damage index.

Keywords : ultrasonic, NDT, GFRP, gradient damage

1. 緒言

我が国では，高度経済成長期において道路や上下水道管などの社会インフラの整備が進められたが，近年，それらの老朽化が問題視されている．また，同時期に工業分野の発展によって薬品貯蔵用タンクも多く製造され，同様に老朽化による強度低下が問題となっている．ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)は，比較的安価でありながら比強度，比剛性に優れており，良好な耐食性を有しているため，様々な酸溶液およびアルカリ溶液を貯蔵する大型タンクとして多用されてきた．しかしながら，水面環境下での長期使用によって材料が内面から劣化し，強度低下が生じることが問題となっている(1)．最近 10 年間では 2~3 年に 1 件の頻度で作業員の死傷事故が発生している．事故防止のために定期的な点検が行われているが，外部からの目視検査では内部の劣化状況の把握は難しく，タンク内部からの目視検査においても検査精度が点検者の経験に依存しており，信頼性は高くない(2)．このため，現場の技術者が使用しやすく，利便性に優れた非破壊検査法の確立が求められている．本来は実用された試料の評価が必要であるが，劣化レベルの異なる複数の試料を準備できないため，温水による加速劣化試験が行われている(3)．本研究では模擬劣化材料として試料の片側表面から温水劣化させた GFRP 積層板を作成し，超音波による健全性評価を試みた．

*　専攻科 機械システム工学専攻
**　機械工学科 教授

2. 模擬劣化材料の作成

本研究で使用する GFRP 積層板は，強化材に E ガラス製チョップドストランドマットを，母材にはイソフタル酸系不飽和ポリエステルを使用し，ハンドレイアップ法により成形した．ガラスマットの積層数は 10 層で板厚は約 10mm であり，成形した材料をダイヤモンドカッターで 140mm×220mm の大きさに切断したものを試料として用いた．成形した試料の概観写真を Fig. 1 に示す．さらに，試料を板厚方向に傾斜劣化させるために Fig. 2 のように片側表面のみ約 90℃の温水に浸漬させ模擬劣化材料を作成した．また，劣化レベルの異なる試料を複数作成するために，浸漬期間が 1 週間ずつ異なる試料を 1～4 週期間で作成した．なお温水浸漬の際，試料の端面にアルミテープを張り付けて端面からの吸水を防いだ．Fig. 3 に各劣化材料の表面及び断面の観察写真を示す．左列，右列はそれぞれ試料の表面，断面写真である．試料表面を目視観察すると繊維付近に白化現象が現れており，浸漬時間が長い試料ほど白化領域が広がっていることが確認できる．断面を顕微鏡で観察してみると，2～4 週間浸漬材においてはいずれも約 1～2mm の劣化層が表面付近に現れていることが確認できた．このことから浸漬 2 週間以降，劣化は板厚方向ではなく，面内方向へ進展してい

るといえる．また，SEM による断面観察では，劣化面近傍において繊維束まわりの界面はく離が見られ，浸漬時間が長いほどはく離のサイズが大きくなり，はく離量も増大することが確認できた．

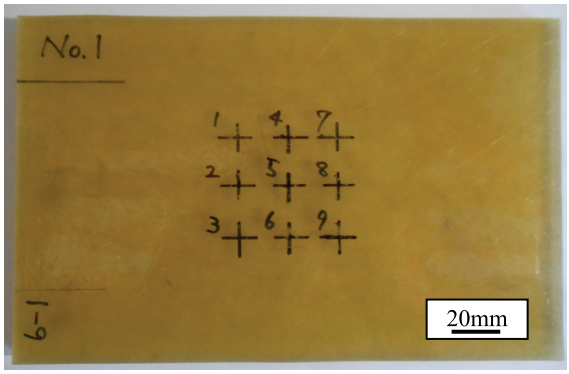


Fig.1　Overview of blank sample.

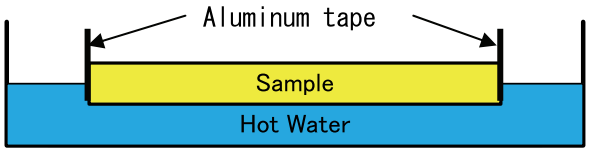


Fig.2　Experimental system for degradation of sample.

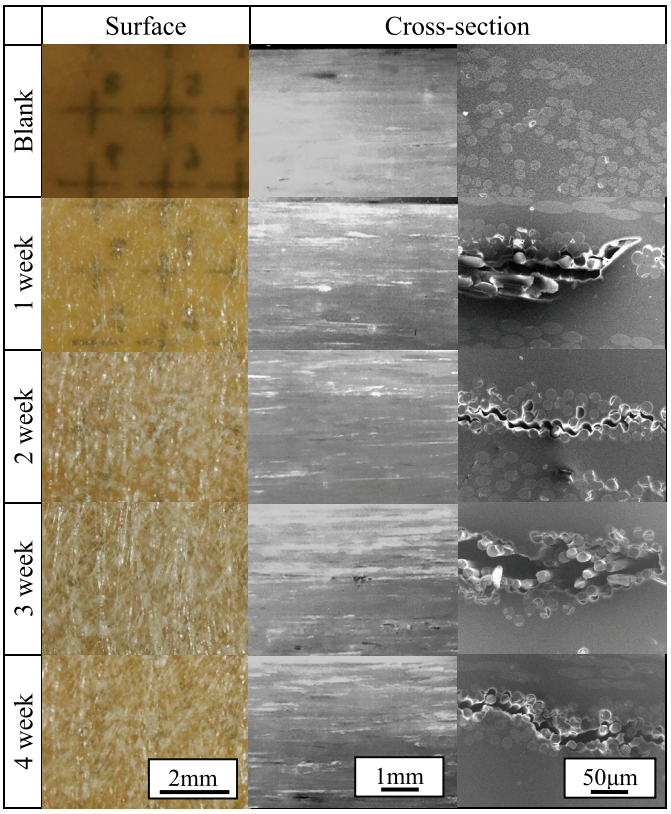


Fig. 3　Photograph of the surfaces and the cross-sections of degraded sample.

3. 超音波測定

3.1 測定方法

前節で示した試料を温水浸漬前と浸漬後で板厚方向の超音波測定を行い，温水劣化による超音波伝播特性の変化傾向を調べた．Fig. 4 に超音波測定法の概略図を示す．超音波探触子を温水浸漬面の裏面に設置して材料表面に対して垂直に超音波を入射させ，底面の劣化面から反射してきた波を同じ探触子で受信しオシロスコープで波形を観測した．その後，観測した波形を PC に取り込み，波形データの分析を行った．入射波は 100V の矩形波とし，周波数は 2.25MHz，5MHz の 2 種類を用いた．なお，探触子と試料の間には接触状態を良好にするためにカップラントを適量塗っている．また，測定ヵ所によってのばらつきを考慮し，各試料に対して中央部の 9 か所（20mm 間隔，Fig. 1 参照）を測定した．Fig. 5 に例として入力周波数 2.25MHz で測定したブランク材の受信波形を示す．波形の 3 つのピークは試料底面からの第 1，第 2，第 3 反射波である．本研究では試料底面からの第 1，第 2 反射波を評価対象とした．

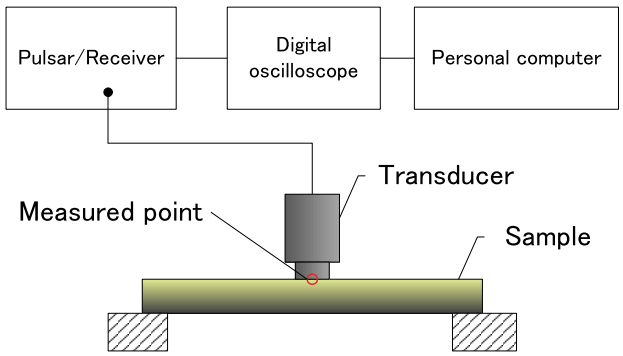


Fig.4　Experimental system for ultrasonic measurement.

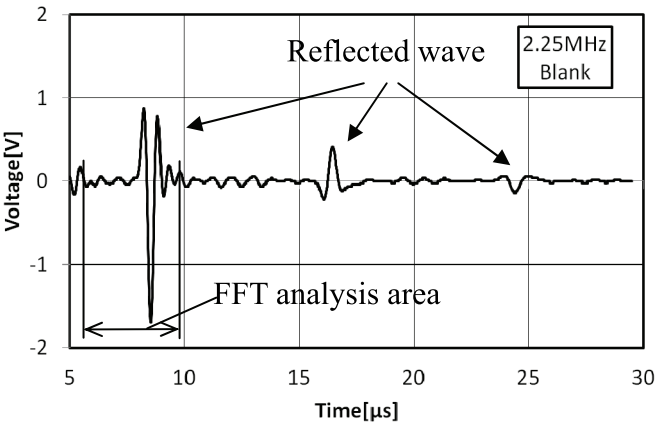


Fig.5　Example of received wave.

3.2 音速測定

前節で示した測定方法で波形を観測し，板厚方向の超音波伝播速度(音速)の測定を行った．Fig. 6 に測定によって得られた受信波形の例を示す．試料裏面からの第 1, 第 2 反射波の時間差をΔt, 試料の板厚を h とし，式(1)から板厚方向の音速を算出した．なお，第 1，第 2 反射波の位相反転を考慮し，各反射波の最初のゼロクロス点からΔt を測定した．

$$音速 = \frac{2h}{\Delta t} \tag{1}$$

音速測定結果を Fig. 7 に示す．グラフにおいて横軸は温水浸漬時間，縦軸は音速を示しており，各値はブランク材のデータを基準として正規化している．なお，音速は 9 ヵ所の測定値の平均値であり，測定ヵ所によるばらつきは最大 2%であった．この結果からいずれの周波数においても温水劣化の進行によって音速の若干の低下が見られるが顕著な変化傾向は見られず，劣化検出感度が低いことが分かる．

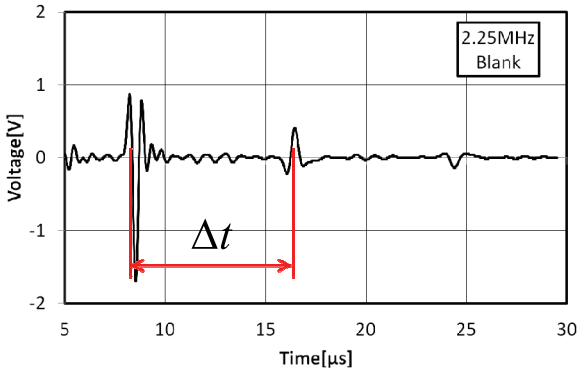


Fig.6 Example of received wave for wave velocity measurement.

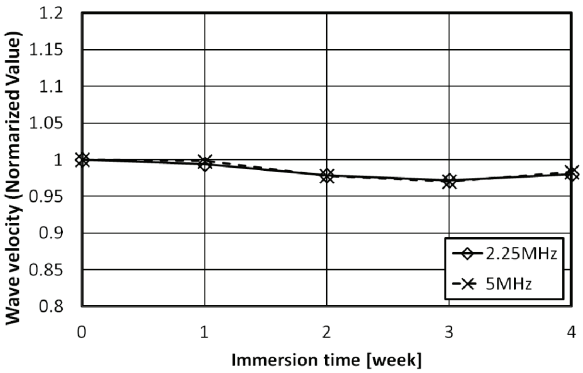


Fig.7 Wave velocity of through-thickness direction.

3.3 減衰率測定

3.1 節で示した測定方法で波形を観測し，板厚方向の振幅減衰率の測定を行った．Fig. 8 に測定によって得られた受信波形の例を示す．試料裏面からの第 1，第 2 反射波の振幅最大値をそれぞれ V_{1max}，V_{2max} として式(2)から減衰率を算出した．

$$減衰率 = 20\log_{10}\frac{V_{2max}}{V_{1max}} \tag{2}$$

振幅減衰率の測定結果を Fig. 9 に示す．グラフにおいて横軸は温水浸漬時間，縦軸は振幅減衰率を示しており，各値はブランク材のデータを基準として正規化している．なお，減衰率は 9 ヵ所の測定値の平均値であり，測定ヵ所によるばらつきは最大 50%あった．この結果から，2.25MHz の場合において変化が大きく浸漬 3 週間では最大 70%程度の減衰率増加が見られた．よって，減衰率測定により劣化の進行をとらえることが可能であるが測定精度に問題があると思われる．

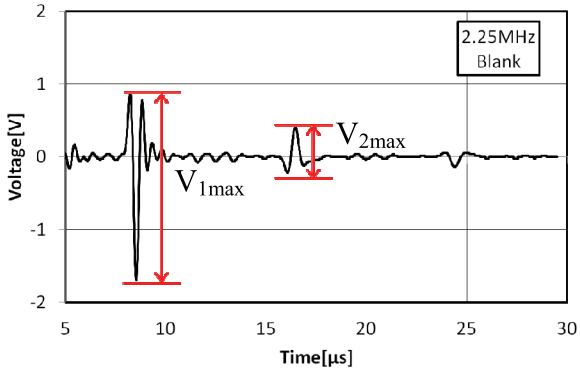


Fig.8 Example of received wave for wave attenuation measurement.

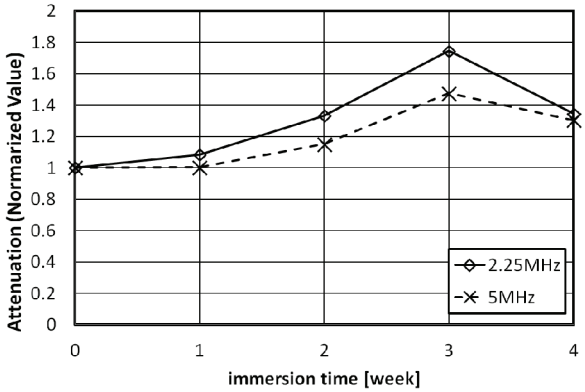


Fig.9 Wave attenuation of through-thickness direction.

3.4 周波数解析による評価

劣化の進行により減衰率の増加が確認できたが，第 2 反射波以降が減衰すると減衰率による評価は困難になる．そこで，第 1 反射波のみを評価対象とする周波数解析による評価を行った．受信波形から得られたスペクトル線図を比較したものを Fig. 10 に示す．上図は 2.25MHz，下図は 5MHz の入力周波数を示しており，それぞれブランク材，温水浸漬開始 2 週間後，4 週間後の試料の結果を表している．なお，周波数解析

は Fig. 5 に示す受信波形の領域に対して行った．この結果から，いずれの周波数においても受信波強度が低下しピーク値が低周波数側へとシフトしているのが確認できる． 5MHz の場合，入射した波の成分は 5MHz 付近であるが，受信波形には 2MHz 付近の成分が最も強く表れている．また，2.25MHz に比べて受信波強度が弱い．これは，5MHz 付近の波は材料中で散乱し，減衰するためであると考えられる．

上記のスペクトルの変化を定量的に評価するために，広帯域信号の分析に用いられる AU パラメータ Acousto Ultrasonic parameter)[4]の適用を試みた．AU パラメータは被検査材を伝播する広帯域超音波のスペクトル線図から算出されるパラメータであり，受信波が持つ周波数特性の定量的な評価に利用される．AU パラメータは次式で表されるスペクトルモーメントにより算出される．

$$M_n = \int_0^{f_m} W(f) f^n df \tag{1}$$

ここで，$W(f)$はスペクトル密度関数，f は周波数，f_m はナイキスト周波数であり，n はスペクトルモーメントの次数を表す．各 AU パラメータを次式により定義した[5]．

$$A1 = M_0 \tag{2}$$

$$A2 = \frac{M_1}{M_0} \tag{3}$$

$A1$ パラメータはスペクトルの 0 次モーメントと等しく，波の総エネルギーに相当する．$A2$ パラメータはスペクトル線図の図心に相当し，波の中心周波数を表す．各値を算出した結果を Fig. 11，Fig. 12 に示す．各グラフにおいて横軸は温水浸漬時間，縦軸は AU パラメータを示しており，各値はブランク材のデータを基準として正規化している．なお，各値は 9 ヵ所の測定値の平均値であり，測定ヵ所によるばらつきは $A1$ では最大 50%，$A2$ では最大 20%あった．$A1$ パラメータの結果から，いずれの周波数においても温水劣化の進行によって大きく低下する傾向が見られ，最大 90%程度の低下が確認できる．また，$A2$ パラメータは 2.25MHz では最大 30%程度の低下が見られた．また，Fig. 3 と比較するといずれのパラメータにおいても劣化の進行が激しいと思われる浸漬 3 週目までは単調に低下し，劣化があまり進行していない 3～4 週目では変化は少ない．これは AU パラメータの変化率が Fig. 3 に示した目視による劣化度合と対応していることを示している．$A2$ パラメータにおいて 2.25MHz は 5MHz よりも変化が顕著に表れているが，これは Fig. 10 から分かるように 5MHz は 2.25MHz に比べ受信波強度が低く，さらに高周波数成分のノイズの影響を受けて図心の変化が小さくなったためであると考えられる．

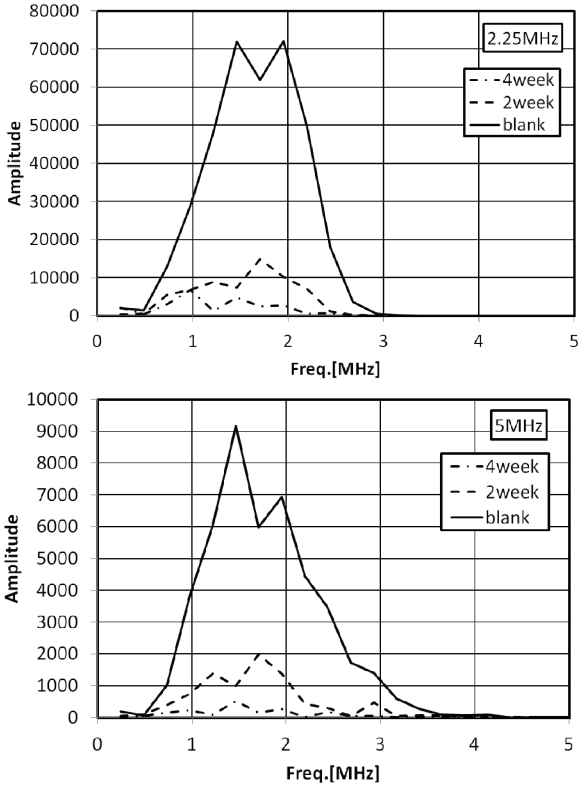


Fig.10　Comparison of power spectrum diagram.

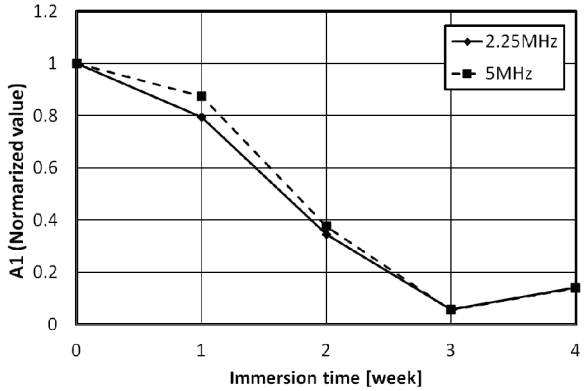


Fig.11　Variation in $A1$ parameter of through-thickness direction with degradation.

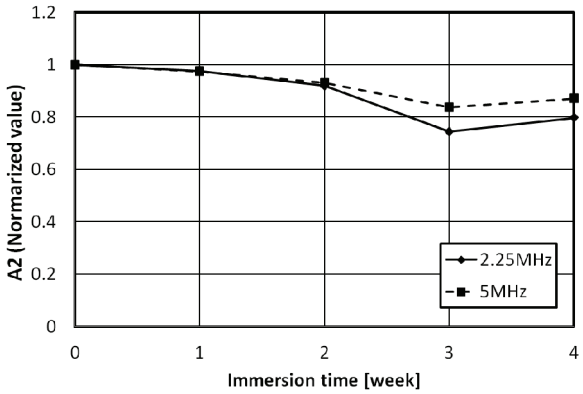


Fig.12　Variation in $A2$ parameter of through-thickness direction with degradation.

4. 力学特性の評価

前章で示した超音波の減衰率および $A1$，$A2$ パラメータの変化が，試料の材料強度・剛性とどの程度の相関があるのかを調べるために，三点曲げ試験を行なった．Fig. 13 に示すようにブランク材，温水浸漬後の各劣化材から短冊状の試験片 140×15mm を 4 本ずつダイヤモンドカッターで切り出して，各試験片に対して劣化面の裏面から荷重を加えた．Fig. 14 に曲げ試験の様子を示す．試験条件は試験速度を 2mm/min，支点間距離を 100mm とした．

Fig.13　Photograph of specimens for bending test.

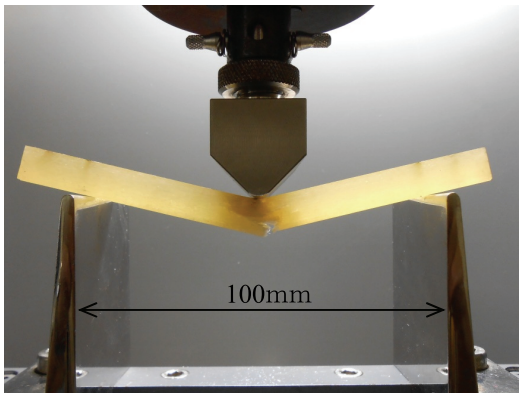


Fig. 14　Photograph of bending test.

試験により得られた荷重-たわみ線図から曲げ強度と曲げ弾性率を算出した結果を Fig. 15，Fig. 16 に示す．各グラフにおいて横軸は温水浸漬時間，縦軸はそれぞれ曲げ強度，曲げ弾性率を示しており，4 本の試験片の平均値を測定値とした．この結果から曲げ強度は浸漬 2 週間で約 40%の低下が見られ，その後はほとんど変化していないことが確認できる．一方，曲げ弾性率は劣化の進行によって若干低下する傾向があり，約 6%の低下が見られる．これらの結果と Fig. 1 の断面写真を比較すると，繊維束まわりのはく離による白化現象が表れている時点で曲げ強度が大きく低下していることが分かる．また，その後の白化領域が面内に広がっている期間では強度があまり変化していないことから，曲げ強度は劣化層の厚さに依存していることが考えられる．

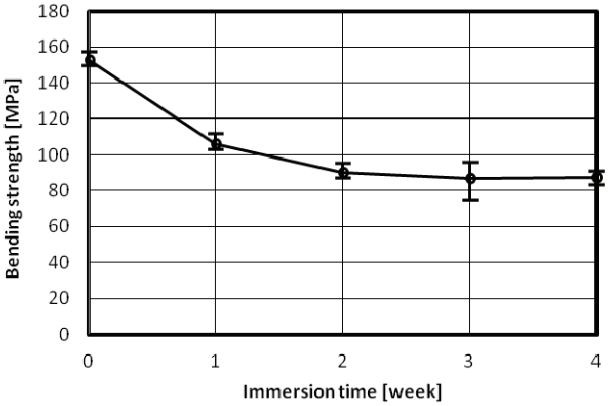


Fig. 15　Variation in bending strength with degradation.

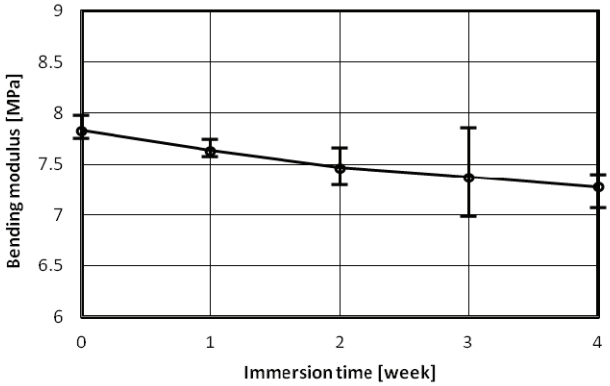


Fig. 16　Variation in bending modulus with degradation.

Fig. 17 に $A1$，$A2$ パラメータと曲げ試験結果の関係をそれぞれ示す．これらのグラフより $A1$，$A2$ パラメータの低下によって曲げ強度，曲げ弾性率は低下し，両者の間には相間があることが確認できる．ここで，曲げ強度のグラフに注目すると各パラメータの変化が小さいところで曲げ強度が大きく低下し，各パラメータの変化が大きいところでは曲げ強度の変化はほとんど見られないという共通の特徴が見られる．つまり，試料にはく離が生じる初期の劣化状態において，曲げ強度は大きく低下するが各パラメータの変化は顕著に表れない．また，見た目にはく離領域が広がる浸漬 2～4 週期間において，曲げ強度はあまり変化しないが各パラメータの変化が顕著に表れる．一方，曲げ弾性率のグラフに注目すると劣化の初期段階から最終過程に至るまで，各パラメータの変化と曲げ弾性率は線形に近い相関が見られる．以上より，各評価指標は試料の曲げ弾性率に対しては相関が高いが初期の曲げ強度低下に対しては感度が低いことが分かった．各評価指標が曲げ弾性率に対して相関が高かった理由としては，超音波測定結果は試料のはく離量によって変化し曲げ弾性率も試料のはく離量に依存するため，両者に一定の相関があったと思われる．また，試料の曲げ強度ははく離の有無によって大きく変化し，はく離量に対する依存度が低いため各評価指標の初期の曲げ強度低下に対する感度が低くなったと思われる．

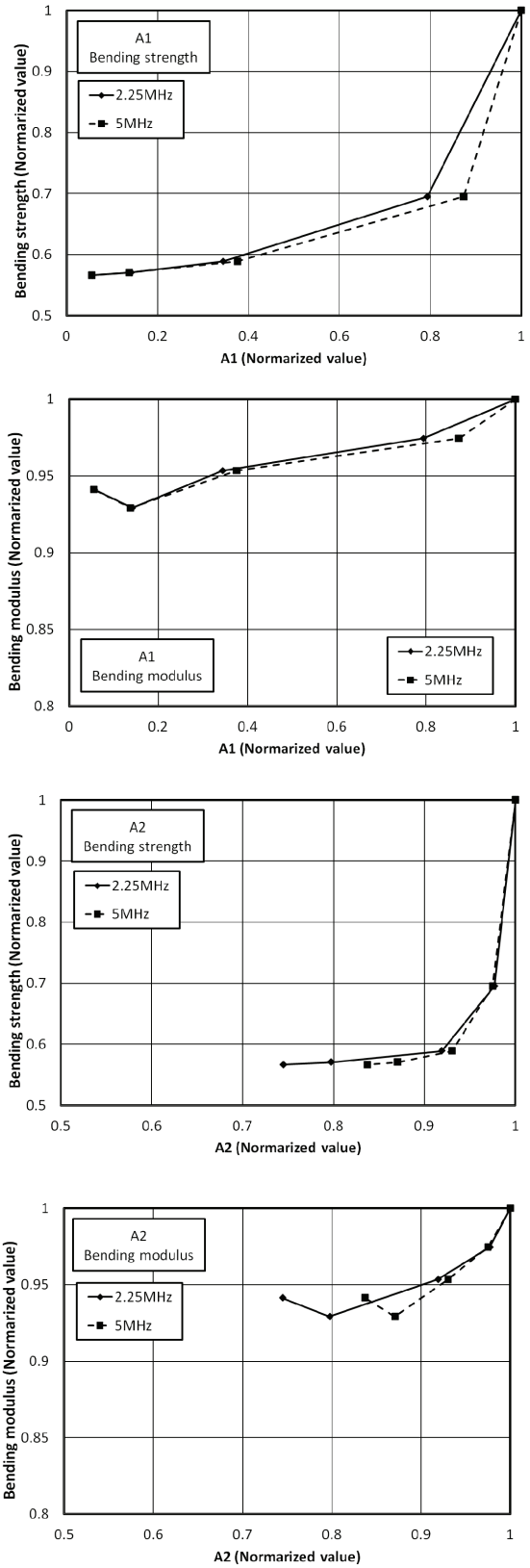


Fig.17 Relationship between *A*U parameters and mechanical properties.

5. 結言

1～4 週間の温水浸漬によって片面から傾斜的に劣化させたGFRP積層板に対して板厚方向の超音波測定を行い，以下のような結果が得られた．

(1) 試料に片側表面からのみ温水浸漬させることで，はく離を伴う劣化層が形成され，試料を部分的に劣化させることができた．
(2) 板厚方向の測定において，劣化の進行に伴い音速は大きな変化が見られなかったが，減衰率は増加する傾向が見られた．
(3) 底面反射波の周波数分析を行った結果，波の総エネルギーに相当する *A*1 パラメータ，スペクトル線図の図心に相当する *A*2 パラメータはいずれも劣化の進行に伴って低下する傾向がみられた．
(4) 各劣化試料の超音波測定結果と力学特性の相関を評価した結果，*A*1，*A*2 パラメータは劣化後の試料の力学特性と相関があることが確認できた．また，各評価指標は試料の曲げ弾性率に対しては相関が高いが初期の曲げ強度低下に対しては感度が低いことが分かった．

参考文献

(1) 二木崇：「ラム波を用いた GFRP 貯槽の健全性評価」，非破壊検査, Vol.54, No.2, pp.91-97, 2005.
(2) 藤井善通：「FRP タンクの安全・安心設計」，日本機械学会誌, Vol.110, No.1067, pp.14-17, 2007.
(3) 馬渕信太，森田辰郎，中原嘉一，藤井善通，平野未來：「酸環境で長期間使用された GFRP 製タンクの損傷状態と超音波エコー測定に基づく劣化診断」，日本材料学会誌, Vol.57, No.11, pp.1160-1166, 2008.
(4) M.T.Kiernan and J.C.Duke, Jr.： “PC analysis of an acousto-ultrasonic signal”, Materials Evaluation, Vol.46, pp.1344-1352, 1988.
(5) 和田明浩，元木信弥，山崎友裕：「ラム波スペクトラム解析による FRP 積層板の衝撃損傷検出」，日本機械学会論文集 A 編, Vol.78, No.790, pp.879-889, 2012.

水平矩形管内における マイクロバブルによる摩擦圧力損失に関する研究

安田貴央*　　橋田昌明**　　鈴木隆起***　　赤対秀明****

Frictional Pressure Drop of Microbubble Flow in a Horizontal Channel

Takahisa YASUDA*　Masaaki HASHIDA**　Takayuki SUZUKI***　Hideaki SHAKUTSUI****

ABSTRACT

One of the characteristics of the microbubble is reduction of frictional pressure drop. However, the mechanism has not been clarified. In the present study, in order to clarify the mechanisms, the mean velocity distribution, turbulent components, and bubble diameter in the microbubble flow were measured and the relationship with the frictional pressure drop was investigated. In the experiment, the microbubble was generated by swirling flow method, pressurized dissolution method and loop flow method, while the Reynolds number was varied from 8000 to 40000 at 10, 20 ,30 degree of water temperature. As the result, in the case of swirling flow method, the frictional pressure drop decreases by about 3 to 7 %. In the case of pressurized dissolution method, the frictional drop increases or does not change. The change of the turbulent components to main flow direction corresponds to the increase and decrease of the frictional pressure drop for both of the generation methods.

Keywords : microbubble, frictional pressure drop, turbulence, share stress

1. 諸言

マイクロバブルは，気泡径が数μmから数百μmと極めて小さいため，気泡径が数 mm 程度の気泡には見られない様々な物理化学特性を有している．そのため水産養殖，医療分野，工業的利用など，非常に幅広く利用されている．その工業的利用のひとつに，マイクロバブルによる摩擦圧力損失低減効果があり，船舶推進時における消費エネルギー削減などに応用されている[1]．

これまでに，マイクロバブルによる摩擦圧力損失低減効果は，マイクロバブルの気泡径や，発生方式，化学的特性に依存するとされており，特に気泡径に対する影響が明らかにされている．気泡径が 100 μm から 1 mm 程度のマイクロバブルの場合，矩形管内において十から数十％の低減効果が確認されている．その中で，その低減メカニズムは壁面近傍のマイクロバブルの存在による水の密度と乱流変調に伴うレイノルズ応力の減少によることが報告されている[1]．

一方，気泡径が 50 μm 以下のマイクロバブル流においては，摩擦抵抗低減効果はより増加することが報告されている[2]ものの，その低減メカニズムは，未だ明らかにされていない．その中で，星野ら[3]は水平円管内において，マイクロバブル流中(気泡径 30～200 μm)の乱流成分を LDV によって測定し，乱流変動成分が減少することを確認している．また，佐藤ら[4]が提案した気液二相気泡流に対するせん断応力の関係式と結びつけることで，摩擦圧力損失の低減メカニズムを提案している．しかし，比較的大きい気泡流に関する関係式をマイクロバブル流に用いて良いかは不明であり，また，せん断応力も直接測定されていないため，摩擦圧力損失との直接的な関係は不明である．この関係を明らかにするために，水平矩形管内にMBを流動させ，壁面せん断応力，および主流方向乱流変動成分 u'を測定することで，摩擦圧力損失との関係性を検討している．その結果，摩擦圧力損失と壁面せん断応力の間には直接的な関係性が見られるものの，主流方向乱流変動成分 u'との間には整合性は確認できず，垂直方向乱流変動成分 v'

*　専攻科　機械システム工学専攻
**　本科　機械工学科
***　機械工学科　講師
****　機械工学科　教授

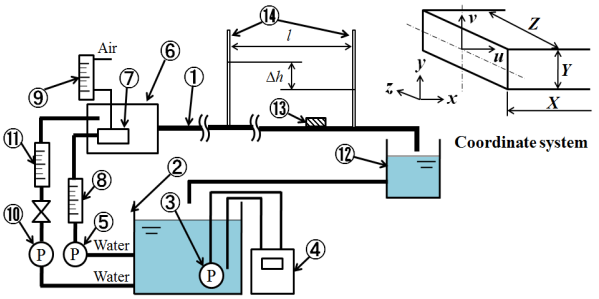
についても考慮する必要があると結論づけている[5].

そこで本研究では，水平矩形管内に 2 種類の発生方式でマイクロバブルを流動させ，摩擦圧力損失を測定し，水単相流との比較を行う．また，主流方向，垂直方向の乱流変動成分，および気泡径を測定し，これらの関係性を明らかにするとともに，発生方式による違いが生じるか明らかにすることを目的とする．

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

図 1 に実験装置の概略を示す．試験流路①は全長 6 m，断面積が 50 mm×20 mm の矩形管であり，給水タンク②より水を供給し，試験流路直前に設置した混合部⑥でマイクロバブルを発生させ，試験流路内にマイクロバブル水を流動させる．マノメータ⑭により摩擦圧力損失を測定するとともに，LDV 装置により，速度分布および主流方向乱流変動成分 u'，垂直方向乱流変動成分 v'，画像処理により気泡径を測定する．なお，水温 T=10，20，30 ℃，レイノルズ数 Re=8000～35000 の範囲で実験を行った．



①Test flow channel　②Water tank　③Pump
④Temperature controller　⑤Pump　⑥Mixing section
⑦Micro bubble generator　⑧Water flow meter　⑨Air flow meter
⑩Pump　⑪Water flow mater　⑫Drain water tank
⑬Shear stress meter　⑭Manometer

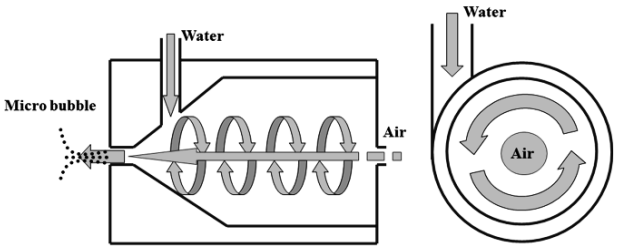
図 1 実験装置概略

2.2 マイクロバブル発生装置

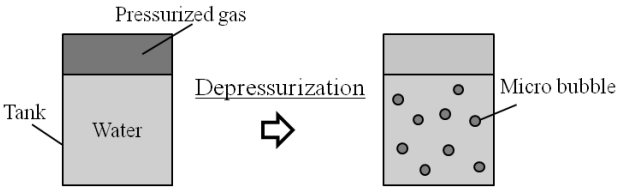
本研究では，マイクロバブルの発生に旋回流方式発生装置（ナノプラネット製，M2-LM），加圧溶解方式発生装置（三相電機製，マイクロバブル L-2011）を用いた．

図 2 (a)に旋回流方式発生装置の概略を示す．旋回流方式は気液二相流体を高速旋回させることによって，装置内で液体と気体の遠心分離作用を利用し，装置中心部に形成された旋回空洞部を装置出口前後における旋回速度差で切断，粉砕することでマイクロバブルを発生させる方式である．本研究で用いた発生装置では，マイクロバブル発生装置に供給する水流量と空気流量を調節することができる．本研究では，水供給量 Q_L=17 l/min，空気供給量 Q_G=0，40，80 ml/min の 3 つの発生条件でマイクロバブルを発生させ，各実験を行った．

図 2 (b)に加圧溶解方式の概略図を示す．加圧溶解方式とは，液体中に溶解する気体の量が気体の圧力に比例して増加する特性を利用したマイクロバブル発生方式である．ある程度の高圧で十分な量の気体を液中に溶解させた後，その圧力を開放し，減圧すると，液体は過飽和状態になる．過飽和状態では液中に溶解していた気体が蒸発し，結果として液中に大量の気泡を発生させることができる．本研究では，この原理を用いた加圧溶解方式の発生装置でマイクロバブル発生させ，各実験を行った．



(a) 旋回流方式



(b) 加圧溶解方式

図 2 マイクロバブル発生装置

2.3 気泡径の測定

気泡径の測定方法の概略を図 3 に示す．気泡径の測定は，水を満たした水槽内にマイクロバブルを発生させ，その気泡を水槽後方からライトで照らしながら，高速度ビデオカメラ（フォトロン製，倍率 150 倍，フレームレート 4000 fps）で撮影し，焦点のあったマイクロバブルの直径を水槽内に設置した 300 μm のワイヤーと比較することで測定する．なお，サンプリング数は 500 個である．

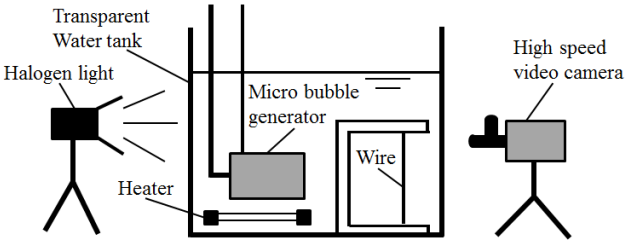


図 3 気泡径の測定

2.4 摩擦圧力損失の測定

矩形管内の摩擦圧力損失は流路入口から 2.5 m および 5.5 m の位置に設けた静圧測定孔より，マノメータ⑭を用いて液面差 Δh を測定し，式(1)，(2)より摩擦圧力損失 ΔP_f および，管摩擦係数 λ を算出する．ここで，u は平均流速，P_1

は上流の静圧，P_2 は下流の静圧，ρ_L は水の密度，g は重力加速度，l は試験区間長(=3 m)である．

$$\Delta P_f = P_1 - P_2 = \rho_L g \Delta h \tag{1}$$

$$\lambda = \frac{d}{l}\frac{2g}{u^2}\Delta h \tag{2}$$

2.5 主流および乱流変動成分とせん断応力の関係性

一般的な気液二相流におけるせん断応力の関係式は次式で示される[4]．

$$\tau = (1-\alpha_G)\left(\mu_m \frac{du}{dy} - \rho_m \overline{u'v'} - \rho_m \overline{u''v''}\right) \tag{3}$$

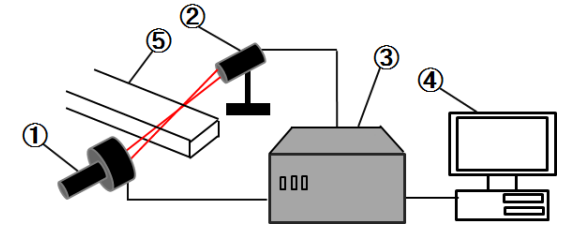
ここで，α_G は気相体積率，μ_m は気液二相流体の平均粘度，ρ_m は気液二相流体の平均密度，du/dy は速度勾配，u'は主流方向変動成分，v'は垂直方向乱流変動成分，u''，v''は気泡のかく乱による変動成分である．なお，u，v は x，y 方向成分を示す．$\rho_m \overline{u'v'}$ は乱流の速度変動による応力，$\rho_m \overline{u''v''}$ はウェイクによる気泡誘起乱れによる応力である．星野ら[3]は式(3)において，マイクロバブルが十分小さく，流れに対して影響しないと仮定，すなわち$\alpha_G \fallingdotseq 0$，$u''v'' \fallingdotseq 0$とし，$\alpha_G \fallingdotseq 0$ であることでμ_m，ρ_mを水の粘度μ_L，水の密度ρ_Lとすることで，せん断応力が式(4)で近似できると仮定している．

$$\tau = \mu_L \frac{du}{dy} - \rho_L \overline{u'v'} \tag{4}$$

本研究では，式(4)の妥当性を検討するために，レーザードップラー流速計 LDV による主流方向および垂直方向乱流変動成分の測定を行う．

2.6 平均速度分布および乱れ度の測定

図 4 に LDV 装置(DANTEC 製，MODEL3230H-PC)の概略を示す．まず，レーザー発振器①(He-Ne レーザー，波長 632.8 mm，同軸径連続発振レーザー10 mW 直線偏光)と散乱光受光器②を測定区間に設置し，流速分析器③(FVA，58N80)，パーソナルコンピュータ④(PC，ソフトウェア BSA Flow Software)を起動させた．試験流路内に水単相流および，MB 流を流動させ，レーザーの交差部を測定位置に移動させ，散乱光受光器の焦点を交差部の中心と合わせ，レーザーがマイクロバブルに当たった散乱光を受光することで，焦点位置の速度を測定する．



①Laser　②Photo multiplier　③FVA
④PC　⑤Test flow channel

図 4 LDV の構成

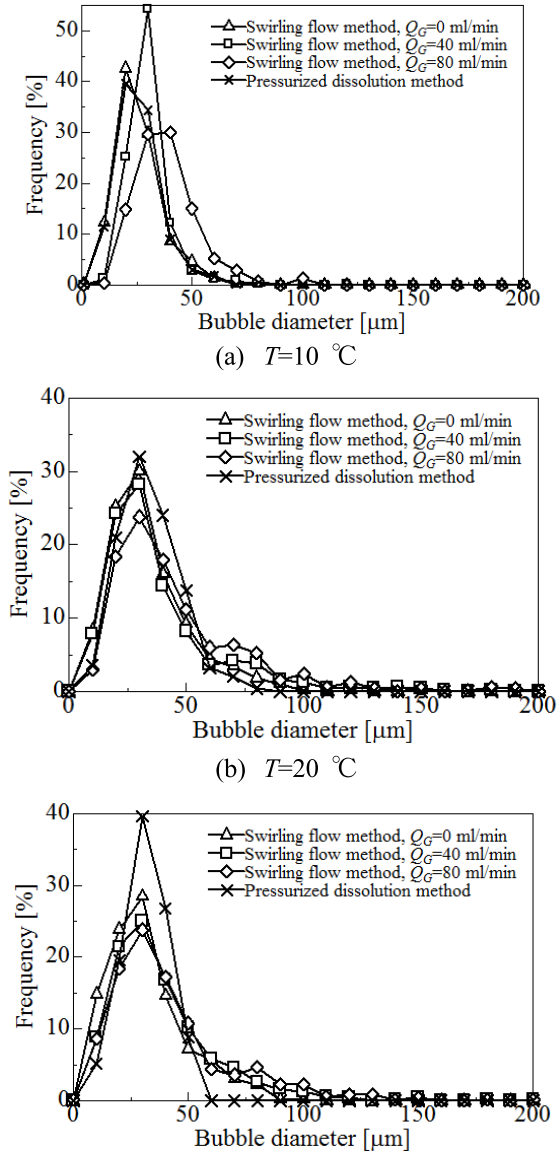
3. 実験結果および考察

3.1 気泡径

図 5 に測定を行った水温 T=10，20，30 ℃における気泡径分布を示す．また，図 6 に各発生方式の平均気泡径を示す．

発生方式および水温に関わらず，どの条件においても 30 μm 付近にピークをもつ気泡径分布が得られた．旋回流方式については，空気供給量 Q_G の増加に伴い，気泡径が 60 μm 以上の比較的大きな気泡が増加する傾向がある．一方，加圧溶解方式については，気泡径が 60μm 以上の気泡が他の発生方式に比べ極めて少ない．

平均気泡径は，旋回流方式よりも加圧溶解方式の気泡径が小さい．また，いずれも水温 20 ℃の場合に最も大きく，10 ℃か 30 ℃で最小となる．旋回方式においては，空気流量 Q_G によって気泡径の大きさは変化し，Q_G が小さいほど，気泡径は小さくなることが分かる．



(a) T=10 ℃

(b) T=20 ℃

(c) T=30 ℃

図 5 気泡径分布

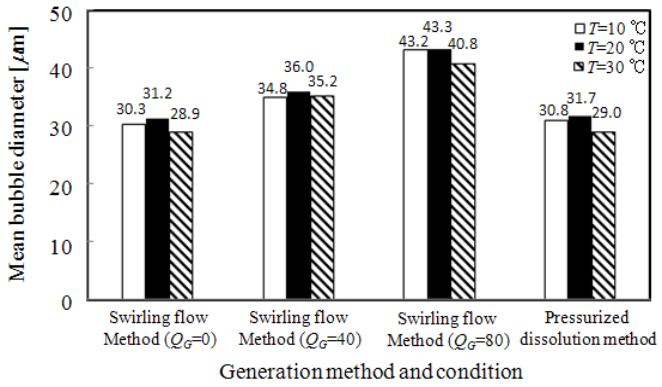


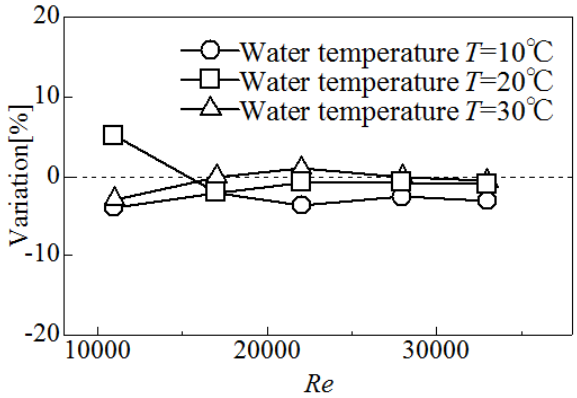
図 6 気泡径

3.2 摩擦圧力損失

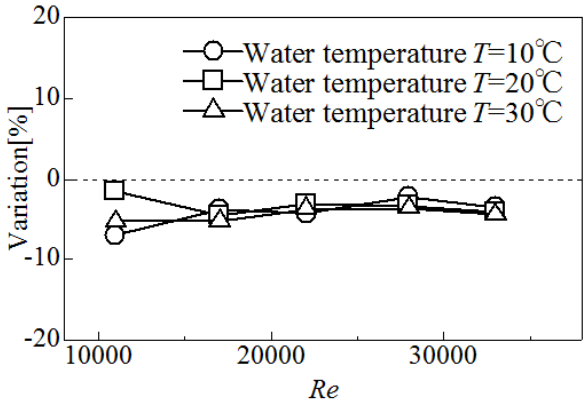
図 7 に旋回流方式，加圧溶解方式の場合の *Re* 数に対する管摩擦係数λを，水単相流を基準とした増減率で示す．なお，旋回流方式の空気流量 Q_G は 0，40，80 ml/min の 3 種類である．旋回流方式において Q_G=40 ml/min でもっとも低減効果は高く，*Re* 数全域で 3～7 %低減している．また，水温に対しては，10 ℃の場合，比較的低減範囲や割合が大きくなることが確認できる．20 ，30 ℃においては，Q_G=40 ml/min でのみ低減効果が確認でき，Q_G=0，80 ml/min では水単相流と変化が見られなかった．一方，加圧溶解方式は，測定を行った全温度においておおよそ *Re* 数全域で水単相流に比べλが増加し，特に *T*=30 ℃の場合には，λが十数%増加している．

これまで，摩擦圧力損失の低減効果は，気泡径が小さくなるほど大きくなることが知られている．旋回流方式において，気泡径の大きさは Q_G=40 と 80 ml/min では，40 ml/min の方が小さい．しかし，Q_G =0 ml/min および加圧溶解方式に関しては，気泡径は前述の 2 条件より小さいものの，摩擦圧力損失が低減されていない．この 2 つの条件に関しては，発生方式が圧力変化によるものであり，Q_G=40 や 80 ml/min のように，強制的な外力によるものとは異なる．同空気流量において，温度を変化させ気泡径を小さくしても，低減率は大きくなっていない．これらの結果から，気泡径の大きさと低減率の整合が取れていないことが分かる．そのため，摩擦圧力損失低減効果は，気泡径の大きさのみには依存しないと考えられる．

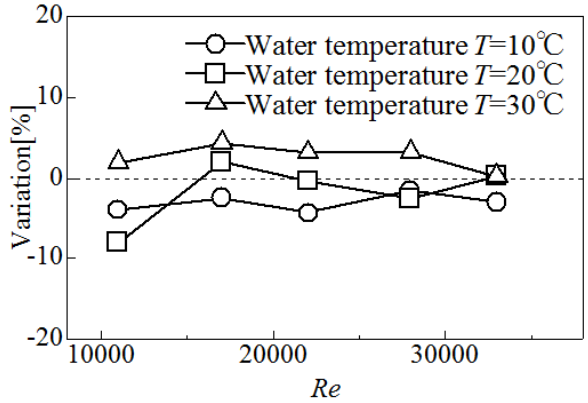
図 8 に村井ら[(6)]が提案した摩擦抵抗低減メカニズム遷移線図を示す．この摩擦抵抗低減メカニズム遷移線図は，過去の多数の論文とデータが整理されたもので，各領域内に記されている G という値は抵抗低減ゲインという量で，境界層内にボイド率 1 %の空気を注入すると，抵抗低減が G%得られるという定義によるものである．G＞100，G=1，1.6，3.5 である白い領域は，壁面摩擦，つまり摩擦圧力損失が低減する領域である．一方，G≦－1 である遷移線図の中央に広がる黒い帯の部分は逆効果の谷といい，壁面摩擦を増大，つまり摩擦圧力損失が増加する範囲である．



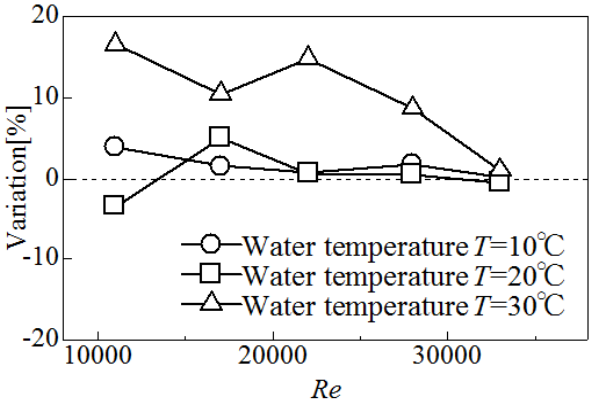
(a) Swirling flow method(Q_G=0 ml/min)



(b) Swirling flow method(Q_G=40 ml/min)



(c) Swirling flow method(Q_G=80 ml/min)



(d) Pressurized dissolution metod

図 7 λと *Re* の関係性

本実験範囲を図 8 に破線で示す．さらに，拡大し実験結果から得られた摩擦圧力損失の増減の傾向を重ね合わせたものを図 9 に示す．本研究における実験範囲は，逆効果の谷の境界にあることがわかる．壁面摩擦が，大きく減少する範囲，わずかに減少する範囲および増加する範囲の交点に，本研究における実験範囲があることにより，摩擦圧力損失が増加，低減および変化しないという現象が入り組んで点在している．この摩擦抵抗低減メカニズム遷移線図の境界については研究段階で，不確定であることから境界付近ではどのような現象が起こるか予測することは難しい．本実験において，旋回流方式では摩擦圧力損失低減が得られたが，旋回流方式よりも気泡径が小さい加圧溶解方式では増加した．これは擦抵抗低減メカニズム遷移線図の境界が入り組んでいることに起因する[7]と考えられる．

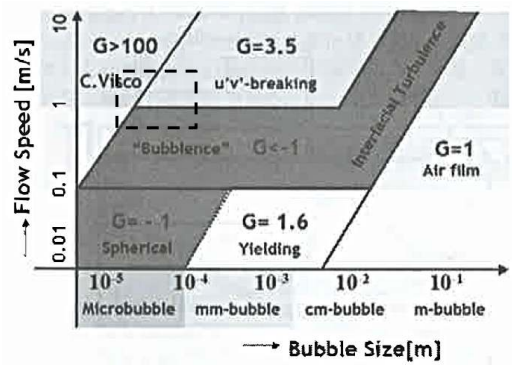


図 8 摩擦抵抗低減メカニズム遷移線図[6]

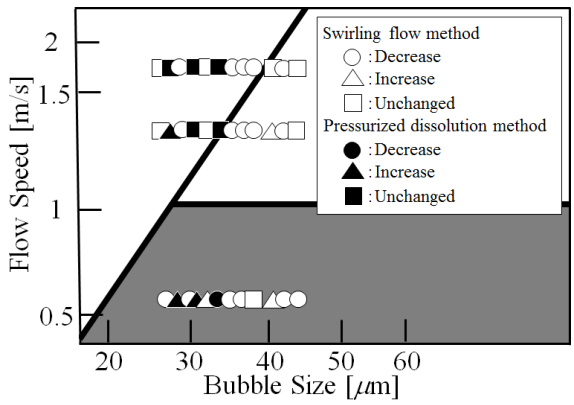


図 9 実験結果との照合

3.3 速度分布

図 10 に旋回流方式および加圧溶解方式における，水温 T=10 ℃の場合の主流方向の流速 u の y 方向の速度分布の測定結果を示す．水単相流と各発生方式による MB 流の速度分布に変化はなく，本実験範囲において，ほぼ等しくなることが確認できた．T=20，30 ℃の場合も，同様の結果が得られた．しかし，特に摩擦圧力損失に大きく影響を及ぼす壁面近傍における速度分布が，計測装置の構造上測定できない．そのため，本研究の測定範囲内において，MB は速度分布に影響を与えていないので，壁面近傍においても影響は与えないと仮定する．よって，式(4)において速度勾配はせん断応力，つまり摩擦圧力損失に影響しないと考える．

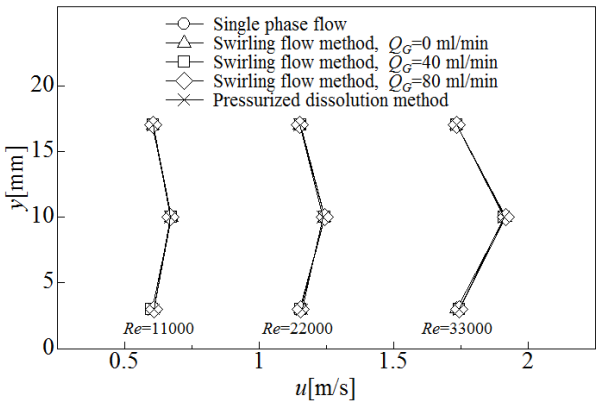


図 10 平均速度 u の分布(T=10 ℃)

3.4 主流方向および垂直方向乱流変動成分

図 11 に，水単相流とマイクロバブル流における乱流変動成分 u'，v'の関係を確認するために，旋回流方式と加圧溶解方式の場合の，水単相流の$(\overline{u'v'})_{sp}$ を基準とした場合の各温度における$\overline{u'v'}$ の増減率を示す。なお，本来－$\overline{u'v'}$ は u'と v'を同時に測定し，その積の平均から得られる．しかし，本実験装置では，同時測定ができないため乱流変動成分の時間的平均である u'，v'をそれぞれ測定し，その積である$\overline{u'v'}$を－$\overline{u'v'}$と等しいとみなした．

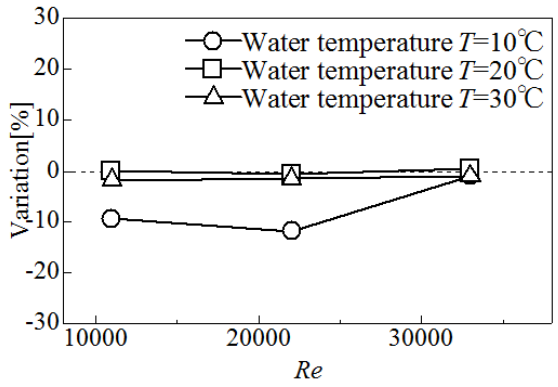
旋回流方式で発生させたマイクロバブル流の場合は，水温 T=10 ℃では全空気流量においておおよそ Re 数全域で$\overline{u'v'}$が減少していることが分かる．水温 T=20，30 ℃では，Q_G=40 ml/min のみ$\overline{u'v'}$の減少が確認でき，Q_G=0，80 ml/min では水単相流とあまり変化はない．一方，加圧溶解方式の場合は，$\overline{u'v'}$が水単相流と比べ変化がない，もしくは増加しており，特に T=30 ℃で最も増加していることが確認できる．

以上より，3.2 で示した管摩擦係数λの増減の傾向と，乱流変動成分$\overline{u'v'}$の増減の傾向は，旋回方式による MB 流の場合は低減，加圧溶解方式による MB 流の場合は増加という点で一致しており，せん断応力τつまり摩擦圧力損失は乱流変動成分 u'，v'に起因すると考えられる．

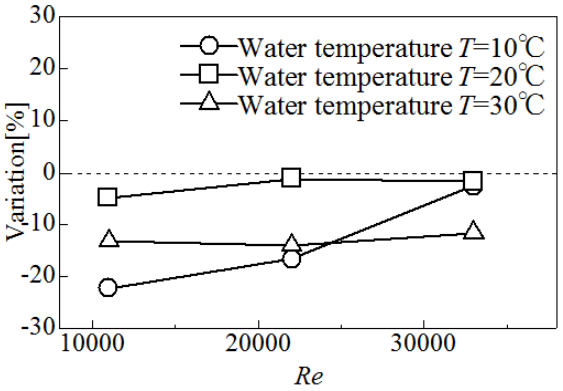
3.5 摩擦圧力損失と乱流変動成分の関係性

表 1 に本実験で行った全ての条件に対する，摩擦圧力損失と乱流変動成分の関係性を示す．なお，この表の$\overline{u'v'}$は，u'と v'に負の相関関係があることから，式(4)における$-\overline{u'v'}$と等しいとみなしている．このことから，$\overline{u'v'}$の減少は式(4)における$-\overline{u'v'}$が減少することになり，せん断応力つまり，摩擦圧力損失も減少する．

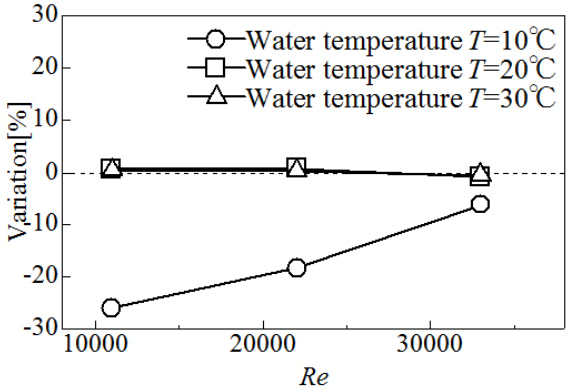
表を見て分かるように，3.2 節で示した管摩擦係数λの増減の傾向と，3.3 節で示した乱流変動成分$\overline{u'v'}$の増減の傾向は，あまり変化しない場合を除くと旋回流方式によるマイクロバブル流の場合は低減し，加圧溶解方式によるマイクロバブル流の場合は増加するという点で一致している．式(4)において変数である速度分布，乱流変動成分のうち，マイ



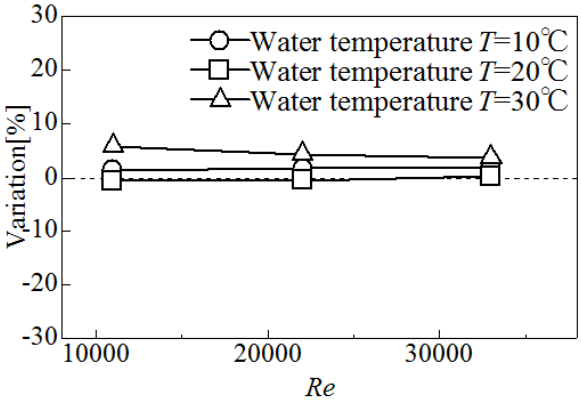
(a) Q_G=0 ml/min



(b)Q_G=40 ml/min



(c)Q_G=80 ml/min



(d) Pressurized dissolution metod

図 11 $\overline{u'v'}$ の増減率

表 1 摩擦圧力損失と乱流変動成分の関係性

		10℃		20℃		30℃	
		λ	$\overline{u'v'}$	λ	$\overline{u'v'}$	λ	$\overline{u'v'}$
旋回流方式	Q_G=0	減	減	変化なし		変化なし	
	Q_G=40	減	減	減	減	減	減
	Q_G=80	減	減	変化なし		変化なし	
加圧溶解方式		増	増	変化なし		増	増

クロバブルが速度分布に影響を与えないことは 3.3 節で述べた．よって，せん断応力 τ，つまり摩擦圧力損失の増減は，マイクロバブルによる主流方向乱流変動成分 u' に加え，垂直乱流変動成分 v' にも依存し，その積である $\overline{u'v'}$ の増減によるものであると定性的に明らかとなった[7]．

4. 結言

水平矩形管内にマイクロバブルを流動させ，摩擦圧力損失および主流方向，垂直方向乱流変動成分を測定した．その結果，以下の結論[7]を得た．

(1) 旋回流方式の場合，摩擦圧力損失の低減率は空気量や温度に依存するものの，約 3～7%低減する．ただし，T=20℃では低減効果は小さくなる．

(2) 加圧溶解方式の場合，マイクロバブルによって摩擦圧力損失は増加，もしくは変化しない．

(3) マイクロバブルは測定範囲内で流体中の速度分布に影響を与えない．

(4) 乱流変動成分 $\overline{u'v'}$ と管摩擦係数λの増減の傾向は一致する．

参考文献

(1) 川島ほか:「マイクロバブルによる摩擦抵抗低減に関する実験的研究」，ながれ 25，pp.209-217，2006.

(2) Murai,Y. *et al.*: “Turbulent shear flow profile in a horizontal bubbly channel flow”, 6th Symp. on Smart Control of Turbulence, pp.289-295, 2005.

(3) 星野ほか:「水平管内マイクロバブル乱流の摩擦圧力損失特性」，混相流学会年会講演会，pp.224-227，2009.

(4) 佐藤ほか:「気泡流の液速度分布に関する研究」，機論，3215 巻 3223 号，pp.41-351，1975.

(5) 前田ほか:「マイクロバブルによる摩擦圧力損失低減に関する研究」，混相流学会年会講演会，pp.246-247，2011.

(6) 村井祐一:「マイクロバブルが乱流渦の成長を選択的に鎮圧する現象」，混相流学会年会講演会，pp244-245，2011.

(7) 安田ほか:「水平矩形管内におけるマイクロバブルによる摩擦圧力損失に関する研究」，混相流学会年会講演会，pp186-187，2012.

高専教育への適用を目的とした 5 軸工作機械における CAD/CAM への取組み

尾野喬祐*　小野貴澄**　東義隆***　宮本猛****

Approach to CAD/CAM in Five Axis Machine Tools for Purpose of Application to College of Technology Education

Keisuke ONO*,Takazumi ONO**,Yoshitaka AZUMA*** and Takeshi MIYAMOTO****

ABSTRACT

5-axis machine tools has the superiority that their tools can take the various position by adding 2 rotary axis controls to ordinal 3 linear axis controlled machine. Then the tools can take the arbitrary posture against the machined work surface. In addition, because it can reduce the work reset when the processing procedure is changed, total automation processing becomes possible. It can expect that the processing cost is reduced largely. Therefore, the introduction of 5-axis machine tools advances in the company. The training is required that engineers can handle a 5-axis machine tools in college of technology. In this paper, the basic method of operation of 5-axis machine tools was mastered. The impeller was designed by CAD/CAM. Thereby technique of CAD/CAM was acquired. The impeller was processed with 5-axis machine tools, and that impeller processing technique of 5-axis machine tools was tried to improve. The above technique was packed as an operations manual.

Keywords: 5-axis machine tools, Impeller, CAD/CAM

1. 緒言

近年のマシニングセンタを用いた加工は，多品種少量生産や試作品加工を目的とした同時多軸制御による高速・高精度加工[(1)]が注目されている．教育現場におけるものづくり教育においても，3 次元 CAD/CAM を組み込んだ 3 軸マシニングセンタを始め，5 軸工作機械が導入されている．

5 軸工作機械は 3 軸制御に回転 2 軸を加えた 5 軸制御により自由度が増し，加工面に対して任意の工具姿勢をとることができる．また，段取り換えを削減できるため，加工の全自動化が可能となり，作業時間や人件費などの加工コストの大幅な削減が期待できる．したがって，企業では 5 軸工作機械などの NC 工作機械の導入が進んでおり，高専においては 5 軸工作機械を扱うことができる技術者の育成が大変求められている．その中で，平成 22 年 7 月に 5 軸制御高精度立型マシニングセンタが本校機械工場に導入された．

本研究では，5 軸工作機械の対話機能を用いた 3 軸加工を行うことにより 5 軸工作機械の基本的操作方法を習得した．さらに，CAD/CAM を用いてインペラを設計し，5 軸工作機械によるインペラの加工を行うことにより同時 5 軸加工技術の向上を図った．さらに，本科授業へ導入することを目的として 5 軸工作機械を用いた CAD/CAM の技術を習得するとともにマニュアル作成を行い，高専教育への導入について考察した．

2. 対話機能を用いた 3 軸加工

5 軸工作機械の対話機能[(1)]を用いて図 1 に示す φ99 の半球面を加工することによって，5 軸工作機械の基本的操作方法の習得を行った．

*　専攻科　機械システム工学専攻
**　本科　機械工学科
***　機械工学科　准教授
****　機械工学科　教授

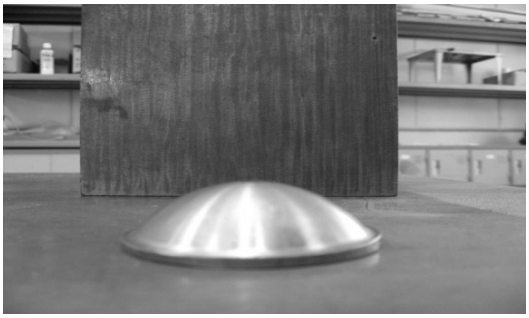


図 1　半球面

3. CAD による設計

CAD ソフトに SolidWorks2009 を用い，図 2 に示すφ50 のインペラを設計した．また，この CAD データが CAM ソフト（ESPRIT2011）との互換性があることは確認済みである．

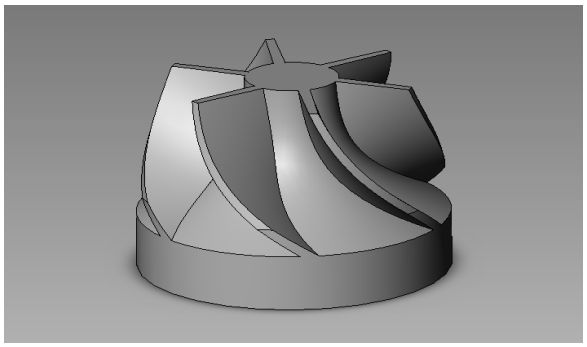


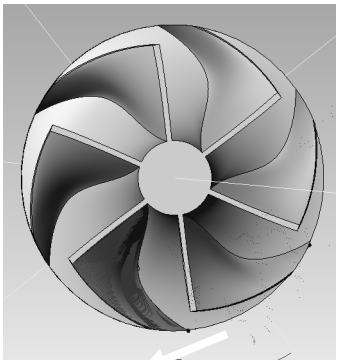
図 2　インペラの CAD データ

4. CAMにおける加工プログラムの改善

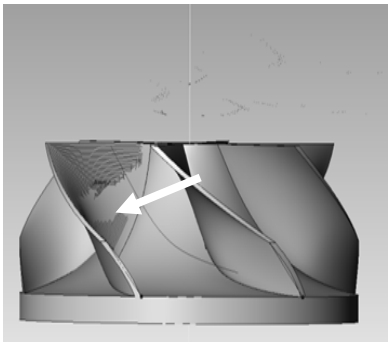
3 章において設計したインペラの CAD データを用いて，ESPRIT2011 において加工プログラムを作成した．ESPRIT2011 内のインペラ加工機能を用いることにより，大まかなインペラ加工プログラムを作成することが可能である．しかし，加工プログラムのムダや工具干渉などの細かな問題について，シミュレーションを行うことによって発見し改善することが必要である．以下に，シミュレーションにより発生した問題点とそれに対して改善した点[2]を示す．

4.1 羽根上面の仕上げ加工プログラムの改善　図 3 の矢印に示すように工具経路が，羽根上面一面にきれいに描かれておらず，途切れ途切れの加工プログラムが作成された．これは，加工面に対して工具を垂直に立てながら切削するよう制御していたため，隣の羽根との工具干渉を回避することによって加工することが出来ない部分が発生し，加工プログラムが途切れ途切れになったと考えられる．

改善方法として，工具姿勢を加工面に対し垂直に立てるのではなく，材料に XY 平面に対して垂直に工具を立てて切削し，図 4 の矢印のように改善された．インペラ加工機能内のオリエンテーションダイアログよりオリエンテーション条件を「モデルに垂直」から「固定ベクトル」に変更し，ベクトルを X : 0.000　Y : 0.000　Z : 1.000 に設定した．

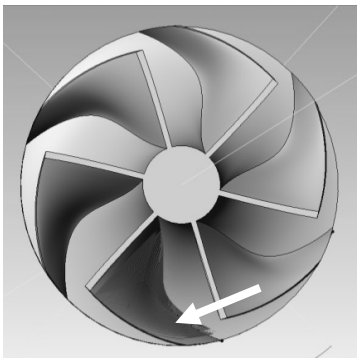


(a)　上から見た加工プログラム

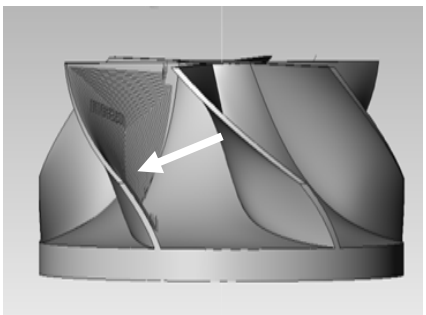


(b)　横から見た加工プログラム

図 3　改善前の羽根上面の加工プログラム



(a)　上から見た加工プログラム



(b)　横から見た加工プログラム

図 4　改善後の羽根上面の加工プログラム

4.2 羽根下面の仕上げ加工プログラムの改善

図 5 の矢印に示すようにインペラの羽根下面の仕上げ加工プログラムにおいて，工具経路がきれいに描かれていない部分が発生した. 4.1 節と同様に隣の羽根との工具干渉を回避するために生じた問題である．工具経路が欠けている部分の形状が手前の羽根の形状と同様であるため，手前の羽根との工具干渉回避によるものであると考えられる.

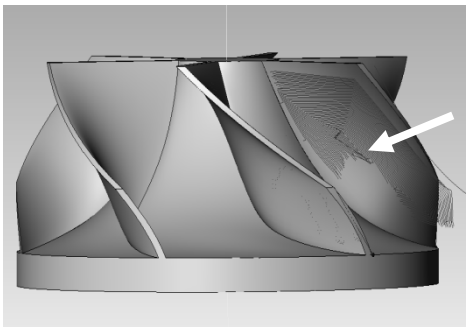


図 5　改善前の羽根下面の加工プログラム

改善方法として，図 6 のように羽根下面の外形線（太線）を X : 20.000　Y : -10.000 の位置にコピーし，このコピーした外形線上を工具が必ず通るように制御することにより，手前の羽根との工具干渉を回避することができた.

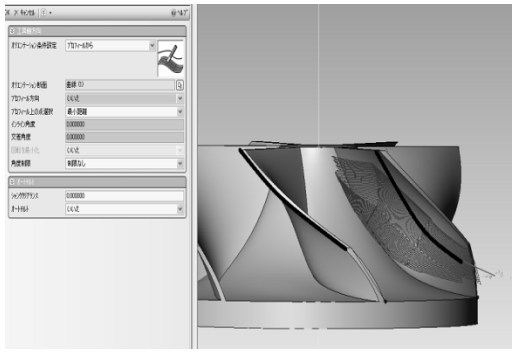


図 6　工具軸方向の設定（羽根外形線のコピー）

この結果，図 7 の矢印に示すように羽根下面の前面に工具経路がある加工プログラムが作成することができた．しかし，シミュレーションにより工具干渉を再度確認したところ，加工面に対して工具がかなり寝てしまう姿勢になり，羽根の一部を刃が無い工具のシャンク部で加工していることが確認できた. したがって，羽根下面の外形線をコピーする際に，コピー位置を X : 15.000 に変更した．これにより，隣の羽根との工具干渉を回避しつつ，工具をできる限り加工面に対して立たせて加工することが可能となった.

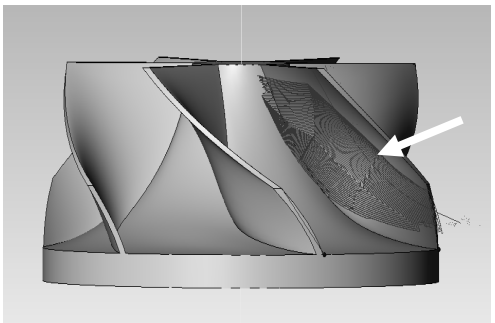
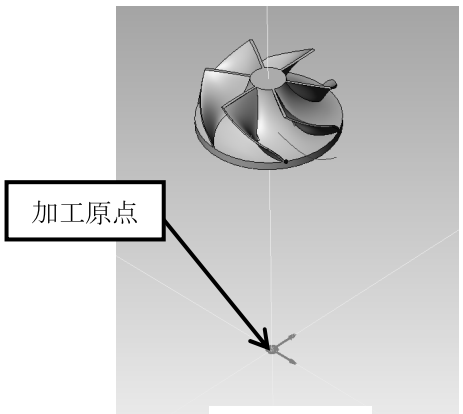


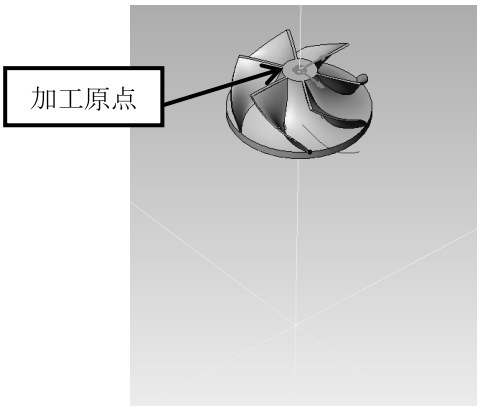
図 7　改善後の羽根下面の加工プログラム

4.3 加工原点の移動による心出し技術の向上

ESPRIT2011 において加工原点を X : 0.000　Y : 0.000 Z : 0.000 の位置に固定していたため，5 軸工作機械における芯出し作業の際に，タッチセンサを用いてテーブル上面で芯出しし，チャックと材料の高さの値から材料の高さを引いた値を後から加えることによって，ESPRIT2011 上の加工原点と 5 軸工作機械上の加工原点を同期させていた．これにより，計算ミスなどの人為的ミスの発生する可能性が高くなり，心出しを失敗するリスクが存在していた．しかし，ESPRIT2011 上に



(a) 改善前



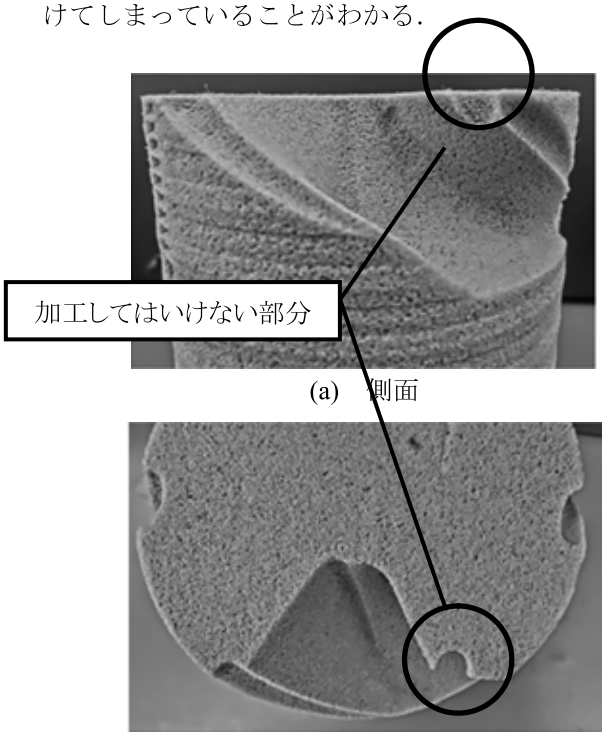
(b) 改善後

図 8　加工原点の変更

おいて加工原点をモデル上面に変更することが可能となったため，芯出し作業においても材料上面で芯出しすることが出来るようになった．これにより，前述したリスクが少なくなり，治具や材料の寸法誤差などの影響がなくなったため，より高精度な加工が可能になった．図 8 に改善前と改善後の加工原点の位置を示す．改善前ではモデルの下に加工原点マークが表示されているが，改善後ではモデル上面に加工原点マークが表示されていることがわかる．

4.4 ハブ面の仕上げ加工における工具干渉の改善

ハブ面の仕上げ加工開始時に，切削開始位置へ工具が垂直にアプローチすることにより，図 9 に示すように本来加工してはいけない部分を加工して羽根先端が欠けてしまっていることがわかる．



(a)　側面

(b)　上面

図 9　羽根先端の工具干渉

この問題の対策として，図 10 に示す ESPRIT2011 内のリンクダイアログのアプローチ方法を設定する際に，切削開始位置へのアプローチ方法を変更し，材料に対して角度をつけて工具を侵入させるようにした．角度は，円弧角度：30.0 度，円弧半径：5.0mm，垂直距離：2.0mm，接戦距離：0.0mm とした．

4.5 加工時間の短縮　前述した数々の問題点を改善した全加工プログラムを表示した．図 11 に全加工プログラムの工具経路を示す．図 11 より，インペラのモデルに対して工具経路の領域が大きく，非常に無駄な動きをしていることが考えられる．この加工プログラムの一つのハブ面を加工するのに要する加工時間は 4 時間 11 分 35 秒である．

図 10　リンクダイアログのアプローチ設定

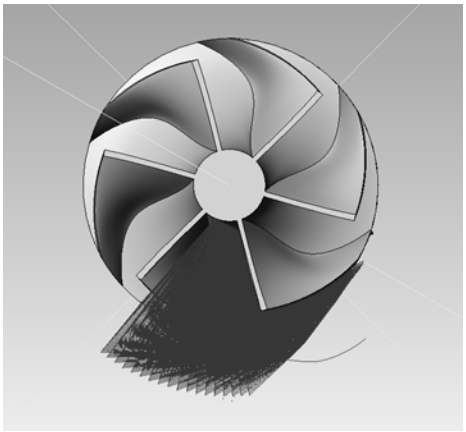


図 11　改善前の加工プログラムの工具経路

1 サイクルの加工が終わり，次の切削開始位置に工具を早送り移動する際に，工具を安全な位置まで，ゆっくりと十分に退避させてから，次の切削開始位置へ早送りさせていた．そこで，工具を安全な位置まで退避させる距離をできる限り小さくし，早送り運動の割合を多くした．これにより，図 12 に示すように工具経路全体が小さくなり，早送りを行う割合が多くなったことで加工時間が短縮された．一つのハブ面を加工するのに要する加工時間が 1 時間 55 分 30 秒に短縮され，54.2%の加工時間を削減した．

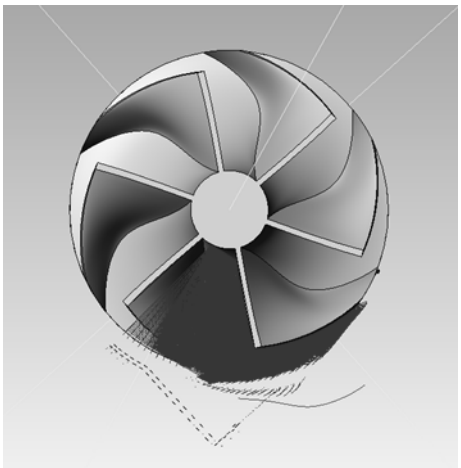


図 12　改善後の加工プログラムの工具経路

5. 5 軸工作機械を用いたインペラ加工

4 章において改善した加工プログラムを用いて，5 軸工作機械により加工した[3].

5.1 使用機械および工具　図 13 に 5 軸工作機械の外観図を示し，図 14 に使用した工具を示す．5 軸工作機械は，5 軸制御立型マシニングセンタ（NMV5000DCG）を用いた．また，工具にはφ6 のロングボールエンドミルを使用した．材料は材質がアルミ（A5052）のφ55×200 の棒材を使用した．

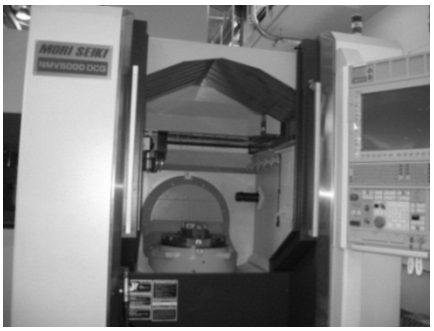


図 13　5 軸制御高精度マシニングセンタ

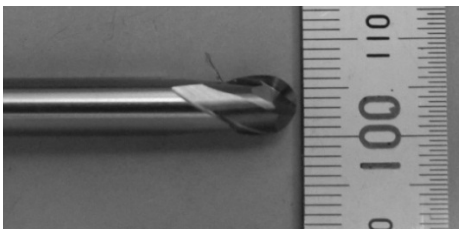


図 14　φ6 ボールエンドミル

5.2 5 軸工作機械を用いた加工　4 章で作成した加工プログラムを呼び出し，起動することによって加工を開始する．5 軸工作機械において加工したインペラを図 15 に示す．加工途中に図 15 の矢印部で工具が破損した．シミュレーションでは工具干渉を確認することはできなかったが，実際の加工では工具のシャンクが被加工物に接触し破損した．これは，工具長が長いため工具が振れ，被加工物と接触したと考えられる．そのため，工具の姿勢を加工面に対してさらに立てることで工具干渉を回避した．工具干渉を改善した加工プログラムによって加工したインペラを図 16 に示す．

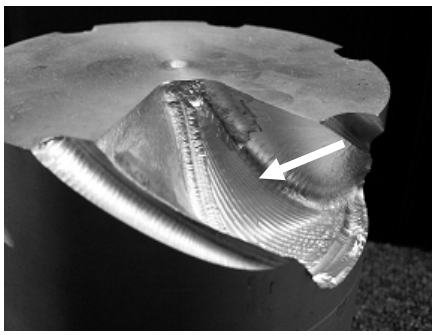


図 15　工具破損位置

図 1 と図 16 を比較すると，同様の形状の製品が削りだされていることから，加工プログラムに問題がなく，工具干渉が発生せずにインペラを加工することが出来ていることがわかる．しかし，仕上げ加工後においても図 13 のように仕上げ面が粗くなった．これは，工具長が長すぎ，工具が振れることによるびびりが原因であると考えられる．したがって，工具長を短くすることによって，びびりが解消されると考えられる．

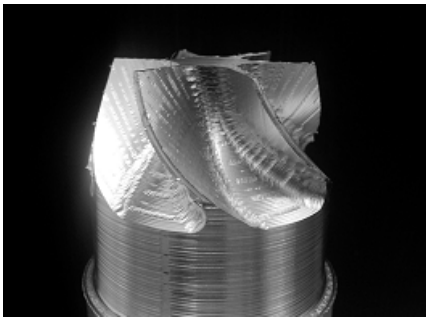


図 16　インペラ加工結果

6. まとめ

5 軸工作機械などの NC 工作機械の導入が企業で進んでいる中で，平成 22 年 7 月に 5 軸制御高精度立型マシニングセンタが本校機械工場に導入された．それ以来本校では，5 軸工作機械内の対話機能による 3 軸加工や CAD/CAM を用いたインペラなど同時 5 軸加工の習得を行い技術力を向上させた．

参考文献

(1)木原，長谷川，澤井「機械工学科　卒業研究　高専における 5 軸制御工作機械の適用」，神戸高専卒業論文，2011.

(2)山根「機械工学科　卒業研究　五軸工作機械によるインペラ加工」，神戸高専卒業論文，2013.

(3) 5 軸制御高精度立型マシニングセンタ（森精機製作所製　NMV5000DCG）取扱説明書.

鉄道レール研削機の開発
－ML ベルトの改良－

黒本達央*　宮本猛**

Development of Train Rail Grinding Machine
-Improvement of MLbelt-

Tatsuo KUROMOTO* and Takeshi MIYAMOTO**

ABSTRACT

The abrasive property of ML belts is superior to endless belts. In recent years, they are used for grinding a train rail. The train rail grinding machine has been developed and the abrasive property has been investigated with the ML belt. The train rail grinding with the ML belts is superior to the face grinding by grinding wheel at a point of Quantity and efficiency. In this study, the ML belt was improved with the target of more effective grinding. The 3B belt was a kind of the ML belt and was consist of Zirconium abrasive cloth and CBN abrasive cloth. The abrasion experiment using seven kinds of belts including this 3B belt was carried out and the quantity of abrasion was compared. The quantity to grind with the 3B belt which the ratio of Zirconium abrasive cloth and CBN abrasive cloth was 2to1 was most of all belts.

Keywords: multi layered belt, grinding, 3B belt, CBN

1. 緒言

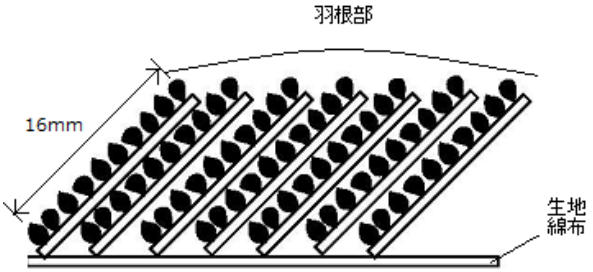
ML ベルト(Multi Layered Belt)は主に一般金属，ステンレス，自動研磨による連続運転を必要とする研磨などに用いられる．ML ベルトはベルト状の生地綿布周上に，砥粒が塗布された 16mm 丈の羽根を植え込む形で，積層構造になっている特徴がある．従来の研磨ベルトが生地綿布上に一層の砥粒しかなく，砥粒の摩耗にしたがって研磨力が低下していたのに対して，ML ベルトは加工物に接触している砥粒が摩耗しても，羽根部の綿布がほつれることで新たな砥粒が現れるため，切れ味の優れた鋭い研磨を続けることができる．そのため，ML ベルトは従来から使用されているエンドレス研磨ベルトの欠点とされていた耐久性，使い始めから廃棄交換寸前における減耗状態の大きな落差による研磨力の落ち込み，研磨肌の不安定さなどを補うことができる新しい構造の研磨ベルトである．これら ML ベルトのすぐれた特性を生かし，カップ砥石に代わり ML ベルトを用いる鉄道レール研削機[1]を開発してきた．また，砥粒や結合剤，綿布，羽根の植え込み角度などを変えた様々な種類の ML ベルトも開発しており，その一つに，ジルコニア砥粒の羽根に対して一定の割合で cBN 砥粒[2]の羽根が混在している 3B ベルトがある．

本研究では鉄道レール研削機の開発および ML ベルトの改良を目的とし，自動送り型鉄道レール研削機と手動送り鉄道レール研削機に 3B ベルトを適用し，ジルコニア砥粒の羽根に対して cBN 砥粒の羽根を一定の割合で混在させることの有用性及び，羽根部の綿布のほつれやすさの違いによる研磨量の影響を調べた．また，鉄道レール研削機で得られた結果をもとに，プラテン方式のベルト研磨機を使用し各種 ML ベルトの特性を調べ，より優れたベルトを開発するための基礎研究を行った．

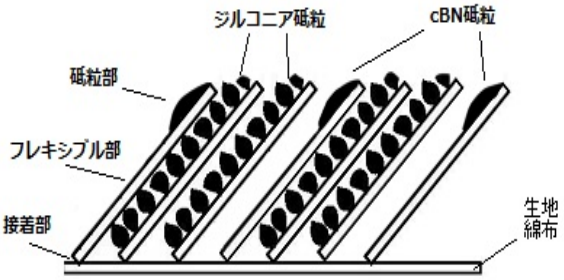
*　専攻科機械システム工学専攻
**　機械工学科教授

2. 実験装置

2.1 ML ベルト　ML ベルトは図 1(a)に示すように，ベルト状の生地綿布周上に，砥粒が塗布された 16mm 丈の羽根を植え込んだものである．3B ベルトは図 1(b)に示すように，cBN 砥粒の羽根がジルコニア砥粒の羽根に対して一定の割合で植え込まれている ML ベルトの一種である．“3B”とは cBN 砥粒の羽根が砥粒部・フレキシブル部・接着部の 3 部位で構成されていることを表している．



(a)ML ベルト模式図



(b)3B ベルト模式図

図 1　ML ベルト模式図

ML ベルトは図 1 のように羽根部綿布上に砥粒が接着されているため，砥粒の脱落に従って綿布がほつれていくことにより，新しい砥粒が現れる構造になっている．今回実験で用いた ML ベルトは図 2 に示す，Type①-a，Type①-b，Type②-a，Type②-b，Type③-a，Type④-a, Type⑤-a の 7 種類である. Type①-a, Type①-b は共にジルコニア#40 砥粒の羽根だけで構成されているが，それぞれの羽根部の綿布素材の違いにより“-a”はほつれやすく，“-b”はほつれにくい特性がある．Type②～Type⑤の違いは図 3 に示すように，ジルコニア砥粒の羽根の枚数に対する，cBN 砥粒の羽根の枚数の割合である．つまり，Type③-a は，ほつれやすい綿布であり，ジルコニア砥粒の羽根：cBN 砥粒の羽根＝3：1 で混在する 3B ベルトである．図 3(a)および(b)にジルコニア砥粒の羽根 : CBN 砥粒の羽根＝2 : 1 および 5：1 の 3B ベルトの例を示す．

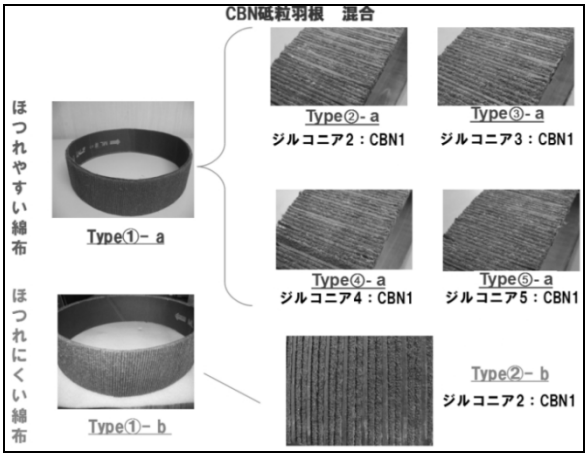
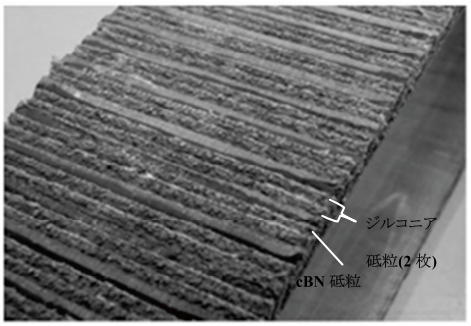
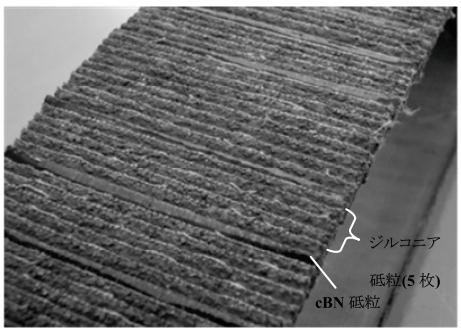


図 2　実験に使用した ML ベルト



(a)Type-②a



(b)Type⑤-a

図 3　ジルコニア砥粒の羽根と cBN 砥粒の羽根の割合

2.2 鉄道レール研削機　実験には企業と共同開発を行った自動送り型鉄道レール研削機と手動送り型鉄道レール研削機を使用した．自動送り型レール研削機を図 4，手動送り型鉄道レール研削機を図 5 に示す．

自動送り型鉄道レール研削機は，鉄道レールに本体を固定し，研削ヘッドが自動往復することで研磨を行う．この鉄道レール研削機の目的は，レール頭頂面の平滑化，レールのつなぎ目（遊間部）にできた垂れや表面にできた錆を取り除くことであり，研磨距離は最大 1500mm である．

手動送り型鉄道レール研削機は自動送り型鉄道レール研削機が 3 人がかりで運ばなければならないほど重

く不便であるという現場の声を参考に，2 人で運ぶことが可能な 35kg に抑え，重要部分のみを重点的に研磨できるように改良したタイプである．また，研削ヘッドのレールに対する傾きが変更できるようになっており，研削ヘッドの傾きによる鉄道レール遊間部の垂れ量への影響を調べた．

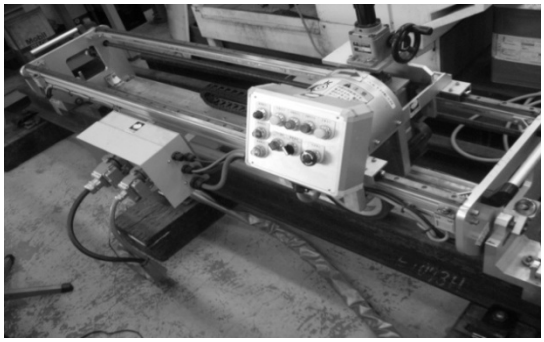


図 4　自動送り型鉄道レール研削機

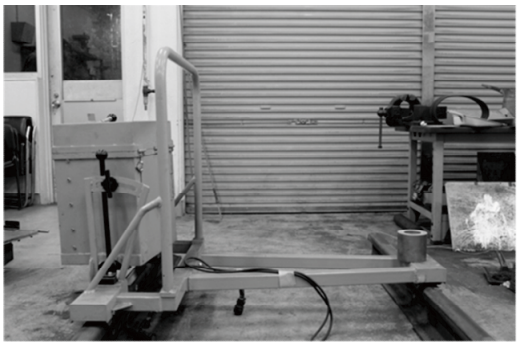


図 5　手動送り型鉄道レール研削機

ベルト研磨方式として図 6 に示すようにコンタクトホイール方式，プラテン方式，フリーベルト方式が挙げられるが，鉄道レール研削機は研磨量を多くすることを目的として自動送り型，手動送り型ともにコンタクトホイール方式を採用している．被研磨材は鉄道レールを使用する．成分は，S50C(機械構造用炭素鋼材：炭素含有量 0.50%)と化学組成がほぼ同一である．

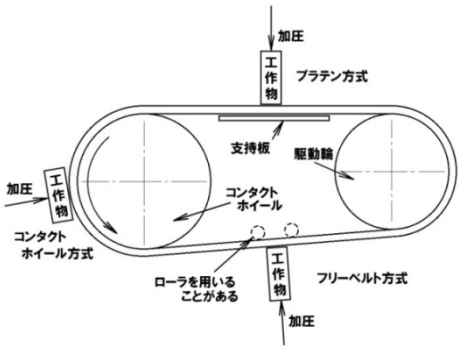


図 6　ベルト研磨方式

2.3 ベルト研磨機　被研磨材を平滑に研磨することを目的としてプラテン方式による研磨を行った．研磨装置は図 7 に示すように，ML ベルトを回転させるモータ，被研磨材を置くワークスペース，一定の圧力をかけることができる空気圧シリンダーで構成されている．

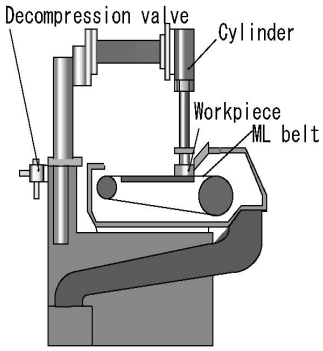


図 7　ベルト研磨機模式図

3. 実験方法

3.1 自動送り型鉄道レール研削機における研磨実験

本実験では綿布のほつれやすさの比較のため Type①-a と Type①-b，cBN 砥粒の羽根とジルコニア砥粒の羽根の混在比率の影響を調べるため Type②-a, Type③-a, Type④-a，および Type⑤-a の合計 6 種類の ML ベルトを用い実験を行った．この装置では，主動輪と従動輪に ML ベルトが巻きつけられ，主動輪に直結しているモータを駆動することで研磨が行える．その巻きつけられる ML ベルトの張力が 30N になるように設定し，図 8 に示すように鉄道レールの 0.5m の範囲を 10 分間，モータに 8A の負荷がかかるように切込みを調整しながら往復させた．研磨 10 分毎に，レールに開けた A～E の 5 ヶ所の穴の深さを測ることで，穴の深さの変化を研磨量とし，合計 30 分間行った．

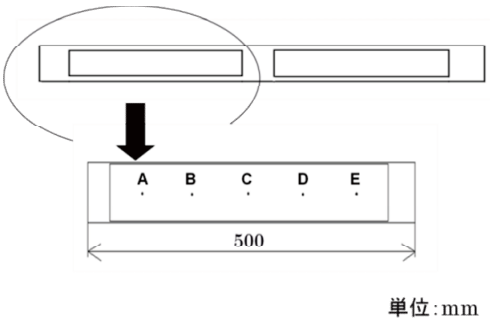


図 8　研磨量の測定地点

3.2　研削ヘッドの傾き角度による垂れ量への影響

枕木は使用せず，実験室に直接レールを設置し，図 9 に示すように，レール間隔（遊間部）を 10ｍｍにして，長さ 1ｍのレールを連結した．手動送り型鉄道レ

ール研削機を用いて研磨をおこない，研磨区間は遊間部を中心に前後 250ｍｍをとり，片道 500ｍｍを 300 往復した．研削ヘッドの傾き角度は図 10 に示すように研磨機ボックスが取り付けられている位置を変更することで，0°，10°，15°の 3 通りに設定し，それぞれ実験を行った．

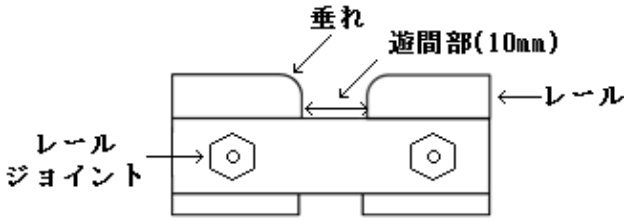


図 9　遊間部と垂れ部

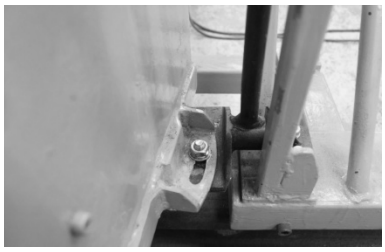


図 10　研削ヘッドの傾き角度の設定

3.3 プラテン方式における研磨実験　7 種類の ML ベルトを用い，ベルト研磨機により被研磨材を研磨した．研磨速度は本装置で効率的に研磨が行える 30m/s に設定した．被研磨材をベルトに押し付ける圧力は 0.05MPa である．300 秒ごとに，被研磨材の重さ（g）を測定し，その重さ変化を研磨量とした．モータに加わった電流を常時測定し，研磨による負荷電流とした．その他に研磨面の表面粗さを測定し，ML ベルトの表面性状および切りくずをマイクロスコープにて観察した．被研磨材には鉄道レールと組成が近いとされる 1 辺 55mm，厚さ 10mm に加工した S50C を使用し，表面粗さは被研磨材の真ん中と両端付近の 3 点を計測し，その平均値とした．

4. 実験結果および考察

4.1 自動送り型鉄道レール研削機における研磨実験

自動送り型鉄道レール研削機を用いて研磨を行った時の研磨量の結果を図 11 に示す．図 11 より，Type①-a，Type①-b よりも cBN 砥粒の羽根が植え込まれた ML ベルトの Type②-a～Type⑤-a の方が研磨量は約 3 倍程度多く削れることが分かった．コンタクトホイール方式を採用している鉄道レール研削機において cBN 砥粒の羽根を一定の割合で混在させることは有効であることが分かる．ほつれやすい綿布を採用している Type①-a の方がほつれにくい綿布の Type①-b より研磨量が多い．一方で，ほつれやすい綿布を採用している ML ベルトはほつれにくい綿布を採用している ML ベルトに比べ，羽根の飛散や布地のカスの排出が多く，長時間使用した時の耐久性の面では劣っていた．

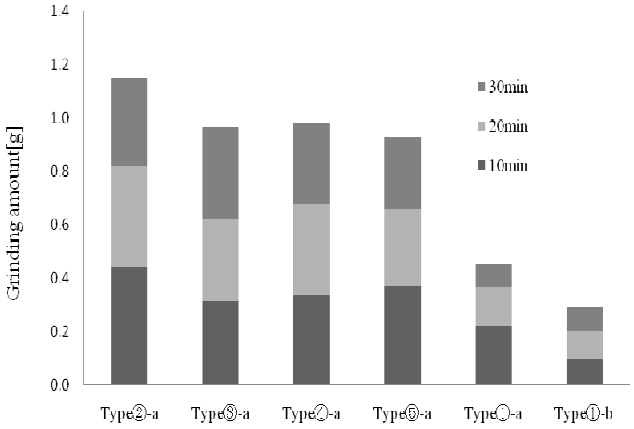


図 11　鉄道レール研削機における研磨

4.2 研削ヘッドの傾き角度における垂れ量への影響

研削ヘッドの傾き角度を 0°，10°，15°に設定し，Type②-a のベルトでそれぞれ 3 回研磨を行った．実験後，遊間部を粗さ計で計測し，その粗さ波形の最小値と最大値の差を垂れ量とした．図 12 にベルト角度 0°で実験を行ったときの測定結果を示す．図 12 より，この時の垂れ量は 133μm と測定された．同様にそれぞれ 3 回測定を行った結果，研削ヘッドの傾きが 0°のときの垂れ量は 156μm，10°のときは 133μm，15°のときは 130μm と測定された．

図 12 遊間部垂れ量

列車が通過する際，遊間部の垂れ量は少ない方がよく，研削ヘッドの傾き角度が 0°のときよりも，15°の方の垂れ量が少ないことから，研削ヘッドに傾き角度をつけることは有効であると言える．また，現場では 0.1mm 程度の面取りを行うため，今回の手動鉄道レール研削機を使用して接続部を研磨することによって発生する垂れ量は許容範囲であると言える．

4.3 プラテン方式における研磨特性　S50C の被研磨材をベルト研磨機を用いて各種 ML ベルトでそれぞれ 6 回，1 回につき 300 秒間研磨を行い，被研磨材の重さの変化，すなわち研磨量を量った．その結果を図 13 に示す．図 13 より，Type①-a と Type①-b，Type②-a と Type②-b とを比べると，-a の方の研磨量が多い．これは-a の羽根部の綿布がほつれやすいことにより，研磨に伴い新しい砥粒が次々と現れる効果が出ていると言える．また，Type①-a と Type②-a を比べると Type②-a の研磨量が 5 倍程度多い．混在する cBN 砥粒の羽根が影響を与えているためと考えられる．しかし，Type④-a と Type⑤-a を比べると cBN 砥粒の割合の少ない方が研磨量が多くなっていることから cBN 砥粒の割合が多いほど研磨量が多くなるわけではなく，今後はこの原因について調べる必要がある．

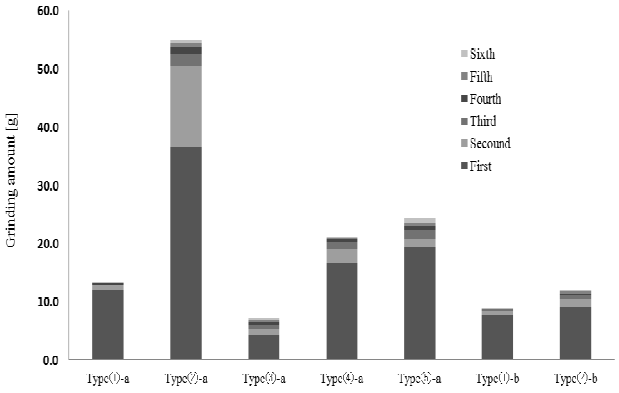


図 13　各種ベルトにおける研磨量

また，実験前後の ML ベルト表面を顕微鏡で観察した．実験前後のほつれやすい綿布（-a）の羽根部の拡大写真を図 14，ほつれにくい綿布（-b）の羽根部の拡大写真を図 15 に示す．実験前の ML ベルトでは，-a，-b の綿布双方とも，ジルコニア砥粒が綿布にきれいに接着されており，綿布自体はほとんど見えないが，実験後は-b のほつれにくい綿布ではジルコニア砥粒が目つぶれしている箇所（写真で白く光っている箇所）多く見受けられた．-a のほつれやすい綿布では綿布の横糸がほつれることで新しい砥粒が現われている．

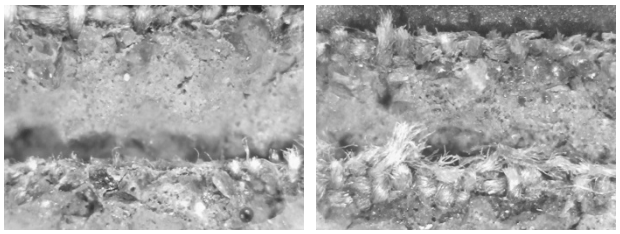


図 14　ほつれやすい綿布の羽根
研磨前(左)と研磨後(右)

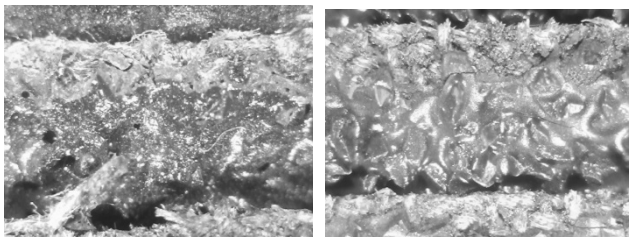


図 15　ほつれにくい綿布の羽根
研磨前(左)と研磨後(右)

5. 結言

本研究では，コンタクトホイール方式の鉄道レール研削機とプラテン方式のベルト研磨機を使用し，cBN 砥粒の羽根とジルコニア砥粒の羽根が一定の割合で混在した 3B ベルトを代表とする各種 ML ベルト 7 種類を使用し研磨実験を行った．以下に得られた結果を示す．

(1)鉄道レール研削機による鉄道レールの研磨量は cBN 砥粒の羽根が混在している 3B ベルトの方が混在していない ML ベルトよりも研磨量が多い．その中でもジルコニア＃40 砥粒の羽根：cBN 砥粒＃100 の羽根＝2：1 の 3B ベルトの研磨量が最も多かった．一定の割合で cBN 砥粒の羽根を混在させることが有効である．

(2)羽根部綿布がほつれやすい ML ベルトの方が研磨量は多く，綿布がほつれることにより鋭利な砥粒が継続して作用していると考えられる．しかし，綿布がほつれやすい ML ベルトは耐久性に劣る．

(3)鉄道レールの連結部の研磨では，研削ヘッドの傾き角度が 0°のときの垂れ量が 156μm だったのに対し，15°のときは 130μm と減少した．研削ヘッドに傾き角度をつけるのは有効であると言える．また，現場では 0.1mm の面取りを行うので，130μm という垂れ量は，許容範囲内であり，手動型鉄道レール研削機を鉄道レール連結部の研磨に使用することは有効であると言える．

参考文献

(1) 和田両磨，宮本猛，篠田憲幸，塗矢隆彦，札谷全啓：「鉄道レール研削機の開発と研削特性について」，日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会，pp. 2011-2012, 2012.

(2) VSM, “Diamond and CBN Abrasives ”, Quality Abrasives, 2012.

動画像からの対話的な情報抽出

石山佳史*　　戸崎哲也**

Interactive Extraction of Significant Information from Fixed Observation Camera

Keishi ISHIYAMA*　　Tetsuya TOZAKI**

ABSTRACT

The movies taken by the fixed video camera have been used to recognize to some significant informations. In this study, we propose the method that can extract the significant informations such as colors or moving directions from the movie data taken by fixed observation camera. Firstly, we extract only moving objects based on wavelet decomposition. Wavelet decomposition is a method to analyze time and frequency at once. Secondly, we analyze the feature of moving objects. The contents of analysis are colors, the movements and the moving directions. For the color determinant we use the color circle. We calculate the movement and the moving direction are calculated by presuming optical flow. We extract the target whose characteristics are given interactively. Finally we show the effectiveness of our method by the experimental results.

Keywords : wavelet decomposition, optical flow, labeling

1. はじめに

ビデオカメラにより撮影された映像は，一般的には旅行や催しの思い出の記録，あるいは動物や植物などの生態や自然風景をとらえておくなど，色々な場面で幅広く利用されている．これら映像には，人物や物体の動きや風景が記録として保存されるので，そこから何らかの情報を取り出すことによって様々な方面に利用することが可能であると考えられる．例として，防犯カメラの映像から犯人を特定したり，未然に犯罪を防止する事例，高速道路上に設置したカメラから特定の車を認識する事例等が挙げられる．このような動画像情報は，常時物体を映し出しているため多くの情報を有し，この中から必要な情報のみ抜き出して利用することが効果的であるとされる．しかし，情報量が莫大であるため，要素を特定するために必要な情報を限定的に取り出すには相当な労力を必要とする．そこで本研究では，ユーザが様々な特徴を対話的に与え，動画像からそれに合致する情報を自動的に抽出する手法の開発を目的とする[(1)]．本稿では，ユーザが提示する情報として色，対象物体の移動量／移動方向について検討を行ったのでその報告を行う．

映像情報から特定情報を抽出する手法は，以下のとおりである．まず，動画像から移動物体のみを取り出す．ここでは，動画像を時間方向に積み上げた 3 次元データとしてみなし，時間軸方向に画像列を周波数解析し高周波成分に相当する部分を移動物体と考える．周波数解析には，ウェーブレット分解を用い，これにより得られた高周波成分を取り出すことで移動物体の検出を実現する．次に，移動物体の特徴解析を行う．考慮する特徴は色，移動量・移動方向である．色の情報に関しては色相環と呼ばれるものを用いる．また，移動量・移動方向に関してはオプティカルフローを推定して導出する．最後に関心領域を限定して観察できるよう関心領域の切り出しを行う．関心領域ごとに矩形領域を取り，この領域内にのみ 2 値化を施す．

本論文の構成は次のとおりである．2 章では移動物体の検出や色の特定，および移動量・移動方向の特定に関する手法について述べ，3 章では 2 種類の動画像に対して適応した結果を述べ，4 章ではその考察を行い，5 章で本報告のまとめを行う．

*　専攻科 電気電子工学専攻
**　電子工学科 准教授

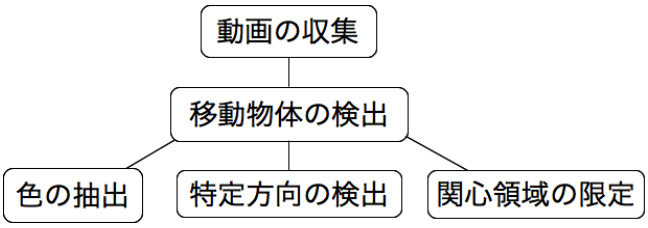


図 1　システムの流れ

2. 手法

2.1 手順　図 1 に本研究で提案するシステムの流れを示す．撮影された動画像に対してウェーブレット分解を用いて移動物体を検出する．これにより，背景を除去して移動物体のみを検出することが可能となる．さらに，検出された移動物体から色の抽出，移動方向の検出を行い，それらを解析する．また，移動物体には個別にラベルを付与し，与えられたラベルごとに矩形領域を設け，関心領域を限定して重点的に観察できる機能を設ける．

2.2 移動物体の検出　移動物体の検出には，ウェーブレット分解を用いる．動画像を時間方向の画像列とみなし，時間軸方向に画像列を追跡すると，画素値に関する時系列信号が得られる．この時系列信号の画素値は，移動物体の境界付近で急激に変化する時点がある．この変化をウェーブレット分解の高周波成分としてとらえることができ，これを各座標に対して行うと，移動物体の輪郭が得ることができる．つまり時系列信号を分解して高周波成分を取り出すと，移動物体の検出ができる．これを基に移動物体検出フィルタを作る．また，今回は 2 次の Daubechies ウェーブレットを用いる．このウェーブレットを用いる理由は，連続関数であり，必要なフレームが少ないからである．

座標(k,l)における時系列信号$\{C_{k,l}^{1}(t)\}_{0\le t\le T}$をウェーブレット分解すると，低周波成分と高周波成分はそれぞれ式(2.1)，式(2.2)で表される．

$$C_{k,l}^{0}(\mathrm{t}) = \sum_{\tau} \alpha_{\tau-2t}\, C_{k,l}^{1}(\tau) \qquad (2.1)$$

$$D_{k,l}^{0}(\mathrm{t}) = \sum_{\tau} \beta_{\tau-2t}\, C_{k,l}^{1}(\tau) \qquad (2.2)$$

このときτの動く範囲は$0 \le \tau - 2\mathrm{t} \le 3$となり，τのとりうる値は 2t,2t+1,2t+2,2t+3 となる．これは低周波画像$C^0(t)$と高周波画像$D^0(t)$を得るのに 4 つの画像フレーム$C^1(2t), C^1(2t+1), C^1(2t+2), C^1(2t+3)$が必要であることを意味する．次の低周波画像$C^0(t+1)$と高周波画像$D^0(t+1)$は，因子 2 でサンプリングされるので，4 つの画像フレーム$C^1(2t+2), C^1(2t+3), C^1(2t+4), C^1(2t+5)$から計算する．また，ここでの$\alpha$はスケーリング関数，$\beta$はウェーブレット関数と呼ばれる．$\alpha_n$,$\beta_n$は文献(2)より表 1 の通りとなることが示されている．

表 1　N=2 のときのα_n,β_n

n	α_n	β_n
0	0.482962913145	-0.129409522551
1	0.836516303738	-0.224143868042
2	0.224143868042	0.836516303738
3	-0.129409522551	-0.482962913145

ある時間帯において，ある座標における画素値が一定の値を保っていれば，その時間帯のその場所は背景領域，逆に画素値が変動していると，その時間帯のその場所は動領域であると考えられる．上述の方法で画像列をウェーブレット分解することで，高周波画像列が得られる．1 つの高周波画像は 4 つの画像フレームにわたる画素値の変化をとらえることを意味している．また，この分解では因子 2 のサンプリングがされてきたので，原画像フレームが時間方向に 1 ずれると，元と異なる高周波成分が得られる．偶数番目のフレームから出発して分解すると式(2.3)，奇数番目のフレームから出発して分解すると式(2.4)で表される．

$$\widetilde{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t}) = \sum_{\tau} \beta_{\tau-2t}\, C_{k,l}^{1}(\tau) \qquad (2.3)$$

$$\widehat{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t}) = \sum_{\tau} \beta_{\tau-2t}\, C_{k,l}^{1}(\tau+1) \qquad (2.4)$$

移動物体を検出するためのフィルタを次の手順によって作成する．最初に式(2.5)を用いて高周波成分$\widetilde{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t})$の二値化を行う．

$$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}) = \begin{cases} 1, \left|\widetilde{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t})\right| > \theta \\ 0, \text{その他} \end{cases} \qquad (2.5)$$

ここでθは閾値である．$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t})$は高周波成分$\widetilde{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t})$が$C^1(2t)$から始まる 4 つの原画像フレーム$C^1(2t), C^1(2t+1), C^1(2t+2), C^1(2t+3)$から計算されることを意味する．同様にして，$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t})$の時間 t を 1 だけ進めた$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}+2)$を用意する．式(2.6)に示すように，ここまでで得られたフィルタ$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t})$と$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}+2)$の論理積を取る．

$$F_{k,l}^{(2)}(2\mathrm{t}+2) = F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}) \wedge F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}+2) \qquad (2.6)$$

図 2 は$F_{k,l}^{(4)}(2\mathrm{t}+2)$の構成をまとめたものである．次に，式(2.7)を用いてもう一つの高周波成分$\widehat{D}_{k,l}^{0}(\mathrm{t})$の二値化を行う．

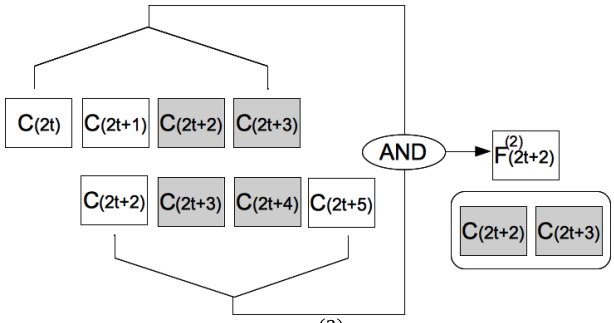


図 2 フィルタ$F_{k,l}^{(2)}(2\mathrm{t}+2)$の構成

$$F_{k,l}^{(4)}(2t+1)=\begin{cases}1, \left|\hat{D}_{k,l}^{0}(t)\right|>\theta \\ 0, \text{その他}\end{cases} \quad (2.7)$$

先程と同様に$F_{k,l}^{(4)}(2t+1)$は高周波成分$\hat{D}_{k,l}^{0}(t)$が$C^1(2t+1)$から始まる 4 つの原画像フレーム$C^1(2t+1), C^1(2t+2), C^1(2t+3), C^1(2t+4)$から計算されることを意味する．またここでも時間 t を 1 進めたフィルタ$F_{k,l}^{(4)}(2t+3)$を用意し，式(2.8)に示すように$F_{k,l}^{(4)}(2t+1)$と$F_{k,l}^{(4)}(2t+3)$の論理積を取りフィルタを構成する．

$$F_{k,l}^{(2)}(2t+3)=F_{k,l}^{(4)}(2t+1)\wedge F_{k,l}^{(4)}(2t+3) \quad (2.8)$$

次に式(2.6)と式(2.8)で得られたフィルタ$F_{k,l}^{(2)}(2t+2)$と$F_{k,l}^{(2)}(2t+3)$の論理積を取り，新たにフィルタを式(2.9)で構成する．

$$F_{k,l}^{(1)}(2t+3)=F_{k,l}^{(2)}(2t+2)\wedge F_{k,l}^{(2)}(2t+3) \quad (2.9)$$

こうして 1 フレーム$C^1(2t+3)$において動領域を取り出すことができる．図 3 にフィルタ$F_{k,l}^{(1)}(2t+3)$の構成をまとめる．これを繰り返すことで動領域の検出を行う．

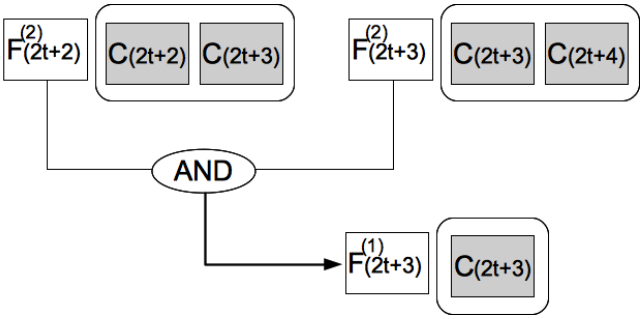


図 3 フィルタ$F_{k,l}^{(1)}(2t+3)$の構成

2.3 色の抽出　色は，HSV 色空間（色相・彩度・明度）からなる．色相とは色味の違いのことで赤・緑・青・黄・紫などがある．彩度は色の鮮やかさ，つまりカラーのことを表す．彩度が上がると色がカラフルになり，反対に彩度が下がると白黒に近づく．明度は色の明るさのことで明度が上がるとだんだんと白っぽく，反対に明度が下がると暗くなる．これら 3 つの値を各々で変化させることで色に違いが出る．

図 4　色相環

色の抽出は色相を用いることにした．図 4 のように色相を円状に並べ，各色の間にそれぞれに相当する中間色を加えたものが色相環[3]と呼ばれており，1 周で元の色に戻るので色の分割をしやすいからである．

画像を読み込む際，色の情報は初めに赤緑青の RGB（3 原色）で認識される．RGB のままでは色相の利用ができないために，事前に RGB から HSV へ変換を行う．明度と彩度はここでは変化をさせないために，そのままにする．色相環は 360 度で 1 周して元の色に戻るので，360 度の間を等間隔で分割し 12 色の中から色を選択できるようにする．例えば，0 度が赤とされているのだが，その「赤」を取り出したい場合は 0 度の前後 15 度ずつを含めた 30 度の範囲を「赤」として抽出する．他の色も同様に 30 度ずつに範囲としている（12 色：赤，赤橙，黄橙，黄，黄緑，緑，青緑，緑青，青，青紫，紫，赤紫）．

2.4 移動方向の検出　オプティカルフローを推定することで，物体の移動方向の検出を行う．オプティカルフローとは，時間が連続する画像列を用いて，物体の動きをベクトル化するものである[4]．時刻 t において点(x,y)の輝度を$\rho(x,y,t)$とし，微小時間δt後の移動点を$(x+\delta x, y+\delta y)$とする．物体上の輝度は不変であるとすると(2.10)が成り立つ．

$$\rho(x,y,t)=\rho(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) \quad (2.10)$$

(2.10)の右辺をテイラー展開すると(2.11)の式が得られる．

$$\rho=\rho+\frac{\partial\rho}{\partial x}\delta x+\frac{\partial\rho}{\partial y}\delta y+\frac{\partial\rho}{\partial t}\delta t+O(\delta x,\delta y,\delta t) \quad (2.11)$$

ここで$O(\delta x,\delta y,\delta t)$は$\delta x,\delta y,\delta t$に関する 2 次以上の高次項であり，微小であるとして無視する．両辺をδtで割ると(2.12)が導かれる．

$$\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\delta x}{\delta t}+\frac{\partial\rho}{\partial y}\frac{\delta y}{\delta t}+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0 \quad (2.12)$$

δtの極限として$\delta t\to 0$とすると(2.12)は(2.13)に置き換えられる．

$$\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{dx}{dt}+\frac{\partial\rho}{\partial y}\frac{dy}{dt}+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0 \quad (2.13)$$

ここでオプティカルフローの速度成分(u,v)，空間的な輝度勾配ρ_x,ρ_y，時間的な輝度勾配ρ_tを(2.14)のようにおくと(2.13)は(2.15)のように表される．

$$u=\frac{dx}{dt}, v=\frac{dy}{dt}, \rho_x=\frac{\partial\rho}{\partial x}, \rho_y=\frac{\partial\rho}{\partial y}, \rho_t=\frac{\partial\rho}{\partial t} \quad (2.14)$$

$$\rho_x u+\rho_y v+\rho_t=0 \quad (2.15)$$

しかし(2.15)だけではオプティカルフローを一意に決定することができず，もう 1 つ拘束条件が必要である．そこで，同一物体の濃度パターン上の局所領域においては，オプティカルフローは一定であるとする．すなわち(2.16)を仮定する．

$$\frac{\partial(u,v)}{\partial x} = \frac{\partial(u,v)}{\partial y} = 0 \qquad (2.16)$$

(2.15)と(2.16)の 2 つの拘束式から誤差 E は(2.17)で表される．

$$E = \sum_x \sum_y \left(\rho_x(x,y,t)u + \rho_y(x,y,t)v + \rho_t(x,y,t)\right)^2 \quad (2.17)$$

(2.17)の評価関数が最大となるようにオプティカルフローの速度成分 u,v を決定する．このオプティカルフローを特徴点の移動ベクトルとする．

2.5 関心領域の限定　注目する領域を 1 物体に限定することで，より重点的に観察することができる．得られた領域から関心領域を選択し，その領域のみに 2 値化処理等の動画像処理を施す．こうすることで領域を限定して個体を抽出することができる．

3. 実験結果

動画を使用し，移動物体の検出，色復元，物体の個数判別，色の抽出・移動方向の検出を行った．なお，カメラによるブレは考慮しない．

3.1 使用動画　特徴抽出のために 2 つの動画を使用した．図 5 はそれぞれの動画の 1 フレームを抜き出したものである．(a)は 4 人の人物に異なる色の服を着てもらい左右方向へ移動する様子を意図的に撮影した動画，(b)は撮影が意図的でない NHK クリエイティブ・ライブラリー(http://www1.nhk.or.jp/creative)でダウンロードしたミラノの横断歩道の動画の 2 種類である．(a)は 10 秒 295 フレーム，(b)は 15 秒 463 フレームである．


(a)意図的に撮影した　(b)撮影が意図的でない

図 5　動画の 1 フレーム

3.2 移動物体の検出　ウェーブレット分解を用いた移動物体の検出を行った．その様子を図 6 に示す．図から背景が取り除かれ，移動物体のみを検出出来ていることが確認できる．どちらの画像も移動している人物，車以外でも背景の一部が細かい部分で残ってしまったり，頭や足元などの暗い部分などで動いているのに検出できていない部分がみられたりしてしまった．また，(b)の実際の映像では奥で人が動いているが，物体が小さすぎるためにうまく検出はできていないように見て取られる．これは小さい画素がフィルタリングされてしまうからである．ノイズが残っているため特徴抽出の際の障壁となってしまう可能性がある為，1 回の収縮と 3 回の膨張による処理を行った．


動画(a)　動画(b)

図 6　移動物体のみを抜き出した画像

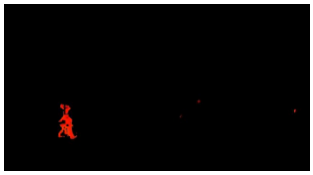
3.3 移動物体の色復元　先ほどの画像に元々付いていた色をつけた．撮影した動画のフレーム（元画像）と移動物体を検出した画像（処理後画像）の画素値の論理積を取ることで，処理後画像のある座標が白色であれば元画像の色が塗られ，背景と認識された黒色の座標ならばそのまま黒色とした．図 7 はそれぞれの動物体に対して実際に色をつけたものである．この画像から元の色が復元されていることが確認できる．ただしノイズの影響が大きいためか(b)の復元画像に粗さが残る．


動画(a)　動画(b)

図 7　色を復元させた画像

3.4 物体の個数判別　物体の個数を判別するために，ラベリング処理[5]を行った．図 7 の画像をそれぞれラベリングした所，ラベル数は(a)が 4, (b)が 6 となった．画像と比較したところ，実際の人数と合致しており正確に計算されていると考えることができる．ノイズによって両画像ともこれ以上のラベル数が計数されていたのだが，それを考慮して今回は画素数 400 を閾値とし，閾値以下のものはラベルとして考慮しなかったために，ラベル数がこの結果となった．また，(b)の動画は(a)と比べて正確にラベル数が計数できていないフレームが多く見られた．

3.5 色の抽出　移動物体を検出した画像から指定した色を取り出した．2.3 章の 12 色から(a)の画像では紫色，(b)の画像では赤色を選択した結果が図 8 である．

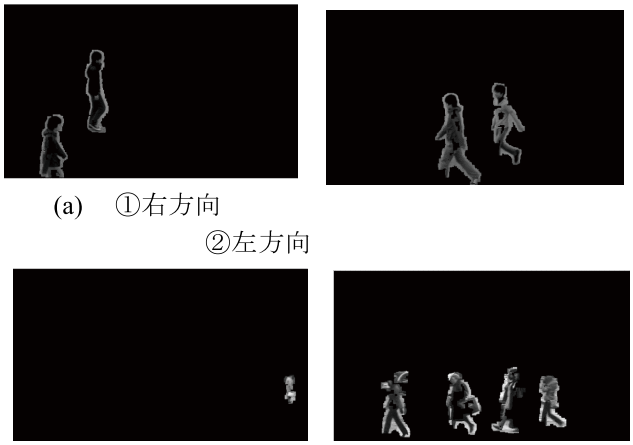



(a)の画像から紫を抽出　(b)の画像から赤を抽出

図 8　特定色の抽出結果

結果画像から，(a)では左端の紫色の服の人物の紫色が主に抽出，(b)では左端の赤い服の人物の赤色が主に抽出され，色が十分取り出されているといえる．特定色が抽出出来たため，ここでいう紫色の服の人物，赤い服の人物の特定につなげることができる．ただし，色相による色抽出では(a)の中央の人物のような白や黒，灰色というような色味のない色の抽出はできないことがわかった．

3.6 移動方向の検出　3 次元データ化した動画から 2 つのフレームを用いてオプティカルフローを導出する．ここでは空間最適化法によって求められるオプティカルフロー全てから，右方向のベクトルを正方向として，ラベルごとに方向の平均をとった．平均が正の場合は右方向，負の場合は左方向にそれぞれ物体が移動しているという判定をここで用いて，右方向へ動く物体，左方向に動く物体それぞれを抽出した．その結果が図 9 である．どちらの画像も，元動画を比較した所，移動物体の方向に間違いはなく，指定した方向の物体が正しく抽出出来ていることが確認できる．



(a)　①右方向　②左方向

(b)　①右方向　②左方向

図 9　指定方向に動く物体を抽出した結果

図 10 領域を限定した結果

3.7 関心領域の限定　注目領域の最小座標，最大座標から矩形領域をとった．その後この領域のみに二値化処理を行った．その結果が図 10 である．図より特定の関心領域が良好に抽出処理できていることが確認できる．

4. 考察

まず，動画から得られたフレームごとの画像をウェーブレット分解することによって，移動している物体だけを画像に残すことができることがわかった．しかしこの状態ではノイズが残されてしまうことから二値化や拡大縮小といった画像処理が必要となった．処理の結果，意図的に撮影した図 3.1(a)の動画は比較的良好に移動物体が取り出されていたのに対し，(b)の動画ではノイズが多く残った．小さい領域はフィルタリングされるため，これはカメラ奥で移動しているような小さい物体の移動が主な原因と考えられる．

ラベリング処理によって，対象である物体を計数することができることがわかった．しかしラベリングするにおいて 2 値化の処理を通さなければならないため，物体が暗すぎる場合などはラベルの数のぶれがあり，正確に対象である物体数を計数できないフレームも見つけられた．また，ある程度の画素数以下を無視することで，ノイズの計数を回避することができた．しかしその分小さな物体には対応できないため，現行のプログラムでは比較的手前の物体以外は対応しづらい仕様であると考える．また，動画(a)でのラベリングはどのフレームでも比較的良好であったが，(b)の動画は(a)と比較すると正確なラベル数の取れないフレームも多く見られた．背景に映る人物が微小な動作をしたためと考えられる．

(a)(b)どちらの場合も検出した画像に元の色を正確に復元することができることを確認でき，色相環をもとに指定した 12 色から服の色を抜き出すことができたが，暗い色のような無彩色は色相を用いた特定色の抽出では抜き出すことが不可能であることも分かった．これは，明度の度合いにフィルタをかけることで白や黒，灰色を表現できると考えられる．また，取得したラベルからフィルタリングをして，対象色が多く含まれないノイズとなる部分について除去をすることで，物体個々の色抽出も可能であることから，色抽出が利用できることも分かった．

オプティカルフローの推定と，与えられたラベルを用いることによって，指定した方向へ移動する物体の抽出ができることを(a)(b)の動画両方の結果から確認できた．また，オプティカルフロー推定や，ウェーブレット分解において個々の処理に長い時間を要してしまっていることが問題点として挙げられる．

5. まとめ

意図的に撮影した動画，Web 上で公開されている任意の動画の 2 つをそれぞれフレームごとに分割し，ウェーブレット分解によって移動物体のみを取り出した．そこから二値化・ラベリングといった処理をすることでノイズを除去した．また与えられたラベリングによって物体数の計数を行った．ここまでで得られた情報から色の抽出，移動方向の検出を行ったところそれぞれの特徴を抽出することが出来た．最後に関心領域を限定してその領域を重点的に観察できる機能を設けたところ，与えられたラベルによって注目領域を指定して 2 値化することでその領域に限定した処理ができるようになった．

考えられる課題として，色の抽出においては，色相環を用いた 12 色では色の表現に限界が有ることがわかっており，黒や白といった彩度の低い色の抽出ができるように進めている．次に物体の計数である．今回はラベリングによって物体を計数したが，物体が重なりあった場合に 1 つの物体としてラベルが振られてしまうために，物体分別のためには他の手法を考える必要がある．また，(b)の動画においては背部のノイズが多かったこともあり，物体が 2 つに分けられたり，ノイズ対策のために画素数の小さいものは画像から除去したことによって小さく映る物体は特徴抽出に利用できなかったりと，ラベリングをするまでに問題点が多かった．撮影条件を限定することで解決を進める．もう 1 つの特徴抽出として移動方向の検出を行ったが，こちらは両動画ともに良好な結果が得られたと言える．ウェーブレット分解で移動物体の抽出，オプティカルフローの推定では指定方向へ移動する物体の抽出を実現できたが，この２つの処理をするためには多くの計算時間を要する．そのため，並列処理等のアルゴリズムの導入が有効と考えられる．

参考文献

(1) 石山佳史・戸崎哲也：「動画像からの対話的な情報抽出法の検討」，平成 24 年電気関係学会関西連合大会講演論文集，pp.459，2012.

(2) 新島耕一：「ウェーブレット画像解析」，科学技術出版，1999.

(3) コニカミノルタ：「マンセル表色系」，
http://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/part1/09.html
(閲覧2013/09/27)

(4) 三池秀敏・古賀和利：「パソコンによる動画像処理」，森北出版，1993.

(5) 酒井幸市：「ディジタル画像処理入門」，コロナ社,1997.

ペーパークラフト風車を用いた実験教材の開発

藤本 健司*　　早稲田 一嘉**

Development of Experimental Teaching Material Using Windmill of Papercraft

Kenji FUJIMOTO*　Kazuyoshi WASEDA**

ABSTRACT

In recent years, a decrease in motivation of learning, has become a problem in the College of Technology and Engineering of the University. In order to resolve this problem, measures are needed from the lower grades. However, to educate both theory and actual practice at the same time for student who have less technical skills is difficult in introductory education. In this study, we developed the experimental teaching material for college student, using horizontal axis wind turbine generator paper model and Arduino compatible system board.
The teaching material provides the experience about a method of developing the optimal airfoil design of the wind turbine rotor blade with assembling the original wind turbine paper model. And it provides the learning opportunity about a method of developing the simple data acquisition system by using Arduino compatible system board.

Keywords: engineering teaching material, arduino, windmill

1. はじめに

近年，工業製品の多くは，1 つの専門分野だけで開発できるほど単純なものではなく，ユーザの要求に対応するため，多くの専門分野が関わり，製品を生産開発しているのが現状である．しかし，将来これらの生産開発に関わることになるであろう大学工学部や高等専門学校（以下高専）の学生のほとんどが自分たちの専門分野が実際どのように関わっているかということを理解できていない．また，自分たちの専門知識がどのように実践に活かされるのかが分からないことで学習へのモチベーションが維持できないケースも見られる．

これは，大学工学部や高専でのエンジニア教育において，「理論と実践」両方の教育として，「講義（座学）と実験実習」を同時並行的に進めていく形が望ましいが，実際は入学直後など低学年においては本格的な専門技術が伴っていない状態の学生がほとんどであることから，講義が中心になってしまい，学生らが実践的な工学を実感できない教育となってしまうことが原因であると考えられる．つまり，導入教育などの最中に実践的なものづくりを含む内容を盛り込んだ「理論と実践」を同時並行に進める授業を提供するということは非常に困難である．

このような状況の中，エンジニアを育成する可能性のひとつとして，機械，電気および電子系学科の学生などに自分の専門分野と違う技術に触れる機会を広く提供できるような実験教材が開発できれば今までに述べた問題点が解決できるのではないかと考えた．

そこで，本研究では，以下の 3 点を満たしている実験教材としてペーパークラフト風車（ハードウェア教材）と Arduino（ハードウェア＆ソフトウェア教材），及び Processing（ソフトウェア教材）を組み合わせた風力発電実験教材の開発を行い，高専や大学の低学年向けに提供することを目的とする．

(1) 機械，電気，電子など複合分野の知識を利用している製品
(2) ハードウェアとソフトウェアについて学べる
(3) 今後拡張が見込めるものである

2. 実験教材用デバイス及びツール

提案する実験教材は，大きく分けるとハードウェア教材とソフトウェア教材の 2 種類である．ここでは，これらの教材に使用するデバイスやツールなどについ

* 電子工学科 准教授
** 機械工学科 准教授

て説明を行う．

2.1 ペーパークラフト風車　今回用いるペーパークラフト風車は本校機械工学科早稲田研究室で作成されているもの[(1),(2)]を使用する．実際の風車の概略図を図 1 に，ペーパークラフト風車の外観とその内部構造を表したものを図 2 に示す．

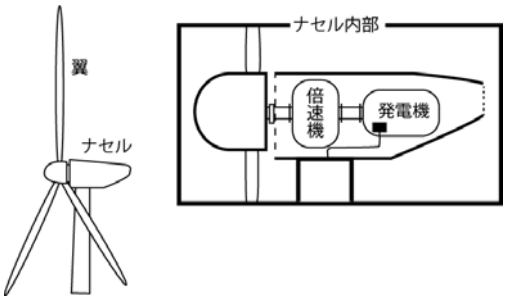
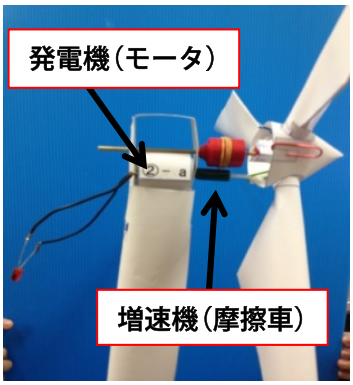


図 1　実際の風車の仕組み

(a) 全体像



(b) ナセル内部

図 2　ペーパークラフト風車

図 1 のように，実際の風車は，風車の翼（ブレード）とナセルに分けられる．ナセル内部には，ブレードの回転により発電するための発電機と，増速機と呼ばれる装置が設置されている．この増速機は，通常，ブレードの回転数だけでは発電機を回して十分な発電ができないために，回転数を上げる目的で設置される．

図 2 に示した今回実験教材として用いるペーパークラフト風車は,「翼型形状を有した水平軸アップウィンド型の大型風車」といえる形状となっており，図 1 で示した実際の風車の外観と酷似しているものとなっている．発電機は，シャフト部分の一番上に収納されている（図 2(b)参照）．低回転から起電力を発生することのできる XiKIT 社製のジェネモータ XGM-RA を用いている．このモータを発電機として使用することで，風が弱く風車の翼が遅く回るときでも発電できるようにしている．次に，増速機の機構は風車翼側の芯棒と発電機側の芯棒にビニールテープを巻き，摩擦車を作成し，その巻きつける径を風車の翼側を大きく，発電機側を小さくすることで増速を実現している．この摩擦車を用いたことで振動が発生しにくく低回転時にも対応しやすくなっている．摩擦車を利用すると滑りやすいといった欠点もあるが，その欠点については摩擦が大きくなるようにビニールテープや輪ゴムを用いることで軽減している．他にも，微調節を行いやすいようにナセルや風車翼の部分を簡単に取り外せるようにしている．この増速機と発電機を組み合わせることで，風車翼の回転数が低くても発電できるようになっている．

また，このペーパークラフト風車は，本格的な加工技術をもたない学生へのマス教育を前提とし，一般的に入手可能な材料と文房具のみで工作が可能となっている（それゆえ，一般向けの公開講座にも利用可能である）．

2.2 Arduino　次に風車で発電された電圧や各種センサーから得られた信号を処理するために利用する Arduino について説明する．Arduino は AVR マイコンや入出力ポートを備えた基板（ハードウェア）とその基板上のマイコンへのプログラミングやファームウェアの転送を行うためのソフトウェア開発環境（ソフトウェア）からなっている．また，従来提供されていたロボット製造用コントロールデバイスをより安価で簡単に利用できることを目的に作られたデバイスであるため，汎用性は非常に高く，オープンソースハードウェアでもあるため，ハードウェア設計情報も公開されており，自作することも可能である．

今回は，低学年向けの短期間の実験を対象としていこともあり，組み立て済みの基板である Arduino UNO R3(図 3)を用いるが，高専の高学年やより長期間にわたる実験などを考えた際には，自作させることで電気・電子的なハードウェアに関する知識を身に付けさせる教材とすることも可能である．

また，ソフトウェアという観点からみると，Arduino の統合開発環境 Arduino IDE(図 4)は無料で提供されて

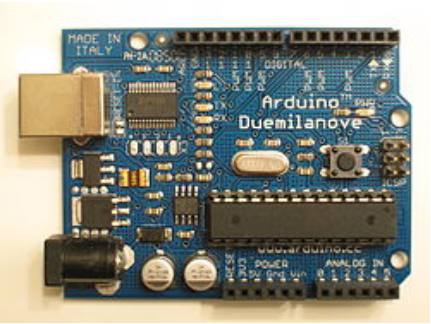


図 3　Arduino UNO R3

おり，ソフトウェア開発に不慣れなアーティストなどでも容易にプログラミングできるように開発された Processing と呼ばれる言語をベースに開発環境が設計されている．そのため，プログラミングに不慣れな学生でも十分対応できるものと考えられる．

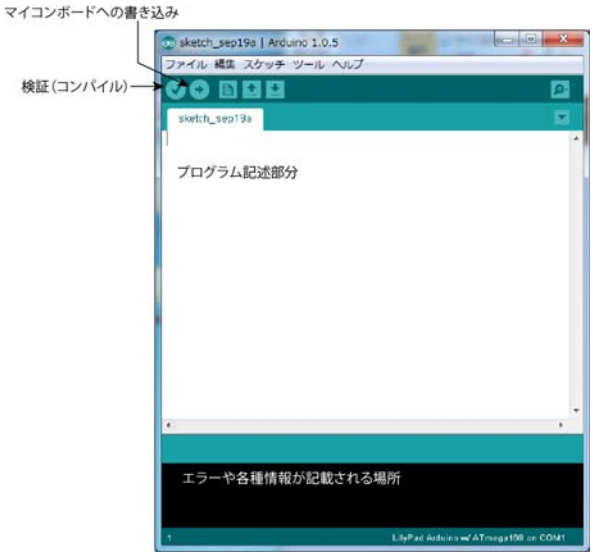


図 4　Arduino IDE

2.3 Processing　　今回，ソフトウェア教材として Processing(図 5)を利用することにした．その理由は，Arduino の開発環境が Processing を基に設計されていることもあり，Arduino と相性がよく Processing を用いて Arduino を簡単に制御することができることや．Arduino のために作成したソフトウェア教材で学んだ内容をそのまま Processing でも利用できるからである．実際には，Processing を用いなくても Visual C++や Java, php など様々なプログラミング言語でもプログラムは可能であるが，これらの言語を利用した場合には，その言語を習熟し，Arduino を介してハードウェアを制御できるようになるには非常に時間がかかるといった問題点がある．他にも，Processing が優れている点としては，電子アートやビジュアルデザインのためのプログラミング言語でもあるため，Arduino から得られたデータをグラフや図などに簡単な命令で視覚化できることが挙げられる．

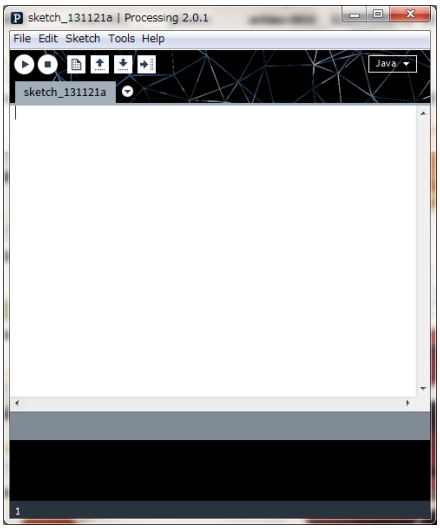


図 5　Processing 起動画面

3. 作成した実験教材

3.1 ペーパークラフト風車用組立説明書　　今回，ハードウェア用の教材として，ペーパークラフト用風車の組立説明書（図 6）を作成した．ペーパークラフト風車を作成しやすいように図を豊富に取り入れることで，使用者が分かりやすい内容になっている．

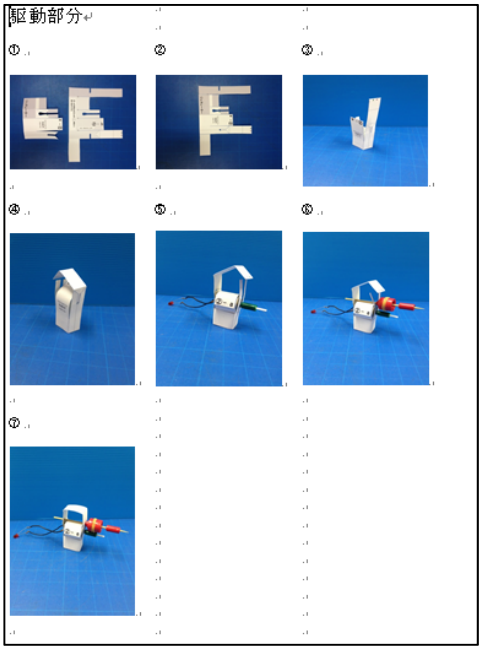


図 6　組立説明書（一部）

また，実験を行う対象によって，幾つかの説明書を用意しており，例えば，専門の学生には，内容などについても理解できるような図と内容説明からなる説明書を配布し，専門ではない学生については，図を多く取り入れた説明書を配布するなど使用用途や対象のレベルに応じて配布する説明書を変更できるようにしている．そのため，工学系はもちろんのこと文系や一般の中高生にも利用することの出来る幅広い教材に仕上がっている．

3.2 プログラミング用手順説明書　今回作成したプログラミング用教材の内容としては，大きく分けると以下のようになる．

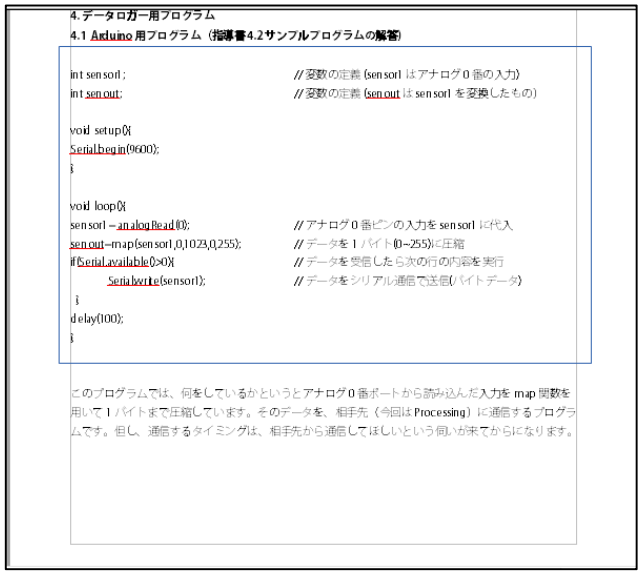
(1) Arduino の使用方法
(2) LED を用いた実験（デジタル入出力）
(3) アナログ入力を読み取る方法
(4) シリアル通信の原理とその準備
(5) シリアル通信の方法
(6) Processing を用いたデータロガー
(7) イベント処理（キーボード，マウス）
(8) Processing を用いた視覚化（背景色の変化）
(9) Processing を用いた視覚化（図形描画）
(10) 配列に関する処理

(1)から(5)の前半までは，Arduino についてのプログラミング，(5)の後半から(10)までは Processing のプログラミングになっている．実際には，それぞれ各項目ごとに更に細分化されており，実践的なサンプルプログラムや演習問題を多く取り入れた教材となっている．(1)から読んでプログラムを作成していくことで，プログラミング初学者でも自然と Arduino や Processing の知識やプログラミングの技術が身につくように構成してある．(1)～(10)まですべて終了すれば，センサを用いて計測したものを PC などで表示することの出来る計測ツールが作成できる能力が習得できるようになっている．プログラムを専門としている実験対象者については，より深い知識が身につくように，詳細な解説を用意しており，演習問題についてもプログラミングのレベルに応じて様々な解答が可能なようにしている．

また，この教材は，受講者用と指導者用の 2 種類を準備しており，指導者用には，サンプルプログラムの詳細な解説や，間違いやすい点の指摘，他にも受講者のレベルに応じた演習問題の解答が記載されている(図 7 参照).

4. 実験について

4.1 実験内容　今回，この実験教材を用いる対象として，本校，電子工学科 2 年生の電子工学実験実習を考えた．この科目は，2 コマの実験（1 コマ 90 分）


4. データロガー用プログラム
4.1 Arduino 用プログラム（指導書4.2サンプルプログラムの解答）

```
int sensor1;                    // 変数の定義 (sensor1 はアナログ 0 番の入力)
int sen.out;                    // 変数の定義 (sen.out は sensor1 を変換したもの)

void setup(){
Serial.begin(9600);
}

void loop(){
sensor1 = analogRead(0);        // アナログ 0 番ピンの入力を sensor1 に代入
sen.out=map(sensor1,0,1023,0,255);  // データを 1 バイト(0~255)に圧縮
if(Serial.available()>0){       // データを受信したら次の行の内容を実行
        Serial.write(sensor1);  // データをシリアル通信で送信(バイトデータ)
 }
delay(100);
}
```

このプログラムでは、何をしているかというとアナログ 0 番ポートから読み込んだ入力を map 関数を用いて 1 バイトまで圧縮しています。そのデータを、相手先（今回は Processing）に通信するプログラムです。但し、通信するタイミングは、相手先から通信してほしいという問いが来てからになります。

図 7　実験指導者用解答集（一部）

を 3 週に渡って 4 テーマ行うことになっている．そこで表 1 のような主テーマと各週のテーマを設定し，実際に 2013 年 10 月の後期から運用を開始した．

表 1　電子工学科 2 年用実験テーマ

実験テーマ	ペーパークラフト風車を用いた発電実験
1 週目	ペーパークラフト風車の製作
2 週目	Arduino と Processing の基礎練習
3 週目	観測用ツールの製作

1 週目は，ハードウェアの実験となっており，先述した図 6 のような組立説明書を参考にしながら各自ペーパークラフト風車を製作する．製作終了後には，ペーパークラフト風車についている LED が最も光るように翼の調整などを行う．

2 週目は，風車から発電された電圧を Arduino で受け取り，Processing を利用して作成したプログラムで PC 上に視覚化させるために，先述したプログラミング用教材を用いて Arduino と Processing に関する基礎実験を行う．この実験では，座学的な教え方をするのではなく，風車の発電機の代わりに直流安定化電源を Arduino と接続し，いろいろな段階を踏みながら Arduino を用いて計測値を取得する方法やシリアル通信を行う技術を実践的に習得していくようになっている．Processing では，主に Arduino からシリアル通信で受け取ったデータを扱う技術を身に付けられるような内容になっている．また，データの記録や視覚化に関する技術も学べるようになっている．

3 週目は，1 週目に作成したペーパークラフト風車と

Arduino を接続し，実際にペーパークラフト風車が発電した電圧の様子を 2 週目に使用した Processing などを用いて観測することの出来るツールを製作する実験となっている．3 週目に関しては指導書のようなものはなく，2 週目に培った技術を利用して各自製作させるようになっている．作成したツールの 1 例を図 8 に示す．このツールは，ボタンを押すことで発電された電圧の記録を行うことができ，また，その様子をグラフとしてあらわすことができる．他にも，キーボードの特定のキーを押すことで，その時のツール画面を画像としてキャプチャできるようになっている．

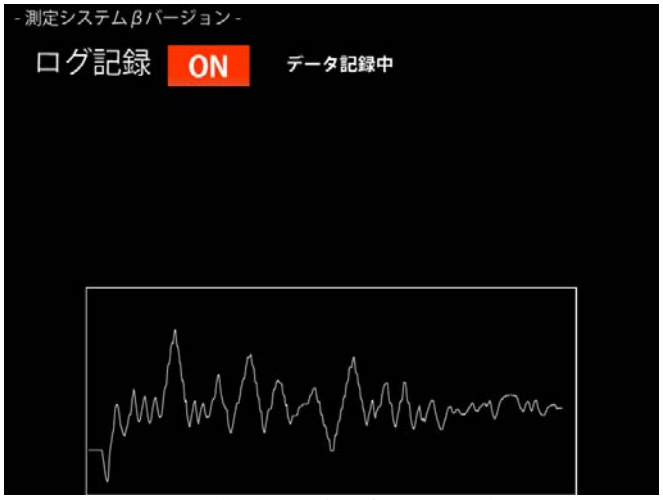


図 8　作成した観測ツールの例

5. 運用状況

先述した通り，本教材を用いて現在本校の電子工学科 2 年向けに 10 月から実際に運用を開始している．運用形態としては，約 40 名の学生をそれぞれ 4 グループに分け，各グループ 3 週毎に入れ替える方式になっている．現在，1 グループ目が全ての実験を終えた状態であるが，どの学生も問題なく実験を終えることができたという報告を受けている．図 9 は，実際に学生が作成したペーパークラフト風車である．

また，実験を行った学生からは，プログラミング教材などが非常に分かりやすかったという声があがっており，今回作成した教材が学生に受け入れられていると思われる．

今回はまだ，運用途中ということもあり，学生や指導教員からの意見などが集計できていないが，全てのグループが終了後にはアンケートを実施し，実験内容や教材の改良にフィードバックする予定である．

6. 今後の展望

今回，電子工学科 2 年を対象に作成した教材を用いて実験を行ったが，本教材は，若年層で使用することで自分自身がハードウェア，ソフトウェアどちらの方面に興味がもてるのか，また，その興味のある方面についてのモチベーションを高める効果が期待できると考えており，キャリア教育にも利用できるのではないかと期待している．今後は，可能であれば全学科 1 年生などにこういった教材を用いた実験を行っていきたいと考えている．

図 9　作成したペーパークラフト風車

そのためにも，今回作成した風車を最終的に直列に接続し，発電を行うことで疑似スマートグリッドの実現（電気工学科）や，スポーツドリンクなどの電解質を用いた簡易燃料電池作成（応用化学科），効率の良い風車設置のための立地条件選出（都市工学科）など，全ての学科に関係するような内容を盛り込んでいきたいと考えている．

謝辞

本研究の一部は，科学研究費助成金(若手研究(B)25871037)の助成を受けて行われた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

(1) 早稲田一嘉，立川力，稲垣照美，杉森健志："ペーパークラフト風車の開発と学生による学生のための技術者教育の継続的な実践"，工学教育，J. of JSEE 58-4(2010), pp. 109-114. ,2010

(2) 早稲田一嘉，原宏太朗，立川力，飯田誠，稲垣照美："風力発電用大型風車のペーパークラフト開発－機械機能及び組み立てやすさの改良－"，（社）日本工学教育協会第 60 回工学教育研究講演会講演論文, 2010

Pd(Ⅱ) 2-(β位置換エテニル)-8-キノリノール錯体の合成と立体相互作用

嶺本浩二*　大淵真一**

Synthesis and Steric Interaction of Pd(II) 2-(β-Substituted Ethenyl) -8-Quinolinol Complexes

Kouji MINEMOTO*　Shinichi OHFUCHI**

ABSTRACT

In the presence of 2,6-disubstituted pyridine, the reaction of palladium(II) with 2-(β-substituted ethenyl)-8-quinolinols in methanol gave palladium(II) complex containing 5,5-condensed chelate ring and 2,6-disubstituted pyridine as a monodentate ligand. In this paper, we reported the synthesis and characterization of palladium(II)-8-quinolinol complexes having various 2,6-disubstituted pyridine. In the case of 2-(β-substituted ethenyl)-8-quinolinol compound that has methoxycarbonyl at β-position carbon of quinolinol-2-position, complexes **3e**, **3f** possessing 2-bromopyridine, 2-chloro-6-methylpyridine as monodentate ligand were measured diastereoisomer in ^{1}H NMR spectra. In the case of ethoxycarbonyl at β-position carbon, complexes **4b**, **4c** possessing 2-ethylpyridine, 2-propylpyridine as monodentate ligand were measured diastereoisomer in ^{1}H NMR spectra. We confirmed that β-position carbon substituent and 2,6-substituent of pyridine ring affect Pd-N rotation

Keywords : 8-quinolinol, β-position carbon substituent, 2,6-disubstituted pyridine, Pd-N rotation hinder

1. 序論

パラジウム(Pd)は 4d 遷移金属元素の一つであり，酸化状態として 0, +1, +2, および +4 価をとる．Pd(Ⅱ)は有機金属化学において特に重要であり，Pd(Ⅱ)錯体は一般に四配位平面構造を有する [1]．これまでの研究により，Pd(Ⅱ)塩に三座配位子である 2-(β 位エトキシカルボニル置換エテニル)-8-キノリノールを室温 KOH 存在下メタノール溶媒中で反応させると，2-(β 位置換エテニル)-8-キノリノールの O, N, C と Pd が結合し，キノリノール : Pd＝1 : 1 の 5,5-縮合キレート環を持つ安定な錯体が合成できる [2]．このとき Pd は四配位なので一つの配位部分に空きができる．この Pd(Ⅱ)錯体の利点として，一つの空いた配位部に様々な単座配位子を用いることにより，錯体へ新たな化学的特徴の付加が期待できる．そして様々な単座配位子を用いた Pd(Ⅱ)錯体の合成及び立体構造の研究により，キレート環 α 位炭素置換基，β 位炭素置換基，及び単座配位子の三者は相互作用を持つ事が報告された [3]．特に，β 位炭素置換基にエチルエステル基をもつ 2-(β 位置換エテニル)-8-キノリノール，単座配位子にかさ高い配位子を用いた時，キレート環 β 位炭素置換基と単座配位子の立体相互作用により，Pd と単座配位子の結合間で回転障害が生じる．

単座配位子にピリジンを用いて生成する Pd(Ⅱ)錯体は β 位炭素置換基のエチルエステル基とピリジン環との立体相互作用がほとんどなく Pd-N(ピリジン)結合間で回転障害がないため，結果としてキレート環 α 位の不斉炭素により $CDCl_3$ 溶媒における ^{1}H NMR スペクトル上で一成分エナンチオマーとして観察された [4]．次に単座配位子にキノリンを用いて生成する Pd(Ⅱ)錯体では，^{1}H NMR スペクトル上でエステル末端のブロードなピークの観察により β 位炭素置換基のエチルエステル基とキノリン環との立体相互作用は確認されたが，Pd-N(キノリン)結合間の回転障害への影響はなく，生成する Pd(Ⅱ)錯体は一成分エナンチオマーとして観察された [4]．しかし，単座配位子として 2-メチルキノリンを用いて生成する Pd(Ⅱ)錯体では，β 位炭素置換基のエチルエステル基が 2-メチルキノリンの 2 位メチル

*　日本ペイント(株)(平成 16 年 応用化学専攻修了)
**　応用化学科　教授

基やキノリン環との立体相互作用が大きく，Pd-N(2-メチルキノリン)結合間に回転障害が生じる．その結果，この Pd(Ⅱ)錯体は二つの異なった配位方向による軸不斉と α 位の不斉炭素による二箇所の不斉のため ^{1}H NMR スペクトル上でジアステレオマーとして観察され，シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより二成分に容易に分割された [4]．

本研究では 2-メチルキノリンで回転障害が認められた事からキノリン環 2 位置換基が Pd-N(2-メチルキノリン)結合間の回転障害に大きく影響を与えているものと推測し，2,6 位置換ピリジン(**a-f**)を単座配位子とする錯体を合成し，Pd-N(ピリジン)結合間の回転障害の影響を $CDCl_3$ 溶媒における ^{1}H NMR スペクトルから検討した(Scheme 1)．

なお，本研究ではキレート環 β 位炭素置換基にメチルエステル基をもつ錯体を **3** 系，エチルエステル基をもつ錯体を **4** 系とした．

2. 実験

2.1 測定装置　機器分析には次の機種および測定条件を用いた．融点: 柳本製作所製 微量融点測定装置 MP 型．IR: 日本分光 JASCO FT/IR-300 赤外分光光度計(KBr)．^{1}H NMR: BRUKER DRX500 (500MHz), 溶媒,ジュウテリオクロロホルム(内部標準 TMS, 0ppm)．元素分析: 柳本 CHN-Corder MT-5 型．

2.2 配位子の合成

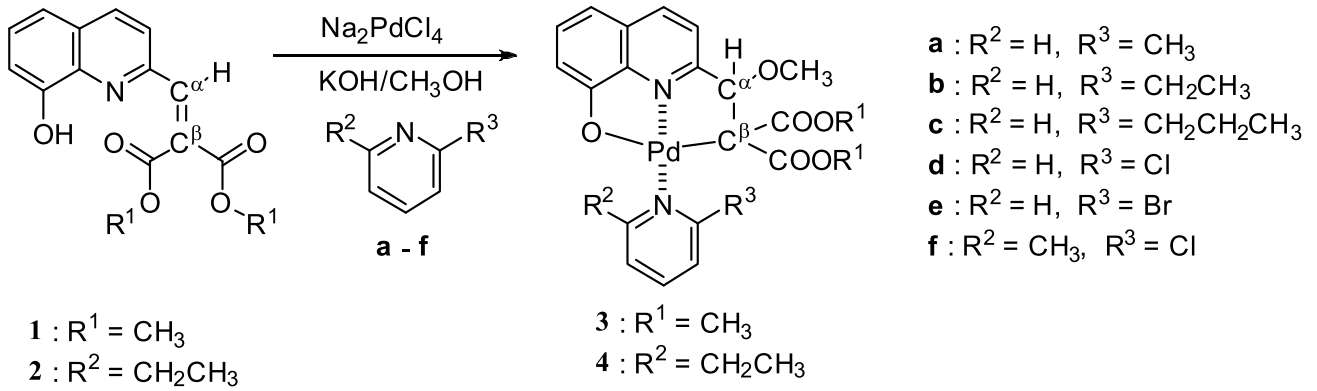
2.2.1 Dimethyl 2-(8-hydroxy-2-quinolyl)-methylidenemalonate (1)の合成　既報 [2]に従って合成した．融点 133-134℃(lit.[2] 133-134℃)．

2.2.2 Diethyl 2-(8-hydroxy-2-quinolyl)-methylidenemalonate (2)の合成　既報 [2]に従って合成した．融点 84-88℃(lit.[2] 84-88℃)．

2.3 錯体の合成

2.3.1 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-methylpyridine)palladium(II) (3a)の合成　**1**(143.6 mg, 0.5 mmol)のメタノール溶液 50 mL にテトラクロロパラジウム(II)酸ナトリウム($Na_2[PdCl_4]$)(147.1 mg, 0.5 mmol)のメタノール溶液 50 mL と水酸化カリウム(KOH)(112.2 mg, 2.0 mmol)のメタノール溶液 20 mL を加えた．室温で 20 分間攪拌後，単座配位子として 2-メチルピリジン(69.8 mg, 0.75 mmol)を加え，さらに 24 時間攪拌した．反応終了後，溶媒をロータリーエバポレーターで留去し，残留物をクロロホルムで抽出した．水洗後，クロロホルム層に無水硫酸ナトリウムを加えて乾燥した．ろ過後，ロータリーエバポレーターを用いて溶媒を除去した後，残留物をカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル　C-200,溶離液 酢酸エチル：エタノール＝9：1)にて精製し，目的物を黄色固体として得た(収量 124.6 mg, 収率 48%)．融点 130-133℃．^{1}H NMR δ[ppm] 3.20(bs, 6H, esterCH$_3$, py-CH$_3$), 3.61(bs, 6H, esterCH$_3$, C$^\alpha$OCH$_3$), 5.92(bs, 1H, C$^\alpha$H), 6.89(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.96(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.27-7.31(m, 2H, 3,5-pyH), 7.38-7.41(m, 2H, 3,6-quiH), 7.71(t, 1H, *J*=7.4Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.66(bd, 1H, *J*=4.5Hz, 6-pyH). IR 1711cm^{-1}(C=O). 元素分析値 C, 50.74; H, 4.48; N, 5.04%. $C_{22}H_{22}N_2O_6Pd\cdot 0.25H_2O$ としての計算値 C, 50.68; H, 4.35; N, 5.37%.

2.3.2 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-ethylpyridine)palladium(II) (3b)の合成　単座配位子として 2-エチルピリジン 1 mL を用い 2.3.1 と同様に行った．黄色固体 127.0 mg(収率 48%)を得た．融点 116-118℃．^{1}H NMR δ[ppm] 1.49(t, 3H, *J*=7.1Hz, py-CH$_2$C<u>H$_3$</u>), 3.16(s, 3 H, esterCH$_3$), 3.61(s, 3H, esterCH$_3$), 3.63(s, 3H, C$^\alpha$OCH$_3$), 3.69-3.81(m, 2H, py-C<u>H$_2$</u>CH$_3$), 5.91(bs, 1H, C$^\alpha$H), 6.88(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-qui H), 7.26-7.33(m, 2H, 3,5-pyH), 7.38-7.41(m, 2H, 3,6-qui H), 7.76(t, 1H, *J*=7.7Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4- qui-



Scheme 1

H), 8.68(bd, 1H, *J*=4.5Hz, 6-pyH). IR 1685cm^{-1}(C=O). 元素分析値 C, 51.89; H, 4.34; N, 4.98%. $C_{23}H_{24}N_2O_6Pd$ としての計算値 C, 52.04; H, 4.56; N, 5.28%.

2.3.3 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-propylpyridine) palladium(II) (3c)の合成 単座配位子として 2-プロピルピリジン 1 mL を用い 2.3.1 と同様に行った. 黄色固体 154.0mg(収率 57%)を得た. 融点 148-153℃. ^{1}H NMR δ[ppm] 1.08(t, 3H, *J*=7.2Hz, py-$CH_2CH_2C\underline{H_3}$), 1.92-2.00(m, 2H, py-$CH_2C\underline{H_2}CH_3$), 3.17(s, 3H, esterCH_3), 3.52-3.61(m, 2H, py-$C\underline{H_2}CH_2CH_3$), 3.61(s, 3H, esterCH_3), 3.64(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 5.91(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.88(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.26-7.33(m, 2H, 3,5-pyH), 7.38-7.41(m, 2H, 3,6-quiH), 7.74(t, 1H, *J*=7.7Hz, 4-pyH), 8.22(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.70(bs, 1H, 6-pyH). IR 1684cm^{-1}(C=O). 元素分析値 C, 52.48; H, 5.00; N, 5.11%. $C_{24}H_{26}N_2O_6Pd\cdot 0.25H_2O$ としての計算値 C, 52.47; H, 4.86; N, 5.10%.

2.3.4 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-chloropyridine)palladium(II) (3d)の合成 単座配位子として 2-クロロピリジン(85.2 mg, 0.75 mmol)を用い 2.3.1 と同様に行った. 黄色固体 74.3 mg(収率 28%)を得た. 融点 144-148℃. ^{1}H NMR δ[ppm] 3.39(s, 3H, esterCH_3), 3.62(s, 3H, esterCH_3), 3.67(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 5.92(bs, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.91-6.99(m, 2H, 5,7-quiH), 7.27-7.46(m, 3H, 3,6-quiH, 5-pyH), 7.54(d, 1H, *J*=8.1Hz, 3-pyH), 7.82(t, 1H, *J*=7.8Hz, 4-pyH), 8.24(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.65(bd, 1H, *J*=5.1Hz, 6-pyH). IR 1716cm^{-1}(C=O).

2.3.5 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-bromopyridine) palladium(II) (3e)の合成 **1**(114.9 mg, 0.4 mmol)と $Na_2[PdCl_4]$(117.7 mg, 0.4 mmol)と KOH(84.2 mg, 1.5 mmol)を用い, 単座配位子として 2-ブロモピリジン 1 mL を用い 2.3.1 と同様に行った. ジアステレオマー混合物として黄色固体 96.3 mg(収率 41%)を得た. 融点 87-92 ℃. これをさらにカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200,溶離液 酢酸エチル：エタノール＝8：2)にて分離し, 二つの画分 A, B を得た.

3e-A : ^{1}H NMR δ[ppm] 3.32(s, 3H, esterCH_3), 3.61(s, 3H, esterCH_3), 3.62(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 5.89(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.92(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.98(d, 1H, *J*=8.1Hz, 5-quiH), 7.39-7.55(m, 4H, 3,6-quiH, 3,5-pyH), 7.85(t, 1H, *J*=7.6Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.84(d, 1H, *J*=5.2Hz, 6-pyH).

3e-B : ^{1}H NMR δ[ppm] 3.41(s, 3H, esterCH_3), 3.61(s, 3H, esterCH_3), 3.68(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 5.93(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.93(d, 1H, *J*=7.8Hz, 7-quiH), 6.96(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.39-7.46(m, 3H, 3,6-quiH, 5-pyH), 7.69-7.72(m, 2H, 3,4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.6 Hz, 4-quiH), 8.60(m, 1H, 6-pyH). IR (A,B 混合物) 1684cm^{-1}(C=O). 元素分析値 (A,B 混合物) C, 42.85; H, 3.36; N, 4.81%. $C_{21}H_{19}BrN_2O_6Pd$ としての計算値 C, 43.36; H, 3.29; N, 4.82%.

2.3.6 {Dimethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-chloro-6-methylpyridine) palladium(II) (3f)の合成 単座配位子として 2-クロロ-6-メチルピリジン(95.7 mg, 0.75 mmol)を用い 2.3.1 と同様に行った. 黄色固体 79.4 mg(収率 29%)を得た. 融点 251-255℃(分解). ^{1}H NMR スペクトルの強度比より, 二つの成分の生成比 A：B は 6：4 だった.

3f-A : ^{1}H NMR δ[ppm] 3.18(s, 3H, py-CH_3), 3.43(s, 3H, esterCH_3), 3.56(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 3.70(s, 3H, esterCH_3), 5.89(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.89(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=7.9Hz, 5-quiH), 7.26(d, 1H, *J*=6.4Hz, 5-pyH), 7.35-7.42(m, 3H, 3,6-quiH, 3-pyH), 7.68(t, 1H, *J*=7.9Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH).

3f-B : ^{1}H NMR δ[ppm] 3.24(s, 3H, py-CH_3), 3.27(s, 3H, esterCH_3), 3.58(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 3.63(s, 3H, esterCH_3), 5.90(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.90(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=7.9Hz, 5-quiH), 7.26(d, 1H, *J*=6.4Hz, 5-pyH), 7.35-7.42(m, 3H, 3,6-quiH, 3-pyH), 7.68(t, 1H, *J*=7.9Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH). IR (A,B 混合物) 1685cm^{-1}(C=O) ;元素分析値 (A,B 混合物) C, 48.00; H, 4.03; N, 4.91%. $C_{22}H_{21}ClN_2O_6Pd$ としての計算値 C, 47.93; H, 3.84; N, 5.08%.

2.3.7 {Diethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-methylpyridine) palladium(II) (4a)の合成 2.3.1 で **1** の代わりに **2**(110.4 mg, 0.35 mmol)を用い, $Na_2[PdCl_4]$(103.0 mg, 0.35 mmol)と KOH(78.6 mg, 1.4 mmol)と単座配位子として 2-メチルピリジン 1 mL を用いて同様に行い, 黄色固体 128.3 mg(収率 67%)を得た. 融点 74-77℃. ^{1}H NMR δ[ppm] 0.87(bs, 3H, ester$CH_2C\underline{H_3}$), 0.98(t, 3H, *J*=7.0Hz, ester$CH_2C\underline{H_3}$), 3.21(bs, 3H, py-CH_3), 3.51(bs, 1H, ester$C\underline{H_2}CH_3$), 3.63(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 3.88(bs, 1H, ester$C\underline{H_2}CH_3$), 4.07(bs, 1H, ester$C\underline{H_2}CH_3$), 4.13(bs, 1H, ester$C\underline{H_2}CH_3$), 5.88(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.88(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.27-7.31(m, 2H, 3,5-pyH), 7.37-7.40(m, 2H, 3,6-quiH), 7.71(t, 1H, *J*=7.7Hz, 4-pyH), 8.22(d, 1H, *J*=8.6Hz, 4-quiH), 8.73(d, 1H, *J*=5.5Hz, 6-pyH). IR 1711cm^{-1}(C=O). 元素分析値 C, 51.46; H, 4.89; N, 4.98%. $C_{24}H_{26}N_2O_6Pd\cdot H_2O$ としての計算値 C, 51.21; H, 5.01; N, 4.98%.

2.3.8 {Diethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*C*}(2-ethylpyridine) palladium(II) (4b)の合成 2.3.1 で **1** の代わりに **2**(157.7 mg, 0.5 mmol)を用い, 単座配位子として 2-エチルピリジン 1 mL を用いて同様に行い, ジアステレオマー混

合物として黄色固体 116.0 mg(収率 59%)を得た．融点 95 ℃．これをさらにカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200,溶離液 酢酸エチル：エタノール＝9：1)にて分離し，二つの画分 A, B を得た．

4b-A : ^{1}H NMR δ[ppm] 0.84(bs, 3H, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 0.98(t, 3H, *J*=7.1Hz, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.50(t, 3H, *J*=7.2Hz, py-$CH_2C\underline{H}_3$), 3.48-3.49(m, 1H, ester$C\underline{H}_2CH_3$), 3.63-3.75(m, 2H, py-$C\underline{H}_2CH_3$), 3.65(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 3.84-3.86(m, 1H, ester $C\underline{H}_2CH_3$), 4.09-4.14(m, 2H, ester$C\underline{H}_2CH_3$), 5.88(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.88(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.94(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.26(bs, 1H, 5-pyH), 7.32(d, 1H, *J*=7.7Hz, 3-pyH), 7.37-7.41(m, 2H, 3,6-quiH), 7.76(t, 1H, *J*=6.4Hz, 4-pyH), 8.22(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.76(d, 1H, *J*=4.9Hz, 6-pyH).

4b-B : ^{1}H NMR δ[ppm] 0.96(t, 3H, *J*=7.1Hz, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.43(bs, 3H, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.49(t, 3H, *J*=7.0Hz, py-$CH_2C\underline{H}_3$), 3.48-3.49(m, 1H, ester$C\underline{H}_2CH_3$), 3.63-3.75(m, 2H, py-$C\underline{H}_2CH_3$), 3.65(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 3.84-3.86(m, 1H, ester$C\underline{H}_2CH_3$), 4.09-4.14(m, 2H, ester$C\underline{H}_2CH_3$), 5.89(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.87(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.94(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.26(t, 1H, *J*=6.4Hz, 5-pyH), 7.32(d, 1H, *J*=7.8Hz, 3-pyH), 7.37-7.41(m, 2H, 3,6-quiH), 7.76(t, 1H, *J*=6.4Hz, 4-pyH), 8.22(d, 1H, *J*=8.6Hz, 4-quiH), 8.71(d, 1H, *J*=5.1Hz, 6-pyH). IR (A,B 混合物) 1701cm^{-1}(C=O). 元素分析値 (A,B 混合物) C, 51.89; H, 5.15; N, 4.89%. $C_{25}H_{28}N_2O_6Pd$ としての計算値 C, 52.04; H, 5.24; N,4.86%.

2.3.9 {Diethyl 2-[methoxy(8-oxy-*O*-2-quinolyl-*N*)methyl]malonato-*O*}(2-propylpyridine) palladium(II) (4c)の合成 2.3.1 で **1** の代わりに **2**(157.7 mg, 0.5 mmol)を用い，単座配位子として 2-プロピルピリジン(90.9 mg, 0.35 mmol)を用いて同様に行った．ジアステレオマー混合物として黄色固体 52.7 mg(収率 18%)を得た．融点 131-134℃．これをさらにカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200, 溶離液 酢酸エチル：エタノール＝9：1)にて分離し，二つの画分 A, B を得た．**4c-A** : ^{1}H NMR δ[ppm] 0.86(bs, 3H, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 0.97(t, 3H, *J*=7.1Hz, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.08(t, 3H, *J*=6.8Hz, py-CH_2 $CH_2C\underline{H}_3$), 1.98-2.00(m, 2H, py-$CH_2C\underline{H}_2CH_3$), 3.47-3.63 (m, 3H, ester$C\underline{H}_2CH_3$, py-$C\underline{H}_2CH_2CH_3$), 3.66(s, 3H, $C^{\alpha}O$ CH_3), 3.87(bs, 1H, ester-$C\underline{H}_2CH_3$), 4.07-4.09(m, 2H, ester $C\underline{H}_2CH_3$), 5.88(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.87(d, 1H, *J*=7.9Hz, 7-quiH), 6.94(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.25-7.30(m, 2H, 3,5-pyH), 7.37-7.40(m, 2H, 3,6-quiH), 7.73(t, 1H, *J*=7.8 Hz, 4-pyH), 8.22(d, 1H, *J*=8.6Hz, 4-quiH), 8.76(d, 1H, *J*=5.4Hz, 6-pyH).

4c-B : ^{1}H NMR δ[ppm] 0.95(t, 3H, *J*=7.0Hz, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.08(t, 3H, *J*=7.1Hz, py-$CH_2CH_2C\underline{H}_3$), 1.26(t, 3H, *J*=7.1Hz, ester$CH_2C\underline{H}_3$), 1.99(bs, 2H, py-$CH_2C\underline{H}_2CH_3$), 3.30(bs, 1H, py-$C\underline{H}_2CH_2CH_3$), 3.53(bs, 1H, py-$C\underline{H}_2CH_2CH_3$), 3.65(s, 3H, $C^{\alpha}OCH_3$), 4.04-4.14(m, 4H, ester$C\underline{H}_2CH_3$, ester$C\underline{H}_2$ CH_3), 5.88(s, 1H, $C^{\alpha}H$), 6.88(d, 1H, *J*=7.7Hz, 7-quiH), 6.95(d, 1H, *J*=8.0Hz, 5-quiH), 7.26-7.30(m, 2H, 3,5-pyH), 7.37-7.41(m, 2H, 3,6-quiH), 7.74(t, 1H, *J*=7.6Hz, 4-pyH), 8.23(d, 1H, *J*=8.7Hz, 4-quiH), 8.75(bd, 1H, *J*=4.7Hz, 6-pyH). IR (A,B 混合物) 1684cm^{-1}(C=O). 元素分析値 (A,B 混合物) C, 53.39; H, 5.21; N, 4.96%. $C_{26}H_{30}N_2O_6Pd$・$0.6H_2O$ としての計算値 C, 53.49; H, 5.39; N, 4.80%.

3. 結果と考察

3.1 錯体の合成 Pd(Ⅱ)塩に三座配位子として β 位炭素置換基にメチルエステル基をもつ 2-(β 位置換エテニル)-8-キノリノール **1** と種々の単座配位子 **a-f** を用いて，室温 KOH 存在下メタノール溶媒中で反応させ，**3** 系錯体の合成を試みた．又，Pd(Ⅱ)塩に三座配位子として β 位炭素置換基にエチルエステル基をもつ 2-(β 位置換エテニル)-8-キノリノール **2** と種々の単座配位子 **a-c** を用いて同様の反応をさせ，**4** 系錯体の合成を試みた(Scheme 1). 得られた各錯体の収率を Table 1 に示す．

錯体の収率は 20～70%と幅広いものとなった．キレート環 β 位炭素置換基にメチルエステル基をもつ **3** 系錯体において，ピリジン環にハロゲン基を持つ錯体 **3d**,

Table 1. Yield and melting point for complexes

complexes	R^1	R^2	R^3	yield[%]	m.p.[℃]
3a	CH_3	H	CH_3	48	130-133
3b	CH_3	H	CH_2CH_3	48	116-118
3c	CH_3	H	$CH_2CH_2CH_3$	57	148-153
3d	CH_3	H	Cl	28	144-148
3e*	CH_3	H	Br	41	87-92
3f	CH_3	CH_3	Cl	29	251-255**
4a	CH_2CH_3	H	CH_3	67	74-77
4b*	CH_2CH_3	H	CH_2CH_3	59	95
4c*	CH_2CH_3	H	$CH_2CH_2CH_3$	18	131-134

* Diastereomer mixture ** Decomposition

3e, **3f** の収率は 40%以下だった．キレート環 β 位炭素置換基にエチルエステル基をもつ **4** 系錯体ではピリジン環 2 位置換基が大きくなる程収率は減少した．

錯体 **3e**, **3f**, **4b** および **4c** の ^{1}H NMR スペクトルを測定したところ, 各プロトンピークは二つずつ対となり, 生成錯体がジアステレオマーであることを示した．**3e**, **4b**, **4c** 錯体はシリカゲルカラムクロマトグラフィーにより二つの成分ＡおよびＢに分割することができたが, **3f** 錯体は二成分の分割ができず, ^{1}H NMR スペクトルの強度比から二つの成分ＡおよびＢの生成比を決定した．

3.2　錯体の ^{1}H NMR 挙動　$CDCl_3$ 溶媒における ^{1}H NMR スペクトルについて **3** 系錯体のキレート環 α, β-位炭素置換基を Table 2 に, **4** 系錯体のキレート環 α, β-位炭素置換基を Table 3 に示す．Table 2 より **3** 系錯体のキレート環 α 位炭素に結合したメトキシ基やメチンプロトンはほぼ一定の化学シフト(それぞれ 3.6, 5.9 ppm)をとるのに対し，キレート環 β 位炭素置換基であるメチルエステル基の化学シフトは一定の値を示さず, 錯体形成前の三座配位子の状態ではメチルエステル基は二つ共 3.9 ppm だが，錯体形成後は 3.1 から 3.9 ppm までの幅広い値を示した．これは，キレート環 β 位炭素置換基が単座配位子のピリジン環置換基との立体相互作用を受けたためだと考えられる．そしてこのキレート環 β 位炭素置換基の化学シフトが一定値を示さない傾向は Table 3 の **4** 系錯体についても見られ, 特にエチルエステル基のメチレンプロトンが 2Hのピークにはならずに 1Hのピーク 2 本になるのもメチレンプロトンのそれぞれのプロトンが異なる環境に存在するためであり，明らかに単座配位子のピリジン環置換基と立体相互作用をしている事が予想される．

Table 2. ^{1}H NMR data of complexes **3** [ppm]

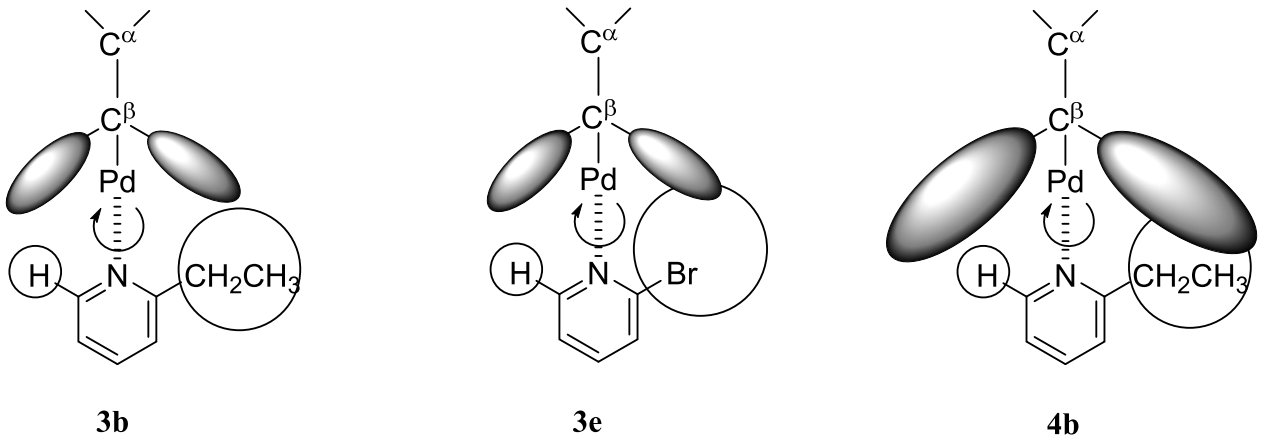
	Methyl ester		Methoxy	Methine
	$COOC\underline{H}_3$		$C^{\alpha}OCH_3$	$C^{\alpha}H$
1*	3.90 (s, 3H)	3.91 (s, 3H)	———	7.85 (s, 1H)
3a	3.20 (bs**, 3H)	3.61 (bs, 3H)	3.61 (bs, 3H)	5.92 (bs, 1H)
3b	3.16 (s, 3H)	3.61 (bs, 3H)	3.63 (s, 3H)	5.91 (bs, 1H)
3c	3.17 (s, 3H)	3.61 (s, 3H)	3.64 (s, 3H)	5.91 (s, 1H)
3d	3.39 (s, 3H)	3.62 (s, 3H)	3.67 (s, 3H)	5.92 (bs, 1H)
3e-A	3.32 (s, 3H)	3.61 (s, 3H)	3.62 (s, 3H)	5.89 (s, 1H)
3e-B	3.41 (s, 3H)	3.61 (s, 3H)	3.68 (s, 3H)	5.93 (s, 1H)
3f-A	3.18 (s, 3H)	3.43 (s, 3H)	3.56 (s, 3H)	5.89 (s, 1H)
3f-B	3.27 (s, 3H)	3.63 (s, 3H)	3.58 (s, 3H)	5.90 (s, 1H)

* Ref.(2)　　** Broad singlet

Table 3. ^{1}H NMR data of complexes **4** [ppm]

	Ethyl ester		Methoxy	Methine
	$COOC\underline{H}_2CH_3$	$COOCH_2C\underline{H}_3$	$C^{\alpha}OCH_3$	$C^{\alpha}H$
2*	4.36 (q, 2H, *J*=7.2Hz) 4.42 (q, 2H, *J*=7.2Hz)	1.37 (t, 3H, *J*=7.2Hz) 1.28 (t, 3H, *J*=7.2Hz)	———	7.80 (s, 1H)
4a	3.51 (bs**, 1H), 3.88 (bs, 1H) 4.07 (bs, 1H), 4.13 (bs, 1H)	0.87 (bs, 3H) 0.98 (t, 3H, *J*=7.0Hz)	3.63 (s, 3H)	5.88 (s, 1H)
4b-A	3.48-3.49 (m, 1H), 3.84-3.86 (m, 1H) 4.09-4.14 (m, 2H)	0.84 (bs, 3H) 0.98 (t, 3H, *J*=7.1Hz)	3.65 (s, 3H)	5.88 (s, 1H)
4b-B	3.48-3.49 (m, 1H), 3.84-3.86 (m, 1H) 4.09-4.14 (m, 2H)	0.96 (t, 3H, *J*=7.2Hz) 1.43 (bs, 3H)	3.65 (s, 3H)	5.89 (s, 1H)
4c-A	3.47-3.63 (m, 1H), 3.87 (bs, 1H) 4.07-4.09 (m, 2H)	0.86 (bs, 3H) 0.97 (t, 3H, *J*=7.1Hz)	3.66 (s, 3H)	5.88 (s, 1H)
4c-B	4.04-4.14(m, 2H) 4.04-4.14 (m, 2H)	0.95 (t, 3H, *J*=7.0Hz) 1.26 (t, 3H, *J*=7.1Hz)	3.65 (s, 3H)	5.88 (s, 1H)

* Ref.(2)　　** Broad singlet



3b **3e** **4b**

Figure 1. Pd-N(pyridine) rotation for **3b**, **3e** and **4b.**

3.3　錯体の立体相互作用　　これらの結果からPd-N(ピリジン)回転障害によるジアステレオマーの形成はキレート環β位炭素置換基と単座配位子のピリジン環 2,6 位置換基との立体相互作用の大小によって決まると考える．C^{α}-C^{β}-Pd-N(ピリジン)の結合を正面から見た場合について **3b**, **3e**, **4b** を検討すると，β位炭素置換基にメチルエステル基，ピリジン環にエチル基をもつ **3b** において一成分エナンチオマーであった事より Pd-N(ピリジン)結合間で回転障害はなく，**3b** はメチルエステル基とピリジン環 2 位エチル基との立体相互作用が小さい事が推測される．これに対し，β 位炭素置換基にメチルエステル基，ピリジン環にブロモ基をもつ **3e** やβ位炭素置換基にエチルエステル基，ピリジン環にエチル基をもつ **4b** においてジアステレオマーであった事より Pd-N(ピリジン)結合間で回転障害があり，**3e** はメチルエステル基とピリジン環 2 位ブロモ基との立体相互作用が大きく，又 **4b** ではエチルエステル基とピリジン環 2 位エチル基との立体相互作用が大きい事が推測される(Fig. 1). 次に **3a**, **3d**, **3f** について検討すると，ピリジン環 2 位にメチル基をもつ **3a** やクロロ基をもつ **3d** において一成分エナンチオマーであった事より，Pd-N(ピリジン)結合間で回転障害はなく，**3a** や **3d** はキレート環中の O の非共有電子対とピリジン環 6 位プロトンとの立体相互作用が小さい事が推測される．しかし，ピリジン環 2 位にクロロ基をもち 6 位にメチル基をもつ **3f** においてジアステレオマーであった事より，Pd-N(ピリジン)結合間で回転障害があり，**3f** はβ位炭素置換基と一方のピリジン環置換基との立体相互作用が小さくても，キレート環中の O の非共有電子対ともう一方のピリジン環置換基では立体相互作用が大きい事が推測される．

4. 総括

これらの実験の結果，次の結論が得られた．

・キレート環β位炭素置換基にメチルエステル基をもつ **3** 系錯体の場合，単座配位子に 2-ブロモピリジン(**e**)や 2-クロロ-6-メチルピリジン(**f**)を用いた時に Pd-N(ピリジン)結合間の回転障害によるジアステレオマーが生成した．

・キレート環β位炭素置換基にエチルエステル基をもつ **4** 系錯体の場合，単座配位子に 2-エチルピリジン(**b**)や2-プロピルピリジン(**c**)を用いた時にPd-N(ピリジン)結合間の回転障害によるジアステレオマーが生成した．

・キレート環β位炭素置換基と単座配位子のピリジン環 2,6 位置換基の大きさが Pd-N(ピリジン)結合間の回転障害に影響を与える事が確かめられた．

参考文献

1) 山本明夫 :「有機金属化合物-合成法および利用法-」, 東京化学同人, p.225, 1991.

2) 大淵真一，北村千寿，前川嘉彦, George. R. Newkome, 米田昭夫 :「2-(2-置換エテニル-8-キノリノールを用いるシクロメタラトパラジウム(II)錯体の合成とキレート環の安定性に及ぼす隣接置換基の立体相互作用」，*日化誌*, pp.151-160, 1999.

3) 大淵真一，北村千寿，George. R. Newkome，米田昭夫 :「C-ドナー原子を持つ 2-置換-8-キノリノールのパラジウム(II)および白金(II) シクロメタラト錯体の合成と錯体の配位子間立体相互作用」，*日化誌*, , pp.201-210, 2002.

4) 大淵真一 :「2 位置換基に炭素ドナー原子を持つ 8-キノリノールの合成と Pd(Ⅱ), Pt(Ⅱ)シクロメタラト錯体の立体特性に関する研究」，博士論文，姫路工業大学，姫路，日本, p.59, 2002.

二層型多平面安定解析手法の提案

鳥居宣之*

Proposal of Two-Layered Multiple-Plane Slope Stability Analysis Method

Nobuyuki TORII*

ABSTRACT

In recent years, the assessment of landslide disaster risk has become a topic of major interest in many parts of the world. In Japan, the mountainous and hilly areas make up 70% of the total land area and with natural and social conditions, our country has been vulnerable to landslide disasters caused by heavy rainfalls and earthquakes frequently every year, and landslide disasters account for about a half of the dead and missing people by natural disasters. The most common trigger of landslide disasters in our country is slope failure. It is important for landslide disaster prevention and mitigation to estimate the volume of sliding mass. In this research, two-layered multiple-plane slope stability analysis method is proposed as an estimation method of it and analytical studies are carried out using this method to investigate the effect of vegetation root system.

Keywords : slope failure, slope stability analysis, landslide disaster prevention and mitigation

1. はじめに

わが国は，自然条件的にも社会条件的にも土砂災害が発生しやすい環境下に置かれており，毎年各地で，豪雨に伴ってがけ崩れ，地すべり，土石流などの土砂災害による被害が発生し，尊い人命や貴重な財産が失われてきた．これら土砂災害のうち，がけ崩れを起因とする被害が全体の約 7 割を占めており，台風や集中豪雨による自然斜面での表層崩壊型の崩壊が多発している．一般に，表層崩壊は基岩と表土層の境界面をすべり面として崩壊が発生しやすいが，最近の豪雨のように短時間に降雨強度の高い雨が降った際には，従来のすべり面よりも浅い位置（樹木根系の進入している土層とほぼ同様の深さ）での崩壊事例[(1), (2)]が増えてきている．このような，表層崩壊型の崩壊発生を検討する際には，通常，無限長斜面安定解析手法が用いられているが，この手法では，斜面防災・減災を考える上で重要な要素である崩壊の規模の予測が出来ないといった問題点がある．

このような背景から，本報では崩壊規模を予測できる表層崩壊型の斜面安定解析手法として提案されている多平面安定解析手法[(3)]に着目し，表土層内の浅い位置に潜在すべり面（樹木根系の進入している土層位置に相当）が存在した場合にも安定性が評価できるよう多平面安定解析手法を改良した二層型多平面安定解析手法を提案する．さらに，モデル斜面を対象に本手法を適用し，表層崩壊発生に及ぼす表土層内の植生の根系の影響（粘着力増分）に関する解析的検討を行う．

2. 二層型多平面安定解析手法の提案

2.1 多平面安定解析手法

崩壊発生危険度の高い斜面に対策工を施す際や崩壊土量ならびに崩土の到達範囲を推定する際には，崩壊の規模を予測することが非常に重要である．しかしながら，表層崩壊型の崩壊発生を検討する際に通常用いられる無限長斜面安定解析手法では，崩壊の規模を算定することができない．この問題に対して，沖村[(3)]は，表層崩壊発生の危険性評価ならびに崩壊規模の評価を行うことができる多平面安定解析手法を提案した．この手法では，表土層深や地表面・基岩面の傾斜の変化，土質強度などを考慮に入れて崩壊規模の評価を行うことが可能となっている．

多平面安定解析手法は，図 1 に示すように潜在すべり面が基岩と表土層の境界にあるとし，潜在すべり土塊がその潜在すべり面上の n 個の潜在すべり土層ブロックにより構成されているとする．この n 個のブロックの中から，ある ℓ 個のブロックに着目し，その ℓ 個

*　都市工学科 准教授

のブロックからなるすべり土塊の安定性を評価していく．その際，始点ブロックの鉛直すべり面には力が作用しないと仮定し，終点ブロックでは，対角方向に通るすべり面を仮定する．そして任意の第 i ブロック内の水平方向，鉛直方向での力の釣り合いを求めていき，

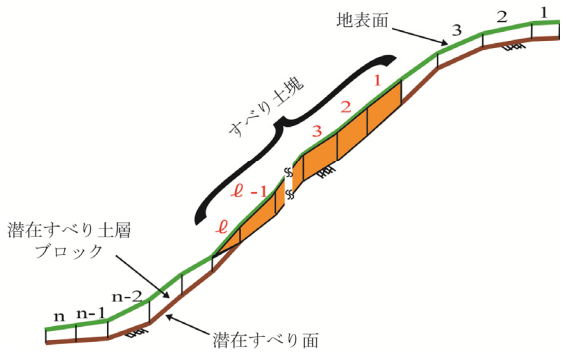


図 1　多平面安定解析手法における
潜在すべり土層ブロック

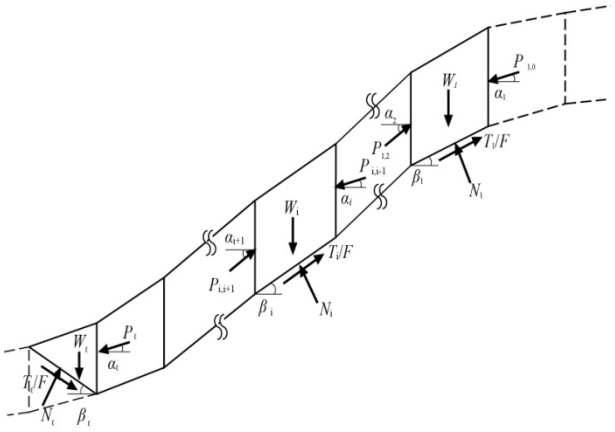


図 2　多平面安定解析手法における
力のつり合い

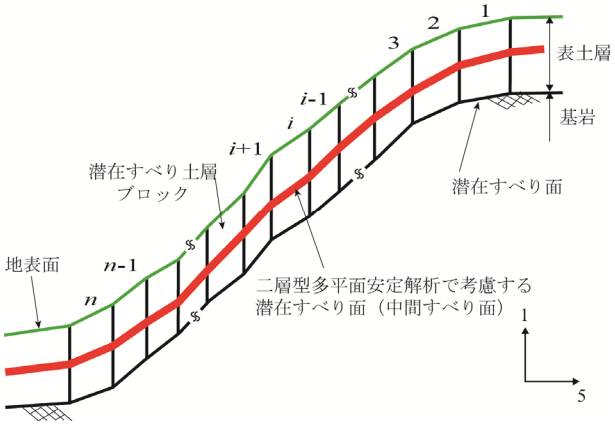


図 3　二層型多平面安定解析手法における
潜在すべり面

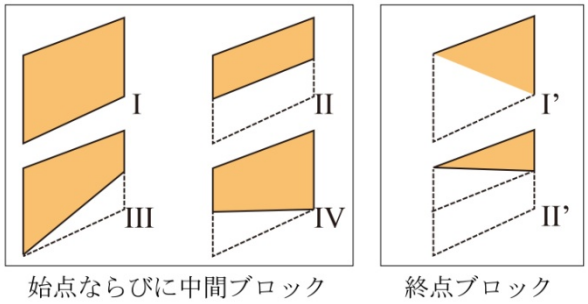


図 4　すべり土塊ブロックの形状

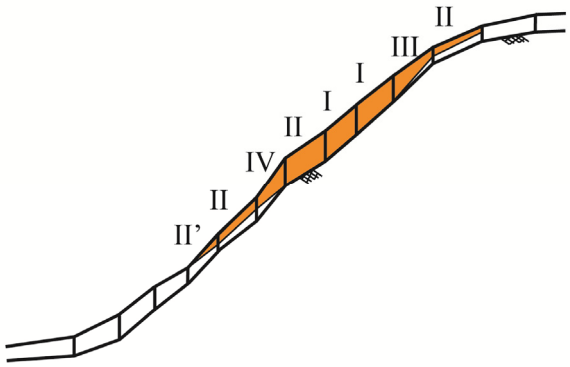


図 5　すべり土塊ブロックの形状の例

あらかじめ設定された終点ブロックである第ℓブロックとの釣り合いを考えることで，すべり土塊としての安全率を算定する（図 2 参照）．全てのすべり土塊の組み合わせ（$n(n\text{-}1)/2$ 通り）について解析し，最小の安全率を示したすべり土塊ブロックの組合せをその斜面における危険すべり土塊として，縦断面における崩壊位置とその規模を評価することができる手法である．

2.2 二層型多平面安定解析手法

従来の多平面安定解析手法では，潜在すべり面の位置を潜在崩土層ブロックの底面（通常は，表土層と基岩の境界面）としているため，前述したような表土層内にすべり面が生じる場合の安定性の評価を行うことができない（図 3 参照）．そこで，本研究では表土層内の浅い位置に潜在すべり面が存在している場合にも安定性が評価できるよう多平面安定解析手法を改良した二層型多平面安定解析手法を提案することとした．二層型多平面安定解析手法は，新たに定義された表土層内の潜在すべり面（以下，中間すべり面と称する）によって，表土層が二層に分割されており（図 3 参照），従来の多平面安定解析手法で定義されていた基岩と表土層の境界以外にもすべり面が生じる崩壊にも対応することが可能となっている．したがって，表土層が二層に分割されることで多平面安定解析では決まった形のみしか存在しなかったすべり土塊ブロックの形状

（図４のⅠ，Ⅰ’）が，複数（図４のⅠ～Ⅳ，Ⅰ’，Ⅱ’）存在することとなる（図５参照）．

図６に示すように，第 i ブロックにおける水平・鉛直方向の力のつり合いは，次式のように表される．

$$P_{\mathrm{N}i,i-1}\cos\alpha_{\mathrm{N}i}-\frac{T_{\mathrm{N}i}}{F}\cos\beta_{\mathrm{N}i}+N_{\mathrm{N}i}\sin\beta_{\mathrm{N}i}-P_{\mathrm{N}i,i+1}\cos\alpha_{\mathrm{N}i+1}=0 \quad (1)$$

$$-P_{\mathrm{N}i,i-1}\sin\alpha_{\mathrm{N}i}-W_{\mathrm{N}i}+\frac{T_{\mathrm{N}i}}{F}\sin\beta_{\mathrm{N}i}+N_{\mathrm{N}i}\cos\beta_{\mathrm{N}i}+P_{\mathrm{N}i,i+1}\sin\alpha_{\mathrm{N}i+1}=0 \quad (2)$$

ここで，$P_{\mathrm{N}i,i-1}$：ブロック形状Ｎのｉ番目のブロックとそれに隣接する i-1 番目のブロックの境界で法線に $\alpha_{\mathrm{N}i}$ の角度で作用する力(kN/m^2)

$P_{\mathrm{N}i,i+1}$：ブロック形状Ｎのｉ番目のブロックとそれに隣接する i+1 番目のブロックの境界で法線に $\alpha_{\mathrm{N}\,i+1}$ の角度で作用する力（kN/m^2）

$W_{\mathrm{N}i}$：すべり土層ブロックの重量（kN）

$T_{\mathrm{N}i}$：すべり面上のせん断力（kN/m^2）

$N_{\mathrm{N}i}$：すべり面上に垂直に働く力（kN）

$\beta_{\mathrm{N}i}$：すべり面の傾斜角（degree）

$\alpha_{\mathrm{N}i}$：$=\beta_{\mathrm{N}i}/3$

F：安全率

Ｎ：ブロック形状（Ⅰ～Ⅳ）

同様に，図７に示すように，終点ブロックにおける水平・鉛直方向の力のつり合いは，次式のように表される．

$$\frac{T_{\mathrm{N}\ell}}{F}\cos\beta_{\mathrm{N}\ell}-P_{\mathrm{N}\ell}\cos\alpha_{\mathrm{N}i}+N_{\mathrm{N}\ell}\sin\beta_{\mathrm{N}\ell}=0 \quad (3)$$

$$-W_{\mathrm{N}\ell}-\frac{T_{\mathrm{N}\ell}}{F}\sin\beta_{\mathrm{N}\ell}-P_{\mathrm{N}\ell}\sin\alpha_{\mathrm{N}\ell}+N_{\mathrm{N}\ell}\cos\beta_{\mathrm{N}\ell}=0 \quad (4)$$

ここで，$P_{\mathrm{N}\ell}$：ブロック形状Ｎの終点ブロックに $\alpha_{\mathrm{N}\ell}$ の角度で作用する力（kN/m^2）

$W_{\mathrm{N}\ell}$：終点ブロックの重量（kN）

$T_{\mathrm{N}\ell}$：すべり面上のせん断力（kN/m^2）

$N_{\mathrm{N}\ell}$：すべり面上に垂直に働く力（kN）

$\beta_{\mathrm{N}\ell}$：すべり面の傾斜角（degree）

F：安全率

Ｎ：ブロック形状（Ⅰ’～Ⅱ’）

これらの式を変形することで，次式が得られる．

$$P_{\mathrm{N}i,i+1}=\frac{\cos(\beta_{\mathrm{N}i}-\alpha_{\mathrm{N}i})P_{\mathrm{N}i,i-1}-W_{\mathrm{N}i}\sin\beta_{\mathrm{N}i}-\dfrac{T_{\mathrm{N}i}}{F}}{\cos(\beta_{\mathrm{N}i}-\alpha_{\mathrm{N}i+1})} \quad (5)$$

$$P_{\mathrm{N}\ell}=\frac{W_{\mathrm{N}\ell}\sin\beta_{\mathrm{N}\ell}-\dfrac{T_{\mathrm{N}\ell}}{F}}{\cos(\alpha_{\mathrm{N}\ell}+\beta_{\mathrm{N}\ell})} \quad (6)$$

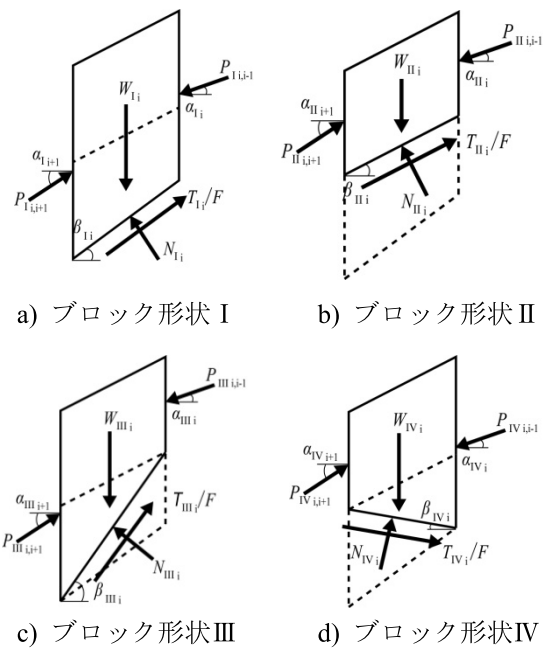


図６　各ブロック形状における力のつり合い（第 i ブロック）

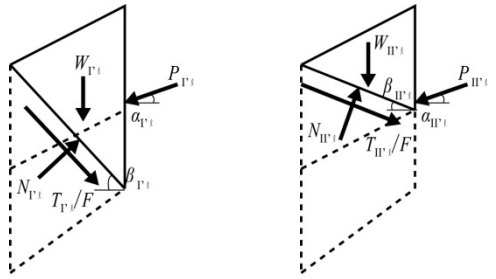


図７　各ブロック形状における力のつり合い（終点ブロック）

上式において，$W_{\mathrm{N}i}$，$W_{\mathrm{N}\ell}$，$\beta_{\mathrm{N}i}$，$\beta_{\mathrm{N}\ell}$，$T_{\mathrm{N}i}$，$T_{\mathrm{N}\ell}$は，土の物性値ならびに境界条件から算定することができる．また，前述した仮定条件から始点ブロックの鉛直すべり面には力が作用しない（$P_{\mathrm{N}1,0}=0$）ため，F を仮定すれば，$P_{\mathrm{N}i,i-1}$（i=1～ℓ-1）は，(5)式より順次求められ，$P_{\mathrm{N}\ell}$ も(6)式から求められることになる．したがって，仮定した F が正しければ，次式が満たされることになる．

$$|P_{\mathrm{N}\ell-1,\ell}-P_{\mathrm{N}\ell}|<\varepsilon \quad (7)$$

ここで，ε：収束条件（=0.0001（kN/m^2））

もし，(7)式が満たされない場合は，新たな F を仮定して，一連の計算を再び行う．その結果，(7)式が満たされるなら，そのときの F がそのすべり土塊ブロックの安全率となる．したがって，n 個の潜在すべり土層

ブロックに対して，全てのすべり土塊ブロックの組合せ（$\sum_{k=2}^{n}\sum_{i=2}^{k}2^{i-1}$通り）について解析することで，従来の多平面安定解析と同様に最小の安全率を示したすべり土塊ブロックの組合せを危険すべり土塊として（但し，安全率が 1.0 を下回る組合せが複数の場合には，その内最も規模が大きいものを危険すべり土塊とする）縦断面における崩壊位置とその規模を評価することができる．また，従来の多平面安定解析手法では，強度定数は基岩と表土層の境界面でしか設定できなかったが，二層型多平面安定解析ではすべり面の位置毎に強度定数を変更することが可能となっており，表土層内の弱層部分や中間すべり面の位置における植生の効果（粘着力の増加など）も考慮することができるようになっている．なお，本手法の解析フローを図 8 に示す．

3. モデル斜面を用いた検討

3.1 モデル斜面の概要

各土塊ブロックの水平幅を 2m に固定し,一様傾斜モデル(潜在すべり土層ブロックを 10, 表土層深を 1.5m, 傾斜 35°とし，地表面～中間すべり面間と中間すべり面～基岩間の表土層深の比をそれぞれ 1：1（0.75m：0.75m），2：1（1.00m：0.50m），1：2（0.50m：1.00m）と変化させたモデル）と，非一様傾斜・表土層深モデル（潜在すべり土層ブロックを 11，平均傾斜 30°）のモデル斜面（図 9 参照）に対して，二層型多平面安定解析を適用し，表層崩壊発生に及ぼす植生の影響（根系による粘着力増分 [4]）を検討する．なお，入力物性値は表 1 のように設定し，根系による粘着力の増分の有・無を考慮することとした．また，地下水を考慮した検討では, 降雨に伴って地下水面が一様に上昇 (0.3m ピッチ）すると仮定して計算を行うこととした．

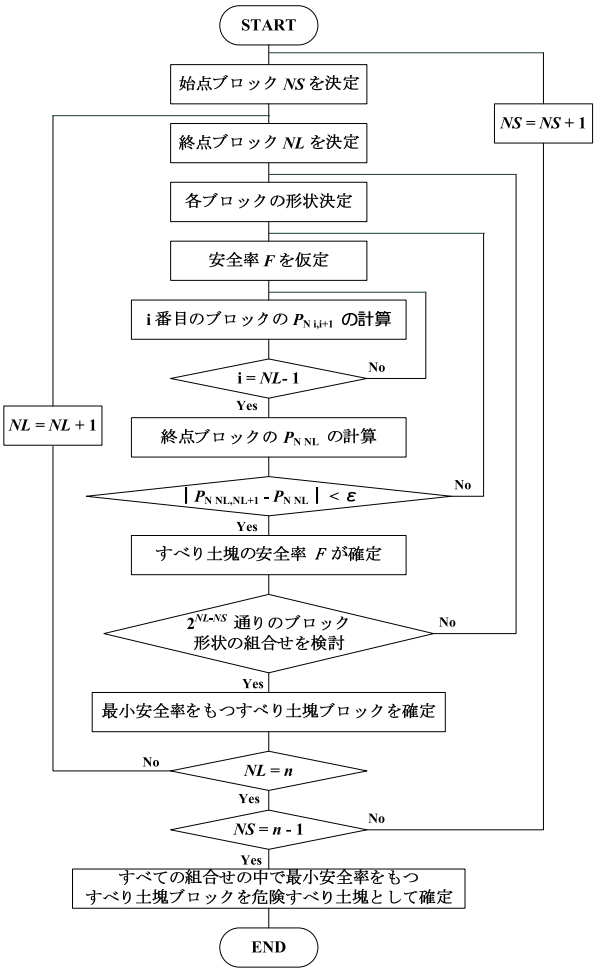
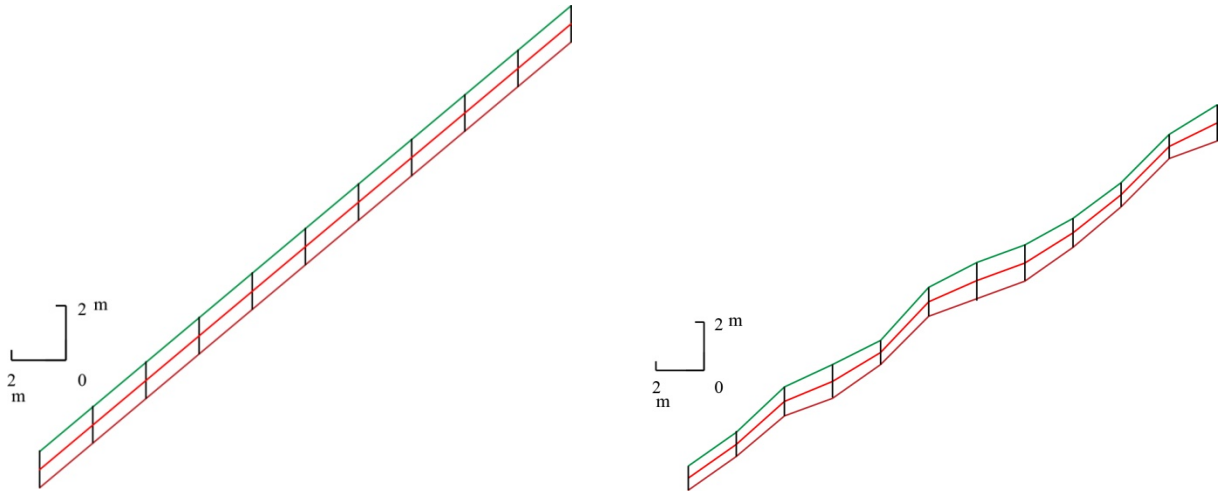


図 8　二層型多平面安定解析手法の算定フロー

3.2 解析結果（地下水位なし）

二層型多平面安定解析による算定結果を図 10 に示す．図中には，解析によって得られた危険すべり土塊の形



a) 一様傾斜モデル（1：1 モデル）　　b) 非一様傾斜・表土層深モデル

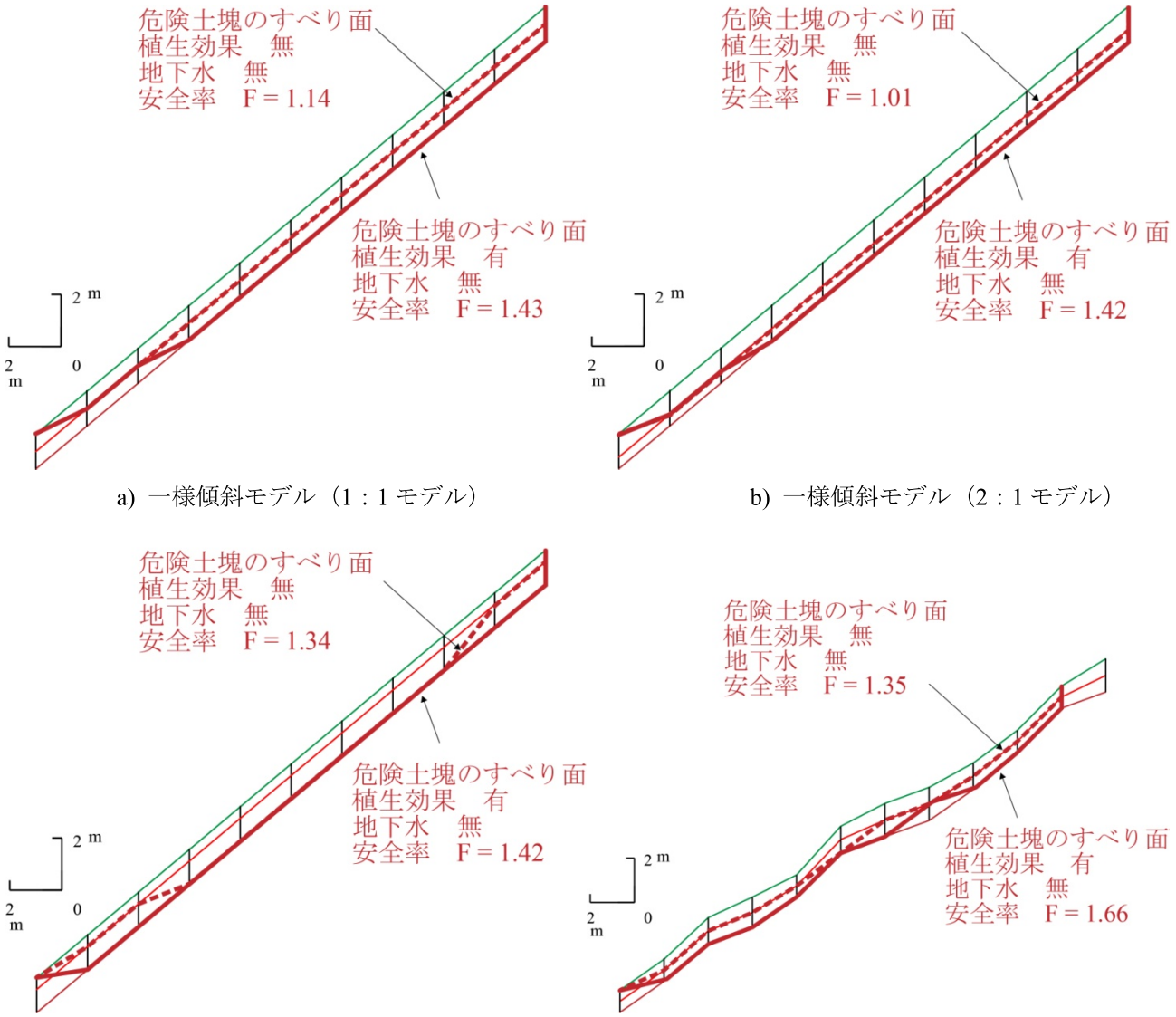
図 9　モデル斜面形状

状ならびにその安全率を示している．なお，比較のため，従来の多平面安定解析手法の結果を図 11 に示す．

一様傾斜モデルの植生の効果を考慮していないモデルの算定結果に着目すると，表土層深の割合の違いにより得られた安全率が大きく変化しており，また，危険すべり土塊の形状も表土層深の割合の違いによって変化していることが分かる．図 11a)に示した従来の多平面安定解析手法の結果と比較すると，危険すべり土塊の形状も薄く，また全体に安全率が低く算定されていることがわかる．一方，植生の効果を考慮したモデルの算定結果に着目すると，表土層深の割合に関係なく安全率は同様の値を示しており，また，危険すべり

表 1　入力物性値

物性値 ／ 土層位置	粘着力 c（kPa）（粘着力増分有の場合）	内部摩擦角 φ（°）	単位体積重量 γ_t（kN/m^3）	飽和単位体積重量 γ_{sat}（kN/m^3）
地表面から中間すべり面	3.0（7.5）	20.0	15.0	17.0
中間すべり面	3.0（7.5）	20.0	-	-
中間すべり面から基岩境界面	4.0	25.0	17.0	19.0
基岩境界面	5.0	31.0	-	-



a) 一様傾斜モデル（1：1 モデル）　b) 一様傾斜モデル（2：1 モデル）

c) 一様傾斜モデル（1：2 モデル）　d) 非一様傾斜・表土層深モデル

図 10　二層型多平面安定解析による算定結果

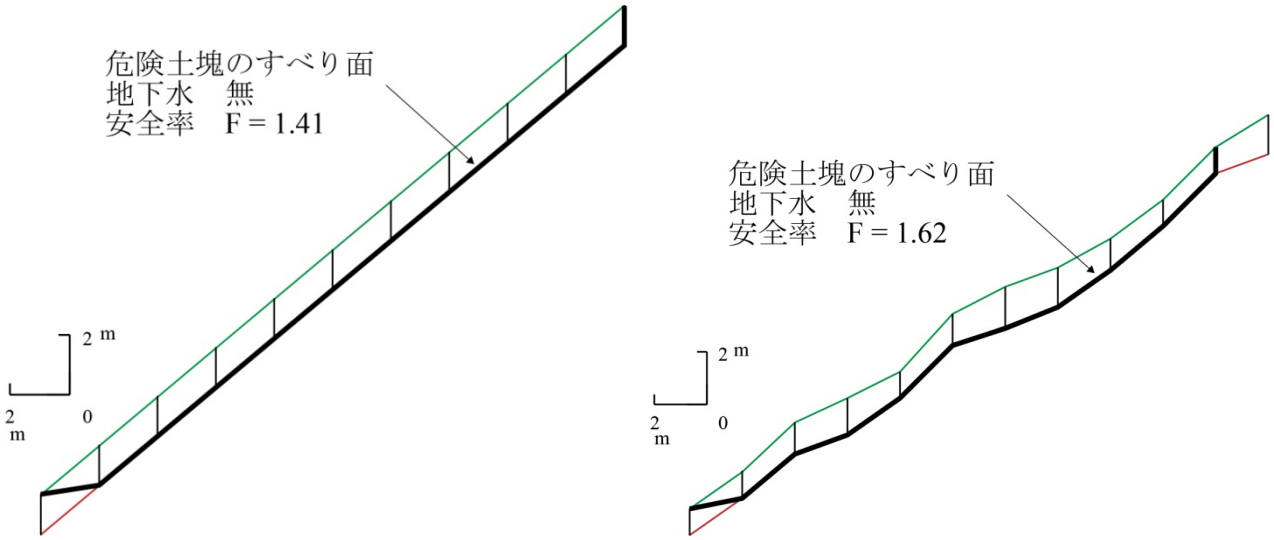
土塊の形状も末端部分で若干の違いが見られるもののほぼ同様の形状を示していることが分かる．また，これらの結果は，図 11a)に示した従来の多平面安定解析手法の結果とも同様の結果であった．

非一様傾斜・表土層深モデルに着目すると，一様傾斜モデルと同様，表土層内に弱層があると，すべり面が表土層内の浅い位置に表れ，安全率も小さくなっていることが分かる．また，従来の多平面安定解析手法の結果との比較も，一様傾斜モデルと同様の傾向であるといえる

以上の結果から，表土層内に土質強度の小さな土層が存在している場合，表層崩壊型のすべり面の位置として従来から指摘されてきた表土層と基岩の境界面よりも浅い位置にすべり面が表れるといえ，従来の多平面安定解析手法による検討では，安全率を過大に評価してしまうことになるといえる．特に，土質強度の小さな土層が厚く堆積している場合は，その差が大きくなる．一方，表土層内に根系による粘着力増加が有ることにより，斜面全体としての安全率は高くなるといえる．

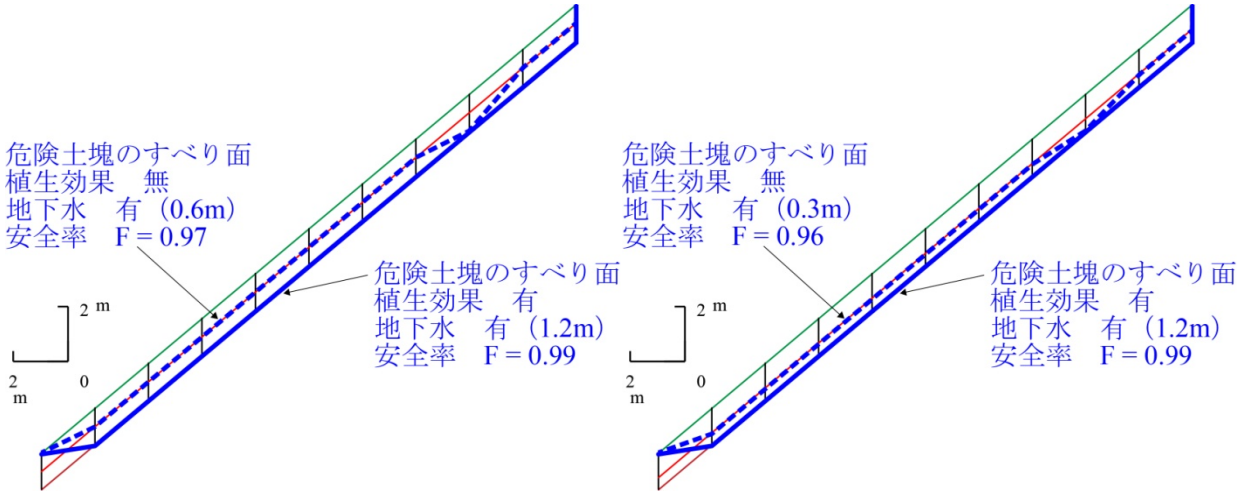
3.3 解析結果（地下水位考慮）

地下水位を考慮した場合の二層型多平面安定解析手



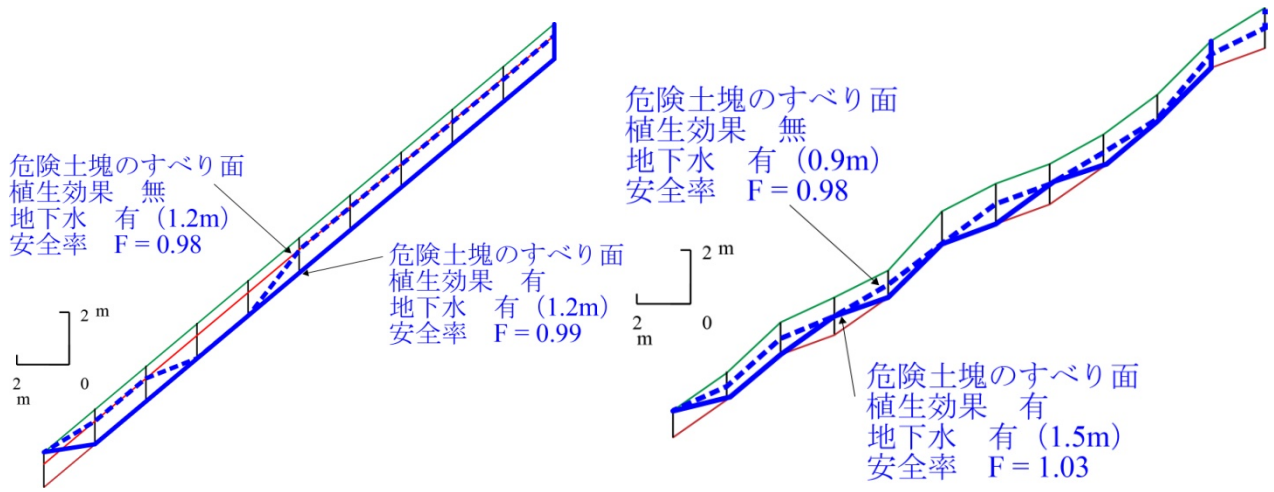
a) 一様傾斜モデル　　b) 非一様傾斜・表土層深モデル

図 11　多平面安定解析による算定結果



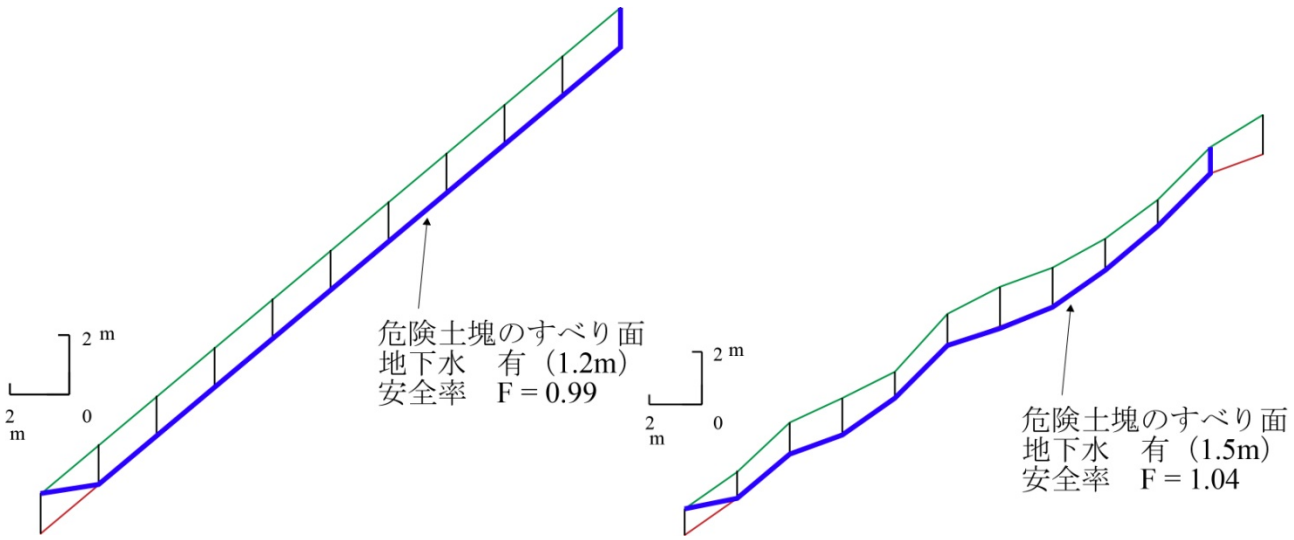
a) 一様傾斜モデル（1：1 モデル）　　b) 一様傾斜モデル（2：1 モデル）

図 12　二層型多平面安定解析による算定結果（地下水位を考慮）



a) 一様傾斜モデル（1：2 モデル）　　b) 非一様傾斜・表土層深モデル

図 13　二層型多平面安定解析による算定結果（地下水位を考慮）



a) 一様傾斜モデル　　b) 非一様傾斜・表土層深モデル

図 14　多平面安定解析による算定結果

法による算定結果を図 12，13 に示す．図中には，解析によって得られた危険すべり土塊の形状ならびにその安全率と地下水位を示している．また，比較のため，従来の多平面安定解析手法の結果を図 14 に示す．

一様傾斜モデルの植生の効果を考慮していないモデルの算定結果に着目すると，地下水位を考慮していない場合と同様，表土層深の割合の違いにより，危険すべり土塊の形状が変化していることが分かる．また，土質強度の小さな土層が厚く堆積している場合ほど，地下水位が低い状態で崩壊が発生（F が 1.0 を下回る）するといえる．一方，危険すべり土塊の形状は，土質強度の小さな土層が薄く堆積している場合ほど，地下水位が無い場合との危険すべり土塊の形状の違いが大きく表れている．図 14a)に示した従来の多平面安定解析手法の結果と比較すると，危険すべり土塊の形状は薄くなっており，地下水位が低い状態で崩壊が発生することが分かる．一方，植生の効果を考慮したモデルの算定結果に着目すると，表土層深の割合に関係なく危険すべり土塊の形状は同様の形状を示しており，植生の効果を考慮していないモデルに比して厚いことが分かる．また，地下水位は植生の効果があることで，崩壊が発生するためには，地下水位が高い位置まで上

昇する必要があるといえる．これらの結果は，図 14a) に示した従来の多平面安定解析手法の結果とも同様の結果であった．

非一様傾斜・表土層深モデルに着目すると，一様傾斜モデルと同様，表土層内に弱層があると，すべり面が表土層内の浅い位置に表れ，地下水位が低い状態で崩壊が発生することが分かる．また，危険すべり土塊の形状は，降雨時のほうがより上方から崩壊する結果となっている．一方，植生の効果を考慮した場合は，従来の多平面安定解析手法の結果と同様の傾向であるといえる

以上の結果から，表土層内に土質強度の小さな土層が存在している場合，表層崩壊型のすべり面の位置として従来から指摘されてきた表土層と基岩の境界面よりも浅い位置にすべり面が表れ，地下水も低い条件で崩壊が発生するといえる．また，降雨時の危険土塊すべりの形状と降雨時の危険すべり土塊の形状が異なる場合があることが確認された．

4. まとめ

表土層内の浅い位置に潜在すべり面が存在した場合にも安定性が評価できるよう多平面安定解析手法を改良した二層型多平面安定解析手法を提案した．モデル斜面を対象に根系による粘着力の増分の有・無や地下水位の違いによる危険すべり土塊の違いを検討した．検討結果より得られた結果をまとめると次のようになる．

1) 表土層内に根系による粘着力増加が有ることにより，斜面全体としての安全率は高くなる．一方，土質強度の小さな土層が存在している場合は，安全率が低くなり，危険すべり土塊の形状は，粘着力増加が有る場合に比して薄くなる．

2) 雨水の浸透等により地下水位が上昇した場合，根系による粘着力増加が無い斜面に比して，地下水位の上昇に対する抵抗力は高いが，崩壊を引き起こすレベルまで地下水が上昇した場合には，崩壊規模が大きく（崩壊深が深く）なる．

3) 無降雨時の危険土塊すべりの形状と降雨時の危険すべり土塊の形状は異なる場合があり，二層型多平面安定解析手法では，その違いを評価できるといえる．

今後は，実斜面を対象として，本手法の表層崩壊型の斜面安定解析手法としての有効性を検証する予定である．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，JSPS 科研費 24510261 の助成を得た．ここに記して謝意を表します．

参考文献

(1) 村上晴茂，谷本実，荒木繁幸，森島直樹，杉森辰次，鏡原聖史 :「2004 年台風によって発生した風倒木を伴う山腹崩壊について」，第 41 回地盤工学研究発表会講演概要集，地盤工学会，pp. 2157-2158，2006.

(2) 松村法行，高橋甲八，鏡原聖史，高橋豪夫，灰谷雅昭，魚住誠司 :「兵庫県における風倒木に伴う山腹崩壊」，日本応用地質学会平成 19 年度研究発表会講演論文集，pp.173-174，2007.

(3) 沖村孝 :「潜在土層分布を利用した表層崩壊発生位置に関する研究」，新砂防，35-1，pp.9-18，1982.

(4) 北原曜 :「森林根系の崩壊防止機能-力学的評価法」，森林技術情報，3，長野県林業コンサルタント協会，15p.，2005.

洪水出水による都市河川河口の地形変化

木下歩*　　宇野宏司**

Topographic Change of the Urban River Mouth by the Flood

Ayumi KINOSHITA*　　Kohji UNO**

ABSTRACT

In this study, we carried out continuous monitoring and field survey to grasp the water environment and topographic change at river mouth bar by the flood. Study site is Akashi River mouth, Hyogo Prefecture in JAPAN. Akashi River is one of the typical urban river, the bar and terrace at the river mouth repeat appearance and disappearance. In this study, first, we observed the shape of the bar using a portable GPS and digital camera. Second, we grasped the topographic change by the ground level survey using electronic level equipment and the image analysis for calculation of the mean diameter. Finally, the continuous monitoring at the river mouth and the daily observation before and after flood were conducted. From these observations, it is clarified the river mouth bar and terrace tends to be formed in the winter and be washed away by the flood in rainy season.

Keywords : continuous monitoring, topographic change, river mouth bar, flood, portable GPS

1. 研究背景と目的

明石川は，神戸市，明石市，三木市の 3 市を流れ播磨灘に注ぐ 2 級河川で，流路延長 21.0 km，流域面積 128.4 km^2 の都市中小河川である．本河川の河口では，砂州やテラスが形成され，ヨシ等の抽出植物が繁茂し，淡水魚であるコイなども生息している．下流域の伊川合流部から河口までの区間（約 1.7 km）には，高潮堤防，高潮堰が設けられている．これらの地形は河道内への波浪の侵入や塩水の遡上を防止する役割を果たしている．一方で，砂州が過剰に発達し河口部が閉塞状態になると，洪水疎通能が低下する．その結果，近年多発している局所豪雨のような短期間に大きな出水があった場合，河道内水位が急上昇し，親水空間が浸水する可能性がある．また明石川河口右岸には船上浄化センターが隣接しているため，河口閉塞が進むと放流した処理水が海域へ放流されることなく，河口部に停滞し，水環境を悪化させるといった問題も起こりうる．このように防災や環境面から重要な機能を果たしていると思われる河口砂州の地形や底質は，河川流による上流から土砂輸送や，波・流れによる漂砂によって常に変動している．こうした変動が水質や洪水氾濫リスクにどのような影響を及ぼすのかを定量的に把握し，適切な河道計画の策定や洪水ハザードマップの作成を行う必要がある．

明石川河口においては，ラジコンボートを用いて河口域の地形と水質の時空間変動の把握を行った宇野ら[(1)]の研究事例があるが，河口砂州の地形変化を対象とした研究はなされていない．

そこで本研究では，**図-1** に示す明石川河口左岸に形成される河口砂州及び右岸から伸びるテラスを対象に，砂州形状と底質の時空間変化の特徴をとらえることを目的として，毎月 1 回の継続的な現地調査と連続モニタリング，2 度にわたる 24 時間の集中調査を実施し，洪水に伴う大きな出水の前後での河口砂州・テラスの地形変化及び明石川河口の水環境変化を把握する．

2. 調査概要

2012 年 4 月～2013 年 9 月までの期間で毎月 1 回大潮の干潮時に，明石川河口左岸沿いに形成される砂州と右岸から伸びる前面テラスを対象とし，地形の時空間変動の把握に関する現地調査を行なった．ここでは干潮時の汀線を境界とし，汀線で囲まれる砂州全域内に

*　専攻科 都市工学専攻
**　都市工学科 准教授

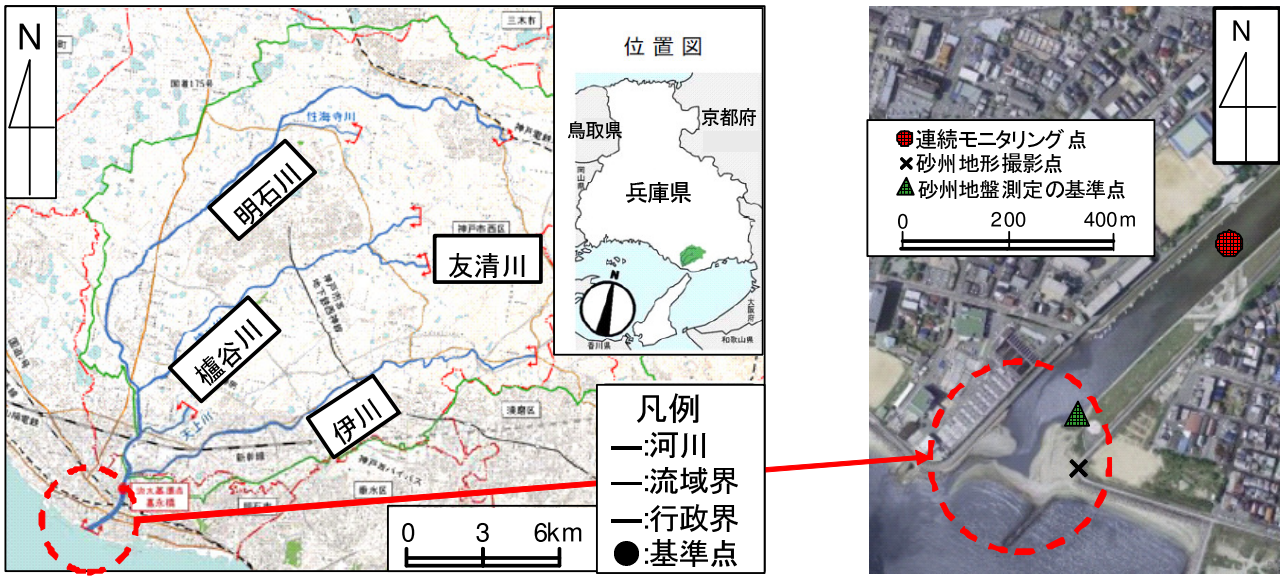


図１　明石川流域と現地調査地点

約 10 m 間隔の測点を設け，地盤高の測定及び平均粒径算出のための表層底質の画像撮影を行った．また，左岸堤防上の定点において砂州の形状変化を把握するため砂州全体の撮影を行った．水環境については，計器を用いた連続モニタリング，河口閉塞時（2013 年 4 月 26，27 日）と閉塞が解消された時期（2013 年 8 月 5，6 日）の 2 回にわたる集中調査を実施した．詳細については以下に示す．

2.1　定点観測

(a) 砂州形状の把握　明石川河口先端の左岸堤防上より河口砂州の形状をデジタルカメラ（COOLPIX P6000，Nikon 社）で定点撮影し，砂州全体の形状を把握した．また，携帯型 GPS（GPSMAP60CSx，GARMIN 社）で汀線沿いの位置データを記録した．

(b) 砂州の地盤高の把握　砂州上に電子レベル（DL-103，TOPCON 社）を据え付け，各測点の地盤高を測定した．ここでの地盤高は，基準点（砂州上流側にあるコンクリート地盤：**図 1** 参照）での高さを 0 とした場合の相対的な高さである．また，各測点の位置情報については，携帯型 GPS（GPSMAP60CSx，GARMIN 社）を用いて記録した．なお，調査月で砂州形状は常に変化し，各月の測定は厳密には一致しない．そこで各月の地盤高を比較するため，測点を用いて領域を三角形要素分割[2]し，空間分布図を作成したのち，2 次元 1 次補間関数を用いて，定点での値に空間補間によって算出した．

(c) 平均粒径の算出　各測点において，デジタルカメラ（COOLPIX P6000，Nikon 社）の接写による表層底質の画像撮影を行った．取得されたそれぞれの画像に対し，Rubin らの提案する画像の空間統計特性を考慮した画像処理方法[3]を用いて，各測点の平均粒径を算出した．また，地盤高と同様に各月の値を比較するため定点での値を補間した．

図２　集中調査における計器設置図

2.2　連続モニタリング

河口から上流側約 400 m 地点の右岸護岸下（**図 1** 参照）に自記録式水温塩分計（COMPACT-CT，JFE アドバンティック社）と自記録式水位計（HOBO U-20，onset 社）を取り付けたブロックを設置し，2 分間隔で水深，塩分，水温を計測した．

2.3　集中調査

2013 年 4 月に完全に河口閉塞となった明石川河口は，2013 年 6 月の梅雨前線に起因する降雨によって，河口閉塞が若干解消された．本調査では，河口閉塞時と閉塞が解消された時期の明石川河口の流動環境を比較した．この集中調査では**図 2** に示すように，右岸テラスの中央沖側と岸側に自記録式水位計（HOBO U-20，onset 社）と自記録式水温塩分計（COMPACT-CT，JFE アドバンティック社）を，右岸テラスの上流側に自記録式流向•流速計（INFINITY-EM AEM-USB，JFE アドバンティック社）を設置した．これらの計器の測定間隔は，それぞれ 4 秒，1 秒，0.1 秒である．

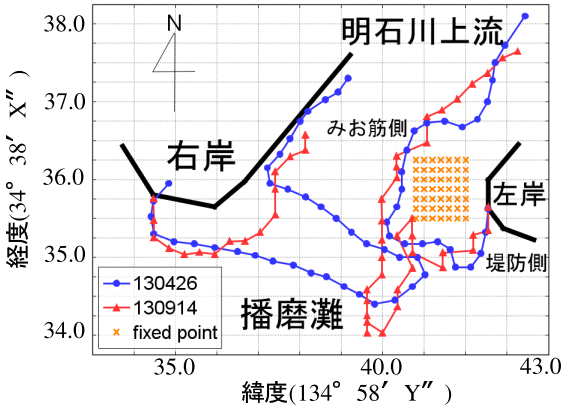


図 3　砂州形状

写真 1　砂州形状（閉塞時，2013 年 4 月 27 日）

写真 2　砂州形状（フラッシュ直後，2013 年 9 月 14 日）

3. 調査結果および考察

3.1 砂州の形状把握　図 3，写真 1，2 に 2013 年 4 月と 2013 年 9 月の砂州形状を示す．これを見ると，4 月には見られた右岸テラスが 9 月には消失しており，砂州地形が沖方向に延びた形状となっていた．

3.2 出水になる降雨と流量変化　砂州の形状変化の一因には降雨による出水が挙げられると考え，気象庁アメダス明石観測所（明石市二見町南二見）で観測された降水量データ[(4)]をまとめた．図 4 に出水の見られた 2013 年 6 月と 9 月の降水量と明石川河口の流量を示す．流量については，明石川水位観測所から得られた水位と設定された HQ 式を用いて算出した．6 月の降水量と流量を見ると，6 月 19, 20 日の降雨に伴い約 130 m^3/s もの急激な流量の上昇が見られる．降雨後においても河口内の流量は，18 日の降雨前の流量を上回る 180 m^3/s 以上の流量が 9 日間続いたことからも，出水が大きかったことがうかがえる．また 9 月は，台風 1317 号の接近に伴う降雨により 4 日の時間降水量が 41 mm を示し，このタイミングで砂州が完全にフラッシュされたと考えられる．この時の流量を見ると，9 月 4 日で 411 m^3/s であり，6 月 20 日の流量約 285 m^3/s に比べ約 1.4 倍もの規模であった．なお，明石川河口の計画高水流量は 1300 m^3/s である．

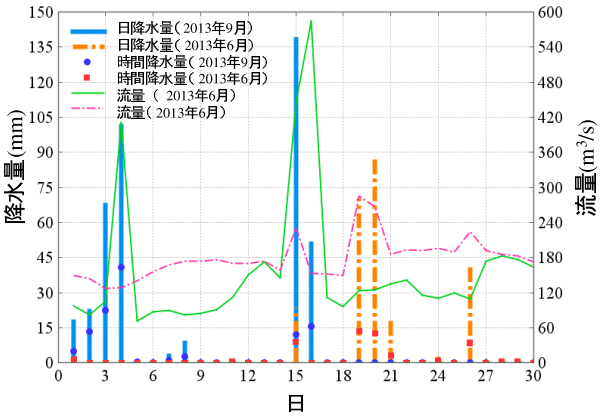


図 4　気象データ

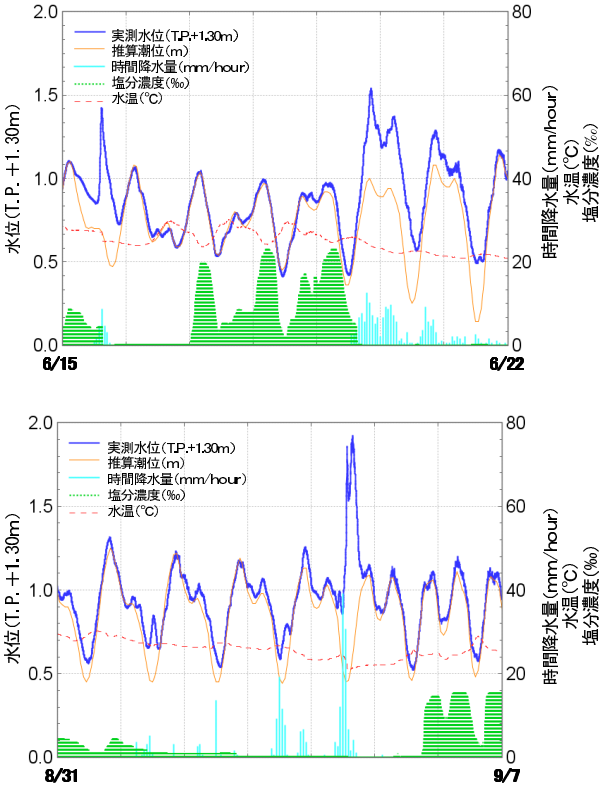


図 5　連続モニタリング結果
（上：2013 年 6 月，下：2013 年 9 月）

3.3 連続モニタリング　図 5 に 6 月と 9 月の降雨の見られた前後の連続モニタリング結果を示す．いずれの日も出水による水位の上昇と，海からの塩分供給が絶たれていることが確認された．干潮時にもかかわらず水位上昇が顕著に見られた 9 月 4 日の降雨によって，テラス及び砂州がフラッシュされたと推察される．その後は，河口閉塞が解消され，潮位変動により塩分の遡上が確認された．

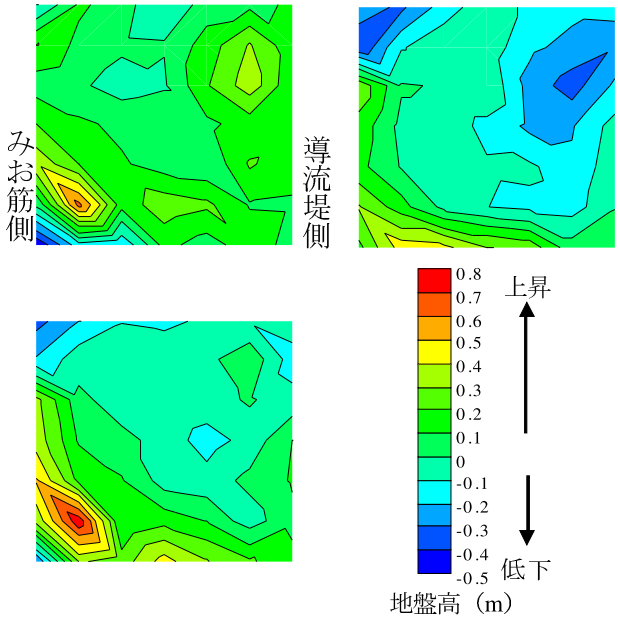


図 6　地盤高の差値
（左上：6 月－4 月，右上：9 月－6 月，左下：9 月－4 月）

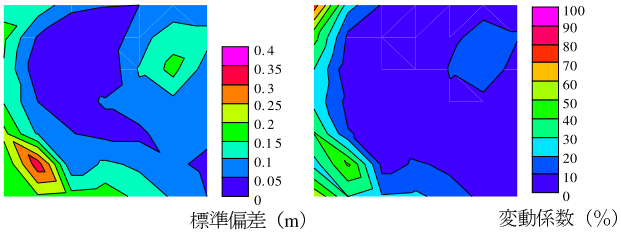


図 7　地盤高の標準偏差と変動係数

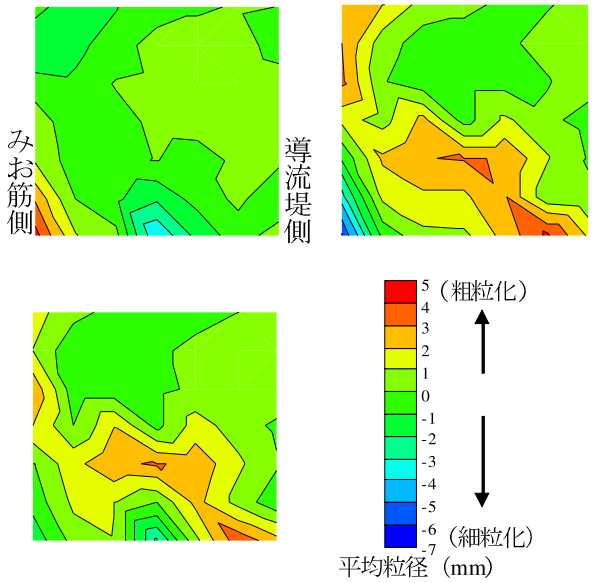


図 8　平均粒径の差値
（左上：6 月－4 月，右上：9 月－6 月，左下：9 月－4 月）

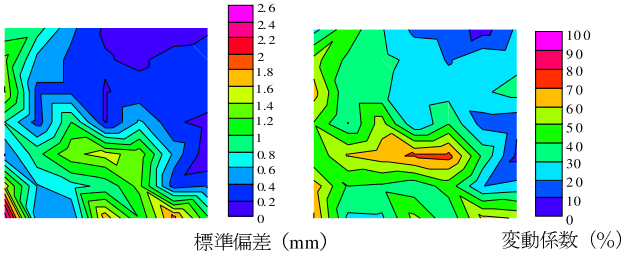


図 9　平均粒径の標準偏差と変動係数

3.4 砂州の地盤高及び粒度変化　本調査では，砂州の地形変化や潮汐の影響により厳密な測定地点が異なるため，他の月の観測値との比較ができない．そこで 5 m 間隔の格子状の定点（**図 3** 参照）を設けて，定点での補間値を算出し，空間分布図を作成した．対象としたデータは，4 月の閉塞時，6 月，9 月の降雨後の地盤高，平均粒径である．また，両者の標準偏差と変動係数の空間分布についても示した．**図 6** に 4 月と 6 月，6 月と 9 月，4 月と 9 月の地盤高の空間分布図の差値，**図 7** に地盤高の標準偏差と変動係数を示す．差値については，例えば 4 月と 6 月については 6 月から 4 月の差をとった．9 月と 4 月の差値を見ると，上流側付近では地盤高は低下しているが，沖側前面では地盤高の上昇が見られる．これは，降雨による出水に伴い上流側の砂が沖側へ流されたためであると考えられる．その地点の地盤高のばらつきの度合いを示す標準偏差について見ると，砂州中央部に比べみお筋側が 0.15 以上と大きく，特に沖側前面では 0.3 以上となっており，出水の影響による変動は沖側前面が大きかったことがうかがえる．地盤高の大きさとの相対関係からみたばらつきの度合いを示す変動係数については，みお筋側で大きくなることがわかった．これは，出水の影響によるものと考えられる．

図 8 に 4 月と 6 月，6 月と 9 月，4 月と 9 月の平均粒径の空間分布図の差値，**図 9** に平均粒径の標準偏差と変動係数を示す．9 月と 6 月の差値を見ると，6 月の降雨後は沖側前面で粗粒化が見られたが，9 月には上流側と砂州中央部でも粗粒化が見られた．6 月の降雨では砂州は完全にフラッシュはしなかったが，沖側前面においては出水によって細砂が乱され，粗粒化したと考えられる．一方，9 月 4 日には時間降水量 41 mm，流量 411 m^3/s を示し，砂州がフラッシュするほど出水が大きく，それに伴い砂州中央部まで粒径の大きい砂が運ばれ，堆積し粗粒化したと考えられる．また，沖側前面が細粒化していることから，洪水末期に微細粒子が堆積したと考えられる．標準偏差について見ると，汀線沿いで大きくなっていた．特に出水の影響が大きいみお筋側は，沖側前面では 2 mm 以上を示した．変動係数について見ると，砂州中央部が大きくなっていた．これは，砂州が完全にフラッシュされる規模の出水においては，砂州中央部の地形が大きく乱されることが推測される．

表 1　沖側水位の解析結果

年月日	最大波高(m)	1/10最大波(m)	1/3最大波(m)	平均波(m)
2013年4月26日	0.205	0.098	0.061	0.023
2013年8月5日	0.394	0.176	0.126	0.067

表 2　岸側水位の解析結果

年月日	最大波高(m)	1/10最大波(m)	1/3最大波(m)	平均波(m)
2013年4月26日	0.01	0.003	0.002	0.002
2013年8月5日	0.048	0.018	0.012	0.007

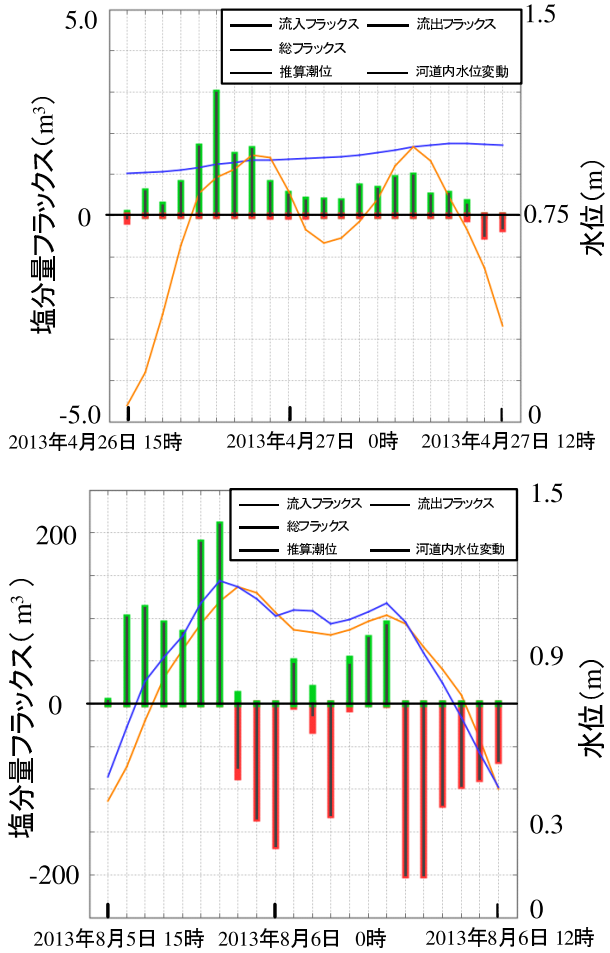


図 10　塩分量フラックス(上:4 月，下:8 月)

3.5 集中調査

(a) ゼロアップクロス法　沖側と岸側の水位に対して，河口の水位は波浪により不規則に変化するため，個々の波を定義し，水位が上昇しながら平均水位を切る時刻を区切りとするゼロアップクロス法を用いた．**表 1** に沖側水位の解析結果を示す．4 月の閉塞時に比べ 8 月の解消時の有義波が高くなっている．沖側の水位変動は，波浪と潮汐による変動が主であり，閉塞時・解消時で際立った変化はなかった．**表 2** に岸側水位の解析結果を示す．4 月の閉塞時の有義波高は沖側に比べて非常に低いことから，河口が閉塞することで，河口域は静穏な流動場となっていることがわかった．

(b) 塩分量フラックス　**図 10** に岸側の水位と塩分濃度を用いて計算した塩分量フラックスを示した．これは，観測された 4 秒間隔の水位データの時間変化から流出入方向を決定し，河積に塩分の観測値を乗じることによって算出した．なお，河積は長方形断面と仮定して，水深に実際の平均河幅 B=110 m を乗じることで決定した．また，水位データは 1 時間移動平均を行ったデータを使用した．これを見ると，解消時では確認された上げ潮時の塩分流入，下げ潮時の塩分流出が閉塞時では確認できなかった．また閉塞時では，塩分の流入は僅かであることがわかった．

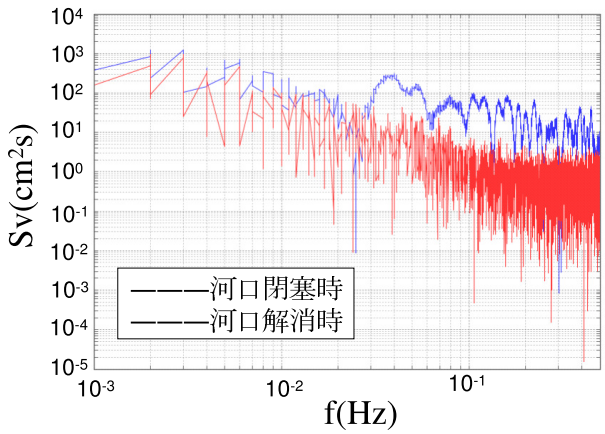


図 11　流速に対するスペクトル解析結果

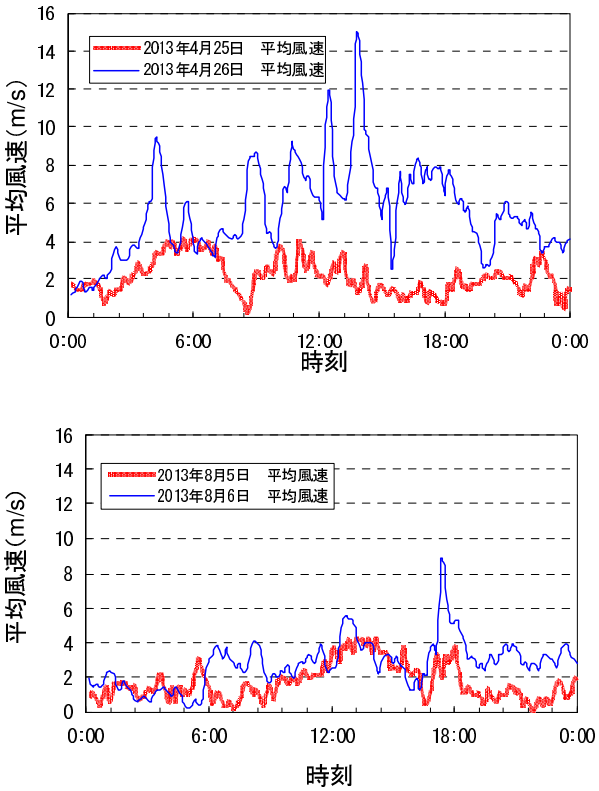


図 12　平均風速(上:4 月，下:8 月)

(c) スペクトル解析　**図 11** に流速に対するスペクトル解析の結果，**図 12** に集中調査時の平均風速を示す．解消時の 8 月に比べ閉塞時の 4 月に大きなエネルギー

スペクトルが確認されたが，これは 4 月の風速は高く，風の影響が解消時に比べ強くあらわれたためと考えられる．平均風速を見ると，8 月に比べ 4 月の平均風速は高く，4 月 25 日から 26 日にかけて風速は大きくなっていた．

4. まとめ

本研究では，明石川に形成される河口砂州及びテラスを対象に洪水出水による都市河川河口の地形変化及び明石川河口の水環境（水位・塩分）変化を把握することを目的に，毎月 1 回の継続的な現地調査と連続モニタリング，2 回にわたる 24 時間の集中調査を実施した．その結果，都市河川の河口砂州は降雨による出水や波浪の影響で地形変化は約 1 年間で著しく変化することが明らかにされた．この河口砂州を適切に管理し，閉鎖的な都市河川河口の水環境の改善がなされることが洪水に伴う浸水リスク低減効果の実現に求められる．本研究で得られた結論を以下に示す．

（1）2012 年 4 月から 2013 年 9 月の期間行った現地調査の結果，夏季において，活発な降雨に伴い右岸テラスが消失していた時期は月変化でみても地形変化が大きく見られた．冬季にかけては右岸テラスが発達し，それに伴い左岸砂州地形の拡大傾向と砂州地盤高の安定化，平均粒径の均一化が見られ，2013 年 4 月に河口は閉塞した．その後 6 月 19，20 日に連続して明石観測所では 2013 年初めての日降水量70 mm以上の降雨により若干解消され，9 月 4 日に時間降水量 41 mm という激しい降雨による出水で，砂州及びテラスは完全にフラッシュした．

（2）連続モニタリングの結果より，梅雨による 2013 年 6 月，台風 1317 号による 9 月の降雨出水では，河口域の水位は顕著に上昇し，出水の影響で塩分供給が絶たれていたことが確認された．また，干潮時における降雨と水位上昇は，9 月において砂州及びテラスがフラッシュされたことから，砂州の地形変化に大きな影響を与えることがわかった．

（3）集中調査を行い閉塞時と解消時を比較した結果，閉塞時は潮汐の影響を受けず塩分供給は絶たれ，出水により解消されることで，塩分供給が再び行われることがわかった．また閉塞時は，河口域は静穏域となることから，降雨以外は風の影響が主に作用していることがわかった．

参考文献

(1) 宇野宏司, 新井淳平, 辻本剛三, 柿木哲哉:「安全かつ省力的･経済的な手法による都市河川河口動態の把握」, 水工学論文集, Vol.52, pp.1705-1710, 2012.
(2) 谷口健男 :「FEM のための要素自動分割ーデローニ三角分割法の利用ー」, 森北出版, 198p, 1992.
(3) David M. Rubin: "A simple autocorrelation algorithm for determining grain size from digital images of sediment", Journal of Sedimentary Reserch,Vol.74,No.1, pp.160-165,2004.
(4) 気象庁・過去の気象データ http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

淡路島における行政・教育機関・地域住民の防災に対する意識の変遷

瀬崎　瑛*　宇野　宏司**

Changes of the Consciousness against the Disaster Prevention of Administration, Educational Facilities and Local Residents in Awaji Island

Akira SEZAKI*　Kohji UNO**

ABSTRACT

In Awaji Island, a powerful earthquake will be hit in the near future and it will be served serious tsunami damage in the vicinity of coastal area. In this study, we carried out interview survey for staffs of local government, elementary school and local community and made clear the change in consciousness against the disaster from before the Southern Hyogo prefecture earthquake in 1995 and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The conscious of residents against the massive earthquake in the Nankai Trough is high and the correspondence against Awaji Island Earthquake in April 13, 2013 was not so bad.

Keywords : Awaji Island, interview survey, the massive earthquake in the Nankai Trough

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日 5 時 46 分，淡路島北部を震源域として発生した兵庫県南部地震は，神戸市と淡路市で震度 7 を観測するなど，阪神地区から淡路島北部にかけて甚大な被害をもたらした．

一方, 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震は，東北地方から関東地方にかけての東日本一帯に甚大な被害をもたらした．この地震により淡路島南部においても津波の到達が観測されている．兵庫県では，1854 年の安政南海地震による津波を想定した津波対策を行ってきたが，東北地方太平洋沖地震発生後の国の中央防災会議などの動きを勘案して，レベル 1（100 年に一度程度の津波）とレベル 2（1000 年に一度程度の津波）の 2 つの津波レベルを想定した津波防災対策が講じられるようになった．2012 年 8 月には，中央防災会議の作業部会と内閣府の検討会によって，東海から九州沖を震源域とする南海トラフ巨大地震に対する死傷者や浸水域等の被害想定が発表された[(1)]. このうち兵庫県では南あわじ市･福良で最大 9m の津波が襲うと想定されており，各自治体ではハード・ソフト両面における津波防災対策に力を入れているところである. こうした状況の中, 2013 年 4 月 13 日 5 時 33 分,「兵庫県南部地震」の余震域の南西端に近接する領域において，淡路市で震度 6 弱，南あわじ市で震度 5 強，洲本市で震度 5 弱を観測する地震が発生した．これにより淡路島内で住家損壊等の物的被害が見られた．

本研究では，近い将来に南海トラフ巨大地震が発生するとされる状況の下で，淡路島における津波防災対策の現状と課題を明らかにするために，まず淡路島沿岸に点在する港湾・漁港における現在の取り組み，将来に向けての対策についてヒアリング調査を実施した．その上で，過去に兵庫県南部地震を経験し，近い将来には南海トラフ巨大地震が発生するとの認識をもっていたであろう，地震・津波防災への関心が比較的高いとされる淡路島内 3 市の自治体防災担当者，学校園関係者，住民を対象に，津波防災に対する意識，および取り組みの変遷を明らかにし，淡路島地震（2013 年 4 月）で，人々がこの地震をどのように捉え，実際にどのように行動したか（あるいは行動しなかったのか）を明らかにした．

2. 調査内容

2.1 沿岸漁港における津波防災対策の現状と課題

*　専攻科 都市工学専攻
**　都市工学科 准教授

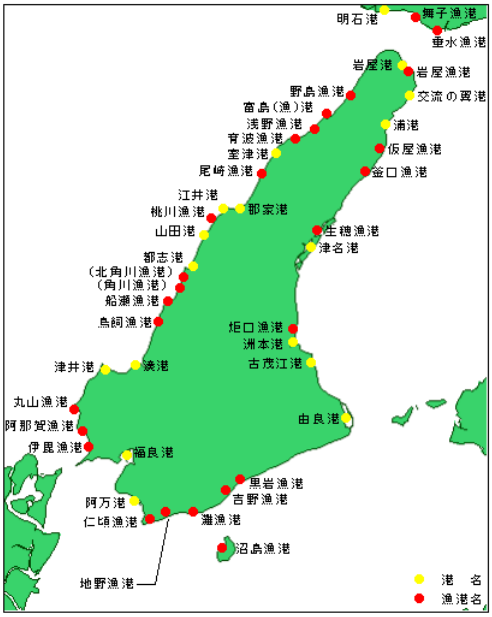


図 1 淡路島の港湾・漁港[2]

図 2 淡路島の各行政機関，学校園，地区の位置

表 1 ヒアリング調査対象者

【行政機関】
・淡路市役所（危機管理部管理課）
・洲本市役所（総務部消防防災課）
・南あわじ市役所（総務部防災課）
【学校園】
・富島小学校（校長，教頭）
・由良小学校（校長）
・福良小学校（教頭，教諭（防災担当））
【地域住民】
・富島地区自治会長
・炬口地区自治会長
・福良地区自治会長

表-2 ヒアリング項目

ヒアリング項目
①1995年兵庫県南部地震以前の対策実施状況
②1995年兵庫県南部地震以降の対策実施状況
Q1-1　兵庫県南部地震以前の取り組み・意識について
Q1-2　兵庫県南部地震以降で浮かび上がった課題・取り組みについて
③2011年想定見直し以降の対策実施状況
Q2-1　現時点で取り組んでいる対策について
Q2-2　現時点で取り組めていない対策について
④2013年淡路島地震時・今後の対応状況
Q3-1　現在の取り組みについて
Q3-2　現時点で取り組めていない課題・今後の課題について

図 1 に淡路島の港湾・漁港を示す．淡路島沿岸は地形的に天然の入り江等に恵まれず，古くから漁港整備が進み，水産業隆盛の原動力となっていた．地域内には 19 の漁協が点在しており，販売事業が中心の経営体質となっている．島内の漁港数は 22 と県下の 41.5%を占め，港湾数は 16 と県下の 53.3%を占めている[3]．兵庫県内の水産業に関して，2011 年における兵庫県全体での漁獲量計 56,442t のうち，漁獲量は計 22,466t で県下の約 39.8%を占め，淡路島の水産業は盛んである．南海トラフ巨大地震の想定見直しにより，県内で最大の津波高が予想されている淡路島における漁業の重要性という観点から，産業基盤となる港湾・漁港施設を津波というハザードに対して粘り強い構造にしていく必要がある．本研究では淡路島に点在する港湾・漁港における津波襲来時に備えた現在の取り組みや，将来に向けての対策を把握するために，兵庫県庁漁港課，淡路県民局洲本土木事務所港湾課及び漁港課においてヒアリング調査を実施した．

2.2 南海トラフ巨大地震に向けた応急課題の抽出

図 2 に淡路島の各行政機関，学校園，地区の位置を示す．また，**表 1** にヒアリング調査対象者を示す．また，**表 2** にヒアリング項目を示す．兵庫県淡路島内 3 市の自治体・学校園・地区において，①1995 年兵庫県南部地震以前の地震・津波対策の実施状況，②1995 年兵庫県南部地震以降の地震・津波対策の実施状況，③2011 年南海トラフ巨大地震の想定見直し以降の地震・津波対策の実施状況と迫りくる危機に対する意識，④2013 年淡路島地震時の対応状況と今後の課題についての 3 つのテーマについて質問項目を設定し，ヒアリング調査を実施した．

3. 調査結果

3.1 沿岸漁港における津波防災対策の現状と課題

3.1.1 県による漁港施策

表 3 に現行の防災対策を，

表 3 現行の防災対策（県主体）

【現行の防災対策】

ハード対策

・防潮門扉を確実に閉鎖するためのマニュアル策定促進
・高潮対策等の防潮堤整備の促進
・防潮門扉の電動化・遠隔自動操作化
・海岸防潮堤総点検結果に基づく耐津波補強

ソフト対策

・各市町との連携における防潮門扉閉鎖訓練の実施
・市町津波災害対応マニュアル整備の促進
・避難訓練の実施
・住民への意識啓発

表 4 にハード・ソフト両面における当面の津波防災対策を示す．兵庫県庁漁港課，洲本土木事務所漁港課においてヒアリング調査を実施した．国の中央防災会議の専門調査会による，南海トラフ巨大地震における本格的な津波被害想定が出されるまで，兵庫県では，暫定措置として，現行の津波想定高の 2 倍を津波高とし，当面の津波対策を行うこととしている．県として当面取り組んでいく津波対策としては，国から補助を受けて行う公共事業と，県単独費で行う緊急防災・減災対策事業の 2 つの事業に区分されている．

東南海・南海地震や津波による防災対策として，漁港における避難路の確保や耐震化等を県単独費により実施する緊急防災・減災対策事業では，漁港における津波対策（レベル 1 対応）を進めるため，避難路・避難場所の確保を図る漁港防災対策事業，排水機場の耐震化等を図る漁港海岸排水機場整備事業，漁港関連用地（県有地）の液状化対策を図る漁港関連用地耐震化事業，避難に支障となる，老朽化し，崩落の危険性がある漁港関連建築物を撤去するといった 4 つの事業を実施している．

今後 30 年以内の発生確率が 50～60%と想定されている東南海・南海地震において，淡路島南部地域では，大規模な津波の発生が予測されており，背後の狭隘な平地に漁業集落が密集している沼島漁港では甚大な被害が懸念されるため，兵庫県は，漁港の防災においては沼島地区に最も力を入れている状況である．

表 5 に沼島地区における現行・当面の防災対策を，**図 3** に沼島における新たな避難路を示す．沼島地区において，県が取り組むハード対策としては胸壁工事が挙げられるが，胸壁を作っていく上で具体的にどのようなかたちでどういったものを作っていくかという段階に至っていないというのが現状である．また，浮桟橋の改良に関しては，淡路島南端に接する離島である沼島には，唯一の交通手段として連絡線が定休便で出港しているが，船着場の浮桟橋において，現在はアンカーで固定しているものを，杭形式にして浮桟橋本体の流出を防ぐといった，浮

表 4 当面の防災対策（県主体）

【当面の防災対策】

－ 公共事業 －

ハード対策

・防潮堤等未整備箇所の前倒し整備
・既存施設の構造強化対策

ソフト対策

・津波シミュレーションの実施
・避難訓練等の実施
・広域的な避難場所確保に関する調整
・通報・通信手段の多様化

－ 緊急防災・減災対策事業 －

・沼島（南あわじ市）における避難路の整備
・排水機場の耐震・津波浸水対策
・液状化対策
・老朽化した構造物の撤去

表 5 沼島地区における現行・当面の防災対策（県主体）

【現行の防災対策】	【当面の防災対策】
ハード対策	**ハード対策**
・胸壁工事	・防潮施設の整備
・浮桟橋の改良	**ソフト対策**
ソフト対策	・避難路の整備
・避難路の整備	・防災訓練の実施
・防災訓練の実施	・情報伝達装置の整備

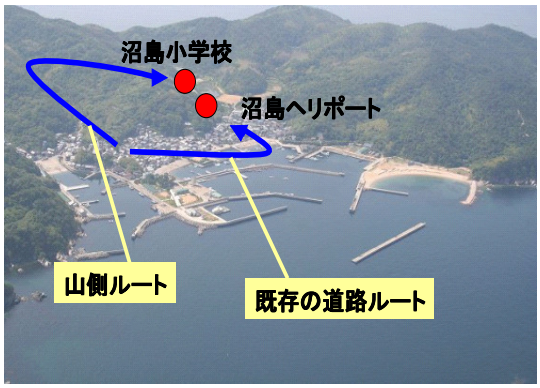


図 3　沼島における新たな避難路

桟橋の固定方式の改良が進められた．ソフト対策については，現時点での沼島における避難場所は，沼島小・中学校となっているが，小・中学校の敷地自体が海抜 5m 程度となっており，そこにたどり着くまでの道が比較的低地であるため，既存の道を避難すると津波襲来時にさらわれる危険性があるということで，地元の町内会などとともに協議を繰り返しながら山側からのル

表 6 福良地区における現行・当面の防災対策（県主体）

【現行の防災対策】

ハード対策

・防潮堤の整備
・水門・陸閘の整備
・水門・陸閘などの電動化，遠隔操作化

ソフト対策

・情報伝達装置の整備
・防災学習による意識啓発
・防災訓練の実施
・住民への意識啓発

【当面の防災対策】

ハード対策

・防潮施設の整備

ソフト対策

・防災学習による意識啓発
・防災訓練の実施

ートを現在模索している状況である．

3.1.2 県による港湾施策　**表 6** に福良地区における現行・当面の防災対策を示す．洲本土木事務所港湾課においてヒアリング調査を実施した．1946 年 12 月 21 日に発生した昭和南海地震津波では，比較的地震の規模が小さく，死者は出なかったが，住宅の過密化と老朽化，住民の高齢化が進んでいることなどから，次の南海地震では，県内最大の被害が予想されている．県は，港湾の津波防災においては南あわじ市・福良地区での対策に最も力を入れており，津波から避難する場所と時間を確保することで福良の街の被害を低減するための施設として，①備える，②伝える，③逃げる，④学ぶ，の 4 つの役割を有した「福良港津波防災ステーション」を 2010 年 9 月に整備した．

3.1.3 港湾・漁港施策の現状と課題に関するまとめ

県が行う防災対策としては，国から補助を受けて行う公共事業と，県単独費で行う緊急防災・減災対策事業の 2 つの事業に区分される．

県の漁港，港湾担当者に対するヒアリング調査では以下のことがわかった．

県による港湾の津波防災においては南あわじ市・福良地区での津波防災対策に最も力を入れており，ハード面においては今まで通り高潮対策事業をベースとした対策を行う一方で，既存防潮堤の緊急点検等を含め，既存施設を粘り強い構造とするため防潮施設の整備を行い，ソフト面に関しては防災情報の高度利用を掲げ，地域住民参加の観光やイベントを兼ねた防災学習等を取り入れていくことを方針としている．

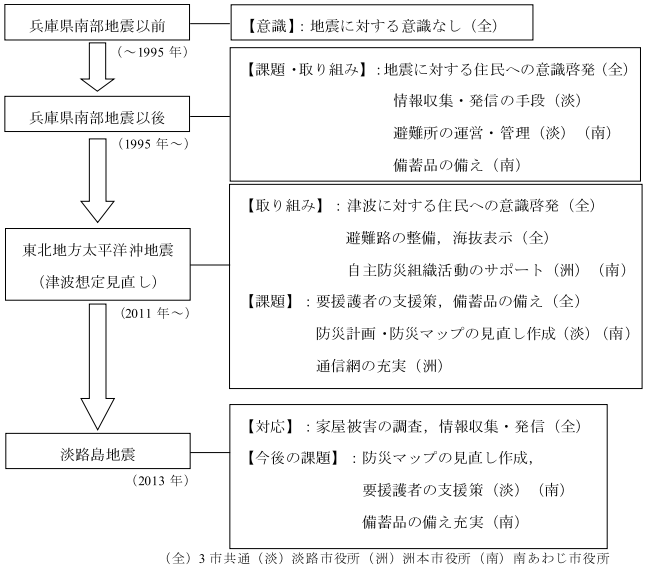


図 4 行政機関におけるヒアリング結果

一方，漁港の防災に関しては沼島地区に最も力を注いでいる．同地区は津波防災に関して非常に関心が高く，県と市，地域住民が一体となって避難訓練の実施等に取り組んでいる．

3.2 南海トラフ巨大地震に向けた応急課題の抽出

3.2.1 行政機関　**図 4** に行政機関におけるヒアリング結果を示す．淡路市役所，洲本市役所，南あわじ市役所においてヒアリング調査を実施した．

兵庫県南部地震以前は地震に対する意識が薄く，当時は防災計画に沿った対応ができていなかった．

兵庫県南部地震を受け，当時は情報収集・発信の手段があまりにもなかったため，地域の被害状況等も入って来ることがなく，住民への情報発信もできないという問題が浮き彫りになった．

その後, 2011 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震を受け，津波想定見直しが行われた中で，津波に対する意識啓発をはじめ，避難路の整備，海抜表示が取り組みとして行われるようになった．また，本当に大きな災害時には地域の主体性，自助努力・共助が必要不可欠になってくるということで，各地域における自主防災組織の立ち上げなど，自発的な取り組みに対してのサポートに力を注がれるようになった．最優先課題としては，津波に関する事項を組み込んだ防災計画の見直し，および県の発表を受けて新たに防災マップに見直しをかけたものを作成することが挙げられている．この他にも，要援護者の支援策検討や備蓄品の備え，通信網の充実が課題として挙げられた．

2013 年 4 月 13 日に起こった淡路島地震では，行政は家屋被害の調査，および情報収集・発信に追われる結果となった．南海トラフ巨大地震に向けた今後の課題としては, 防災マップの見直し作成, 女性や高齢者, 乳幼児に対する日用品・生活用品を準備していくとい

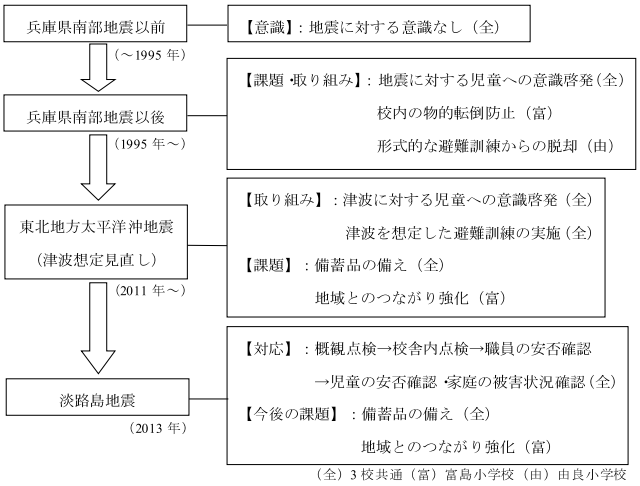


図 5 学校園におけるヒアリング結果

った備蓄品の充実，要援護者の支援策が挙げられた．

3.2.2 学校園　　**図 5** に学校園におけるヒアリング結果を示す．富島小学校，由良小学校，福良小学校においてヒアリング調査を実施した．

兵庫県南部地震以前は学校園としても，淡路島で大きな地震が起こるという意識がなく，地震に対する対策等は行われていなかった．

兵庫県南部地震は，それまで地震災害の少なかった淡路島においても地震に対する危機意識を持つきっかけとなった．以前はあらゆる物を意識せずに高い場所に置いていたが，地震が発生しても物が転倒しない状態にして児童の安全を確保することを意識し，最優先課題を校内の物的転倒防止としてきた．これに加え，避難訓練に関しても形式的な避難訓練の中に建物等が倒壊している場合を想定した避難訓練を行うようになった．

東北地方太平洋沖地震による津波想定見直し以降は，各地域の学校園においても津波災害に対する危機意識が高まる結果となった．津波からの身の守り方や，災害に備えて自ら状況判断し，常に緊張感をもって生活する必要があることを防災教育を通じて教えている．また，学校周辺の地域住民も交えた津波に対する避難訓練も実施するようになり，炊き出し等を実際に児童に体験させることで津波に対する危機意識を高める方針で対策を講じている．

2013 年 4 月 13 日の淡路島地震では，学校園の教員はまず概観点検を行い，大きな破損等がないことを確認して校舎内を巡回した後，職員の安否確認を行った．その後，小学校の状況確認に来た職員で協力し，全家庭に電話連絡して家庭の被害状況及び児童の安否を確認した．しかし被害が軽微で，地区自体が通常と何ら変わりのなかったところで，児童の安否確認まで思い至っていなかった学校園もあった．今後の課題としては，東北地方太平洋沖地震による津波想定見直しを受けて以来の課題と同様，地域とのつながりを強化し，来たる南海トラフ巨大地震

図 6 富島地区

図 7 炬口地区

図 8 福良地区（南あわじ市津波防災ステーション）

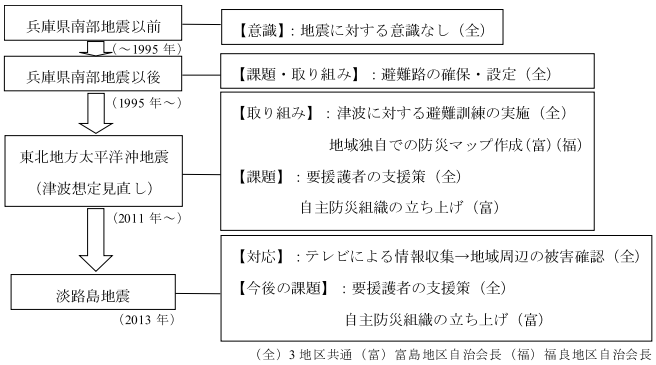


図 9 地域住民（自治会長）におけるヒアリング結果

に備えて備蓄品の備えをしておくべきであるとしている．

3.2.3 地域住民（自治会長）　　富島地区（淡路市，**図 6**），炬口地区（洲本市，**図 7**），福良地区（南あわじ市，**図 8**）の自治会長を対象にヒアリング調査を実施した．**図 9** に地域住民（自治会長）におけるヒアリング結果を示す．

各地区の地域住民に関しても 1995 年 1 月の兵庫県南部地震以前は地震に対する危機意識がなく，地震に対して備えをするといったことは行われていなかった．

兵庫県南部地震を受け，災害に備えて避難路を確保し，地域住民一人一人が日頃からの備えとして，ヘルメットや安全靴，懐中電灯や携帯ラジオ等の準備に加え，避難路を定めておく必要があることを課題とした．富島地区では家屋が密集しているために，家が倒壊したことによって旧町道がふさがれてしまい，車の通行ができなくなってしまうといった問題が発生し，震災後区画整理がなされることになった．地震によって家が倒壊しても救出救助がスムーズにいくよう，交通網の寸断を防ぐといった目的をもって区画整理がなされたわけであるが，地域柄，互いに肩を寄せ合って暮らしていた地域におけるつながりが，兵庫県南部地震以前と比べて希薄化したという意見が挙がった．これに

対し，福良地区では自主防災組織を立ち上げ，自治会をブロックごとに分けて防災訓練を実施するなど，防災に対する活発的な取り組みがなされている．

東北地方太平洋沖地震による津波想定見直しを受け，津波に対する避難訓練を実施するようになったことに加え，地域独自での防災マップを作成している．課題としては要援護者の支援策，および自主防災組織の立ち上げが挙げられた．東北地方太平洋沖地震を機に，淡路島各地域において津波に対する危機意識は高まったが，南海トラフ巨大地震で県内最大の被害が予想されている福良地区と比較すると，富島地区では津波想定が3m程度で，津波に対する危機意識の強さに差異が生じるという意見が挙がった．

2013年4月13日に起こった淡路島地震では，ライフラインが活きていたため，各地域の自治会長はテレビで津波による危険性がないことを確認後，地域周辺の被害を把握するために巡回した．今後の課題としては，災害時における高齢者や要援護者の支援策，より綿密な自主防災組織の育成などが挙げられた．

3.2.4 まとめ　淡路島内3市の自治体・学校園・集落におけるヒアリング調査では以下のことがわかった．

兵庫県南部地震以前は行政機関，学校園，地域住民において，地震防災に対する意識が薄かったが，兵庫県南部地震が起こったことにより，対策が講じられるようになり，避難訓練等が活発的に実施されるようになった．その後，2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震を機に，津波想定見直しが行われ，淡路島島内において津波に対する危機意識が高まった．来たる南海トラフ巨大地震に備えたハード・ソフト両面における取り組みを進めている中で起こった2013年4月13日淡路島地震では，比較的被害が軽微であったことなどから，行政機関における職員の参集状況，学校園における職員，児童の安否確認，地域住民における情報収集等，対応に関する問題はほとんど生じなかった．

兵庫県南部地震で淡路島島内において甚大な被害を受けた淡路市・富島地区では，兵庫県南部地震以前と比べて区画整理がなされたことにより，地域間のつながりが希薄化した．また，東北地方太平洋沖地震によって行われた津波想定見直しを受けて，津波に対する危機意識は高くなったものの，南海トラフ巨大地震で県内最大の被害が予想されている南あわじ市・福良地区と比較すると，危機意識の大きさに差異が生じる結果となった．

4. 結論　国から公表された南海トラフを震源とする地震について，東北地方太平洋沖地震で得られたデータなど，現時点の最新の科学的知見に基づき，発生しうる最大クラスの地震が発生した場合の地震動や津波高等の想定によると，南あわじ市の福良港，沼島漁港において，甚大な浸水被害を受ける可能性があるとされている．また，淡路島地震（2013年4月）では，比較的被害が軽微であり，ライフラインが活きていたことなどから，行政機関における職員の参集状況，学校園における職員，児童の安否確認，地域住民における情報収集等，対応に関する問題はほとんど生じなかった．

本研究による一連の調査結果より得られた課題は，以下のとおりである．

【県の課題】

ハード対策

●発生頻度の高い津波に対して，想定によって防潮堤等の高さが不足し，浸水する箇所については緊急点検を行い，防潮堤を粘り強い構造とするため，要対策箇所を抽出後，補強工事を促進していく必要がある．

●津波発生時に陸閘等閉鎖施設を迅速・確実に閉鎖するため，施設の自動化を進めていく必要がある．

ソフト対策

●道路等施設利用者の避難支援，県民へのリアルタイム情報の提供，防災意識の向上・防災学習の普及を促進させていくことが望まれる．

【市の課題】

●県独自のデータ公表を受けて，新たに防災マップの見直し作成を行うほか，地域の自発的な防災活動を支援すること，災害時において高齢者や要援護者をどのように支援するのかを綿密に検討していくこと，備蓄品の備えを充実させていくことが急務である．

【学校園，地域住民の課題】

●大きな災害であるほど，行政が機能せず，支援が期待できないことも十分に考えられるため，地域間のつながりが災害の備えとしては必要不可欠となってくる．このことから，学校園と地域住民が連携をとって合同避難訓練を実施していくことや，互いの行事に積極的に参加していくことで，若年層を中心とした災害に強い地域づくりを形成していくことが望まれる．

本研究により得られた調査結果は，今後の南海トラフ巨大地震の防災・減災対策を進めていく上で活用できる知見となりうることが期待される．

参考文献

(1) 内閣府:「南海トラフ巨大地震の被害想定について」
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html

(2) 兵庫県の港（瀬戸内海）
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN5/siryouko/naname/kobe/awaji_kowan.htm

(3) 兵庫の港湾の概要
https://web.pref.hyogo.lg.jp/wd19/wd19_000000056.html

鉄道直通運転区間における選択特性に関する研究

橋本渉一*　　緒方　優**

Route Select Characteristics in Direct Operation for Another Railway Line

Shoichi HASHIMOTO*　　Masaru Ogata**

ABSTRACT

Railway direct operation for anather line is convenience in urban transportation demands. In 2009 Hanshin railway Nanba line is opened, then direct train operation is started for Kintetsu railway Nara line each other. Transportation demands are increased between Hanshin area and Nara area. In the future direct train operations are planed between Hanshin area and Ise-Shima area or Nagoya area. When peoples select public transportation facilities, there are severl reasons. Select items are travel time, cost, express exstra charge, change frequency of facilities, travel distance etc. In this study, these select items at travel using public transportations are studied by multiple regression analysis. Future trip demands are calculated using direct train operation between Hanshin railway and Kintetsu railway.

Keywords : Railway direct operation , Hanshin, Kintetsu, Multiple regression analysis

1. はじめに

公共交通機関の代表である鉄道は他社・他路線との相互乗り入れによる直通運転を行うことで、交通利便性を向上させている。新規の直通運転を実施することにより、利用者側の移動手段には多くの変化と選択性が与えられ、各交通機関間の新たな交通結節点の創出、あるいは競争が産まれている。

近畿圏において、2009 年阪神なんば線の開通により、新たに阪神電気鉄道（以下阪神電鉄）が近畿日本鉄道（以下近鉄）奈良線との相互直通運転を開始した [1)]。相互直通運転の開始により、阪神間と奈良を結ぶ広域ネットワークが形成され、様々な経済効果をもたらしている。また阪神電鉄と近鉄は、阪神なんば線を介して賢島駅（三重県志摩市）と三宮駅（神戸市中央区）を直通する特急列車の新設を検討している。これにより、観光地である伊勢志摩と阪神間が直結され、交通利便性が大幅に向上すると予測されている。

２．研究の進め方、目的

阪神なんば線～近鉄奈良線の相互直通運転がもたらした効果について、乗り入れ区間の旅客流動結果を調査する。さらに日本各地で実施されてきた鉄道の直通運転に [2)3)] ついて、各種の統計から地域間流動に関する調査および分析を行い、各種公共交通機関の選択要因について明らかにする。

鉄道の直通運転区間における公共交通機関の選択要因の特性について、重回帰分析法を用いて流動量予測のための計算モデルを作成し、公共交通の選択性の変化と沿線地域に与える影響を明らかにする。

検討ケースとして、近鉄特急の阪神線乗り入れが実施された場合を想定し、伊勢志摩および名古屋の2方面からの乗り入れが実現された場合について、旅客流動の変化について検討することを研究目的とする。

３．相互直通運転

3.1　経緯と効果

鉄道の相互直通運転は、我が国の大都市圏において約 50 年前から実施されており、公共交通利便性を向上させてきた。京阪神圏においては、昭和 43 年より神戸高速鉄道の開通による阪急電鉄～山陽電気鉄道（以下山陽電鉄）間ならびに阪神電気鉄道～山陽電鉄間の相互直通運転が開始され、利便性の向上が図られた。

神戸市では、昭和 63 年より神戸市営地下鉄～北神急行間の相互直通運転が開始されたことにより、西神エリアから谷上駅を経由し神戸電鉄への乗り換えが容易になるなど、交通ネットワークの拡充に繋がっている。

*　都市工学科 教授
**　平成 24 年度　都市工学科卒業、現JR東海

3.2　近鉄から阪神への乗り入れ計画

阪神なんば線[4]の開通ならびに阪神～近鉄間相互直通運転[5]によって、図1に示す通り利用者数の増加、旅客運輸収入の増加などの効果が生じている。

阪神なんば線の各駅と阪神本線甲子園駅以西の多数の駅で乗降者数が増加している。一方、阪神本線甲子園駅以東の駅では乗降者数が減少している。これは阪神なんば線開通以前に利用されていたルートから、阪神なんば線利用ルートに移行したと推察される。また、今津駅・魚崎駅など他路線との乗換駅の利用者が増加していることから、阪神なんば線の開通や相互直通運転によって交通結節点としての利便性が向上したと考えられる。

近鉄[6]では、現在の阪神三宮～近鉄奈良間の相互直通区間を伊勢志摩方面等へ拡大することを計画している。この場合阪神線に乗り入れる近鉄特急は、阪神三宮～近鉄賢島駅間の 209.3km（阪神本線・阪神なんば線・近鉄難波線・近鉄大阪線・近鉄山田線・近鉄志摩線を経由）を運行することが検討されている。

将来的には阪神三宮～近鉄名古屋駅間の 222.1km（阪神本線・阪神なんば線・近鉄難波線・近鉄大阪線・近鉄名古屋線を経由）の運行や、山陽電鉄姫路駅までの乗り入れ（三宮～姫路間 60.6km）も想定されている[7]。

ただしこれには、現在の阪神～近鉄間相互直通運転でも一部車両の仕様が統一されていないため、今後設備改良の必要性がある。

４．公共交通機関の選択要因の分析

4.1　重回帰分析の前提

ある目的地へ向かう際に、利用できる公共交通機関が複数存在する場合、利用者がどのような要素を考慮し公共交通機関を選択するか、その選択特性を重回帰式を用いて分析する。

重回帰分析[8) 9)]とは、ある変数の動きが別のいくつかの変数の動きによって左右されている時、回帰式を用いてその変動の原因を求める統計手法である。

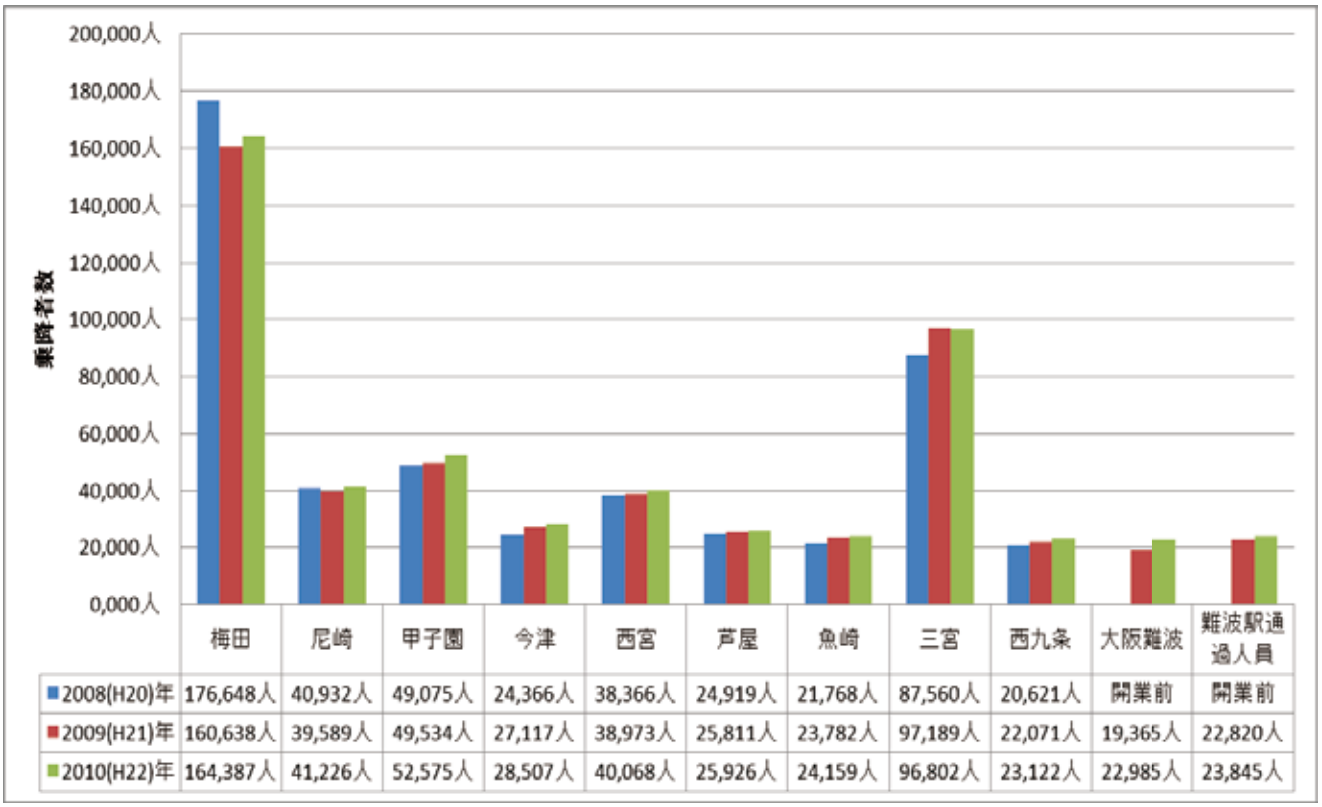
目的変数 y と説明変数 $\{X_0, X_1, X_2, \cdots X_n\}$ を表す n 組の観測データが得られたとき、それらの関係に着目し、求める回帰式の計算 y と観測された Y の2乗和が最少となるように、(1) 式の1次線形式で表される偏回帰係数 $\{a_0, a_1, a_2, \cdots a_n\}$ を決定する。

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_nX_n \quad \cdots (1)$$

大阪・神戸～九州、京都・大阪～和歌山、京阪神～鳥取、岡山～高松・松山・徳島・高知間の各公共交通機関の、流動量データおよび、以下の説明変数を用い重回帰分析を行うことで、利用者がどの要素を重要視して公共交通機関を選択するか、その選択要因を考察する。

各ルートの出発地点および到着地点は、出発地・到着地の所属する市町村の代表駅とした。

① 乗換回数（駅・バスターミナル・空港・港へのアクセス中も含む）乗り換え地点において、上下動あるいは 10 分以



	梅田	尼崎	甲子園	今津	西宮	芦屋	魚崎	三宮	西九条	大阪難波	難波駅通過人員
2008(H20)年	176,648人	40,932人	49,075人	24,366人	38,366人	24,919人	21,768人	87,560人	20,621人	開業前	開業前
2009(H21)年	160,638人	39,589人	49,534人	27,117人	38,973人	25,811人	23,782人	97,189人	22,071人	19,365人	22,820人
2010(H22)年	164,387人	41,226人	52,575人	28,507人	40,068人	25,926人	24,159人	96,802人	23,122人	22,985人	23,845人

図１　阪神　各年 11 月の１日平均乗降客数[4]

上の徒歩連絡が必要となる場合、乗り換え回数に1回加算することで、乗り換え抵抗として考慮した。

② 所要時間（駅・バスターミナル・空港・港へのアクセス時間も含む）

③ 運賃（代表交通機関のみ）

④ 付加料金（運賃以外にかかる特急料金・座席指定料金・チケット購入時の手数料・空港等へのアクセス料金）

⑤ 距離（駅・バスターミナル・空港・港へのアクセス分も含む）

⑥ 運行本数（1日の運転本数／17 時間）
ただし 17 時間＝A.M. 6:00～P.M. 11:00

⑦ 輸送力（各交通機関の 1 便あたりの座席数、自由席を除く）

⑧ 当該地域間の全流動量

以上 8 個の選択要素を説明変数とした。

4.2 重回帰式の算出

図2に示すフローに従って重回帰分析および相関係数の算出を行った。選択要因の重要度を求めるため分析ツールによって導き出された偏回帰係数について、標準偏回帰係数に置き換え判断した。

フロー内に示す基準を満たさない説明変数（距離・輸送力）については、フロー図に従い分析から排除した。導出された偏回帰係数および標準偏回帰係数を表1に示す。偏回帰係数を代入し、下記の回帰モデル式が得られた。

$$Y = 17871.24 - 7934.41X_1 - 424.27X_2 + 11.31X_3 - 17.46X_4 + 79317.12X_6 + 0.30X_8 \quad \cdots (2)$$

偏回帰係数について考察すると、運賃・運行本数・全流動量は正の符号となっており、各要素の値が大きくなるほど目的変数 y は増加する。運賃以外の 2 つの要素に関しては、各要素の値が大きくなるほど利用者にとってメリットが大きくなるため、現実に対応していると考えられる。運賃に関しては値が大きくなるほど利用者にとってメリットが小さくなる。これは鉄道が直通運転を行う区間は長距離であり、距離が長いほど運賃は高くなるという料金体系によるものと考えられる。

一方、乗換回数・所要時間・付加料金は負の符号となっており、各要素の値が小さくなるほど目的変数 y は増加する。これら 3 つの要素に関しては、各要素の値が小さくなるほど利用者にとってメリットが大きくなるため、現実に対応していると考えられる。

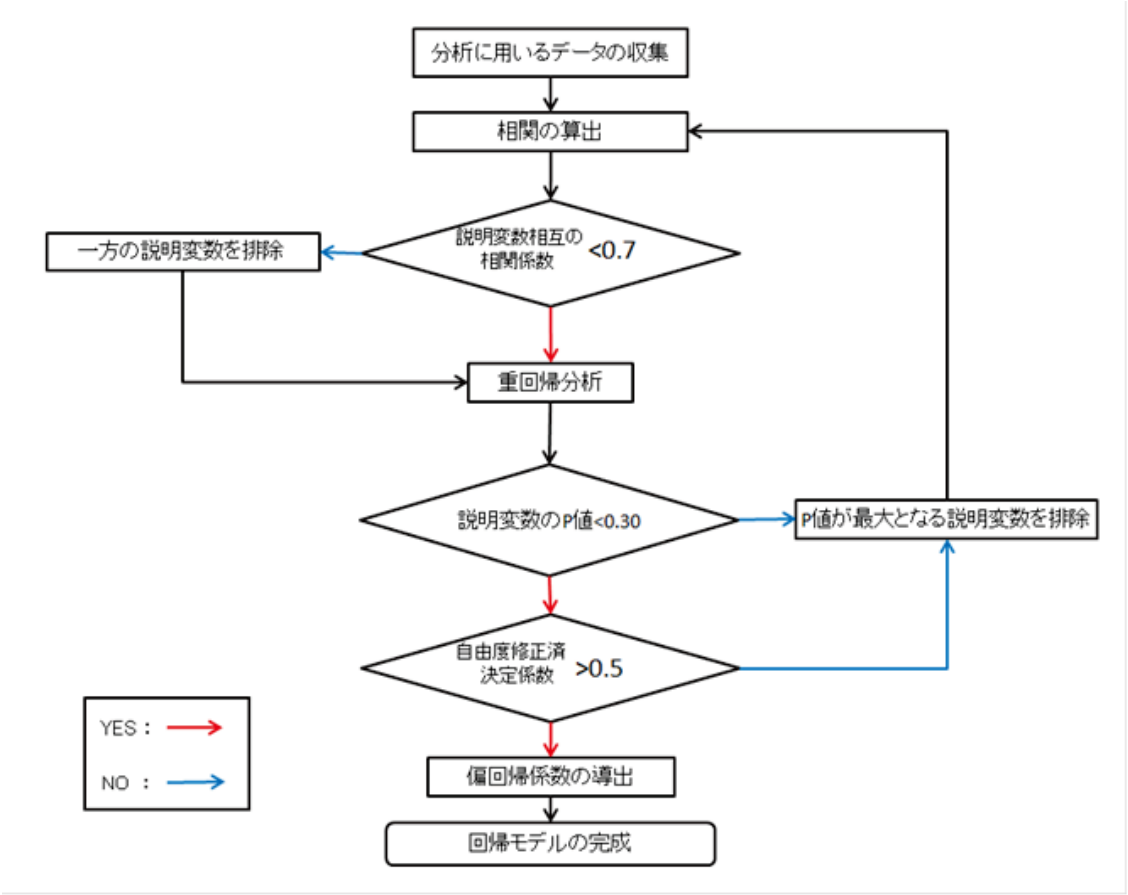


図2 重回帰分析フロー

標準偏回帰係数が大きくなることにより目的変数 y への影響は大きくなる。換言すると標準偏回帰係数が大きいほど、公共交通機関の選択要因として重要度が高いと考えられる。

標準偏回帰係数から、選択要因の重要度は運賃＞所要時間＞付加料金＞運行本数＞乗換回数の順になる。なお、全流動量については、利用者自身が選択できる要素ではないため説明変数として採用しない。

交通機関の選択によって運賃や所要時間が大きく変わるため、利用者がこれらの要素を重視していることが推察できる。また運行本数が多い交通機関ほど利用し易く、出発時間待ちによる時間のロスも少なくなることから、利用を決定する要因の一つであると考えられる。

回帰モデルを用いた目的変数 y と従来の実績データから求められる観測値 Y の関係を図3に示す。この結果から、ほぼ実績データを表す回帰式を求められたと考えられる。

５．阪神～近鉄直通運転による効果

前章で導出された回帰モデル式を用い、近鉄特急の阪神線乗り入れが実施された場合、阪神線～伊勢志摩間および阪神線～名古屋間における直通運転の諸パラメータ値を想定し、このルート選択性がどのように変化するか明らかにする。

また直通運転実施前後の流動量比較のため、2013 年 1 月現在のダイヤを基に、それぞれの地域間において直通運転が実施されない場合についても計算を行った。

5.1　阪神線～伊勢志摩間特急

現在の運行形態と比較すると、近鉄特急の直通運転により、大阪難波駅あるいは鶴橋駅においての乗り換えの必要がなくなり乗り換え回数が減少する。所要時間に関しては、乗車時間と乗り換え時間に分けて検討を行う。

・乗車時間：経由する路線は同一であるため大きな時間短縮は望めない。現在大阪難波駅から伊勢神宮（内宮）の最寄り駅である宇治山田駅までの所要時間が約 110 分、阪神三宮～大阪難波駅間の所要時間が約 40 分であることから、想定される阪神三宮～宇治山田駅間の乗車時間は約 150 分となる。

・乗り換え時間：特急に乗り継ぐための待ち時間分が減少すると推察される。現在大阪～伊勢志摩地域間特急は約 20～40 分間隔で運行されているため、平均待ち時間を 30 分とする。

・運　賃：経由する路線は同一であるため増減はないが、付加料金に関しては、阪神線分の特急料金が追加されるため増加する。近鉄の特急料金体系に当てはめると阪神線分の特急料金は 500 円となり、すなわち 500 円が料金増加分となる。

・運行本数：ダイヤパターンが崩れることによって阪神線へ直通する特急以外の利用者の利便性が損なわれないようにするため、現在 1 時間間隔で運行されている大阪上本町～賢島間特急列車が阪神線に乗り入れると仮定する。

上記の各パラメータ値を回帰モデル式に代入し、需要予測値を算出すると、阪神線に直通する特急の運行による乗換回数の減少および乗り継ぎ時間分の短縮による所要時間の減少によって、直通運転列車運行前に比べ旅客流動量が大きくなり、東行き 176%、西行き 177%と増加がみられた。

阪神線分の付加料金が追加され利用者の金銭負担が増大したにもかかわらず、流動量が増加した要因として、乗換抵抗の解消ならびに所要時間の短縮が、付加料金の負担といったマイナス要素を打ち消す効果があることが推察される。特に所要時間に関しては、標準偏回帰係数の大きさから分かるように、利用者が交通機関を選択する際の大きな要因の一つであることから、時間短縮がなされることは、神戸～伊勢志摩地域間の旅客流動需要の喚起に繋がると考えられる。

また、実際に利用者が増加した場合、鉄道会社が受ける直接的効果だけでなく、地域が受ける間接的効果も期待される。因みに平成 25 年には伊勢神宮で式年遷宮が

表1　重回帰分析　偏回帰係数

	乗換回数 X_1	所要時間 X_2	運賃 X_3	付加料金 X_4	運行本数 X_6	全流動量 X_8
偏回帰係数 a_j	-7934.41	-424.27	11.31	-17.46	79317.12	0.30
偏差平方和 s_{ij}	137.9333	927449	2.19E+09	4.63E+08	16.68022	6.56E+12
標準偏回帰係数 b_j	-0.07772	-0.3408	0.4411	-0.31332	0.270195	0.638963
標準偏回帰係数絶対値	0.077725	0.340797	0.4411	0.313319	0.270195	0.638963
順位	6	3	2	4	5	1

行われ、観光需要が増加した。

また観光客が神戸～伊勢志摩地域間を移動する場合鉄道交通の他、旅行ツアー等の貸切バス利用を選択することも想定される。このため、神戸あるいは伊勢志摩地域からその周辺地域へ向かう際の乗換抵抗の解消や、阪神・近鉄各沿線から近鉄直通特急への乗換を容易にするため、緩急接続(注)を実施するなどの施策を行うことなどが、流動量増加に寄与すると考えられる。

(注)緩急接続 :優等列車の停車駅において、停車駅・速度の異なる列車を相互に乗り換えられるようにすること。今回の事例においては、近鉄直通特急と他種別の列車との接続とする。

5.2 阪神線～名古屋間特急

近鉄特急の直通運転により、阪神線～伊勢志摩間特急の場合と同様、大阪難波駅あるいは鶴橋駅においての乗り換えの必要がなくなり、乗り換え回数が減少する。

諸パラメータに対する影響および効果は、阪神線～伊勢志摩間特急による影響および効果とほぼ同内容となるが、改めて以下に記述する。

・乗車時間:経由する路線は同一であるため大きな時間短縮は望めない。現在大阪難波駅から名古屋駅までの所要時間が約 130 分、阪神三宮～大阪難波駅間の所要時間が約 40 分であることから、想定される阪神三宮～名古屋駅間の乗車時間は約 170 分となる。

・乗り換え時間:特急に乗り継ぐための待ち時間分が減少すると推察される。現在大阪－名古屋間特急は約 30 分間隔で運行されているため、平均待ち時間は 30 分とする。

・運　賃:経由する路線は同一であるため増減はないが、付加料金に関しては、阪神線分の特急料金が追加されるため増加する。近鉄の特急料金体系に当てはめると阪神線分の特急料金は500 円となり、すなわち 500 円が料金増加分となる。

・運行本数:現在大阪～名古屋間で運行されている特急列車の内、車両規格上阪神線に乗り入れ可能な車両で運用されている特急列車が阪神線に乗り入れると仮定する。

上記の各パラメータ値を回帰モデル式に代入し、需要予測の結果を見ると、阪神線に直通する特急の運行による乗換回数の減少および乗り継ぎ時間分の短縮による所要時間の減少によって、直通運転列車運行前に比べ旅客

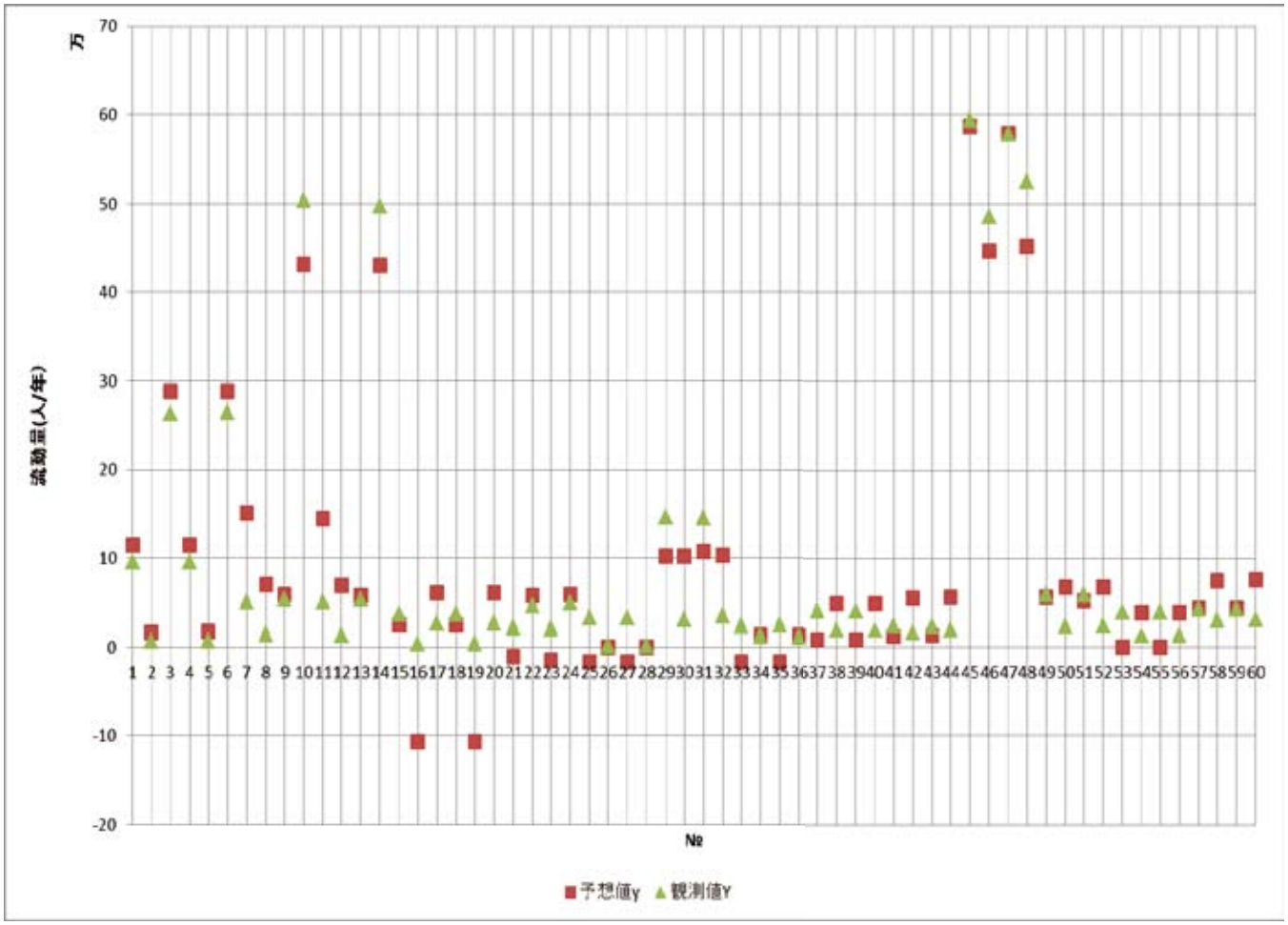


図３　重回帰分析モデル計算値ｙと観測値Ｙ

流動量が大きくなり、東行き 112%、西行き 111%と増加がみられた。

阪神線分の付加料金が追加され利用者の金銭負担が増大したにもかかわらず、流動量が増加した要因として、神戸～伊勢志摩間と同様に、乗換抵抗の解消ならびに所要時間の短縮が、付加料金の負担といったマイナス要素を打ち消す効果があることが推察される。特に所要時間に関しては、標準偏回帰係数の大きさからも分かるように、利用者が交通機関を選択する際の大きな要因の一つであることから、計算モデルのように時間短縮がなされることは、神戸～名古屋間の旅客流動需要の喚起にも繋がると考えられる。

神戸～名古屋間は、東海道・山陽新幹線など他公共交通機関も充実しており競合することが想定される。流動量増加のためには、神戸～伊勢志摩間と同様に乗換抵抗の解消や、緩急接続を実施するなどが影響するものと考えられる。

６．まとめ

公共交通機関の選択性を明らかにする上で、利用者がどの要素を重要視して公共交通機関を決定するか選択要因を推定することが重要となる。本研究は鉄道の直通運転区間における公共交通機関の選択特性を明らかにすることを目的とした。

重回帰分析を行って回帰モデル式を作成し、旅客流動量の予測を行った。解析の結果得られた回帰モデル式に、阪神線～伊勢志摩地域間ならびに阪神線～名古屋間において運行が検討されている、直通運転後のパラメータ値を代入し、交通機関の選択性がどのように変化するか検討を行った。

この結果、以下の事項が明らかになった。

① 選択性に対する寄与の大きさは、運賃＞所要時間＞付加料金＞運行本数＞乗換回数の順になるという結果が得られた。

② 分析によって得られた回帰モデル式の偏回帰係数は、運賃・運行本数・全流動量は正符号、乗換回数・所要時間・付加料金は負符号となり、現実的な利用者行動に矛盾しない結果が得られた。

③ 回帰モデル式を用いて、乗換回数の減少および乗り継ぎ時間分の短縮による所要時間の減少によって、直通運転列車運行前に比べ旅客流動量が大きくなる予想結果が得られ、直通運転を行うことによる所要時間の短縮効果が、両地域間の旅客流動需要の喚起に繋がることが数値的に明らかになった。

④ 鉄道の直通運転による乗換抵抗の解消、時間短縮は、公共交通利便性の向上それに伴う旅客需要の増加をもたらし、鉄道輸送シェアの拡大や新規需要惹起に対する有効な手段であると考えられる。

参考文献

1) 阪神電気鉄道株式会社・西大阪高速鉄道株式会社「阪神なんば線（西大阪延伸線）整備事業誌」2012 年
2) 都市交通研究会「これからの都市交通」山海堂、2002 年
3) 財団法人 運輸政策研究機構「平成 21 年度版都市交通年報」財団法人運輸政策研究機構 、2010 年
4) 阪神電気鉄道株式会社「2010 ハンドブック阪神」阪神電気鉄道株式会社、pp18-25、2010 年
5) 阪神電気鉄道株式会社 http://www.hanshin.co.jp/ (2013 年 1 月 9 日閲覧)
6) 近畿日本鉄道株式会社 http://www.kintetsu.co.jp/ (2013 年 1 月 9 日閲覧)
7) 国土交通省「全国幹線旅客純流動調査」 http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/index.html (2013 年 1 月 18 日閲覧)
8) 石井一郎／湯沢昭 著「計画数理－土木計画のための統計解析入門－」森北出版、2003 年
9) 「Excel における回帰分析」 http://keijisaito.info/econ/jp/excel_ols/ (2013 年 1 月 22 日閲覧)

つまり、国家が「公務員」を想定して組織運営を行う場合、異なる論理が内包されていることを前提にしなければならないことが、この時点、すなわち一九三一年（昭和六）の段階で明らかになったのではないだろうか。政党内閣がこの後崩壊していく過程では、有泉貞夫氏が述べたように(12)、文官分限令をはじめとした官吏の身分保障問題について検討する必要があるが、それは今後の課題としたい。

（1）「社説　吏道刷新の要」（『朝日新聞』一九四五年八月二四日）。
（2）清水唯一朗『近代日本の官僚』（中央公論新社、二〇一三年）。なお、本稿では参考文献の副題は省略した。
（3）拙稿「1920年代日本における恩給と行政」（神戸大学大学院人文学研究科共生倫理研究会編『共生の学際的研究』二〇〇九年）、同「恩給法再考」（同編『共生をめぐる諸問題』二〇一〇年）。
（4）前掲拙稿「1920年代日本における恩給と行政」。
（5）新井勉「昭和初年の官吏減俸令と裁判官」（『日本法学』第七七巻第二号、二〇一一年）、佐藤美弥「『我等のニュース』にみる雇員・傭人の文化」（『歴史評論』第七三七号、二〇一一年）。
（6）同前。
（7）浜口雄幸『随感録』（三省堂、一九三一年）、引用は講談社、二〇一一年、九〇頁より。
（8）JACAR（アジア歴史資料センター）Ref. 05021133900、各種調査会委員会文書・臨時行政財政審議会及行政整理準備委員会書類・二決議事項（国立公文書館）。
（9）以上、同前。
（10）以上、同前。
（11）前掲拙稿「1920年代日本における恩給と行政」。
（12）有泉貞夫「日本近代政治史における地方と中央」（『日本史研究』第二七一号、一九八五年）。

* An aspect of bureaucracy of modern Japan : based on the reduction of salaries and pensions。Takashige FUKAMI

令を改正して文官同様とするにあらざれば到底承認することは出来ない」（『大朝』七月三〇日）、また「従来軍人はその職責にかんがみ特に恩給を受くる場合に特典を受けてゐたのであるから、職責に変化のない限り文官と均等にされることは同意しがたい」（『大朝』八月一日）と強硬に行政整理準備委員会の案に反対した。

八月三日、一〇日と政府と軍部の折衝懇談会は続けられ、三日は「軍の反対的質問に終る」（『大朝』八月四日）という状況であり、一〇日も軍部は反対を続けたようである。この軍部側の意見については、「昭和六年七月　臨時行政財政審議会総会記録」内所収の「八月十日行政整理準備委員会ニ於テ陳述ノ軍部意見概要」(8)という史料が参考になる。それによると、「軍部ハ遮二無二恩給法ノ改正ニ反対スルモノデハアリマセヌ」と述べながらも、「予備役後備役ニアリマス軍人ニ対シテ国ノ要求スル所ハ退官サレタ文官ニ対スルモノトハ全ク相違シテ居リマス（中略）立場ノ相違即チ軍人ノ特異性ハ公正ニ御認メヲ願ハナケレバナラヌト思ヒマス」と述べ、明確に文官と武官の相違を強調した。そして、もしこれが認められなければ、「軍ノ建制ヲ壊シ又其ノ志気ニ甚大ナル影響ヲ及ボス事ヲ虞レルノデアリマス」(9)と、軍部は政府に圧力をかけていることがわかる。

八月一二日に政府は行政整理準備委員会で政府原案を修正し、もしこの案を軍部が受け入れない場合は「政府は断然これを一蹴するほかない」（『大朝』八月一三日）ところまできた。

軍部の反対意見に対し、政府はどう考えていたのか。八月一八日の第二回臨時行政財政審議会総会の中で元大蔵大臣の片岡直温が「ホントウハ保険制度ノヤウナモノニシテモツト自身カ金ヲ出シテ退官シタラ年金トシテ金ヲ受取ルヤウニスベキモノカト思フ」と述べたのに対し、若槻首相は「軍人ハ恩給ニ対スル観念ガソレトハ全然相違シテヰル、国家ノ補償ト心得テヰル、恩給ノ本質ニ対スル根本観念ガ保険制度トハ違フヤウニ思ハレル」(10)と述べ、文官と武官の根本的な認識の違いを指摘した。すなわち、社会保障的性格と国家補償的性格を統一して恩給法は成り立っており、そのために政府と軍部の対立が起こっていると若槻首相は認識しているのである。

八月一八日午後、内閣側と陸相・海相の協議の結果、「軍部と政府――完全に諒解をとぐ」（『大朝』八月一九日）ことになり、「恩給法の改正やうやく纏る」（『大朝』八月二一日）と報じられた。この経緯について『大朝』社説は次のように述べている。

現行恩給法は、文武官の間に甚だしき差等あり、これは国難を武官ひとりが担ふと考へられてゐた時代の遺物であつて、この不均衡を改めることそれ自身が、恩給法改正の主たる目的の一つであつた。しかるに武官の『特異性』は依然保存されてゐるのである。しかして政府が軍部に対して譲つた理由も、十分に国民を納得せしむるに足りない（『大朝』八月二一日）

つまり、『大朝』は若槻内閣の軍部への「弱腰」を責め、武官の「特異性」を否定するのである。しかし、この約一か月後には満州事変が勃発し、戦時体制が本格化していき、軍部の発言権が増大するのは周知の事実である。

以上の恩給法改正に関する政府と軍部の対立は、国庫から俸給を得、公務を担う者＝「公務員」とは何か、そしてその待遇をどう考えればよいのかという問題を表面化させた。以前述べたように(11)、一九二三年（大正一二）に制定された恩給法第一九条において「本法ニ於テ公務員トハ文官、軍人、教育職員及警察監獄職員並第二十四条ニ掲クル待遇職員ヲ謂フ」とされた「公務員」が、その内部で「公務」の内容をめぐって対立するのである。

四　おわりに

本稿で述べたことは以下の通りである。

①官吏減俸問題は一九二九年（昭和四）と三一年（昭和六）、民政党内閣時に起こったが、これは恩給の問題と常にセットで考えられていた問題であった。官吏減俸と恩給は、建前はともかく現実には世論の動向を見ながら「社会政策的」な意味合いを持って運用されることが目指された。

②一方で、減俸後、必然的に問題となった恩給のあり方については、文官と武官の関係が議論となった。特に軍部はその職責の違いを強調し、文官と同等の扱いをされることを拒否した。

以上の点から、官吏減俸と恩給問題をどうとらえればよいか。いずれも不況時代の行政と財政の整理の観点から進められたものであるが、そのことが官僚のあり方を国家に迫るものとなったと言えよう。官吏の減俸は、国庫負担をいかに減少させるかということと同義であり、恩給問題も同じであった。そしてそれは文官と武官とは何が同じで何が異なるかという問いを必然的に発生させた。

黒瀬弘志神戸市長は「最初より余程社会政策が加味されてゐる」（『又新』五月二三日）と述べている。ここでの「社会政策」とは広義には「社会」の実情を考えた政策という意味であり、狭義には、社会保険制度あるいはそれに類するものへの展開と考えるべきであろう。また、後述する行財政整理に関する座談会で志立鉄次郎（銀行家）は、「今度の減俸が行われる場合は恩給も当然下げてもいいと思う（中略）日本の恩給制度位世界に不合理なものはない、ちっとも根拠がない、どうしても恩給制度はやはり保険の制度によって一定の基礎があって行わるべきものと思う、今度改正される場合にはやはり保険制度に準じて確然たる方法によって改正を願いたいと思う」（『大朝』五月二四日）と述べていることも、重要である。

このように、ここでも減俸とともに問題となったのが恩給との関係であった。減俸案が明言される五月一六日より前の一二日には、「政府は今回の行財政整理に際して恩給法の改正を実行する方針で」（『東朝』五月一二日）あると報じられ、また減俸実施後の六月に入ってからも「政府は今回の減俸と恩給法との関係につき種々考究した結果、減俸と関連して恩給法も改正の要ありといふこと」（『大朝』六月一七日）が二年前と同様に減俸と恩給法改正がセットで考えられている。

また、一九三一年（昭和六）五月十五日、井上準之助蔵相や民政党・政友会両党の実力者などが集まり、行財政整理について座談会が開かれている。そこで内務官僚出身の湯浅倉平は、行政整理を進めると恩給額が高い者が辞めるため、国庫の負担となることを指摘したうえで、「恩給法を改正しなければならぬというように考えられる、それは一つは今日の制度では恩給年限が少し短か過ぎる、（中略）現在国庫が一億四千万円の恩給を負担しているに対して官吏が国庫に俸給の一部を割いて納付している額は年額僅かに三百万円に過ぎない」（『大朝』五月二三・二四日）と述べている。

湯浅が恩給のあり方について述べたのをきっかけに座談会は、恩給に話題が集中していくが、井上準之助大蔵大臣は「官吏の減俸をする場合、現在もらっている恩給額にどういうことをするか、同じ意味において減らすか、あるいはいわゆる既得権として減さないか、ということがいつも問題になるが、これはなかなかやかましい問題であります」（『大朝』五月二四日）、と述べたことに対し、前述の志立鉄次郎は「今日恩給制度の改正が行わるるならば、従来の受恩給者にも減額を施すだけの徹底的改正を行わなければならぬ、それにはやはり減俸という条件が伴ってはじめて行うべきもので、減俸を行わず恩給ばかりではいけない」（同前）と述べている。つまり、ここでは、官吏の減俸と恩給のあり方はセットで考えなければならないという点で一致しているのである。

三　官吏減俸問題と恩給法改正

（一）恩給法の問題点の認識

前章で述べたように、官吏の減俸は必然的に恩給との関係が問われることとなり、実際に一九三三年（昭和八）に恩給法は改正された。この時に改正された主な点は、①受恩給年限が文官は一五年から一七年に、武官は一一年から一二もしくは一三年に延長し、②これまで俸給の百分の一を納金していた文官は百分の二に、納金していなかった武官は百分の一を納金すること、などである。

しかし、これよりかなり以前から、具体的には一九二三年（大正一二）に恩給法が制定されて直後から、その問題点が指摘されるようになっていた。制定翌年の一九二四年（大正一三）には政友会の政策として恩給制度改正が志向されていることが報道され、「抑恩給は年々増加する一方であり恩給亡国論は毎年の議会で繰返される所である」（『神戸』大正一三年九月二八日）として早くも恩給制度の改善が意図されている。

そして前述のように、第二次若槻内閣が成立した一九三一年（昭和六）の段階で恩給法の改正が志向されていた。そして、減俸が実施された一九三一年六月以降、恩給法改正の手続きが本格化するが、その時に大きな問題となったのは「文官」と「武官」（軍人）との差をどのように考えるか、という点であり、政府と軍部との間で激しいやり取りが行われることとなった。

（二）政府と軍部の対立

恩給法改正議論の経緯を簡単に見ておく（以下は断りない限り『大朝』より）。七月一三日、政府の行政整理準備委員会で改正案の大綱が決定し、行財政審議会に諮問された。この大綱の主な中身は、文官の受恩給年限を一五年から二〇年に、武官を同じく一一年から一六年に、納金率を文官を百分の一から百分の二に、同じく武官を納金なしから百分の一に引き上げるというものであった。これに対し、『大朝』の社説は「委員会案は甚だ不徹底」と批判したが、一方で軍部はこの案を否定した。陸軍は「文官同様退職当時の俸給を基礎として恩給を計算されることになれば文官に比し俸給の著しき低い武官としては俸給

＝『東朝』、『大阪朝日新聞』＝『大朝』、『神戸新聞』＝『神戸』、『神戸又新日報』＝『又新』。また夕刊は「夕」とする。

二　官吏減俸問題と恩給

（一）一九二九年の官吏減俸問題

官吏減俸問題とは、その名の通り官吏の俸給を減らす政策であるが、これは浜口雄幸内閣と第二次若槻礼次郎内閣、つまり民政党内閣において実現が目指された。

一九二九年（昭和四）一〇月一五日、浜口内閣の閣議において官吏減俸案が「突如として」（『東朝』一〇月一六日）決定された。それによると、「一、年額千二百円を超ゆる高等文官および武官の俸給定額に対し大凡一割を減ずること　二、判任文官の俸給に付ては月額百円を超ゆるものに限りこれを改訂すること但しその減額割合は高等文官に比し相当緩和すること（中略）本改訂は昭和五年一月一日よりこれを施行すること」（同前）という内容であった。

この後、官吏の間で反対の気運が高まり、結局一〇月二二日の閣議でこの減俸案は撤回されることになる。反対は、特に司法省および鉄道省関係職員が主導したが、それらの経緯は前述の新井勉氏と佐藤美弥氏の研究に詳しい(6)。ここでは官吏減俸案と恩給との関係を中心に検討する。

第一に、この減俸案とそれに対する反対運動は、大きな社会的反響があったということである。『東朝』の社説は、減俸案を内閣が撤回したことについて「正義の上に立ち輿論の支持を受ける時に、如何に偉大なる効果を挙げ得るかは、今回の挙がよくこれを示したのである。この意味において、減俸反対運動を、米騒動以来の社会的大事件といふのである」（『東朝』一〇月二二日）と述べている。

地方では、兵庫県庁内においても減俸案撤回を「『あたりまえだ』『当然の帰結だ』」（『又新』一〇月二二日夕）とし、「ともかく声明書まで出して決定したことを輿論に聞いて撤回したことは立憲政治の一進歩といへる（中略）時代は普選だ輿論に聞いて政治を行はなければならぬ時代だ」（同前）とまで述べている者がいた。この「輿論」については、浜口首相も予想外であったらしく、後に「輿論が果して之〔自分の信念―引用者〕に共鳴するや否や、一口に言えば、周囲の大勢が其の仕事の実行に便なりや否や、ということを洞察することである（前の官吏減俸問題の如きは確かに此の観測を誤ったものである）」(7)と回想している。

第二に、減俸案と同時に考慮されていたのが恩給のあり方であった。恩給の支給額は退職時の俸給が基準となるため、当然、俸給の減額は恩給の受給額が減額されるのみならず、そもそも、現状の国家財政を考えれば、恩給制度にも手をつけなければならないことは予想されていた。例えば、減俸案決定の直後から新聞紙上では「十五日の閣議にて官吏の俸給改訂を決定すると共に恩給の改正についても意見を交換したが恩給については恩給法の改正を行はねばならぬから（中略）大蔵省と法制局の間で早急に根本的の恩給法改正案を作成し来議会に提出する方針で進む」（『東朝』一〇月一六日）ことが報じられている。

この恩給の減額は地方の官吏の間でも話題になっていた。兵庫県の警察部では閣議翌日から「どの課でも早朝からこの話題に花が咲いた」（『又新』一〇月一七日）が、「一割減俸の■事に見舞はれた人もまた見舞はれぬ人もやがて何等かのかたちで早晩この大痛事がやつてくるだらうことをおそれて、それもそのはずである、お次は恩給法改正と云ふやつが漸く具体化してゐるのだから」（同前、■は判読不明）と早速恩給のあり方が問題とされていた。

恩給法の改正は、官吏減俸案が撤回されるとともに、「総選挙を目前に控へた今日三十五万に達する恩給受給者の反対をおそれ来るべき通常議会に恩給法改正を提出することは断念するであらうと一般にみられてゐる」（『又新』一〇月二二日夕）とうやむやになった。しかし、政府は昭和恐慌の影響もあり、官吏の減俸と恩給法の改正を再度試みることとなる。翌年には「一度減俸は思い止まつたと雖も今度こそは断然手をつけるの外ないと見られる」（『又新』一九三〇年八月一四日）と報道されているように、不況の進行が減俸実施を加速させていった。

（二）一九三一年の官吏減俸実施

浜口内閣を引き継いだ第二次若槻礼次郎内閣は、一九三一年（昭和六）四月に発足するが、早速五月一六日に行財政改革の一環として、井上準之助蔵相・安達謙蔵内相・江木翼鉄相との協議の結果、官吏減俸の実施を明言した。その内容は、高等官、判任官（月俸一〇〇円以上）の俸給を最大二割減とするというものであった。

この減俸案は、内容を修正の上で同年六月一日から実施されることとなったが、様々な立場から指摘されたのは「社会政策的」意味合いであった。例えば、

近現代日本官僚制の一側面――官吏減俸と恩給の問題を中心に

深見　貴成*

一　はじめに

第二次世界大戦終戦直後の一九四五年（昭和二〇）八月二四日、『朝日新聞』は「吏道刷新の要」という社説を掲載した。

総力戦である以上、敗戦の責任は国民全部の負ふべきものである。そしてまづ我が忠勇なる軍人がその責任をとり、忍び難きを忍んで武器の返納民間への復帰を断行することになつた。しかるに、殆ど全般的にこれと責任を分つべき官吏は、果してどのやうな責任をとりつつあるか。官吏の挙措にしてもつと宜しきを得たならば軍民の接触面は遥に円滑であつたと思はれる場合が少くないし、また戦時下の国民生活もずつと明朗であつたと思はれる場合も少くない。しかるに吏僚は戦時においてこれを敢てせずむしろ一種時代の空気といつたものを笠に衣て、同胞国民に弾圧を加へたかに疑はれる例も珍しくないのである(1)

ここで、社説は「敗戦の責任」について官吏を強く批判している。しかし、ここでいう官吏・吏僚とは何を指し、具体的にどのような問題点が終戦時に考えられていたのだろうか。

以上の問題意識にもとづいて、一九二九年（昭和四）・三一年（昭和六）に立憲民政党内閣において起こった官吏減俸問題と恩給法問題を取り上げ、戦前期の官僚のどのようなことが問題とされていたのかを明らかにするのが本稿の目的である。

戦前期の日本官僚制に関する研究状況については、特に日本の官僚制が全体としてどのような組織構造にあったかという点は基礎的な事項が明らかになっていないと言わざるをえない。近年では、清水唯一朗氏の明治以降の官僚制全体をとらえる研究があるが(2)、地方も含めた行政組織のあり方やその問題点は明らかになっておらず、またその著書で清水氏はいわゆる高等文官試験組＝官僚ととらえており、その視角自体を問い直さなければならないだろう。

本稿で取り上げる恩給とは、現在で言うところの年金に近い制度であり、これは近現代日本官僚制の構造と大きな関係がある。筆者はこれまで恩給に関して小論で述べてきたが(3)、これは一九二三年（大正一二）に成立した恩給法に焦点を当てて論じたものであった。しかし、この恩給法は成立当初から問題点が指摘されており、戦間期から戦時期、戦後を通して議論が繰り返されてきた。

恩給制度の概要については以前に拙稿で述べたので詳しくは繰り返さないが(4)、いわゆる「公務員」すなわち文官・軍人その他の職員が「普通恩給」をはじめとした恩給を受けることができる制度であった。この恩給についてはこれまでまとまった研究がなく、基礎的な研究を積み重ねる必要がある。

一方、官吏減俸問題については、新井勉氏、佐藤美弥氏の研究(5)があるものの、新井氏は司法官の反対運動について、また佐藤氏は減俸問題時の雇員などの労働者について述べたものであり、減俸問題の位置づけや恩給との関係については述べられていない。

よって本稿では、一九三〇年前後に起こった官吏減俸問題と恩給法の関係について述べ、両者の歴史的意義を考えたい。

なお、本稿で引用する新聞史料の略記は以下の通りである。『東京朝日新聞』

*一般科　准教授

タブレット端末による調査・発表の化学教育への活用

佐藤洋俊*　　福本晃造**

Application of Presentation by Tablet Devices to Chemical Education

Hirotoshi SATO*　　Kozo FUKUMOTO**

Application of tablet devices to education has become more and more important. However, there are few reports of application to chemical education. The purpose of this paper is to investigate the teaching effectiveness of tablet devices by comparing oral presentation with video presentation in the research activity by students. Results of questionnaire indicated that video presentation was much more helpful than oral one for improving their presentation skills. Most students claimed that they accustomed themselves to operating tablet devices, and understood the contents of class. Our results suggested that continuous application is necessary for effective teaching.

Keywords : chemical education, tablet device, video presentation, oral presentation

1. はじめに

近年，タブレット端末の普及は目覚ましく，教育分野での活用も広がってきている．しかしながら，高校程度の化学での活用報告は少ない. 神戸市立高専では，情報端末として化学実験室にタブレット端末を導入し，1,2 年の化学教育での活用方法を研究している. 学生による調査と発表を行う授業形式を試み，その学習効果について研究を行ってきた．先の研究では紹介動画を撮影する方法の検討を行ったが[1]，本研究では，異なる分野でそれぞれ口頭発表とビデオ発表を学生に課し，発表方法の違いによる影響を調査した．授業後，学生に対しアンケートを行ったところ,「プレゼンテーション能力の育成」および「授業へ取り組む姿勢」に明確な違いが見られたので，その詳細を報告する.

2. 装置と環境

2.1 タブレット端末　iPad 2 Wi-Fi モデル 10 台を準備した．それぞれに元素の情報を得るためのアプリ「元素図鑑」，動画編集アプリ「iMovie」，プレゼンテーションアプリ「Keynote」を追加した．アプリの追加・削除を不許可とするなど，必要な機能制限を設定した.

2.2 実施環境　化学実験室の実験台 1 つに 4 名の学生が着席し，1 つの班とした．10 班にそれぞれ 1 台のタブレット端末を貸し出した.

ホーム WiMAX ルータ(NEC 製 WM3450RN)を 1 台設置し，外部ネットワークである WiMAX を利用して，タブレット端末 10 台が同時利用できる無線ネットワークを構成した.

参考図書として学生が所有する『フォトサイエンス化学図録[2]』，各班に貸し出した『元素 111 の新知識[3]』を利用することとした.

3. 方法

2 年生 2 クラス(機械工学科 A 組および B 組)を対象とし，以下のように前期と後期，2 度に分けて実施した.

3.1 口頭発表（前期）　「遷移金属元素の特徴，Au , Ag , Pt , Cu , Mn , Cr , Fe , Ni , Co」の 10 テーマを抽選で割り当て，タブレット端末でのインターネット利用の他，参考図書による調査を行った.

タブレット端末でスライドを作成し，班ごとに約 5 分の口頭発表を行った．班員全てが交代で発表を行う形式とし，発表後 2 分の質疑応答の時間を設けた.

発表時の様子や資料のわかりやすさなどを，班相互と担当教員 1 名で評価した．各班 A4 用紙 1 枚のまとめを提出させ，印刷・配付し理解の助けとした．合計

*　一般科 准教授
**　琉球大学教育学部 准教授

90 分授業 3 回を充てた．

3.2 ビデオ発表（後期）　「アセチレンからできるもの，アニリンとは何か，アニリンからできるもの」を共通のテーマとし，タブレット端末でのインターネット利用の他，参考図書による調査を行った．

タブレット端末のカメラ機能および動画編集アプリを利用し，5 分程度のビデオ発表とし提出させた．

授業回数の制限のため，ビデオ発表の相互閲覧ができず，担当教員の評価のみとなった．

各班 A4 用紙 1 枚のまとめを提出させ，印刷・配付し理解の助けとした．合計 90 分授業 3 回を充てた．

4. 結果と考察

4.1 授業の様子　前年に対象のクラスではタブレット端末で元素図鑑のアプリを利用しており，問題なく操作し資料作成を行っていた．多くの学生は興味を持って活動していた．(写真 1,2)

調査活動ではタブレット端末だけに頼ることなく，参考図書を併用しながら内容をまとめていた(写真 3)．しかし，参考図書やインターネット上の情報を少し加工しただけという発表が一部の班で見られた．タブレット端末の壁紙を変える程度の軽微ないたずらが時折見られたが，大きな影響はなかった．

熱心に取り組む様子から自主学習に応用できる可能性を見出すことができた．また，発表に利用する題材は，インターネット上のデジタルなものよりも，手書きや分子モデルなど実物を利用し，撮影した方が創意工夫の余地が大きく効果的であった．

写真 1　口頭発表の様子(前期)

写真 2　調査の様子(前期)

写真 3　スライドの例(前期)

4.2 アンケートの結果　授業終了後，学生に対してアンケートを実施した(表 1)．回答数は前期 79，後期 78 であった．タブレット端末をスムーズに操作できなかったという回答は前期後期ともに 12 名(15%)であり，化学の授業でのタブレット端末の活用については好意的な意見が前期 67 名(85%)，後期 62 名(79%)であった．

口頭発表(前期)とビデオ発表(後期)で見られた違いについて以下にまとめる．

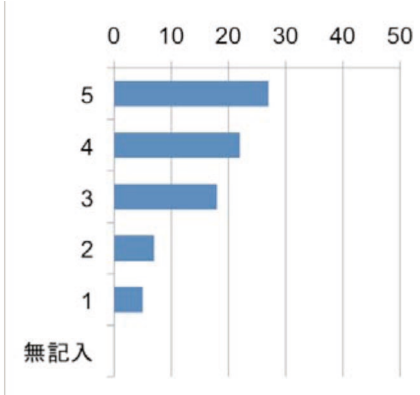
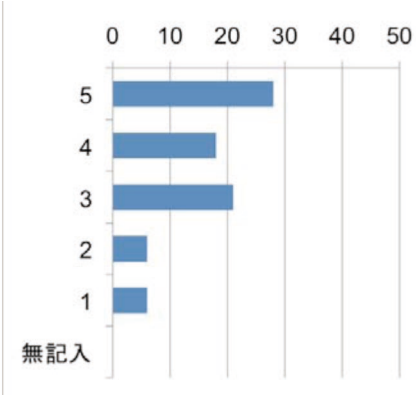
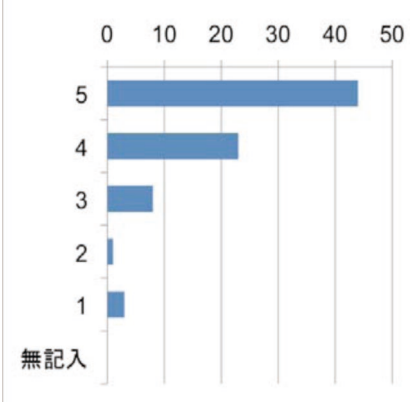
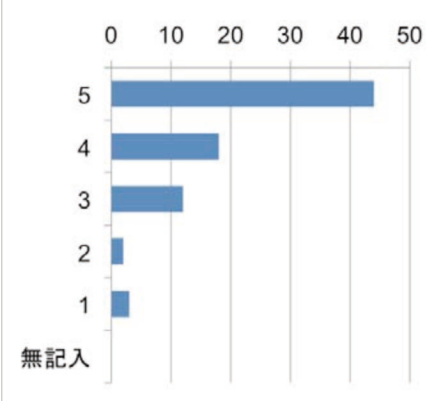
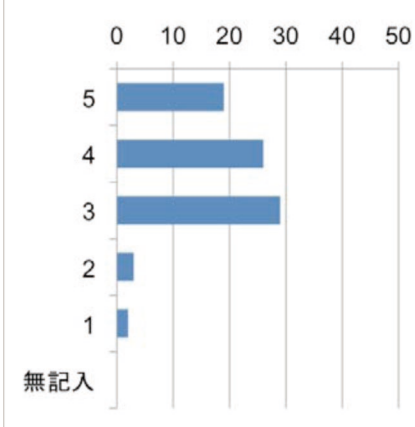
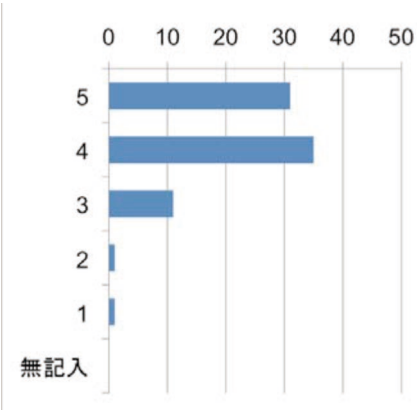
(a)プレゼンテーション能力の育成について

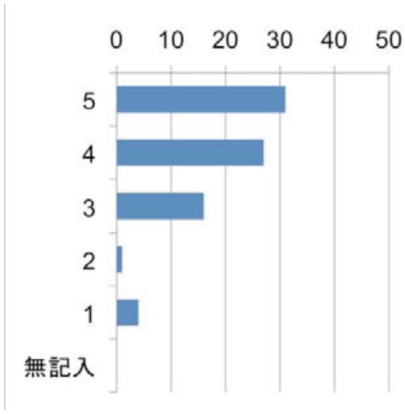
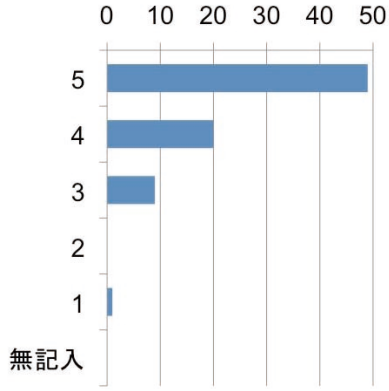
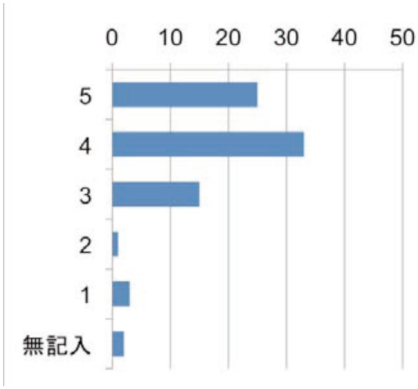
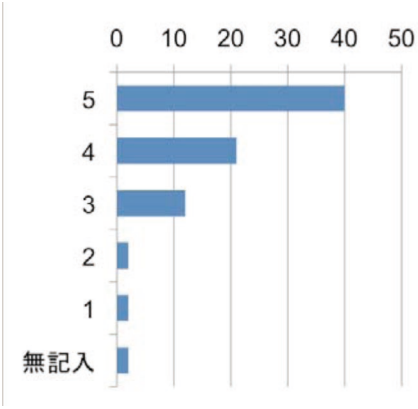
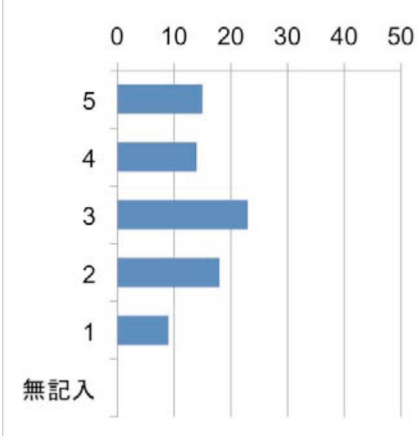
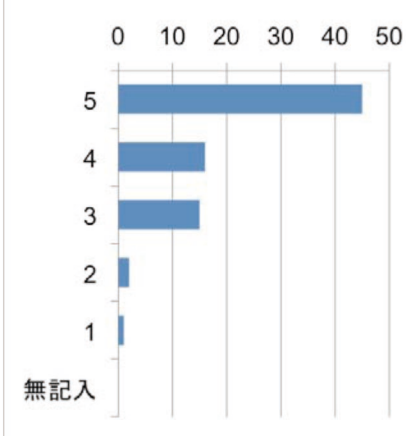
プレゼンテーション能力の育成に役立ったという回答が，口頭発表を行った前期 45 名(57%)からビデオ発表を行った後期 66 名(85%)に増加した．口頭発表は実際の発表を体験できるが練習回数に限りがあり，自らの発表を省みることが難しい．ビデオ発表では繰り返し撮り直すことにより，自らの発表を客観的に確認し，改善に結びつく実感を得たと考えられる．

(b)授業形式への慣れと取り組む姿勢について

「しっかり取り組めたか」,「授業は楽しめたか」「課題調査期間は十分だったか」という質問に対し，いずれも後期の方が「非常にそう思う」,「そう思う」との回答が大きく増加した．授業形式に 2 度目にして慣れ，授業に取り組む姿勢が整ってきたことが伺える．また，カメラ機能の利用が興味を喚起し，効果を上げていると考えられる．

表 1　アンケート結果
（回答番号 5:非常にそう思う，4:そう思う，3:どちらでもない，2:そう思わない，1:全くそう思わない）

	口頭発表(前期，回答数 79)	ビデオ発表(後期，回答数 78)
タブレット端末をスムーズに操作できましたか		
化学の授業にタブレット端末を導入した試みを良いと思いましたか		
本授業がプレゼンテーション能力の育成に役立ちましたか		

課題に対し班ごとでしっかりと取り組めましたか		
本授業は楽しめましたか		
課題調査期間は十分でしたか		

5. まとめ

本研究では，口頭発表よりもビデオ発表の方がプレゼンテーション能力の向上に役立つ，という学生のとらえ方の一部が明らかとなった．学生の適応能力は高く，使う毎にタブレット端末を利用した授業に慣れ，積極的に取り組む姿勢が深まったと考えられる．よって，継続的な活用が教育効果のさらなる向上に繋がると予想される．しかしながら，アンケートの回答数は十分とは言えず，今後さらなる検討が必要である．

一部インターネットの情報がほぼそのままという発表も見られ，解決は容易ではないが大きな問題点と捉えている．

本授業は元々実験に主眼を置いているため，この授業形式のための時間をいかに確保するかも課題であり，実験を組み合わせることができないか今後検討していきたいと考えている．

参考文献

(1)福本晃造・佐藤洋俊，「化学実験室におけるタブレット端末の導入と無機化学分野での教育活用」日本高専学会誌，第 18 巻第 3 号，pp.25-28，2013.

(2)増田達男編，「改訂版フォトサイエンス化学図録」，数研出版，pp.132-141，2012.

(3)桜井弘編，「元素 111 の新知識(第 2 版)」，講談社ブルーバックス，pp.134-325，2010.

島田正郎氏作成祖州城址地形図の検証－衛星画像を用いて

中尾幸一＊　町田吉隆＊＊

A verifying map created by Dr. Masao Shimada and changing it into an electronic file- on the city of the Liao Dynasty"Zu-zhou-cheng"

Kouichi NAKAO＊　Yoshitaka MACHIDA＊＊

ABSTRACT

This paper survey to how to verify the map of Zu-zhou-cheng（祖州城）. Zu-zhou-cheng is one of the city surrounded by the wall in the Liao Dynasty（遼朝）.Dr. Masao Shimada make a survey of the city in 1944. He created the map of the city exactly. We are able to find out how to verify the map using the Remote Sensing. Then we would create the digital map of Zu-zhou-cheng.

Keywords : remote Sensing, digital map, Zu-zhou-cheng（祖州城）, Liao dynasty（遼朝）,China

1. はじめに

祖州城は中国内蒙古自治区赤峰市巴林左旗に所在する城郭都市の遺跡であり（図 1 参照），契丹国（遼朝）の初代皇帝であった耶律阿保機（太祖）の奉陵邑と推定されている．奉陵邑とは皇帝や皇族の陵墓を守り，また死後の祭祀を行うために設けられた城郭都市である．祖州城北西の山岳の谷間には祖陵と推定される墓域が広がっており，祖州城はその谷間の入り口に位置している．

契丹国（遼朝）の法制度およびその歴史を研究した故・島田正郎氏（元明治大学教授・総長）をはじめとする日本人研究者は 1943 年および 1944 年に祖州城を調査し，特に 1944 年には同地の測量を行った．これらの調査・研究は第 2 次世界大戦下，旧満洲国管内で進められていたが，日本の敗戦とその後の混乱によって，関係者の人命，研究成果ともに大きな損害を受けた．

島田正郎氏は戦後，その成果をまとめられ，公刊した．[1] 同書には附図として「祖州城址地形図」（図 2）および「祖州城址平面図」（図 3）が載せられている．これらの地図が今回，我々が検証を試みた対象である．

国外の遺跡・遺構を対象とする調査において，その土地の地理的条件を知ることが欠かせないが，正確な等高線図を得られない場合も多い．我々は離れた所から対象物

＊都市工学科名誉教授
＊＊一般科教授

図 1　祖州城址周辺地図[2]

を計測する技術であるリモートセンシングにより遺跡・遺構の空間情報を作成する方法を開発することを目的として研究を進めているが，祖州城はその対象としての条件を備えている．

①祖州城址は契丹国（遼朝）時代以降，後代の都城がその遺跡に造営されたことがなく，城壁をはじめとする遺跡の保存状態が大変良いこと．

②トラバース測量に基づく実測図が残されていること．

③契丹国（遼朝）時代には遼上京址を含む五京と呼ばれる都城，つまり城郭都市が造営されると共に，各地に州

県城と称される城郭都市が設けられた．奉陵邑である祖州城もその一つであるが，これらの中には測量図は発表されていないが，遺跡の保存状況が良好な遺跡も多い．測量図の無い遺跡・遺構についてはリモートセンシングによる空間情報を得る方法が応用できる可能性がある．祖州城址の実測図と作成した数値地図を比較することにより，リモートセンシングを用いた数値地図作成の実効性を検証することができる．

④2000年代に入り，中国・社会科学院および遼上京博物館など現地の文物保存機関を主体とする遺跡の発掘調査が行われ，現時点ではまだ刊行されていないが，いずれ公表されるであろう調査報告によって，この方法を検証できる可能性があること．

以下にその検証過程を記す．

2. 島田正郎氏作成の祖州城址地形図による基準点間距離の測定

島田正郎氏作成の祖州城址の地形図は，図 2，図 3 にしめす 2 種の図がある．トラバース測量による基準点が記載されている「祖州城址地形図」(等高線図)と，城壁，遺跡を表した「祖州城址平面図」（遺跡図）の 2 種があり，それぞれの図にスケールが描かれている．その 2 つのスケールによって各基準点間の距離を図 2，図 3，それぞれのスケールで求めたところ，大きな差があることがわかった．以下にその測定法を説明する．

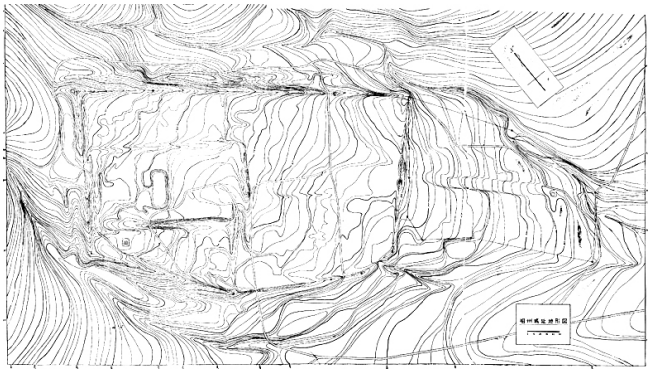


図 2　「祖州城址地形図」（等高線図）

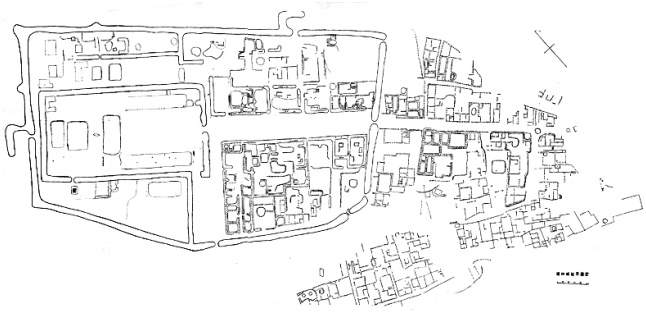


図 3　「祖州城址平面図」（遺跡図）

①図 2，図 3 をそれぞれイメージスキャナによりパソコンに画像として取り込む．

②画像処理ソフト Photoshop を用いて，画像上で，各基準点の画像上座標を測定する．また，スケールの両端の画像上座標も測定しておく．

③測定した画像上座標から，各基準点間の画像上距離を求める．その画像上距離は，図 2 は GLai，図 3 は Glbi とする．また，図 2 のスケールは 50m と表示している長さ Ga，図 3 は 50m の表示が不明瞭であるので 40m と表示しているところまでの画像距離 Gb’を測定する．Gb は，Gb’に 5/4 を乗じて 50m あたりの値とする．

④各基準点間の画像距離を，スケールを元に，それぞれ基準点間距離 Lai，Lbi に変換する．その計算式は以下のようになる．

Lai=Glai/Ga×50m----------(1)

Lbi=Glbi/Gb×50m----------(2)

表 1 はその結果である．La は Lb より 15.7%程度短いことがわかる．なお，Ga=25.9008mm，Gb=29.2118mm である．

表 1　島田正郎氏作成の祖州城址地形図，平面図におけるトラバース点間距離の測定結果

祖州城の座標（図上測定）

	単位mm	単位m	単位mm	単位m		
	図上距離GLa	距離La	図上距離GLb	距離Lb	La−Lb	%
1 − 2	86.5588	167.10	115.72	198.07	-30.97	-15.6
2 − 3	18.6043	35.91	25.20	43.14	-7.23	-16.8
3 − 4	25.1563	48.56	33.63	57.57	-9.01	-15.6
4 − 5	118.4326	228.63	158.20	270.78	-42.15	-15.6
5 − 6	79.7085	153.87	106.36	182.05	-28.18	-15.5
6 − 7	25.1813	48.61	33.77	57.81	-9.20	-15.9
7 − 8	30.2134	58.33	40.52	69.36	-11.03	-15.9
8 − 9	56.4094	108.90	75.28	128.85	-19.95	-15.5
9 − 10	68.3907	132.02	91.45	156.53	-24.51	-15.7
10 − 11	51.3997	99.22	68.94	118.01	-18.78	-15.9
11 − 12	7.9630	15.37	10.55	18.05	-2.68	-14.9
12 − 13	146.5287	282.87	195.76	335.06	-52.20	-15.6
13 − 1	61.6081	118.93	82.10	140.53	-21.60	-15.4
10 − 14	64.7019	124.90	86.51	148.07	-23.17	-15.6
14 − 15	31.3359	60.49	41.99	71.88	-11.39	-15.8
15 − 16	22.1350	42.73	29.67	50.79	-8.05	-15.9
16 − 17	39.0370	75.36	52.11	89.20	-13.84	-15.5
17 − 18	99.5881	192.25	133.11	227.83	-35.58	-15.6
18 − 19	54.6773	105.55	72.99	124.93	-19.37	-15.5
19 − 20	85.7481	165.53	114.87	196.62	-31.08	-15.8
20 − 10	87.1532	168.24	116.60	199.58	-31.34	-15.7
1 − 4	130.2632	251.47	174.52	298.72	-47.25	-15.8
1 − 8	284.6086	549.42	380.57	651.40	-101.98	-15.7
1 − 10	267.3314	516.07	357.16	611.32	-95.25	-15.6
4 − 8	242.0046	467.18	323.84	554.29	-87.11	-15.7
4 − 10	284.4335	549.08	380.37	651.05	-101.97	-15.7
8 − 10	124.8000	240.92	166.73	285.38	-44.46	-15.6

3. 人工衛星画像による基準点間距離の検証

図上測定の結果と，人工衛星画像から測定した基準点間距離を比較して，図上測定による La，Lb の信頼性を検証する．人工衛星画像は，Google Earth の画像を用いることとしたが，Google Earth の画像は，無料で手軽く利用できるので好都合であるが，地域によって解像度が異なり，その解像度も明確ではない．そのため，解像度が明確で比較的安価に入手できる高解像度のデータとして，ALOS 搭載の PRISM の画像を比較データとして用いることとした．

3.1 ALOS PRISM による測定

フリーウエアの画像処理ソフト MultiSpec[(3)]を用いて以下の要領で基準点間距離を測定する．その方法は，MultiSpec で画像を表示し，基準点の位置にマウスを合わせて，その時の情報欄にある XY 座標を読み，記録する．図 4 はその測定した点を示す画像である．測定した点を白○で示している．画像座標から各測線長を求めた．PRISM の解像度は 2.5m であるので，画像座標に乗じると，その長さを求めることができる．

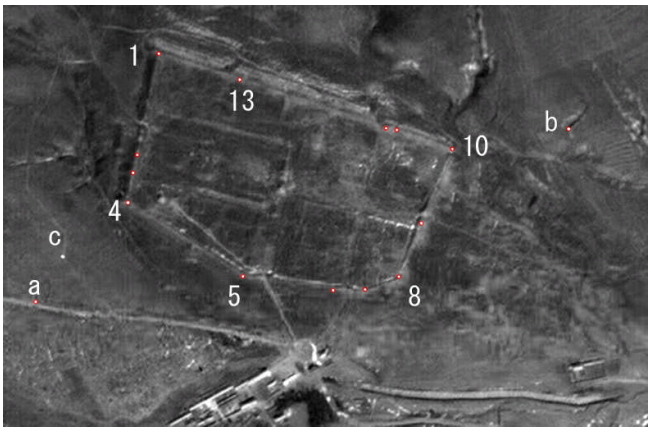


図 4　祖州城址の PRISM 画像

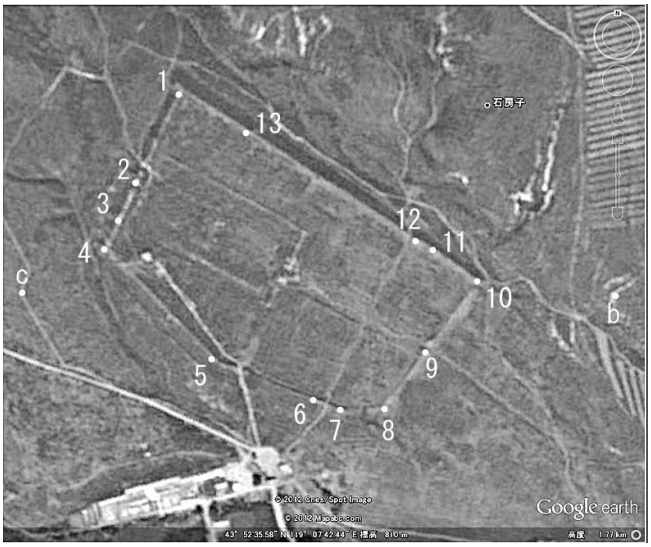


図 5　祖州城址の Google Earth の画像

3.2 Google Earth による基準点の測定

Google Earth 上で，基準点に当たる場所にマウスを合わせて，その時に表示している座標を記録する．図 5 は，座標を求めた点を白○でしめした画像である．

表 2　基準点間距離の測定結果の比較

	基準点間距離				prismとの差(1－i)		
	1	2	3	4	2	3	4
	prism	google	図２	図３	google	図２	図３
1 － 2	201.51	171.44	167.10	198.07	30.1	34.4	3.4
2 － 3	41.23	69.23	35.91	43.14	28.0	5.3	1.9
3 － 4	55.51	54.47	48.56	57.57	1.0	6.9	2.1
4 － 5	279.58	265.45	228.63	270.78	14.1	50.9	8.8
5 － 6	176.14	187.23	153.87	182.05	11.1	22.3	5.9
6 － 7	50.99	49.89	48.61	57.81	1.1	2.4	6.8
7 － 8	71.98	76.97	58.33	69.36	5.0	13.7	2.6
8 － 9	121.17	119.65	108.90	128.85	1.5	12.3	7.7
9 － 10	157.90	149.15	132.02	156.53	8.7	25.9	1.4
10 － 11	117.05	91.45	99.22	118.01	25.6	17.8	1.0
11 － 12	20.16	35.29	15.37	18.05	15.1	4.8	2.1
12 － 13	316.23	345.39	282.87	335.06	29.2	33.4	18.8
13 － 1	156.60	132.00	118.93	140.53	24.6	37.7	16.1
					0.0		0.0
1 － 4	298.10	295.12	251.47	298.72	3.0	46.6	0.6
1 － 8	649.06	644.58	549.42	651.40	4.5	99.6	2.3
1 － 10	609.55	603.80	516.07	611.32	5.8	93.5	1.8
4 － 8	551.50	554.35	467.18	554.29	2.8	84.3	2.8
4 － 10	646.09	642.34	549.08	651.05	3.8	97.0	5.0
8 － 10	279.04	268.77	240.92	285.38	10.3	38.1	6.3
	4799.38	4756.59	4072.46	4827.964	225.3	726.9	97.4

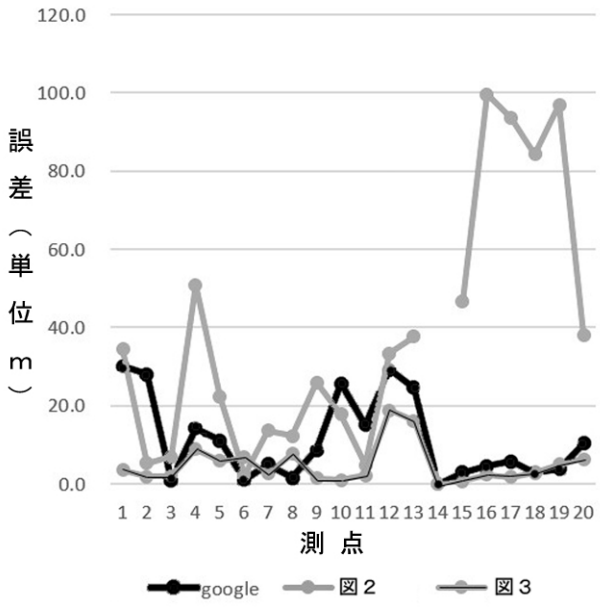


図 6　基準点間距離の測定結果の比較グラフ

4. 基準点間距離の測定結果の比較

島田図のスケールの検証をするため，PRISM，Google

Earth，図 2，図 3 の測定結果を比較した．その結果が表 2，図 6 である．PRISM の測定値と図 3 の測定値が最も近い値を示している．PRISM の解像度は 2.5m，Google Earth の祖州城周辺の画像の解像度は 30m 程度と考えられる（LANDSTAT の TM 画像と考えられるため）．以上の結果から，図 3 のスケールが信頼できるものであると考えられる．

5. 基準点の UTM 座標への変換

Google Earth により求めた座標は UTM 座標である．PRISM の画像座標，図 3 の画像座標を UTM 座標に変換してその差を比較する．このとき，測点 1 は一致させて，測線 1-10 は方向を一致するように，測点 1，10 を標定点として(3)(4)式によって変換する．このときの標定点座標は表 3，表 4 の値である．

表 3　PRISM の標定点の画像座標と UTM 座標

	画像座標		UTM 座標(m)
Xa1	-21.8	X1	4860651
Ya1	22.4	Y1	670770
Xa10	-3716	X10	4860340
Ya10	1994	Y10	671295

表 4　図 3 の標定点の画像座標と UTM 座標

	画像座標		UTM 座標(m)
Xa1	-3641	X1	4860651
Ya1	1762	Y1	670770
Xa10	-35.3	X10	4860340
Ya10	379.3	Y10	671296

〔座標変換の計算式〕

XB=X2-X1

YB=Y2-Y1

XPB=Xa10-Xa1

YPB=Ya10-Ya1

a1= (YPB・YB+XPB・XB) / (XPB^2+YPB^2)

b1= (YPB・XB-XPB・YB) / (XPB^2+YPB^2)

a0=Y1-a1・Y a 1+b1・Xa1

b0=X1-b1・Ya1-a1・Xa1

(座標変換式)

Xi=b0+b1・Yai+a1・Xai----------(3)

Yi=a0+a1・Yai-b1・Xai----------(4)

図 7 は変換して求めた図 3 の座標によって描いた骨組み図である．

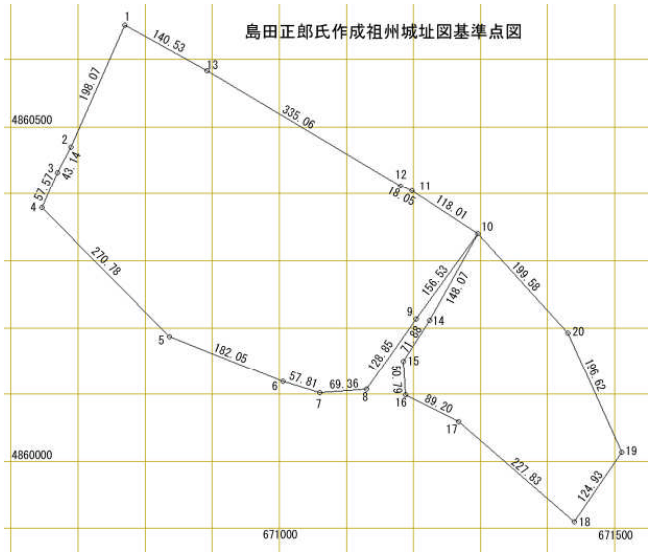


図 7　祖州城址骨組み図

6. 祖州城址のデジタルマップの作成

自己開発のプログラム adigital[4]は，画面上に画像を表示し，その画像上の点をマウスでクリックしていくことでベクタ型数値地図を作成することができる．また画像上に数値地図を重ね描きすることもできる．

これを用いて Google Earth で得られた祖州城周辺の画像上で祖州城遺跡の座標を測定し，その数値地図を作成する．作業に入る前に，Google Earth 上で明瞭な 2 点の UTM 座標を求めておく．測定作業は以下の順序で行う．

①adigital の第一画面で画像ファイルを選ぶと，第二画面にその画像が表示される．

②adigital の第二画面に画像を表示させたら，第二画面上で，あらかじめ座標を求めていた 2 つの基準点をマウスでクリックして，第三画面で，その UTM 平面直角座標を入力する．この作業の後，第二画面でその画像上にある遺跡・遺構上の点の座標を次々と測定して，その数値地図を作成する．

図 8 は第二画面の例である．画像上では測定した点は赤で表示され，赤線で結ばれる．図 9 は PRISM 画像

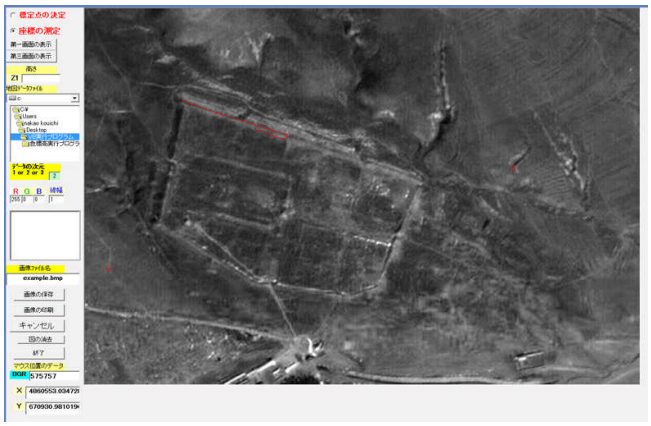


図 8　adigital の第二画面

上で祖州城址を測定して作成したデジタルマップにより描いた図である．図 10 は PRISM 画像に図 3 から測定をして作成したデジタルマップを PRISM 画像に重ねがきをした図である．

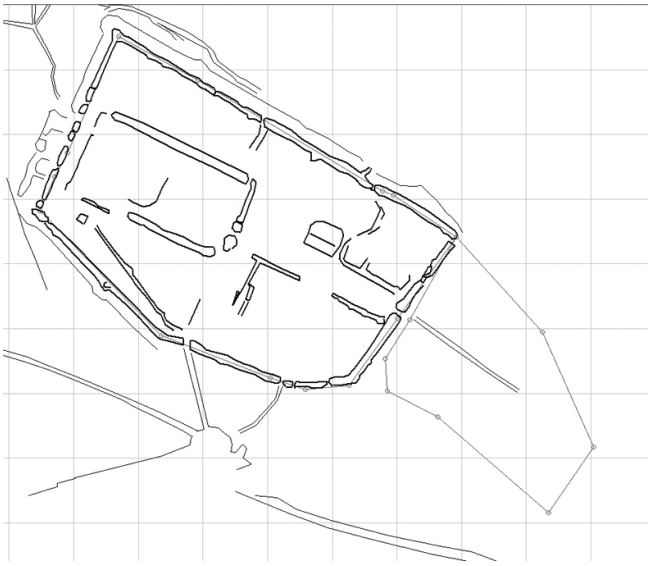


図 9　PRISM 画像上で測定した祖州城址地形図

図 10　PRISM の画像に図 3 を重ねがきした図

7. 標高データの作成と鳥瞰図の作成

7.1 標高データの作成　図 2 には等高線図があるので，これを使って数値標高データを作成した．等高線の高さは，Google Earth によって求めた標高値をもとに決めた．

その作成方法を以下にしめす．

①等高線図に，高さに応じて色を決めて着色する．図 11 がその図である．

②図 11 を用いて一定間隔（ここでは 3m）に，その点の色から高さを求めて記録し，200 点×200 点のファイルを作成する．これが数値標高データである．ここで用いる区域は 2 つの区画に分けて作成する．

7.2　鳥瞰図の作成　図 11 と同じ区域の図 12 を作成し，数値標高データと組み合わせて鳥瞰図を作成する．

①図 12 の作成は，photoshop を用いて，図 13 に図 14 を半透明にして重ねて，図 14 が図 13 の等高線と合うように変形して作成する．

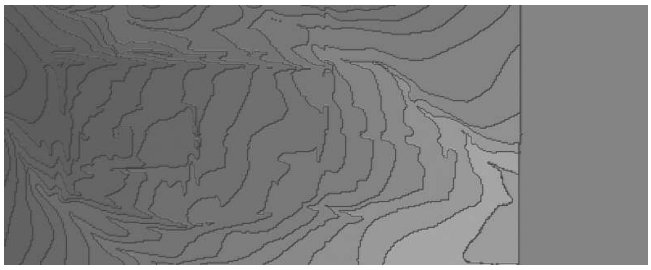


図 11　着色した等高線図

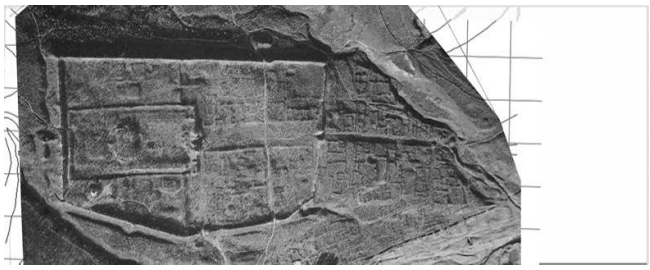


図 12　標高データと対応する図

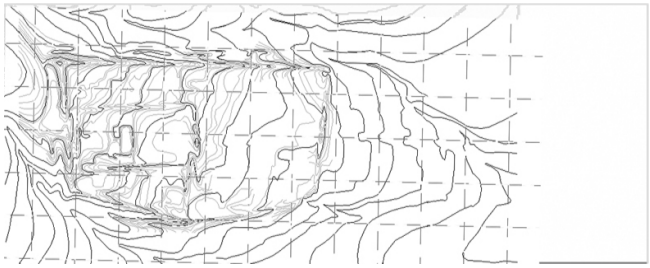


図 13　祖州城址の等高線図

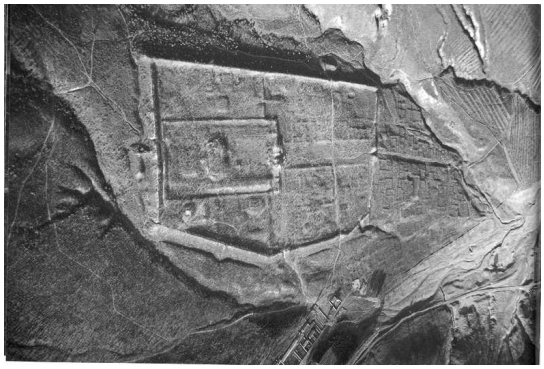


図 14　空中写真[5]

②フリーソフトのカシミールを用いて，図 11 と図 12 から，図 15，図 16，図 17 のような鳥瞰図を作成することができる．

鳥瞰図は，これを観測して，違和感のない図ができているかの点検ができる．それによって作成したデジタルマップの信頼性をある程度知ることができる．

図 15　北方よりの鳥瞰図

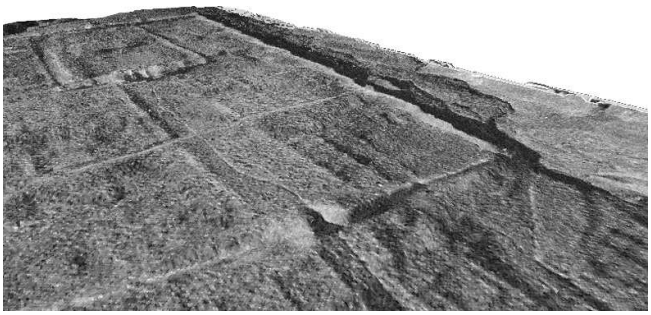


図 16　南門よりの鳥瞰図

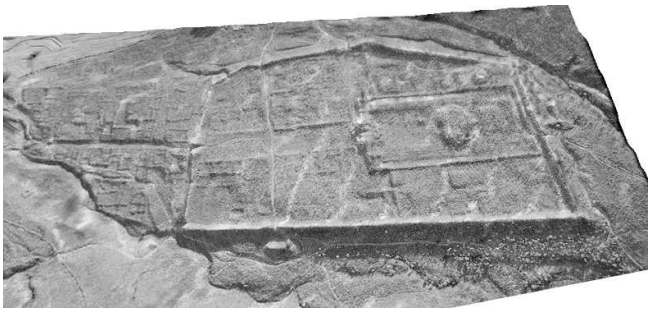


図 17　祖州城址北東からの鳥瞰図

8.　島田正郎氏作成祖州城址地形図の縮尺

島田図に描かれている 20 の基準点について，図２と図３に描かれているスケールを基に図上測定によりそれぞれの間隔を求めて比較したところ大きな差があり，いずれかのスケールがまちがいであることが推測できた．それぞれのスケールに関して，その信頼性を検証することとし，その方法として，人工衛星画像による同地点の観測による各基準点間距離の測定を行った．使用したのは ALOS の PRISM（解像度 2.5m）と Google Earth の画像の２種である．その結果，図３のスケールは高い妥当性が認められた．図２のスケールは何かの原因で図とは異なるスケールが記載されたものと思われる．検証の結果，図２の正しい縮尺は 1/2287 スケール，図３の縮尺は 1/1712 スケールであった．

9.　まとめ

以下に判明したことをまとめる．

①実測図として島田正郎氏が作成したトラバース測量による基準点が記載されている「祖州城址地形図」(図 2)と，城壁，遺跡を表した「祖州城址平面図」(図 3)の２種を，人工衛星画像は ALOS 搭載の PRISM と，Google Earth の２種の画像を用いて，基準点間距離を測定することができた．

②その過程で，図２と図３の間には記載されている縮尺スケールに大きな差があり，図２に記載されているスケールに誤りがあることが推測できた．その理由は不明であるが，図２の基準点の相対的な精度は確かめられているので，測量図の作成，または印刷段階での縮尺スケールに誤りがあったのではないかと推測する．

③図２と図３および作成した数値地図と空中写真を合成することにより，等高線も含む数値地図，各方向からの鳥瞰図を作成した．比較的起伏が大きい遺跡である祖州城址の全体像を捉えるのに有用と考える．

④島田正郎氏が作成した図２と図３の測定精度は 2000 年以降に取得された人工衛星画像によって作成した数値地図（デジタルマップ）と高い妥当性で一致した．これは祖州城址が，測量が行われた 1940 年代から大きな変容を受けずによく保存されてきたことを示すと共に，島田正郎氏を中心とする調査グループの測量技術の高さを証明している．

図 4，図 8，図 10 で使用した人工衛星画像データの所有権は経済産業省／(独)宇宙航空研究開発機構にあり，(財)リモートセンシング技術センターより配布されたものである．

謝辞

本研究の一部は平成 24 年度神戸高専共同研究費（一般研究）により進められました．ここに謝意を表します．

参考文献

(1) 島田正郎：『祖州城－東蒙古モンチョックアゴラに存する一遼代古城址の考古学的歴史学的発掘調査報告』，中澤印刷株式会社，1956.

(2) 杉山正明：『疾駆する草原の征服者－遼西夏金元・中国の歴史 08』，p.216 所載の「図 19 キタイ帝国の五京と皇帝陵」（向井佑介氏原図作成）に加筆・加工・転載した．講談社，2005.

(3) 中尾幸一：「MultiSpec による人工衛星画像処理」，神戸高専研究紀要，第 44 号，pp.97-102，2006

(4) 中尾幸一：「簡易数値地図作成システムの開発とその活用」，『高等専門学校の教育と研究』，第 15 巻 第 3 号，pp.91-96，2010.

(5) 中国歴史博物館遙感與航空摂影考古中心・内蒙古自治区文物考古研究所編著：『内蒙古東南部航空摂影考古報告』，p.118-119 所載「図 37.遼祖州城址」（編号 3B-191097-31）科学出版社，2002.

TOEIC スコアと中間・定期試験の点数について

上垣宗明*

Differences between TOEIC Score and Term Exams

Muneaki UEGAKI*

ABSTRACT

This paper focuses on differences between TOEIC scores and term exams scores. In November 2012, every 4th grader at Kobe City College of Technology was given TOEIC test. Every student had two term exams, the mid of the second semester in 3rd grade in 2011 and the end of the first semester in 4th grade in 2012. Two questioannaires were administrated to every student in February 2012, and in September 2012. With statistic analysis, we analyzed the relationship between their TOEIC scores, the term exams and the students' motivations for English and English learning. Based on their TOEIC scores, we divided them into three groups. Their TOEIC score and term exam score have very strong relationship. So, we could say that the term exams could evaluate students' English ability, not only their reading abilities but also their listening abilities. But the relationship between their TOEIC scores and the students' motivations would be weak.

Keywords : TOEIC score, term exams, motivation

1. はじめに

神戸市立工業高等専門学校（以下，本高専）は，2012 年 11 月に TOEIC を初めて 4 年全学生に受験させた．「TOEIC は，世界最大のテスト開発・制作能力を持つアメリカの公共機構 ETS（Education Tasting Service）が開発した Test of English for International Communication（英語による国際コミュニケーション能力を測定するためのテスト・システム）の略称である」(1)．最近は，英語能力を測定するテストとして社会でも受け入れら，多くの企業で採用や昇格の際に用いられている．本高専でも 2011 年度より専攻科入試で，当日の英語試験に代わり，TOEIC の点数を合否判定の基準に用いている．大学入試，大学への編入試験や大学院入試でも多くの教育機関で用いられている．

TOEIC のホームページ(2) は，全受験者の結果を公式データとして公開している．過去 3 年間の受験者数の推移は，2010 年は 1,648,449 名，2011 年は 2,084,520 名，2012 年は 2,105,202 名と 2011 年以降 200 万人以上が受験している．最近では，公開テストに比べて IP テスト受験が増えている．また，全受験者数や大学各学年，高専各学年の受験者数や平均点などを公開しているので，研究者だけではなく，受験者にとっても，非常に貴重なデータを得ることができる．

本稿では，本高専の 2011 年度 3 年の全 6 クラスの学生を対象に，2012 年 11 月に受験した TOEIC のスコア，3 年生後期英語演習の中間テストと定期テスト，4 年生前期英語演習の中間テストと定期テストの素点を調査対象とする．また，2012 年 2 月（2011 年度）と 2012 年 9 月に動機づけに関するアンケートを実施し，その結果についても，統計的に分析し考察を加える．分析対象となる学生は，2 つのアンケート，4 つの試験と TOEIC テストの全てを受けた 206 名である．

2. TOEIC スコアについて

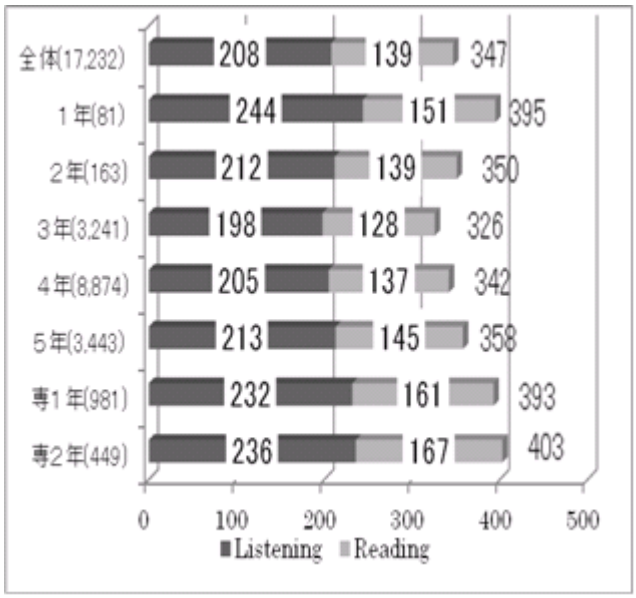
現在の TOEIC に関する現状を全国の高専を中心に 2012 年度の TOEIC 公式データを参照し，紹介する．

2.1. 高専・高校・短大・大学の TOEIC IP テストのスコア

TOEIC IP の公式データでは，全国の高専で 1 年生から専攻科 2 年生までの 17,232 名が受験し，平均は 347 点（Listening 208 点，Reading 139 点）である．各学年の平均点をグラフ 1 に示す．

グラフ 1 にみられるように，高専 1，2 年生の受験者数は少なく，英語に自信のある学生や得意な学生だけが受験しているために平均点が高くなっていると推測

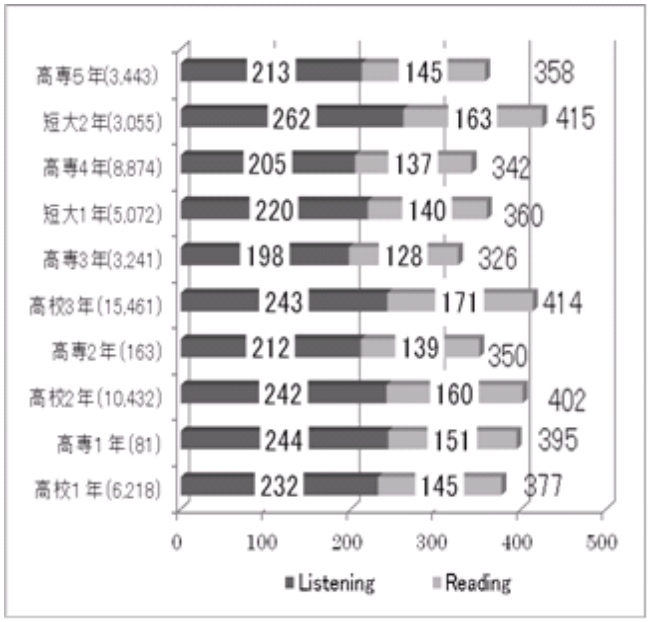
* 一般科 准教授



グラフ１　高専のＩＰテストの結果

できる．受験者数は 3 年で 3,241 名と増えているが，平均点が 326 点と各学年で一番低い．その後，学年が進むにつれて平均点が上昇している．

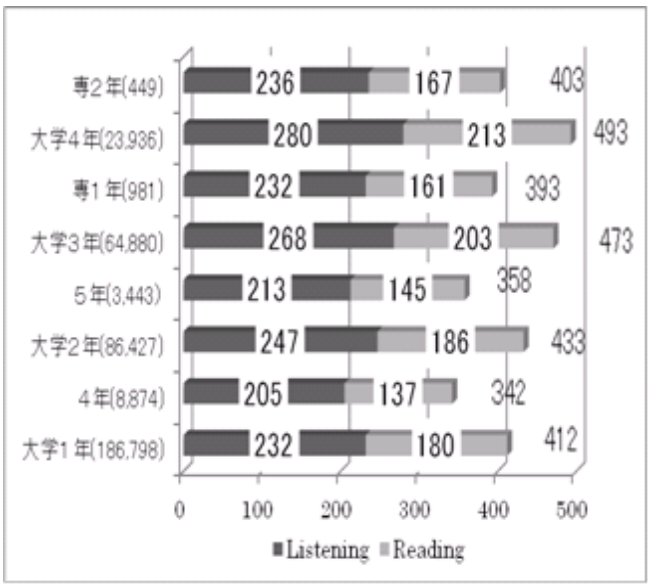
次に，高専 1 年から 5 年と同年代の高校と短大の結果を参照する．高校 3 学年全体で 32,111 名が受験し，平均点が 403 点（Listening 240 点，Reading 163 点），短大では 8,127 名の受験で 381 点（Listening 232 点，Reading 149 点）となっている．各学年の平均点をグラフ２に示す．



グラフ２　高専と高校・短大の比較

グラフ２から，高専 3 年生までの受験者が少なく，高校 3 年生までと比較はできないが，傾向として高専 1 年生が高く，3 年生までは徐々に平均点が下がっていく．それに対して，高校生は学年が進むにつれて，平均点が高くなっている．短大 1 年生と高専 4 年生とを比べると 18 点，短大 2 年生と高専 5 年生とを比べると 57 点，短大生のほうが良い．高専 4 年生と 5 年生の差は 16 点と少ないが，短大 1 年生と 2 年生の差は 55 点と大きく差が開いている．受験者数が高専で約 5,400 人，短大で約 2,000 人減っているが，高専よりも短大生の方が 1 年間よく英語の勉強をし，英語の実力を身につけていることがわかる．

最後に，高専 4，5 年生，専攻科 1，2 年生と同年代の大学生の結果を参照する．大学生は 362,036 名の受験で平均 433 点（Listening 245 点，Reading 188 点）である．高専の 4・5 年と専攻科 1・2 年の平均点と大学の各学年の平均点をグラフ３に示す．



グラフ３　高専と大学の比較

高専生と大学生とを比べると，徐々に点数の開きが大きくなっていることがわかる．総合点数では，高専 4 年生と大学 1 年生で 70 点，専攻科 2 年生と大学 4 年生では 90 点と開きが広がっている．Listening と Reading に分けてみると，Reading においては，その開きが高専 4 年生と大学 1 年生では 43 点，専攻科 2 年生と大学 4 年生では 46 点と差はあまり広がっていない．しかし，Listening においては，高専 4 年生と大学 1 年生の差は 27 点，専攻科 2 年生と大学 4 年生では 44 点の差になっており，4 年間で 17 点も差が開いている．グラフ３からは，高専生は大学生に比べて英語力がなく，Listening 力の差が徐々に広がっていることがわかった．

2.2. 公開テストのスコア

公開テストにおいては，高専生（6,297 名）の平均が 440 点（Listening 258 点，Reading 182 点），高校生（20,331 名）の平均 518 点（Listening 305 点，Reading 213 点），短大生（4,689 名）の平均 470 点（Listening 276 点，Reading 194 点），大学生（298,397 名）の平均 555 点

（Listening 304 点，Reading 250 点）で，どの校種でも IP よりも高い平均点となっている．その理由としては，IP 試験は全校的に受験する場合があるが，公開試験の場合は全く自分の意思で受験するために，ある程度自信を持った学生，対策をしっかりとした学生や必要に迫られた学生が受験するために平均点が高くなっている．公開テストと同様の結果が，中学校の IP テストに現れている．中学の IP 受験者数は 931 名で平均が高校生よりも 135 点も高く，538 点（Listening 325 点，Reading 213 点）である．公開試験においては，更に高く 926 名の受験で平均 583 点（Listening 348 点，Reading 236 点）である．中学校では IP テストを実施している学校は少ないと思われる．また，受験者も，英語の能力が高い生徒だけ（例：帰国子女やインターナショナルスクール）が受験し，平均点が高いことがわかる．このような傾向が，IP テストと公開テストの平均点の違いの一つである．

2.3. 目標となる TOEIC スコア

高専生としての目標となる点数について，徳山高専[3]では，1 年（250 点），2 年（290 点），3 年（310 点），4 年 330 点，5 年 350 点，専攻科 1 年 400 点，専攻科 2 年 470 点と設定している．

本高専の平成 26 年度の専攻科入試推薦による選抜の出願資格には，「出願時に，TOEIC（IP テストを含む）のスコア（試験日を基準として 2 年以内に取得したスコア）400 点以上，実用英語検定 2 級以上，工業英検 2 級以上のいずれかを取得しているもの」[4]と記述してある．また，学力入試の TOEIC の換算点は，「スコアを 6 で割った点数（四捨五入）ただし，600 点以上は 100 点，250 点以下は，0 点」[5]と，なっている．本高専の学修成績の合格最低点は 60 点であり，この換算点を考慮すると TOEIC の 360 点が卒業するためには必要な点数といえる．また，本高専の学修成績の目標とすべき平均点は 75 点であり，TOEIC の換算では 450 点となる．つまり，最低 360 点，平均 450 点を取得することが目標となるだろう．

2.4. 本高専 4 年の TOEIC スコア

2012 年 11 月 7 日と 11 日に行われた本高専の 4 年生 232 名の TOEIC テストの結果は，平均 330.8 点であった．同年度の全国の高専 4 年生の平均は，342 点なので，本高専の学生の方が約 11 点悪い．Listening は本高専 195.7 点，全国 205 点で約 9 点，Reading は本高専 134.9 点に対して全国は 137 点で約 2 点悪い結果となっている．本高専と全国の TOEIC の点数の差は，ほぼ Listening 力の差がそのまま，点数の差となっていることがわかる．

3. 試験の結果

2011 年 3 年生後期英語演習の中間テスト（11 月下旬実施：テスト I）と定期テスト（2 月下旬実施：テスト II），2012 年 4 年生前期英語演習の中間テスト（6 月初旬実施：テストIII）と定期テスト（9 月下旬実施：テストIV）を分析する．表 1 に各テストの結果を示す．本調査の統計処理は，「エクセル統計 2008（SSRI：社会情報サービス株式会社）」を使用した．

表1　各テストの結果

	平均点（Avg.）	標準偏差（S.D.）
テスト I	69.69	14.67
テスト II	65.52	15.15
テストIII	72.51	17.8
テストIV	71.41	18.98

平均点において，テスト II が他のテストに比べてかなり悪く，その他のテストはさほど違いがないように思える． 4 つのテストにおいて，統計的に有意差がみられるのかをクラスカル・ウォリス検定で分析した．その結果を表 2 に示す．

表2　各テストの分析

		χ^2 値	p 値	判定
テスト I	テスト II	5.93	0.12	
テスト I	テストIII	3.62	0.31	
テスト I	テストIV	1.45	0.69	
テスト II	テストIII	18.81	0.0003	**
テスト II	テストIV	13.23	0.0041	**
テストIII	テストIV	0.49	0.92	

*=5%水準の有意差　**=1%水準の有意差

1%水準で有意差が認められたテストは，テスト II とテストIII，テスト II とテストIVであった．それ以外では，有意差は認められなかった．平均点から考察しても，テスト II は，65.52 と低く難しいテストであったことがわかる．他のテストとは明らかに異なるテストだと判断できるので分析対象から省く．テストIIIとIVは，テストを受けた期間が 3 カ月しか開いておらず，有意差も認められないためにテスト I 以降 10 ヶ月後に受けたテストIVとテスト I を分析対象とする．

4. アンケートについて

動機づけを調査するためのアンケート用紙を，『外国語教育リサーチマニュアル』[6]を参考にして著者が作成した（Appendix 1）．質問は 16 項目からなり，4 段階評価のリッカートスケール（1. 全然そう思わない，2. あまりそう思わない，3. だいたいそう思う，4. まったくそう思う）で回答を求めた．

アンケートを 2 回実施した．1 回目は 3 年生時の 2012 年 2 月（2011 年度：アンケート I）と 2 回目は 4 年生時の 2012 年 9 月（2012 年度：アンケート II）に，英語

演習の授業中に実施した.

回答する前に「このアンケートは成績と全く関係がありません．自分の気持ちにあてはまるところを○で囲んでください.」と教示した.

TOEICテストを受けた日付に近いアンケートⅡの結果を統計処理した. 16 項目が同じような概念を測定しているのかを示す指標である内的一貫性について注意を払った. 内的一貫性を測定するためのクロンバック α 係数という値を用いた. ゾルタイは,「うまく作られた質問紙であれば, たとえ 10 項目程度しかない場合でも, 内的一貫性による信頼度係数は 0.8 程度あります.」(7) と述べている. この指摘に沿うように, クロンバックα係数が 0.8 に近づくように調整した.

アンケートⅡの結果のクロンバックα係数を求めると, 項目６ “英語を勉強するのは嫌だ”の相関係数が-0.33, 項目８ “高専では英語の勉強は必要ないと思う”の相関係数が-0.28, 項目９ “今後, 英語よりも数学のほうが大切だと思う”の相関係数が-0.07 と, 3 項目がマイナスの値を示した. そのために, この 3 項目を “5－X(X は素点)” の逆数にし, 再度, クロンバックα係数を求めた. 全ての値でプラスを示した. そして, より信頼度を高めるために項目14 “将来, エンジニアになりたい”を削除すると, 0.819 となり, ゾルタイが指摘している 0.8 よりも高い値となり, この質問紙の信頼度は確保できている.

アンケートⅠについてもアンケートⅡと同様に, 項目６(-0.37), 項目８(-0.078), 項目９(0.006)を逆数にし, 再度クロンバック α 係数を求めた. 次に, アンケートⅡと同様に, 項目14を削除すると, 0.78 となり, 0.8 には達しないが, 内的一貫性を確保しているアンケートといえるだろう.

アンケートⅠ, Ⅱともに回答した学生は 213 名だった. これらのアンケートの結果に違いが見られるのかを t 検定で分析した. その結果を表3に示す

表3 アンケートの分析

	n	Avg.	S.D.	差	t	p 値	判定
Ⅰ	213	42.75	5.98	1.26	3.06	0.001	**
Ⅱ	213	41.49	6.44				

n＝ サンプル数（自由度） t=統計量
*=5%水準の有意差 **=1%水準の有意差

表３が示すように, アンケートⅠとアンケートⅡでは 1%水準の有意差がみられ, アンケートⅠの方が英語や英語学習に対しての動機が高いことがわかる. 更に詳しく見てみると, アンケートⅡの方が平均値は低いにもかかわらず, 標準偏差の値が高い（差：0.46）. 通常は平均値が高いほど標準偏差が高くなる傾向があるが, 本アンケートは通常とは異なる結果となった. このことは, 3 年時は, 全学生が平均的に英語や英語学習に対して高い動機を持っていたが, 4 年になると高い動機をもって英語に取り組んでいる学生とそうではない学生とで二極化していることがわかる. また, 平均値から推測すると, ４年生になるとやる気を持てないまま英語や英語学習に取り組んでいる学生が増えていることも推測できる.

5. 考察

TOEIC, テストⅠとⅣ, アンケートⅠとⅡをすべて受けた学生を対象に, TOEIC スコアの上位群 60 名（580~365）, 中位群 60 名（360~320）, 下位群 59 名（315~255）の 3 群に分け, それぞれのテストやアンケートに違いがあるのかを検討していく. TOEIC の最上位 2 名, 895 点と 680 点の学生は他と著しく差があったために対象から省いた. また, TOEIC の最下位群 245 点~75 点の 19 名は 3 群の人数をほぼ同じに合わせるために調査対象から除外した.

表４に, それぞれの群の TOEIC スコア, テストⅠとⅣ, アンケートⅠとⅡの平均値と標準偏差を示す.

表4 3群の試験などの結果

		上位群	中位群	下位群
TOEIC	Avg.	406.2	341.3	289.07
	S.D.	45.38	12.52	17.68
テストⅠ	Avg.	79.67	70.25	62.44
(3 年後期中間)	S.D.	10.4	14.83	12.29
テストⅣ	Avg.	81.7	72.38	63.07
(4 年前期定期)	S.D.	16.32	18.4	16.19
アンケートⅠ	Avg.	45.32	42.43	41.02
3 年アンケート	S.D.	5.5	6.23	5.54
アンケートⅡ	Avg.	43.12	41.97	40.51
4 年アンケート	S.D.	6.8	5.92	6.4

TOEIC スコアで 3 群に分けたが, テストⅠとⅣともに上位群と中位群, 中位群と下位群では平均点に 10 点の開きがあり, 明らかに異なっていることがわかる. 平均点からみると, TOEIC スコアで分けた 3 群は, テストⅠとテストⅣでもほぼ同じ学生の 3 群に分けることができると思われる.

3 群において TOEIC スコアに有意差が見られるのかをクラスカル・ウォリス検定で分析した. その結果を表５に示す.

表5 TOEICスコアの分析

		χ^2 値	p 値	判定
上位群	中位群	40.27	0.00	**
上位群	下位群	158.40	0.00	**
中位群	下位群	39.27	0.00	**

*=5%水準の有意差 **=1%水準の有意差

表５から, TOEIC スコアにおいては明らかに有意差が

見られ，平均点においても，上位群と中位群で 64.83，中位群と下位群で 52.27 の差があった．

次に，3 群でテストⅠとテストⅣの間に有意差が見られるのかをクラスカル・ウォリス検定で調べた．その結果を表６に示す．

表6　テストⅠとⅣの分析

		χ^2値	p 値	判　定
テストⅠ（3年後期中間テスト）				
上位群	中位群	11.92	0.0026	**
上位群	下位群	43.13	0.000	**
中位群	下位群	9.79	0.007	**
テストⅣ（4年前期定期テスト）				
上位群	中位群	7.20	0.027	*
上位群	下位群	28.57	0.000	**
中位群	下位群	7.14	0.028	*

*=5%水準の有意差　**=1%水準の有意差

テストⅠでは 3 群において，それぞれの群で 1%水準の強い有意差が見られた．TOEIC テストと同じ結果を示した．平均点においても上位群と中位群で 9.42，中位群と下位群で 7.81 の差があった．

TOEIC テストを受験する 2 カ月前のテストⅣでは，上位群と下位群では，当然，1%水準の強い有意差が見られたが，上位群と中位群，中位群と下位群では5%水準の有意差が見られる結果となった．平均点を見ると上位群と中位群で 9.32，中位群と下位群で 9.32 の差があった．テストⅠとテストⅣとを比較すると，平均点の違いはほぼ同じだが，テストⅠの方が各群でより強い有意差がみられた．

最後に，アンケートⅠとⅡにおいても 3 群で差があるのかをクラスカル・ウォリス検定を用いて分析した．その結果を表７に示す．

表7　アンケートⅠの分析

		χ^2値	p 値	判定
アンケートⅠ				
上位群	中位群	7.8231	0.0200	*
上位群	下位群	16.2322	0.0003	**
中位群	下位群	1.5468	0.4614	
アンケートⅡ				
上位群	中位群	2.5119	0.2848	
上位群	下位群	7.5843	0.0225	*
中位群	下位群	1.3824	0.5010	

*=5%水準の有意差　**=1%水準の有意差

アンケートの結果は試験ほど3群において強い有意差はみられなかった．アンケートⅠの平均点の差は，上位群と中位群で 2.88，中位群と下位群で 1.41 であった．アンケートⅡでは，上位群と中位群で 1.15，中位群と下位群で 1.46 の差があった．全学生については，表３に見られるように，1%水準で有意差が見られ，平均値で 1.26 とアンケートⅠを受けた時期の方が高かったことがわかった．

各群においてアンケートⅠとアンケートⅡに違いがみられるのかを t 検定で調査した．その結果を表８に示す．

表8　各群のアンケートの t 検定の結果

		n	Avg.	S.D.	差	t	判定
上位	Ⅰ	60	45.32	5.50	2.20	2.22	*
	Ⅱ		43.12	6.80			
中位	Ⅰ	60	42.43	6.23	0.47	0.66	
	Ⅱ		41.96	5.92			
下位	Ⅰ	59	41.02	5.54	0.51	0.79	
	Ⅱ		40.51	6.4			

*=5%水準の有意差　**=1%水準の有意差

上位群のみ 5%水準で有意差が見られたが，他群では有意差が見られなかった．アンケートⅠを実施した時期は，3 年生後期の 2 月で定期試験直前であった．3 年後期は，英語演習（後期週 1 コマ）と英語（通年週 2 コマ）の 2 つの英語の授業があり，週 3 コマの英語の授業を受けている．また，定期試験に向けて 2 教科の英語を勉強するべきだと思った学生の英語への学習動機が高かったと推測できる．特に，上位群の学生がそのように強く感じていたので中位群と比較しても 5%水準で有意差が認められた（表７：アンケートⅠより）．それに対し，アンケートⅡを実施したのは 4 年時の 9 月で，英語の授業は英語演習（通年週 1 コマ）だけで試験も 1 科目である．それに付け加え，多くの学生が後期に頑張れば，なんとかなるという気持ちもあり，この時期は英語への学習動機が低かったのではないかと思われる．このことは，アンケートⅠと比較しても平均値が低く，3 群ともにあまり違いが少なかった理由の一つと考えられる．

6. まとめ

動機づけに関しては，アンケートの実施時期にも関係があるが，上位群の学生は英語や英語学習に対して，3 年時は比較的高い動機を持って取り組んでいたことがわかった．そして，4 年になると平均値が下がり，動機が低くなっていた．他群においても同様の結果となった．

3 群において，TOEIC スコアでは 1%水準で有意差がみられた．同様に，テストⅠでは 1%水準で，テストⅣでは 5%水準で有意差がみられた．TOEIC スコアの上位群はテストⅠ，Ⅳでも，他群と比べると有意に良い点数を取っていることもわかった．中位群や下位群においても同様であった．つまり，TOEIC で高いスコアを取得する学生は，定期試験や中間試験でも高い

点数を取得し，あまり良くないスコアを TOEIC で取得する学生は中間や定期試験でもあまり良くない点数を取っている．このことから，定期試験や中間試験でも，TOEIC で測定できる英語力を測定しているといえる．

テストⅠとⅣのそれぞれの群の平均点と TOEIC スコアの平均点を考慮し，試験の点数を TOEIC スコアに換算すると，試験の 80 点が TOEIC の 400 点に相当し，70 点が 340 点，60 点が 290 点であった．徳山高専が設定している目標点数（4 年：330 点，5 年：350 点）や本高専の専攻科入試の TOEIC の換算点（TOEIC スコア 360 点で 60 点，420 点で 70 点）を考慮すると，卒業時に，試験点数が 60 点で TOEIC のスコアが 350 点～360 点になるような授業や試験が必要であると思われる．しかし，他校種と比較すると 350 点～360 点は低い点数といえる．短大 2 年生の平均が 415 点，大学 2 年生の平均が 433 点である．同年代の学生を参考にすると，高専卒業時には 420 点程度の平均になるような英語教育が必要と思われる．そして，最低でも 350 点を取得することが必要である．もし，そのような点数が取得できれば，社会で言われている「高専生は英語が弱い」を払拭できるだろう．

今回の調査対象となった学生 179 名の平均は 340 点であったが，対象外とした最上位 2 名と下位 19 名を加えた平均が 330 点である．300 点以下が 52 人であったことからも，この学生たちの底上げが急務といえる．また，底上げだけではなく，最上位の 895 点や 680 点を取得する学生がいることを考慮すると，多くの学生がもっと英語力を伸ばせる可能性がある．例えば，短大 1 年生と 2 年生の比較では，360 点から 415 点と 55 点の上昇がみられた．本高専学生は学習能力が高く，英語や TOEIC に対しての動機付けがあれば，短大でみられる 55 点の上昇は十分期待できる点数である．

教員としては，英語力を身につけていることの必要性や TOEIC が社会で認められつつある事実を学生に伝え，英語学習への motivation を高めていきたい．そうすることができれば最低 350 点，平均 440 点は，十分達成できる点数である．

参考文献

(1) 木村恒夫他：TOEIC リーディング基本練習 300 問，語研，1995.

(2) TOEIC ホームページ
http://www.toeic.or.jp/
http://www.toeic.or.jp/toeic/pdf/data/DAA2012.pdf

(3) KUNISHIGE Toru,etc，－An Analysis of the Students' Motivation for Studying English at Tokuyama College of Technology—，全国高等専門学校英語教育学会研究論集 Vol.30, p.16，2011.3.

(4) 神戸市立工業高等専門学校　平成 26 年度　専攻科学生募集要項

(5) (4)と同じ．

(6) ハーバード・W・セリガー，イラーナ・ショハミー著，土屋武久他訳：「外国語教育リサーチマニュアル」，大修館書店，2001.

(7) ゾルタイ・ドルニェイ著，八島智子，竹内理訳：「外国語教育学のための質問紙調査入門」，関西大学出版部，2006.

Appendix 1

1	自分の英語が通じるとうれしい
2	外国人ともっと会話してみたい
3	英語を話せるようになりたい
4	英語は簡単だと思う
5	将来、英語は大切だと思う
6	英語を勉強するのは嫌だ
7	文法よりも単語や熟語のほうが大切だと思う
8	高専では英語の勉強は必要ないと思う
9	今後、英語よりも数学のほうが大切だと思う
10	英語以外の外国語も勉強したい
11	世界の出来事に関心がある
12	外国の文化や習慣を勉強したい
13	外国で暮らしてみたい
14	将来、エンジニアになりたい
15	TOEIC でよい点数を取りたい
16	英語を使う職業に就きたい

高専の魅力と将来展望

赤対秀明*

Strong Points of a College of Technology and the Future View

Hideaki SHAKUTSUI*

1. はじめに

神戸高専は，高専の二期校として，昭和 38 年に神戸市により設置され，50 周年を迎えた．平成 25 年 10 月 12 日には，盛大に記念式典が挙行された．20 年誌，30 年誌，40 年誌に綴られた数多くの歩みを拝読するにつれ，諸先輩方の教職員，卒業生，保護者の方々に敬意を表するものである．

私が初めて“高専”を耳にしたのは，中学 3 年生のときで，優秀な生徒しか入れないという情報であった．私の中学校からは同級生が 2 名（320 名中），M高専に入学した程度であった．今から約 40 年前のことであるから，高専が設置されてから 10 年ほどしか経っていないころのことである．そのとき，私が 10 年後に神戸高専の教員として採用され，かつ 30 年以上も勤務することは，全く予想のつかないことであった．

本稿では，私の 32 年間にわたる高専教員生活において携わった機械工学の実験・実習（旋盤，手仕上げ，分解組み立て，創造設計製作，流体工学の管摩擦実験，球の抵抗実験，製図），機械工学概論，流体工学，流体機械，伝熱工学，流れ学，熱物質移動論，熱流体計測，卒研・専攻科生の研究指導，企業との共同研究，バレー部顧問，教務副主事，高専研究会委員長，研究振興委員会委員長，地域協働研究センター長，専攻科長，国際交流委員会委員長，進路指導委員会委員長，教育プログラム委員会委員長，教務主事，50 周年記念式典実行委員会，日本高専学会事務局長，同副会長，日本混相流学会編集委員，同研究分科会委員，兵庫工業会学術委員，公開講座，神戸市体育協会高等学校バレー部委員など，その場その場での高専教員としての経験を通して体感した高専の魅力について改めて整理し，将来展望を行なう．

2. 高専の魅力

今更ながら高専の良さを説明するとすれば，「早期一貫実践教育」に尽きる．中学校を卒業後（早期に），15 歳から 20 歳（本科）あるいは 22 歳（専攻科）まで（一貫して），実験実習を全時間数の約 40%（実践的に）教育する少人数教育システムである．これは，全世界を探しても存在しない，日本独自の教育体系であり世界に誇れるものである．企業側からも，若くて（20 歳）専門技術の基本を身につけているので，企業好みの人材に育てる素材としては申し分ないと指摘されている．現在，工業系でいえば大学院（修士）が主流になっているが，24 歳であり，実践が伴わないのに主張が強く，企業人に育てにくいと聞いている（高専→大学院のルートは，高専で専門技術の基本を身につけているので評価されている）．

このような人材育成システムは，国内はもとより，海外から様々な形で評価されている．

3. 高専の評価

3.1 国内の評価

(1) 統廃合等の促進を含む大学改革を促進するとともに，成長産業に対応した高等専門学校を増設するなど，高等教育の抜本改革を行う[(1)]．

(2) 技術系人材供給源として国際的に評価の高い高専に焦点，高専との産学連携による人材育成から，我が国機械工業の持続可能な発展方策をとりまとめる報告を行っている[(2)]．

(3) 教育ルネサンス No. 523～532「高専の実力」と題して，実践学んで求人 10 倍，熱心で優秀　大学が注目，小所帯・連係プレーに強み，理科実験小学校へ出前，自立の気風起業家生む，学科超えコンペに挑戦などが取り上げられた[(3)]．

3.2 海外の評価

(1) OECD 調査団の評価[(4)]

「高等専門学校では，15 歳～20 歳にかけての期間に質の高い職業教育を提供しており，卒業後に正式な学士課程に編入学することもできる．高等専門学校は，高水準の職業訓練を提供しているだけではなく，さらに産業界（特に製造業部門）のニーズに迅速・的確に応えていることから，広く国際的な賞賛を受けてもいる．（中略） 数知れぬ海外の評価者たちと同様，我々も高等専門学校の運営，質，工夫に感銘を受けた．」

* 機械工学科　教授

(2)国立高専機構理事長が受けたインタビュー[5]

Top Tech Education

Our education is highly regarded in Turkey, for instance, and was also given high marks by an OECD higher education research group that visited Japan in 2006. We believe that our colleges of technology are recognized by many other countries as practical educational institutions that contributed to Japan's impressive growth and have helped the country become a technology powerhouse. Delegations from Egypt, Canada, Azerbaijan and Rwanda have all recently visited colleges of technology to observe the facilities and learn about the system. Some delegations visited colleges to identify ways they can bolster practical educational systems for young people in their own countries. People from countries that are emphasizing technology are particularly interested in the practical education provided by colleges of technology, and the role it has played in Japan's success. We believe that our colleges of technology can use their strengths to make international contributions. We will be encouraging international exchange and international contributions, looking to expand exchanges, especially with East Asian nations with which we share some cultural aspects and have a history of exchange.

(3)ワシントンポスト紙の記事[6]

With workplace training, Japan’s Kosen colleges bridge skills gap　HACHIOJI, Japan — Every year, about 1 percent of Japanese 15-year-olds turn away from high school. Then they turn into full-time nerds-in-training, enrolling in colleges where they make robots and write software, test diodes and study English, dirty their hands on factory floors and wait for job offers to come flooding in. Flood in they do, even though Japan’s economy is stagnant and its population is shrinking. Graduates of the standard five-year course at Japan’s 57 national colleges of technology, collectively known as Kosen, can each expect about 20 job offers, school officials say. Students who stay on for two years of advanced study receive about 30 offers.

(4) The Japan Journal 巻頭言[7]

高専特集「In Safe Hands －Kosen Trade Schools Preserve Monodzukuri Tradition s－」（pp. 6-10）が掲載された（英文版，中国語版，スペイン語版）．

（以上は，いずれも国立高専機構の HP に掲載されているもので引用させて頂いた）

このような評価により，今や高専制度を輸入したい国や輸出しようすると国内の組織も出現している．

4. 高専の将来展望

設立当初は，工業高専だけであったが，その後商船高専，電波高専が設立された．平成 3 年には，高専の設置基準一部改正により，工業系に限らず，幅広い分野での高専が認められた．国際ビジネス学科や国際コミュニケーション学科など文系学科（高倍率を維持）を設置した高専がある．（現在，兵庫県では商業高専の新設について真剣に議論されている団体があることも紹介しておきたい．）また同時に，2 年制の専攻科の設置が認められた．専攻科の設置には，大学並みの教授陣の資格審査があったが，現在は，ほとんどの高専に専攻科が設置されている．このような審査は，平成 14 年以降の JABEE 審査，平成 17 年以降の機関別認証評価と続き，ほとんどの高専はこれに合格しており，国内外からの教育システムの評価とともに，質的な面からも外部機関により高い評価を受けている．

創立以来 50 年を迎えた高専制度は，充実期に入っているとみることができるが，創立 100 周年を迎えるためには，大きな改革が必要と考えられる．

第 3 章で述べたように，現在，様々な場所で（国内的にも世界的にも）高専制度が高く評価されているが，その理由は，第２章で述べたように「大学と並ぶ高等教育機関でありながら，早期一貫実践教育による少人数教育」にある．かつ卒業年は 20 歳であり，専門技術の基本を身につけている学生は，まさに企業好み（育て易く育て甲斐のある）の金の卵である．

高専制度は，今や法律的には工業系以外にも広げることができるので，看護系，医学系（特に外科手術），語学系，商業系，芸術系，スポーツ系などの分野に展開すれば，教育システムの大きな柱になるであろう．

現在，高専は同世代の 1%にも満たない学生定員しかない．これを全分野に拡大し，大学進学率約 50%の半分ぐらいを受け持つようになれば，各分野での人材供給は一変する．ここに，全分野の専攻を一つの高専に設置する「総合高専」を提案したい．

現状は，これらの分野の勉強をするためには普通高校から，日本の教育制度の一つの欠陥である大学受験を経て，その分野の大学に入らなければならない．過酷な入試勉強の結果，目標が大学で勉強し実力をつけて卒業することではなく，大学に入ることが最終目標になっている学生が多くいる．アメリカでは，希望の大学に入りやすく，しかし卒業は 50%にも満たないため大学生が一番勉強している．しかし，日本では勉強量（ただし受験勉強）が一番多いのは高校生というのはあまりにもおかしな現象である．将来，その分野の立派な人材になるには，多感な 15 歳の早期から，5 年間一貫して，直接その分野のモノに触れる実践教育が必要なわけで，受験テクニックを磨くことではない．その分野のセンスのある人材になるのに受験テクニックはいらないのである．

その点，高専は中学校段階でこそ入試を受けなければならないが，そのあとは大学編入や専攻科，大学院にしても，過酷な受験勉強は必要なく，普段の勉強に

集中できる．

このような観点から，現在のいわば単科高専から総合高専に展開し，各分野で「早期一貫実践教育の少人数教育」を受け，その学生の約半数が就職し，他の約半数が専攻科や大学編入するシステムが実現できないだろうか．

もちろん，大学側の反発は必須と思われるが，現工学部の先生方は，高専からの編入生を高く評価して頂いており，大学2年生に相当する学年までの教育は高専に任せて頂き，そのあと，学士，修士，博士までを大学および大学院で教育して頂くのはどうであろうか．

奇しくも，国の教育改革会議で，現行の6･3･3制に対して，4･4･4制の提案も検討されている(2013.10.25マスコミ報道)．これまで9年かかって中等教育前期課程を修了していたが，この4･4･4制になるとこれまでより1年早く14歳から高専に入学できることになり，ますます，早期教育の特徴を際立たせることができるようになる．と同時に，高専が6年制となり一貫教育のますますの充実が可能となる．

この総合高専化への展開は，国公私立の中でどこが先陣を切りやすいかと考えると，理事会の理解が得られれば私立高専がすぐできるであろう．その次は，公立高専だろうか．

5. 神戸高専の将来展望

神戸高専は単独キャンパスとしては日本一の規模でありながら，すべての審査（神戸市KEMSを含む）に合格してきた．全国57高専61キャンパスの中において，科研費の獲得や運動部の全国レベルでの活躍はトップ10に入る実績を有し，教育，研究，地域貢献の3本柱をしっかりと立ち上げ，文武両道の精神のもと，学生の教育に励んでいる．

本年，50周年を迎えたわけであるが，今後の50年を見据えて，神戸高専の将来像について「私見」を述べさせて頂く．

神戸市の場合，神戸市営地下鉄「学園都市駅」に神戸市立の大学があり，本校とあわせると分野は限られるが，組織上は総合高専を作りやすいと考えられる．大学の組織をどのように作りかえるかは別の議論として（実はここが一番大事であるが，各大学が上はそのままにして下に脚を延ばすことになる)，神戸市立総合高専を設立し，工業系，看護系，語学系に，商業系を加えて設置すれば，理系・文系を問わず多くの市内の中学生の進路先となるであろう．そのため卒業後の神戸市への定着率も格段に上昇し，神戸市の税金を投与するにふさわしい学校となる．

神戸市の各部局にまたがって存在する大学・高専を一つにするわけであるから，この判断は神戸市のトップが大胆に行うしか，実現の可能性はないと思われる．法律の壁が存在するかもしれないが，神戸市発「総合高専」をいち早く立ち上げ，ものづくり，国際都市，医療産業都市などに貢献できる地産地消の「早期一貫実践」人材育成システムを，全国に発信してほしいものである．

今後の少子化が気になるところであるが，人口1万人に占める高専の定員は，兵庫県，あるいは神戸市は，人口が多い割に，非常に少ない．県レベルでは，全国の下から8番目，市レベルでは下から2番目である．ものづくり企業が集積する兵庫県にしてはお粗末である．他都市に比べ，今後，少子化が進んでも，十分な人口が存在し，かつ総合高専化することで，受験対象が増加するので，現行の受験率を徐々に増やし，入試倍率3倍ぐらいまであげれば全く問題はないと考えられる．

このような状況の下で，今後は，国際化と独法化を検討していく必要がある．

留学生の受入れや派遣はもちろん，海外に協定校を多く作り，校内にはかなりの数で留学生や外国人の先生が在籍している環境をめざしてはどうであろうか．

また，独法化して，現在の教育委員会を巣立ち，神戸市立の「14歳からの高等教育機関」として自立してはどうであろうか．この件は，内部では議論しにくいことであり，神戸市のトップが高専を今後どうしたいのか，真剣に議論して頂きたいと思う．「市立」として全国で，いや全世界で唯一の高専を，神戸市の誇れる財産として，今後の半世紀をにらんだ舵取りをお願いしたいものである．

6. おわりに

以上，「早期一貫実践教育の少人数教育」という高専の魅力と，「総合高専」という将来展望について述べた．

総合高専のお話しを，各界の方々にさせていただいたとき，トップレベルのお二人の方（別々の組織）から，「そのアイデア頂いてもいいですか？」と言われた．「総合高専は特許でも何でもないですから，どうぞお使いください」と回答した．いずれも実力者の方であり，いつか，どこかで，総合高専が産声をあげることを楽しみにしている．総合高専に興味を示して頂いたことはうれしいが，その半面，先を越されるという悔しさが残った．神戸市立がトップをきってほしいことはもちろんなのである．

参考文献

(1)国家戦略会議にて（2012.4.17)．
(2)日本機械工業連合会の報告書（2010.6.30)．
(3)読売新聞の連載記事（2007.2.27～3.10)．
(4)OECD 高等教育政策レビュー(高等専門学校に関する記述 2006)(仮訳)．
(5)The Japan Journal インタビュー記事(2009.12.14).
(6)ワシントンポスト紙（2011.12.1)．
(7)The Japan Journal　巻頭（2007.4)．

神戸高専女子学生の現状

上垣宗明*　町田吉隆**

The Voice of Female Students at KCCT

Muneaki UEGAKI*　Yoshitaka MACHIDA **

Keywords : female students, situation at KCCT, voice and feeling of female students

1. はじめに

平成 25 年 8 月 1・2 日に，全国公立高等専門学校協会「教務・学生協議会」（神戸高専主管）が開催された．1 日目は，協議事項や承合事項について全体会や教務主事室，学生主事室に別れて討議が行われた．2 日目の全体会のテーマとして「リケジョ」が設定され，全国の高専で女子学生へのキャリア教育の第一人者ともいえる香川高専一般教育科内田由理子先生を招いての講演が行われた．その後，参加した 4 高専（大阪府立大学高専，東京都立産技高専荒川キャンパス，東京都立産技高専品川キャンパス，神戸高専）から，15 分程度の各高専における女子学生の現状についての報告が行われた．

神戸高専の発表は，学生主事室が担当となり，比較的多くの学科や学年の女子学生と接している一般科の町田と上垣がその主担となった．

2. 過去 5 年間の女子学生について

2.1. 女子学生数の推移

表 1 に，学科ごとの 1 年生から 5 年生の女子学生数の推移を示す．

表 1 に見られるように，全体として年々女子学生数は増えている．特に，平成 25 年度は 24 年度に比べて，15 名も増えている．より，詳しく見ると，以前は女子学生が多く在籍していた C 科の女子学生数は，平成 20 年度以降減少し続け，平成 20 年度と平成 25 年度を比べると，11 名減少している．しかし，M 科，E 科，D 科においては増加しており，E 科は 9 名増えている．S 科においては，年度によって違いはあるがほぼ同数で推移している．

次に学年ごとの女子学生数の推移を表 2 に示す．

表 1　学科ごとの女子学生数の変化

学科	M	E	D	C	S	合計
H20	8	4	20	71	47	150
H21	9	5	19	71	44	148
H22	11	6	17	65	48	147
H23	11	10	19	64	43	147
H24	13	10	23	61	47	154
H25	20	13	27	60	49	169

（M:機械工学科 2 クラス　E:電気工学科
D:電子工学科　C:応用化学科　S:都市工学科）

表 2　学年ごとの女子学生数の推移

学年	1 年	2 年	3 年	4 年	5 年	合計
H20	29	30	29	30	32	150
H21	34	30	27	27	30	148
H22	31	34	28	28	26	147
H23	30	31	34	26	26	147
H24	36	31	30	31	26	154
H25	41	36	33	29	30	169

表 2 の特徴的な点は，3 年生から 4 年生への進級の際の人数の変化である．平成 20 年度から 21 年度では 2 名減，翌年は 1 名増，22 年度から 23 年度は 2 名減，翌年は 3 名減である．平成 25 年度の全学年の男女比は，男子 86%，女子 14%であるが，平成 20 年度～24 年度の 3 年生での退学者の男女比は男子 80%，女子 20%であった（男女合計 41 名，男子 33 名，女子 8 名）．平成 20 年度から 24 年度までの全学年での退学者の男女比をみると，全学年 113 名に対し，男子 95 名(84%)，女子 18 名（16%）であった．全学年の退学者の割合と比較しても，3 年生で退学する女子学生の

* 一般科　准教授　　** 一般科　教授

数は多いと言える．

4 年生への進級で男子学生と女子学生の違いが特徴的であると思われる 23 年度をさらに詳しく調べた．23 年度の 3 年学年末で退学した学生は 9 名である．男子が 5 名，女子が 4 名であった（平成 24 年度は，4 年生へ女子学生が 1 名編入した）．男子の退学後の進路は，大学への進学 2 名，高校への編入 2 名，専門学校への入学 1 名で，2 名は学年修了できずに退学している．女子は全て学年修了をしており，大学への進学 2 名，専門学校への入学 2 名となっている．女子学生の退学理由は，進路を自分で考え決定していることが分かる．言い換えると，前向きな進路変更とでもいえるだろう．

実際に学生を指導していても，男子学生の退学は，原級留置ができずに仕方なく退学する学生が多いが，女子学生は，そのような学生は少なく，自分の新しい進路のために進路変更をする学生が多いように思う．進路指導をする際には，男子学生に対しても同様だが，個に応じた指導が重要であり，退学して進路変更をするということも，一つの進路として認識しておくべきである．それに加え，教員の進路指導の経験値も適切な指導を行ううえでは必要な要素といえる．

2.2. 女子学生の進路について

表３に女子と男子の進学と就職の割合を示す．

表３からも分かるように全ての年度において，女子の進学率が低く，就職率が高いことが分かる．5 年間の合計では，女子学生の 7 割が就職，3 割が進学であるのに対し，男子学生では進学と就職の割合がほぼ 5 対 5 となっている．

表３　進路状況

		女子		男子	
H20	就職	22 名	73.3%	82 名	43.6%
	進学	8 名	26.7%	106 名	56.4%
H21	就職	19 名	70.4%	83 名	50.3%
	進学	8 名	29.6%	82 名	49.7%
H22	就職	13 名	52.0%	104 名	55.9%
	進学	12 名	48.0%	82 名	44.1%
H23	就職	13 名	65.0%	111 名	57.5%
	進学	7 名	35.0%	82 名	42.5%
H24	就職	22 名	88.0%	109 名	58.3%
	進学	3 名	12.0%	78 名	41.7%
合計	就職	89 名	70.1%	489 名	53.2%
	進学	38 名	29.9%	430 名	46.8%

次に女子学生の進路の抜粋を下記に示す．高専卒業の女子学生の進路の特徴が顕著に表れている専攻科修了生の進路についても参考として，下記に記す．

本科卒業生の進路

- 徳島大学 → 大阪大学大学院 → 小松製作所
- ミツテック→ 日本ソフトウェアコンサルタンツ
- 北斗電子工業 → 神戸市
- 鹿屋体育大学→ デサント
- 立命館大学→ KOBELCO グループ
- DIESEL（ファッション系）
- 防衛省

専攻科修了生の進路

- ㈱神戸工業試験場
- 日東電工㈱豊橋事業所
- 東洋ゴム工業
- 参天製薬㈱
- 奈良先端科学技術大学院大学大学院
- 大阪大学大学院（工学研究科応用化学専攻）
- 徳島大学(博士課程修了) → ポストドクター（スプリング８）

多くの学生は，工業系の企業に就職している．工業系以外でも自分の就きたい就職先を探し，自由応募で受験する学生が今後増えていくように思う．そのような学生に対しても進路指導を行えるような学校全体としての取り組みが必要である．

3. アンケートについて

3.1. アンケートの実施について

発表資料を作成するにあたり，どのような資料が必要かを議論した．その結果，女子学生の現状を把握するために，教員側からだけではなく，学生に意見や考え方を聞いて，それをまとめたものも発表資料に付け加えるという結論に至り，アンケートを実施することになった．アンケートの作成においては，町田が原案を作り，学生主事室内で検討を加えた(Appendix 1)．検討の結果，無記名で，4 段階のリッカートスケールの設問と記述式の設問を混ぜ合わせ，回答時間の目安を 10 分程度とするアンケート用紙を作成した．

アンケートは，神戸高専 1 年生から 4 年生の女子学生を対象に実施した．1 年生へのアンケートは，歴史を全 6 クラス担当している町田が授業中に実施した（40/41 名の回答）．2・3 年生に対しては，学生主事室内に全クラスを担当している教員がいないために，7 月 17 日（水曜日）の昼休みを利用し，本部棟ホールに女子学生を集め，アンケートを実施した（2 年生 34/36 名，3 年生　32/33 名の回答）．2・3 年生は，昼休みに実施したにも拘らず当日欠席の学生を除いて全員から意見を聞くことができた．4 年生に対しては，全６クラス担当している上垣が英語演習の時間を利用し，アンケートを行った（28/29 名の回答）．

全学生には，「このアンケートは，先生たちの勉強会に使う資料を作成するためだけに利用します．成績とは全く関係なく，正直な意見を記述してください.」と，その目的と利用方法を示した．

3.2. アンケートの結果について

項目１の高専を進学先に選んだ理由についての回答（複数回答可）を表４にまとめる．

表４　高専を選んだ理由

	1 年	2 年	3 年	4 年	合計
工業系	14	7	5	2	28
勧められた	9	12	4	12	37
エンジニア	15	10	5	7	37
就職	27	25	26	14	92
進学	7	7	6	4	24

各学年とも高専に進学した理由では，“就職しやすいと思ったから”が一番多い．“進学しやすいと思ったから”は，高学年の方が少ない．表３から分かるように，男子学生に比べて女子学生の進学する割合が低いこと，“工業系に進学したかった”，“将来が安定しているエンジニアになりたい”等の項目も高学年の方が少なくなっている．このことから，入学当初の「初心」が希薄になっていることが考えられる．また，「現実の壁」とも言うべきものを女子学生が次第に感じ始めている現象が見られる．これらを高専への進学理由と併せて考えると，4 年生は雇用や労働をめぐる情勢を客観視できており，就職を切実な問題と感じていることが読み取れる．これは女子学生個々の意識にだけ帰納される問題にとどまらず，高専の進路指導，学生指導全体にかかわる課題である．

次に，女子学生としてメリットになっていると思うことについての回答（複数回答可）を表５に示す．

表５　高専の女子学生として、メリット

	1 年	2 年	3 年	4 年	合計
貴重な存在	11	8	5	5	29
男子と同じ	16	4	9	9	38
女子の結束力	13	12	10	9	44
男子と仲良くなれる	4	8	4	10	26

1 年生では，“男子と仲良くなれる”という項目以外は，メリットと感じている学生が多い．高専に入学してから４カ月も経っておらず，中学生の時と比較して教室内に女子が少ないことが女子の希少性を高めていると思っているのだろう．あるいは，女子が貴重な存在であってほしいという期待を抱いている学生が多いのではないだろうか．しかし，女子の希少性が社会的に有用であるという考え（期待）は，3・4 年生では大幅に減少しており，現実を捉えることができるようになってきたと思われる．また，学年により“男子と仲良くなれる”の感じ方が異なるが，クラスや学年の雰囲気によって大きく左右されているのではないかと思われる．“女子の結束力”をメリットと感じる学生は学年が進むにつれ減少しているが，女子だけの結束力ではなく，男子も含めたクラス全体としての結束力，まとまりが強くなっているのではないかと思われる．

1 年の女子学生の多くは，男子と同じ仕事や勉強ができることがメリットであると回答している．表４のエンジニアになりたいと思って高専への進路を決めた学生とほぼ同数なので，エンジニアは男子と同じ仕事ができると感じているのではないかと思われる．

高専の女子学生としてディメリットになっていると思うことについての回答（複数回答可）を表６に示す．

表６　高専の女子学生として、ディメリット

	1 年	2 年	3 年	4 年	合計
同性の友達が少ない	14	16	10	14	54
男子と同じきつい	4	4	2	5	15
女子で固まる	4	11	5	4	24
目立つ	2	4	8	10	24

表６から，“クラス，学校で目立つこと”以外の項目は，2 年生を除くとほぼ同じような状況だが，この項目は，学年が進むにつれディメリットと感じる学生が増えている．女子学生の希少性をメリットと感じることが減り，男子と同じように学校生活を送って行きたいということの現れではないだろうか．その理由の一つとして，体操服の色を男子女子に関係なく統一してほしいという意見が多かった．体操服の色が異なれば，それだけで目立ってしまうために，それを避けるためにも，体操服の色を統一してほしいと希望しているのだろう．

女子学生が少ないので，どうすることもできないが，“同性の友達が少ない”をディメリットと感じる学生は，どの学年も多い．ディメリットの自由記述では，一番多くの記述は，「特になし」であった．学生自身，女子だから，メリットやディメリットが特別多いという感覚をあまり持っていないように思える．

表５，表６から，２年生が他の学年に比べて，メリットをあまり感じずに，ディメリットを多く感じていることが分かる．この学年に限っての特徴なのか，２年生だからこのような結果になったのかを継続して調査する必要を強く感じた．

卒業後の自分の将来像についての回答（複数回答可）を表７に示す．

表７　将来像

	１年	２年	３年	４年	合計
エンジニア	27	18	15	22	82
主婦	4	14	8	10	36
研究者	10	6	11	3	30
ＯＬ	5	3	4	1	13
公務員	5	13	6	6	30

“エンジニアになりたい”と希望する学生は１年生（希望）と４年生（現実）で多いことが分かった．１年生は，希望として“研究者”や“エンジニア”を将来像として描いているが，４年生になると，より現実的になり，“研究者”“ＯＬ”を希望する学生が減少し“エンジニア”が増えるという傾向である．

このような傾向から４年生は進路について真剣に考え始め，社会人としての自らのイメージを把握しようとしていることがうかがえる．また，２年生以降に，“主婦＋α”と回答した学生が多く，「現実の壁」には２年生で気づき始めていると言えるだろう．

４．学生の声（抜粋）

学生の自由記述を抜粋し，以下に示す．

・神戸高専生としてのモラルの向上に期待．
・教師の意識が低い（女子学生に対する）．
・学校をやめたい（１名）．
・体育を男子と別にして欲しい．体操服の色を男子と同じにして欲しい．
・高専は慣れるまではしんどいが，慣れたら楽しいし，５年間同じ友達と過ごせる．
・高専へは，勉強したい学生が入学すべき．
・せっかく高専に来ているのに，女子だけのグループを作らず，男子と交流したい．
・女子トイレを増やして，綺麗にして欲しい．

アンケートから見える女子学生像は，明確な動機を持って，入学している学生もおり，将来のリーダー候補になりうる存在である．また，就職の実際（男女の区別）においては，３・４年生に不安を感じている学生が多い．不安を解消するためにも，過去のデータの提示やできる限り早い段階での，前年度の進学，就職の実績などを学生に提示するような学校全体の取り組みが必要である．

男子学生に対する不満の記述もあり，マイノリティーへの配慮不足を訴えるような文面もあった．

５．まとめ

全体的に，学年が進むにつれ高専に対してよい印象を持ち，エンジニアになりたいと思う学生が増えていることが分かった．そして，学年が進むつれ，現実を理解でき，４年生は進路について，かなり不安を抱いていることがわかった．また，高専になじめない学生も少数在籍しており，３年で進路変更を具体的に考えている者も見られた．卒業時や４年進級時の進路指導は，経験をつんだ教員による適切な個に応じた対応が必要であり，全学的な取り組みがさらに必要になっていくであろう．

最後に，神戸高専女子学生は，“「女性」として尊重してもらいたい”，と，“男女間で差をつけられるのはお断り”，という２つの考えを抱いて高専に通っており，学年が進むにつれ，その傾向が強くなっている．

Appendix 1

女子学生の高専についての意識調査

実施：神戸高専学生主事室

＊＊＊＊　このアンケート用紙から得た情報は、調査目的以外には使用しないので、＊＊＊＊
＊＊＊＊　正直に自分の考えで回答してください。ご協力、宜しくお願いします。　＊＊＊＊

１．高専を進学先に選んだ理由に○をつけてください。　複数選択可
　1. 工業系の高校（高専）に進学したかったから。
　2. 親や学校、塾の先生に勧められたから。
　3. 将来、安定したエンジニアになりたいと思ったから。
　4. 高専を卒業すれば、就職しやすいと思ったから。
　5. 高専を卒業すれば、進学しやすいと思ったから。
　その他（自由記述）

２．高専の女子学生として、メリットになっていると思う番号に○をつけてください。複数選択可
　1. 理系や工業系の女子が少ないから、クラスや社会で貴重な存在と思われる。
　2. 女子でも男子と同じ仕事や勉強ができる。
　3. 女子が少ないので、女子の結束力がつよい。
　4. 男子と仲良くなる機会が多い。
　その他（自由記述）

３．高専の女子学生としてディメリットになっていると思う番号に○をつけてください。複数選択可
　1. 理系や工業系の女子が少ないから、同性の友達が少ない。
　2. 女子でも男子と同じ仕事や勉強をするので、少しきつい。
　3. 女子が少ないので、女子だけで固まってしまう。
　4. 女子が少ないので、クラス、学校で目立ってしまう。
　その他（自由記述）

４．入学してから、気になることを書いてください。

５．これから、高専に変えて欲しいことを書いてください。

６．中学生の後輩に向けて、高専について、一言お願いします。

７．卒業後の将来像を選んで、番号に○をつけてください。複数選択可
　1. エンジニア　2. 主婦　3. 研究者　4. OL　5. 公務員
　その他（自由記述）

カセットコンロでパラパラ炒飯を作る方法

福原一平*　江副真悠*　浦島愛世*　堀谷真理愛*　中妻果穂*　中岩映梨香*
西山貴偉*　細野悠風*　福本晃造**　大塩愛子***　大多喜重明****　谷口博*****

A Practical How to Make Non-sticky Fried Rice by Portable Gas Stove

Ippei FUKUHARA*　Mayu EZOE*　Naruyo URASHIMA*　Maria HORITANI*
Kaho NAKATSUMA*　Erika NAKAIWA*　Takayori NISHIYAMA*　Haruka HOSONO*
Kozo FUKUMOTO**　Aiko OSHIO***　Shigeaki OHTAKI****　Hiroshi TANIGUCHI*****

ABSTRACT

We examined the proper rice conditions to make non-sticky fried rice. Three experiments were performed by changing the rice cooling times before cooking on the stove in a pan, by changing the shape of freezing rice, and by changing the timing of cracking an egg into the pan. Each result was evaluated by conducting a survey in the form of a questionnaire. The data were summarized by calculating the average of a number of questionnaires as everyone has a different taste. Several rice conditions favorable for the formation of non-sticky fried rice were obtained from the results. It is confirmed that the most important factor is the rice moisture content before cooking.

Keywords: non-sticky,fried rice, portable gas stove, rice condition

1. はじめに

飲食店などで提供されている炒飯は米粒どうし，あるいは，米粒と具材が適度に分離し，いわゆる“パラパラ”の状態にある．しかし，一般家庭で同様にパラパラとした炒飯を再現するのは難しい．なぜなら，定番と言ってよい卵と具材 1～3 種類の炒飯は，料理本を問わず材料・調理手順はほぼ確立されている一方で，どのようなご飯を用いるべきか，ご飯の炊き方・冷まし方，そして，卵やご飯をフライパンに投入するタイミング，適切な火加減，調理時間，等についてのレシピは，様々に存在しているのが現状である．例えば，インターネット上では，「クックパッド」(1)（http://cookpad.com/）のサイトが有名である．このサイトによれば，炒飯のレシピは 2013 年 10 月現在 14,080 件が存在している．「パラパラ炒飯」と名の付くレシピに限って検索 (2) しても 1097 件が存在し，一般家庭でパラパラ炒飯を作成するにあたり多くの人々が苦心している様子がうかがえる．さらに，「炒飯」と名の付くレシピ本だけでも 2013 年 10 月現在 688 冊を確認している[1]．このように情報の源（ソース）が多様であるばかりでなく，パラパラの炒飯作成に特化したレシピにおいても，冷や飯を用いるのが望ましいのか，あるいは，温かいご飯を用いるのが望ましいのか，多くの説が存在し未だ手法が確立しているようには見えない．その理由の一つとして，“パラパラ”の用語が科学的に定義されておらず，個人の主観により判断されていることが

* 本校　自然科学部　部員
** 琉球大学教育学部准教授
*** 一般科非常勤講師
**** 一般科教授（自然科学部顧問）
***** 一般科講師（自然科学部顧問）

[1] http://books.google.co.jp/

挙げられよう.「“パラパラ”炒飯」という現象の再現性を担保するためには,“パラパラ”の定義を明確にしなくてはならない.“パラパラ”の状態判断は個人の主観ではあるが，複数人が“パラパラ”の状態である，と感じれば,その状態は客観的に“パラパラ”の状態といえよう.その状態を物理的・化学的に様々な角度から評価し，ある種の状態量として定義することが出来れば，現象の再現に近づく．本研究は，その“パラパラ”の定義を模索する第一歩として,家庭でも再現可能な方法に的を絞り,炒飯の調理に用いる米の状態に注目し検討を行うことにした．結果の評価は，個人の味覚（主観）を客観的評価に置き換えられるよう，複数人の結果の統計を取ることにより実施した.

2.実験方法

家庭でのパラパラ炒飯作成の再現可能性を探るため，実験で用いる食材は全て市販の同じ商品を用いる.一方,家庭で使用されるコンロはガス式のタイプ(ガスコンロ)や電気式のタイプ（電磁調理器）等，多様に存在しその火力も様々であることから，最もシンプルなカセットコンロを用いることにする．飲食店で用いられるよりも火力の小さいコンロを用いることにより，火力に頼らずともパラパラ炒飯を作成するのに適した「米」本来の状態を探り出すことが念頭にある．また，カセットコンロの可搬性は，屋内屋外を問わず実験が容易に行えることも利点の一つである．なお，本実験は室内で行い，実験実施期間は5月から8月の夏季である.以下の各小節では,使用する材料，調理器具，調理手順，実験の種類，結果の評価方法について示す.

2.1使用する材料および調理器具

炒飯を作るときに使用する食材を表１に示す．食材はすべて市販の同じメーカーの物を用いる．炊飯後の米の状態を均一化させるため，米は電子レンジで温めて使用するレトルト製品（テーブルマーク株式会社製の「たきたてご飯」）を使用した．また，使用する調理器具は表２のとおりである.

表１．使用する材料

レトルトパック米（300g）	油（1 5 mL）
卵（2個）	塩コショウ（2.5 mL）
醤油（10 mL）	

表２．調理器具

フライパン	割りばし	ボール
計量スプーン（大さじ・小さじ）		
ガスコンロ（ガスボンベ）		

2.2調理手順

調理に用いる米の状態を変えて比較実験を行う際に基準となる調理手順を探るため，一般家庭で作成される炒飯の調理方法を参考に予備実験を複数回行い，米を炒める時間や投入する調味料の量を決定した．本研究での炒飯の調理手順は以下のとおりである；1.カセットコンロにフライパンをセットし，火をつけ食用調合油を15 mL加えフライパンを１分間中火で温める，2.レンジで加熱したレトルト米300 gをフライパンに軽くほぐして投入し２分間炒める，3.卵２個をボールでよくかき混ぜ米に投入し２分間炒める，4.醤油10 mLを3.のフライパンに加え１分間炒める，5.塩コショウ2.5 mLを4．のフライパンに加え２分間炒めて火を止める,6.完成.なお,種々の比較実験を行う際の人為的な誤差を最小限とするため,同じ人間が調理を行うこととした.

2.3比較実験

人々が感じる「“パラパラ”炒飯」の“パラパラ”の状態を模索するため，フライパンに投入する前の米の状態を変えて実験を行う．検討するのは,「米表面の水分量」である．一般家庭で炒飯を調理する際，米表面の水分量が変わる要因として以下の状況が考えられる．１つは,米を炊飯器から出した後，フライパンに投入するまでの時間である．炊き立てのご飯からは湯気があがり，米表面の水分量は時間の経過とともに失われている．２つ目は，前日の残りご飯を冷凍し次の日にそれを解凍して使用する場合であろう．冷凍ご飯の米表面の水分量は，炊飯後のそれとは異なることが予想される．冷凍時のご飯の形状によっても解凍時の米表面の水分量が変化していることだろう．３つ目は，卵をご飯に絡めるタイミングである．卵を構成するタンパク質は加熱により固化する熱変性の性質がある．液体の卵をご飯に絡める場合と固体の卵を絡める場合とで，米表面の水分量は異なることが予想される．これら３要因による米表面の水分量の変化が炒飯の調理にもたらす効果を検討するため，３つの比較実験を行うことにした（表３）.以下ではこれらの比較実験の詳細について記述する.

(A) 米加熱後の放置時間（実験１）

炊飯器から出した後の米表面の水分量の変化が炒飯の調理に与える影響を調べるため，レトルトパックのご飯を電子レンジで加熱後，開封した状態で放置する時間を変化させ，調理に用いる実験を行う．この際，均一に放熱するように米を容器に入れたまま，割りばしを用いて米をほぐした．これにより水蒸気として米表面から水分が連続的に放出される．開封した状態の米の放置時間を0分，5分，10分，30分と変化させて調理に用いた（表3A).

(B) 米の冷凍・非冷凍（実験２）

冷凍時の米表面の水分量の変化が炒飯の調理に与える影響を調べるため，レトルトパックのご飯を加熱後 24 時間冷凍し，調理直前に自然解凍して調理に用いる実験を行う．冷凍時の形状による米表面の水分量の違いを検討するため，レトルトパックのご飯を加熱後に形状を変化させ冷凍するようにした．冷凍の形状は，　2 cm 角キューブ状，平板状，レトルトパックの形状，の 3 種類とした．形状により解凍時間が異なるため，フライパンへご飯を投入するタイミングは,「手で簡単に米が崩れる程度」を基準に判断した．対照実験として，レトルトパックを加熱後，冷凍せずにすぐにフライパンに投入する実験（非冷凍）も行った（表 3B）.

(C) 卵投入のタイミング（実験３）

卵をご飯に絡めるタイミングの違いによりもたらされる米表面の水分量の変化が炒飯の調理に与える影響を調べるため，卵をご飯に絡めるタイミングを変化させる実験を行う．検討するのは以下の 4 実験である：予め卵とご飯を混ぜてフライパンに投入する実験（その後，醤油・塩コショウ投入），ご飯のフライパン投入時に一緒に卵を投入する実験（その後，醤油・塩コショウ投入），ご飯をフライパンに投入後卵を加える実験（その後，醤油・塩コショウ投入），ご飯・醤油の順にフライパンに投入後に卵をフライパンに投入する実験（その後，塩コショウ投入），ご飯・醤油・塩コショウをフライパンに投入後に卵をフライパンに投入する実験，である．食味をする際には毎回対照実験（表 3A の 0 分の実験）で調理した炒飯も用意し，対照実験との比較で結果を評価するようにした（表 3C）.

2.4 評価方法

完成した炒飯の状態は，視覚による状態観察と実際に食べる食味試験で調査した．12 人によるアンケート調査を行い,データの集計を行った.各項目の平均値を求め，比較の指標とした．アンケートの項目のうち,「パラパラの度合い（パラパラ度）」,「おいしさ」の各項目については，視覚による状態観察（外見）と食味（味）試験の両方を,「味の濃さ」に関しては食味（味）試験のみを実施し，10 段階で評価した．「味の濃さ」は，濃いほど値が大きく 10 の評価に近づく．このように「味の濃さ」は他の項目と評価基準が異なるため,実験結果の総合評価(平均値）には加えていない．また,「パラパラ度」は，米粒どうし，あるいは，米粒と具材が適度に分離しているかどうかを各自が主観的に判断した．その結果をもとに，複数の人間の評価を平均して客観評価とした．一方,「おいしさ」は状態観察においては香り，色・光沢，テクスチャー等の要素から各自が主観的に判断した.「パラパラ度」と同様に，複数の人間の評価を平均し客観評価とした．客観評価が高ければ，それは香りや色・光沢が優れているということになる.さらに,食味試験では味(味覚）やこく（広がり・深み）といった要素が入る.それらの総合的評価をここでは「おいしさ」と表現する.

3. 実験結果

3.1　米加熱後の放置時間（実験１）

レトルトパックのご飯を電子レンジで加熱後，複数の時間放置してからフライパンに投入した結果を図 1 に示す．パラパラ度・おいしさ（外見）の評価では共に，10 分間の放置が 1 番良い結果となった．パラパラ度（味）の評価では5分間放置した場合が1番良い結果となった．おいしさ（味）は 0 分間放置した場合が 1 番良い結果となった．これらの項目をもとに総合評価（全平均）でみると，10 分間放置してフライパンに投入する場合が最も良い結果であることが分かった.

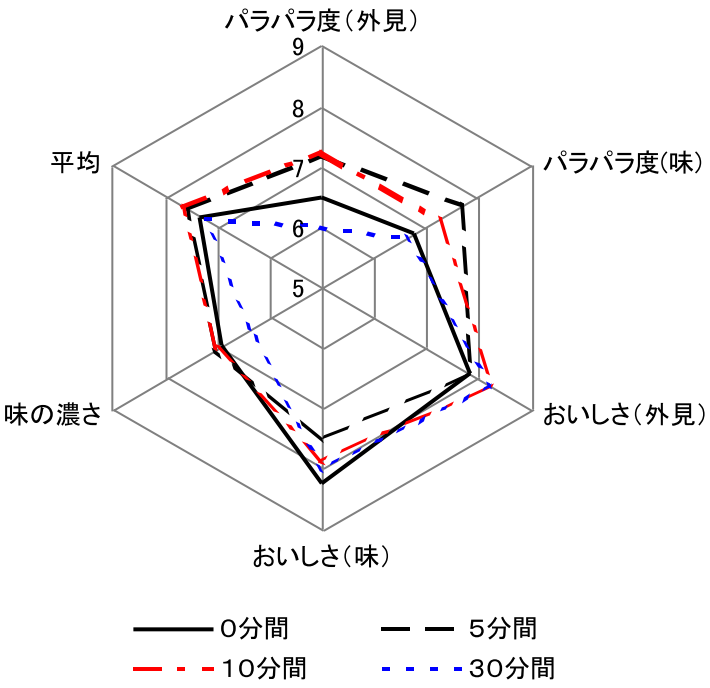


図1. 米加熱後の放置時間を変える実験結果

表 3. 検討項目

A.　米加熱後の放置時間	0 分	5 分	10 分	30 分
B.　米の冷凍・非冷凍	非冷凍	冷凍（平板状）	冷凍（キューブ状）	冷凍（パック状）
C.　卵投入のタイミング	予めご飯に混ぜる	米投入後	米・醤油投入後	米・醤油・塩コショウ投入後

3.2　米の冷凍・非冷凍（実験２）

次に，フライパンに投入する米を一度冷凍した場合と冷凍しない場合の比較実験結果を示す（図２）．
図２を見ると，パラパラ度（外見）ではキューブ状に冷凍したものが１番良い結果となった．パラパラ度（味）では平板状が１番値が良かった．おいしさは，外見・味共に非冷凍のものが１番値が良かった．冷凍のものの平均をとって非冷凍と比べると冷凍のものが非冷凍よりも良い値だった．また味の濃さでは，非冷凍のほうが味が薄いという結果になった．総合評価ではほとんど差がみられないが，レトルトパックのままか，もしくは，キューブ状のものが望ましいことが分かった．

3.3　卵の投入時間（実験３）

次に，卵をご飯に絡めるタイミングを変化させた実験結果を示す（図３）．図３を見ると，パラパラ度・おいしさ（外見・味）は，共に予め米と卵を混ぜたものが１番良い結果となることがわかった．味の濃さで評価すると，予め卵と米を混ぜた場合には，味が薄くなる結果を得た．総合評価（味の濃さを除く全平均）では，予めご飯と卵を混ぜたほうが最も評価が良いことが分かった．

4. まとめと考察

実験１，２，３の結果から，パラパラ炒飯の作成に必要な条件として，フライパンに投入するご飯は「10 分間放置したものを用いる」，冷凍ご飯を用いる場合に「平板状に冷凍したものを用いる」，フライパンに投入する前に「予め米と卵を混ぜておくのが良い」ことが分かった．
ここで，加熱後の米の放置時間は，米粒表面の水分量の変化に大きく影響を与える．米を放置することにより米表面から水蒸気となって水分が放出されるためである．10 分放置の場合のほうが他と比べてパラパラ炒飯にとって都合が良かったのは，10 分以上放置することで米が完全に冷めてしまい，米粒同士の癒着が起こり得ることや乾燥しすぎて炒める際に焦げやすくなったからだと考えられる．また，5 分放置より 30 分放置のほうが評価が悪かったことは，米粒表面の水分量が必要以上に少なくなりすぎてはいけないことを示唆している．この定量的な調査は今後の課題である．また，本実験は同じ気象条件のもと実施することが出来なかった．夏季の時期であり空調を効果的に用いれば室内の気温と湿度の条件を揃えて実験をするべきであった．米粒表面の水分量を定量的に評価する際にはこれらの気象条件も加味する必要があろう．

冷凍した米がパラパラの炒飯に適切であった理由の理解も今後の課題である．冷凍することにより，米粒内の水分が内部のデンプン質と共に表面に流出し凍結した結果，米粒同士が適度に分離し，炒める際に都合が良かったのかもしれない．冷凍をすることによって米粒同士に何が起きたのか，今後調査する必要がある．

あらかじめ卵と米を混ぜてからフライパンに投入したほうが結果が良かったことについても，米を一度冷凍させてからフライパンに投入した場合と同様の効果が起こっている可能性がある．米粒をコーティングするように付着した卵液に火が通ることで，卵に含まれるタンパク質が適度に固化し，パラパラとした見た目と食感につながったのかもしれない．これについてもさらに検討を行

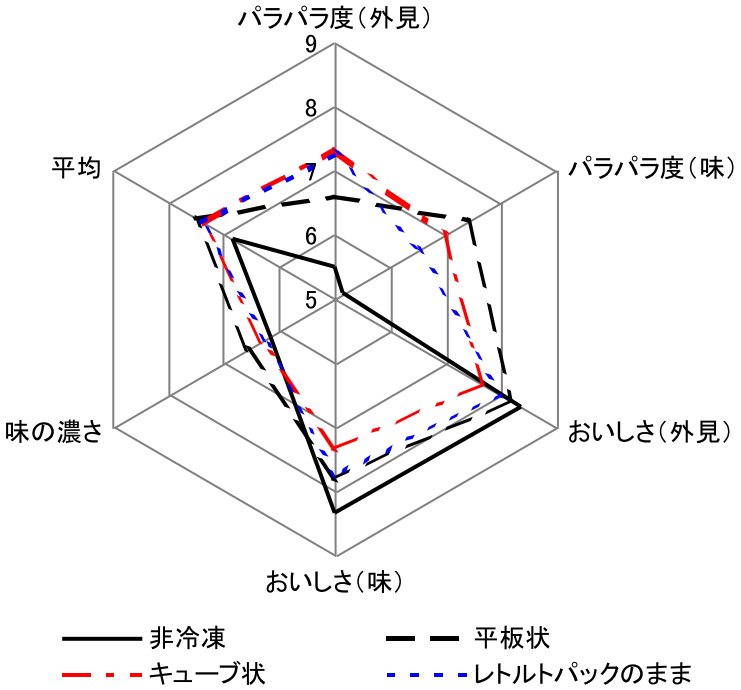


図2. 米の冷凍・非冷凍（形状）比較実験結果

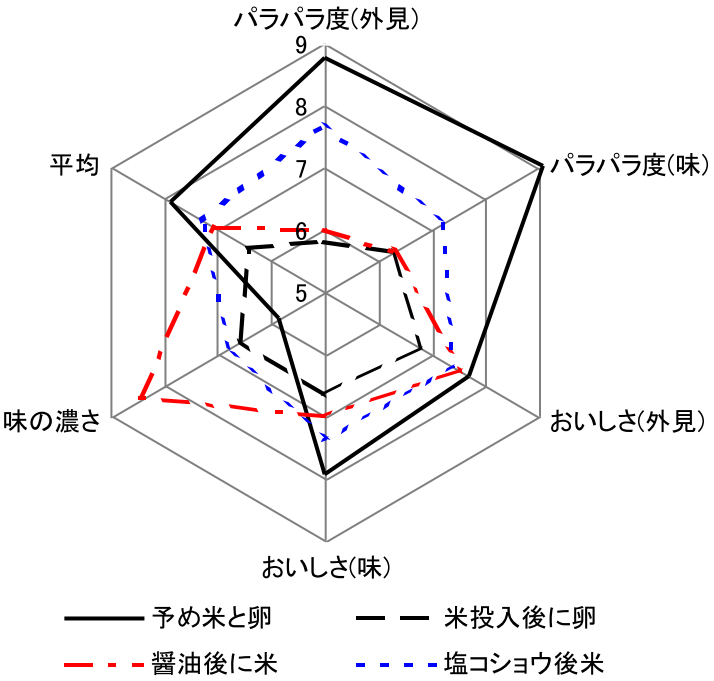


図3. 卵を投入するタイミングを変えた実験結果

いたい．具材が入っても，本実験で見出した条件でパラパラの炒飯が作れるのかどうかも確認したい．

本実験により“パラパラ”炒飯の状態を定義するための第一歩として，客観的な評価により“パラパラ”炒飯の作成方法について方向性を見出すことが出来た．今後は“パラパラ”の状態を定義するための状態量を見出すために，「米粒表面の水分量・デンプン量」の定量的な調査を進めていきたいと考えている．

謝辞

本資料執筆にあたり，査読者と編集委員の方々に有益なコメントを頂きました．感謝いたします．

参考文献

(1) クックパッド（http://cookpad.com/）
(2) Google Books（http://books.google.co.jp/）

衛星画像を用いた中国・遼上京址平面図の作成

大山耕生*　中尾幸一**　町田吉隆***

A Created Map in the past capital city of the Liao dynasty "Shang-Jing"

Takao OUYAMA*　Kouichi NAKAO**　Yoshitaka MACHIDA***

Keywords : remote sensing, digital map,Liao dynasty（遼朝）,history,China

1. はじめに

一般に中国国内では地図の作成・頒布に関する規制が厳しく行われており，遺跡や遺構を調査する上での障害になっている．このことは日本の研究者だけではなく，現地の研究者にも調査・研究を進める上で同じような課題を抱えているようである．歴史研究において，その土地の地理や遺跡・遺構を無視して研究を進めることはできない．

そこで本研究では，正確な等高線図を得られない場合に，離れた所から対象物を計測する技術であるリモートセンシングにより遺跡・遺構の空間情報を作成する方法の開発を目的とした．本研究では10世紀前半に契丹国（遼朝）の首都として造営された「上京臨潢府」（以下，遼上京址と記す）を対象として選んだ．その理由として，

①遼上京址は契丹国（遼朝）時代以降，後代の都城がその遺跡に造営されたことがなく，城壁をはじめとする遺跡の保存状態が大変良いこと．

②1945年以前に日本人を含む外国人による調査が行われ，1939年8月に行われた測量に基づく遼上京址の実測図が残されていること．(1)

③契丹国（遼朝）時代には遼上京址を含む五京と呼ばれる都城，つまり城郭都市が造営されると共に，各地に州県城と称される城郭都市が設けられた．これらの中には測量図は発表されていないが，遺跡の保存状況が良好な遺跡も多く，リモートセンシングにより遺跡・遺構の空間情報を得る方法を応用していく上で，試金石となる遺跡であること．(2)(3)

④2010年代に入り，中国・社会科学院および遼上京博物館など現地の文物保存機関を主体とする遺跡の発掘調査が進行中であり，調査の過程で，あるいは今後発表されるであろう調査報告によって，この方法を検証できる可能性があること．

＊株式会社トーヨーアサノ（平成24年度都市工学科卒業生）
＊＊都市工学科名誉教授
＊＊＊一般科教授

リモートセンシングにより遺跡・遺構の空間情報を得る方法を検証できる国外の遺跡・遺構として，遼上京址は恵まれた条件が整っていると言える．

そこで，本研究では次の手順で作業を進めた．

①各種の衛星画像から対象物の数値地図を作成した．

②実測図との比較を行い，その精度の検証を行った．

③標高データを作成し，その鳥瞰図を作成した．

2. 作成手順

Google Earthの画像を使用して空間情報を作成した．

2.1　画像の入手と基準点の測定　Google Earthから画像を入手し，適切な大きさに画像処理ソフトのPhotoShopで編集する．同時に，図1のように，基準点として，明瞭な地点を2点選び，その緯度経度をGoogle Earth上で測定し記録しておく．

図1　基準点の測定

2.2　測定した緯度経度をUTM平面直角座標に変換する　遼上京址周辺はUTM平面直角座標においてゾーン20に当たるので，中央子午線117°として変換計算を行った．日本国外の遺跡・遺構を対象とする場合，補正を行わなければ，基準となる座標を得られなくなるため，不可欠の作業である．変換作業については，図2のような自己開発のプログラムWUTMを用いた．Web

上にも変換計算のできるものが公開されているので，これを用いても良い．

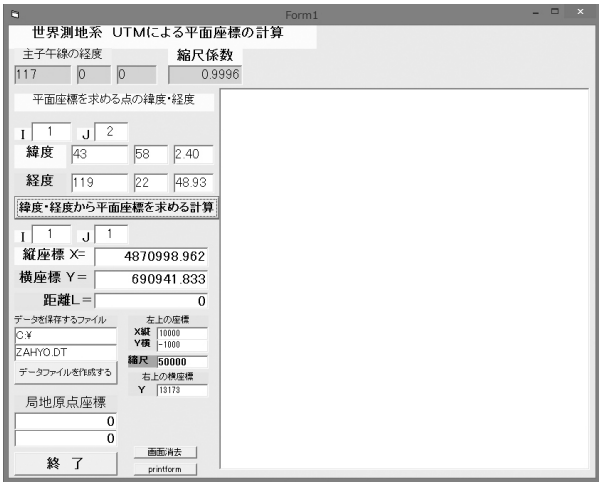


図 2　緯度経度を UTM 平面直角座標に変換するプログラム

2.3　座標の測定　　自己開発のプログラム adigital は，画面上に画像を表示し，その画像上の点をマウスでクリックしていくことでベクタ型数値地図を作成することができる．また画像上に数値地図を重ね描きすることもできる．

これを用いて Google Earth で得られた遼上京址周辺の画像上で座標を測定し，その数値地図を作成する．

Adigital の第二画面に画像を表示させたら，第二画面上で 2 つの基準点をマウスでクリックして，第三画面で 2.2 で計算した基準点の UTM 平面直角座標を入力する．この作業の後，第二画面でその画像上にある遺跡・遺構上の点の座標を次々と測定して，その数値地図を作成する．図 3 はその第二画面の例である．画像上では測定した点は赤で表示され，赤線で結ばれる．図 4 は遼上京址を測定した例である．

図 3　adigital の第二画面

図 4　遼上京址の測定の例

2.4　作成した数値地図の描画　　自己開発のプログラム CHIKEIAG を使って，作成したベクタ型数値地図を任意の縮尺で描画することができる．図 5 はその第一画面であり，また，文字データから注記も表示できる．2.3 で作成した遺跡・遺構のベクタ型数値地図を，更に CHIKEIAG で表示させ，100 メートル間隔の座標線を描いたものが図 6 である．描かれた座標線により，遺跡・遺構の規模をわかりやすく表現できる．

日本国内の場合，国土地理院発行の 1/25,000 あるいは 1/50,000 など公開・市販されている地図を用いて，遺跡・遺構の現況を確かめることができる．国外における調査の場合，そのような地図情報が現地で得られない，あるいは調査に費やすことができる時間的な条件も存在する．そのような状況下で有効な手法であることが確かめられた．

2.5　数値標高データの作成　　Google Earth 上で，格子線の交点ごとの標高を読み取ることにより数値標高データを作成する．Google Earth では場所の表示が通常緯度経度でされているため，これを UTM 座標表示に変更する．その方法は，ツール・オプションで図 7 の画面を表示し，緯度経度を表示のところのユニバーサル横メルカトルを指定する．これにより Google Earth 上で座標値を目印として 100 メートル間隔の位置の標高を読み取ることができる．Google Earth 以外の衛星写真データにおいても，原理的にこの方法は有効である．

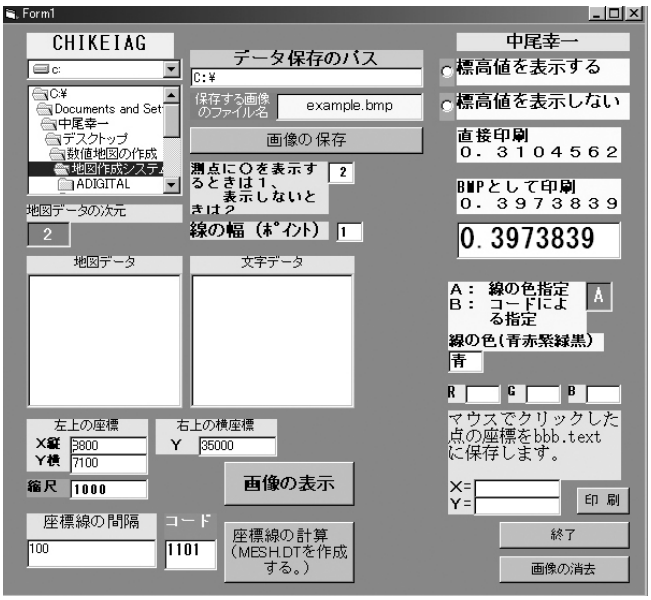


図 5　CHIKEIAG の第一画面

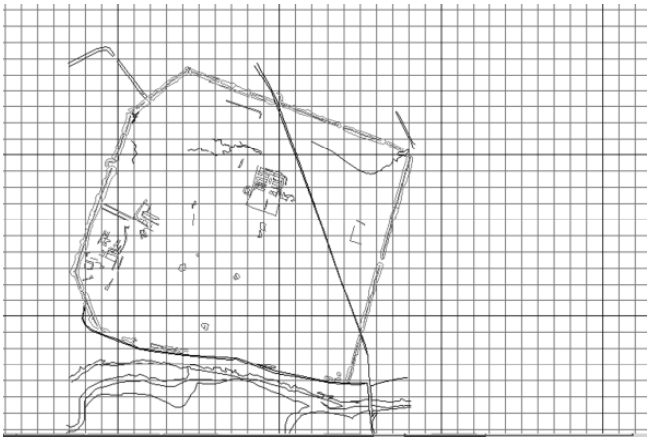


図 6　遼上京址遺跡図と 100 メートル間隔の座標線

図 7　緯度経度表示を UTM 座標の表示に変換する

3. 作成した数値地図

3.1　作成した上京城の数値地図　　作成した数値地図はベクタ型で，城壁，遺跡，河川，道路に分けて保存している．図 8 はこれを使って描いたものである．

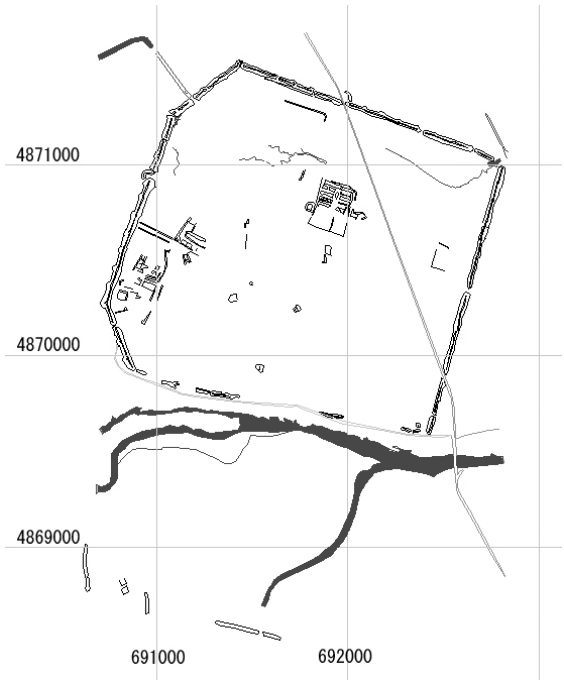


図 8　作成した数値地図により描いた遼上京址遺跡

3.2　数値地図の実測図との比較　　図 9 は，実測図に作成した数値地図を重ね描きしたものである．また，11 点の座標を比較した結果を図 10 のグラフに示した．両図から，北壁は差が小さく，川の北岸沿いの点は少しずれがあり，南部の城壁は，南北方向に大きくずれていることがわかる．その理由として，南部の城壁とその南側に広がる「漢城」址の間に流れる「白音高洛（パインゴール）河」の氾濫によって，1939 年の測量時と現況が変容しているのではないかと考えられる．

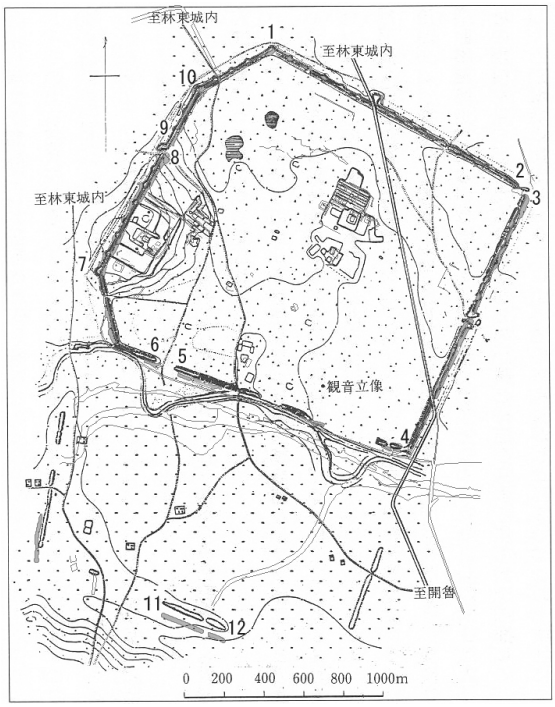


図 9　実測図と作成した数値地図の重ね合わせ図

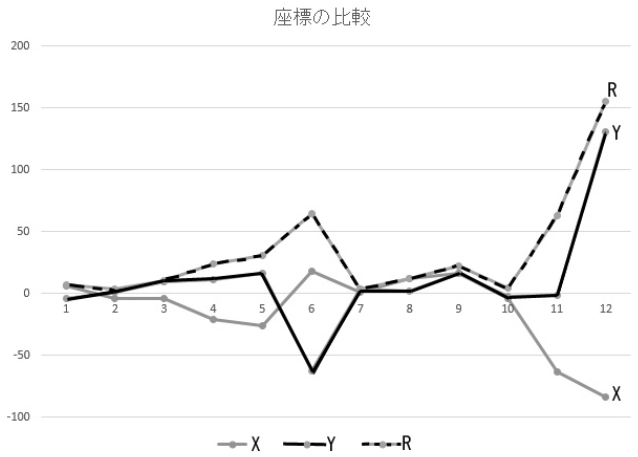


図 10　実測図と Google Eearth による図の座標比較

3.3　作成した標高データと鳥瞰図　図 11 は作成した標高データを用いて描いた等高線図である．図 12 は作成した遼上京址の数値地図を用いて描き，さらに 100 メートル間隔のメッシュを描いた図と標高データによりカシミールというフリーソフトを用いて描いた遼上京址を南方から見た鳥瞰図である．高さ方向を 10 倍拡大して描いている．

図 11　標高データにより作成した等高線図

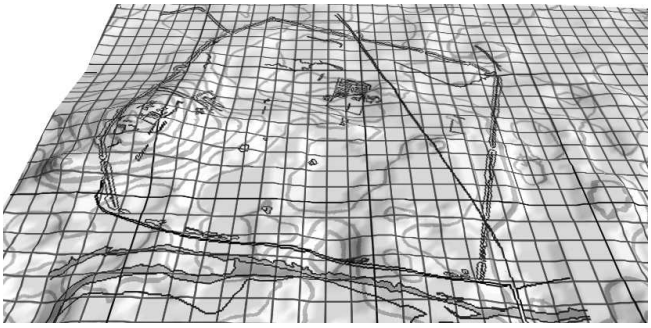


図 12　遼上京址遺跡付近の鳥瞰図

4. まとめ

以下に本研究で得られた結果をまとめる．

①画像から得られた基準点を UTM 平面直角座標を用いて補正することにより，遼上京址の数値地図を作成することができた．

②数値標高データを一定間隔(100m)の交点からなるメッシュに落とすことによって，等高線図を作成するための標高を表す遼上京址の数値地図を作成することができた．

③作成した数値地図に基づいて，遼上京址の現況を示す地図を作成し，1939 年に測量・作成された実測図との比較を行った．結果，南壁以外の座標はほぼ一致することが確かめられた．ずれが大きかった座標については，過去 70 年間の地形の変化，特に河川の氾濫による影響を受けている可能性がある．

④作成した数値地図を用いて，標高データを表示できる鳥瞰図を作成した．等高線図を得ることができない国外の遺跡・遺構についても，調査の基礎となる地図を作成することができることが確かめられた．

今後の課題として，以下の 2 点があげられる．

・実測図が存在しない遺跡・遺構についても，リモートセンシングを用いた数値地図の作成を行うこと．

・数値地図から標高データを読み取る作業の効率化と遼上京址のように地形が比較的平坦な遺跡・遺構では有効であった 100 メートル間隔のメッシュに対し，勾配の大きい地形に立地する遺跡・遺構に適用する方法を検討すること．

謝辞

本研究の一部は平成 24 年度神戸高専共同研究費（一般研究）により進められました．ここに謝意を表します．

参考文献

(1)　田村實造『中国征服王朝の研究』上，東洋史研究会，p320，1964.

(2)　高橋学而「中国東北地方に於ける遼代州県城－その平面構造と規模を中心として」『東アジアの考古と歴史－岡崎敬先生退官記念論集－』上，同朋舎，pp. 279-324，1987.

(3)　武田和哉「契丹国（遼朝）の上京臨潢府故城の占地と遺構復元に関する一考察」『遼金西夏研究の現在(3)』東京外国語大学アジア・アフリカ言語文化研究所，pp. 73-102，2009.

近畿地区７高専連携 防災リーダーの育成事業に参加して

上垣宗明*　末原皐多**　高杉三四郎**

Participating in Volunteer Activities in Kesen-numa

Muneaki UEGAKI*　Kouta SUEHARA**　Sanshiro TAKASUGI**

1. はじめに

平成 24 年度より，明石高専を中心に「大学間連携共同教育推進事業」として，“近畿地区7高専連携による防災技能を有した技術者教育の構築”事業が行われてきた．

この事業との最初の関わりは，平成25年3月2日（土），3 日（日）に，明石市立産業交流センターで行われたシンポジウムに参加し，代表の明石高専鍋島氏と防災リーダー育成プログラム代表の平石氏から直接，お話を聞かせて頂いたことがきっかけとなった．

平成 25 年 3 月末に，宮城県気仙沼市本吉町に，明石高専平石氏，明石高専松野氏（特命教授：本事業において，明石高専 1 年生対象の防災に関しての授業担当者），明石高専学生 8 名と共に，現地の下見を兼ねて，視察に参加させて頂いた．平石氏と明石高専学生 8 名は，3 月 25 日（月）～30 日（土）の 5 泊 6 日の防災リーダー研修を行った．現地ではNPO法人アプカスのスタッフ3名の方にお世話になった．拙著は 25 日～27 日の 2 泊 3 日の予定で参加した．25 日は移動日で，26 日は学生と共に行動し，陸前高田市，気仙沼市周辺の被災地の現地視察を行った．特徴的な被災地を写真１～３に示す．

写真１　陸前高田市　奇跡の一本松

写真２　南三陸町　防災対策庁舎

写真３　気仙沼　第十八共徳丸

*　一般科　准教授　　**　本科　都市工学科

27 日は松野氏のレンタカーに同乗し，被災状況視察のため，気仙沼より南下し，雄勝，女川，石巻市，仙台市市街などを視察した．多くの小学生が犠牲となった大川小学校の状況を写真４に示す．また，仙台市市街に近い閖上浜の状況を写真５に示す．

写真４　石巻市立大川小学校

写真５　仙台市閖上浜

震災から 2 年が過ぎてからの現地視察であったが，復興はあまり進んでおらず，今後もかなりの時間と費用が必要であることを痛感した．

2. 平成 25 年度の取り組み

平成 25 年度は，阪神淡路大震災で被害にあった神戸で生活している本校の学生にも防災リーダー研修に参加させる取り組みを始めた．学生を現地に派遣することについては，神戸高専伊藤校長と大淵学生主事に了解を得た．

平石氏と明石高専の学生は，現地でのボランティア活動を平成 23 年の冬より続けており，今では，参加学生を面接して決定するほど希望学生が多い．しかし，本校では，今回が初めての取り組みであり，何名の学生の希望があるか予測できなかった．また，参加を呼び掛ける学生を全学年にするか，特定の学年とするかなど，不明なことが多く，手探りでのスタートとなった．

最初の取り組みは，東日本大震災や現地でのボランティア活動について学生に興味を持たせるために，平成 24 年度末の現地調査の様子を平成 25 年 4 月に 4 年生と 5 年生の英語演習の時間に，約 20 分間報告した．学生は，真剣に話を聞き，興味を持ってくれた．

平成 25 年 5 月に，平石氏より，参加希望を募るポスター（Appendix 1）を頂いた．その後，どのように希望を募るかを伊藤校長，大淵学生主事と相談し 3 年生に絞って，参加を募ることになった．本校では 3 年生を中心に防災教育を行っており，その一環として， 3 年全学生を対象に，2 月初旬の 2 日に渡り，神戸西消防署協力のもと，市民救急救命士の資格を取るための講習会を行っている．また，3 年生で防災リーダー研修に参加することで，4･5 年生に進級しても，この経験を後輩に伝えることが可能であることもその理由の一つであった．

上記のようなことを考慮し，5 月下旬に，3 年生担任に参加を募るポスターを教室に掲示して頂くように依頼した．しかし，6 月 21 日の締切日までに参加希望の学生からの連絡はなかった．そのため，6 月 21 日に，都市工学科 5 年生の授業で，防災リーダー研修の募集状況を伝えると，多くの学生が興味を持ち，その内，2 名の学生が是非参加したいと申し出た．

2.1. 明石高専学生との顔見せ及び説明会

8 月 19 日（月）に，明石高専専攻科棟4F会議室にて，10:00から12:00の間，平石氏からの防災リーダー研修の説明，及び，学生同士の話し合いが行われた．その様子を写真６に示す．今回の研修は，学生は合計 8 名，明石高専から 6 名（機械工学科 1 名･電気情報工学科 1 名･都市システム工学科 1 名･建築学科 1 名：男子 4 名･女子 2 名）と神戸高専から 2 名（都市工学科 2 名），引率教員は明石高専平石氏と明石高専特命教授太田氏，明石高専玉田氏，拙著の 4 名が参加することとなった[1]．

写真６　顔合わせの様子

顔合わせは，連絡先を交換し合い，雑談を交えながら和やかな雰囲気で行われた．

2.2. 現地での防災リーダー研修

2.2.1.　１日目（8 月 26 日月曜日　移動日）

仙台駅に 14:00 に集合し，14:20 発の宮城交通高速バス気仙沼行きに乗車した．仙台駅から本吉登米沢まで約 2 時間半かかり，NPO法人アプカスの拠点に 17:00 に到着した．その後，施設利用に関する説明や拠点でのルールや日課についての説明が行われた．

今回の研修は“防災リーダーの育成”をメインテーマとしており，毎日２名の日替わりリーダーが活動の中心となり，その日の予定や食事の係等を決定することとなっていた．また，一日の終わりに，アプカススタッフが司会を務める“振り返りの時間”があり，一日の活動を通しての感想やその日特に素晴らしかった人を一人ひとり発表した．毎日，夕食後約 2 時間が振り返りの時間として確保されていた．

2.2.2.　２日目（8 月 27 日火曜日　研修１日目）

2 日目は，被災地の視察が主な活動となった．吉本町の小泉小学校の高台から津波の被害にあった津谷川周辺の様子を写真７～９に示す．次に，写真 10 に示す小泉仮設住宅のウッドデッキ（明石高専作成）を視察した．続いて，写真 11 に示す津谷小学校仮設住宅の緑化対策（明石高専作成）と写真 12 に示す仮設住宅の断熱処理（明石高専施工）を視察した．

写真７　「津波の教え」津谷小学校

写真８　津波で欠落した橋梁

写真９　がれき処分施設（平成 25 年度 10 月に撤廃）

写真 10　小泉仮設住宅ウッドデッキ（明石高専作成）

写真 11　津谷小学校仮設住宅の緑化（明石高専作成）

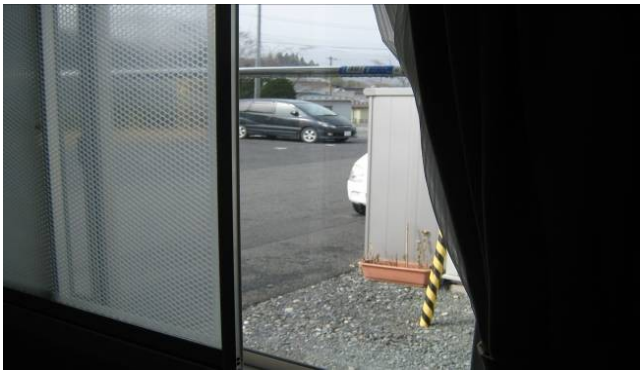


写真 12　津谷小学校仮設住宅断熱処理
（明石高専施工）

次に，建設中の前浜地区のコミュニティーセンターへ移動し，建設に尽力している畠山氏の説明を聞きながら見学した．その様子を写真 13 に示す．

写真 13　建設中の前浜コミュニティーセンター

昼食を復興商店街南町紫市場で取り，気仙沼市内で語り部としてボランティア活動をしている成宮氏から，気仙沼市市街を案内して頂いた．気仙沼の象徴ともいえる第十八共徳丸周辺で，船の撤去が決定するまでの経緯についての説明を聞いた．その様子を写真 14 に示す．

写真 14　共徳丸の説明

成宮氏は，気仙沼の復興事業の一環として“恋人”を主題としたパンフレットを作成し，観光事業の発展に尽力されている．観光スポットの一つである旧南気仙沼駅前の落合直道の記念碑（写真 15）に案内して頂いた．この碑以外にも，恋人という言葉に縁のある場所の説明して頂いた．

写真 15 落合直道の記念碑

次に，写真 16 に示す防潮堤建設予定地に案内して頂いた．防潮堤が実際どのくらいの高さになるかを目の当たりにし，防潮堤建設が住民の暮らしにどのような変化をもたらすのかをその現場に立って考えた．

写真 16　建設予定の防潮堤の高さ

成宮氏の最後の案内場所となる岩井崎へ移動した．海岸沿いに建っているにも拘わらず，奇跡的に大きな被害を免れた琴平神社を訪れ，宮司さんから震災当時の様子を詳しく説明して頂いた．その様子を写真 17 に示す．

写真 17　宮司さんからの話

2.2.3.　3日目（8 月 28 日　水曜日　研修２日目）

この日は，主に椅子の部材作成に取り組んだ．小泉地区での行事の際に，気軽に利用できる椅子の希望が住民からあり，アプカスがその希望に答え，40 脚の椅子を作ることになった．午前中は，椅子作りの道具を設置するのに時間を要するために，4 名ずつに分かれての活動となった．1 グループは仮設住宅に暮らす住民から現在の住環境についてのヒアリング調査と昼食づくりを行った．残りの 4 名は椅子作りに取り組んだ．昼食後は 8 名全員が協力して椅子作りに取り組んだ．その様子を写真 18 に示す．

写真 18　椅子作りの様子

2.2.4.　4日目(8 月 29 日　木曜日　研修３日目)

午前中は，前日に引き続き，全員が椅子作りに取り組んだ．午後からは，大谷海岸の防潮堤の建設について尽力されている三浦氏から，写真 19 に示す大谷海岸で防潮堤の説明をして頂いた．その後，拠点に戻り約 2 時間スライドを利用して更に詳しい説明を聞いた．

写真 19　現在の大谷海岸の様子

2.2.5.　5日目(8 月 30 日　金曜日　研修４日目)

午前中は，「東日本大震災の記録と津波の災害史」を展示しているリアス・アーク美術館を訪れ，被災当時の写真（約 3000 点）や被災物（約 250 点）を閲覧し，被災当時の生々しさを直に感じることができた．

午後は，小泉地区の仮設住宅に赴き現地住民へ住環境についての聞き取り調査を行った．仮設住宅の住民の方の生の声を聞くことができた．また，調査以外にも様々なことを住民から教えて頂いた．学生が住民から話を聞いている様子を写真 20 に示す．

写真 20　ヒアリングの

2.2.6.　6日目(8 月 31 日　土曜日　最終日)

本吉登米沢のバス停発 10:05 の宮城交通高速バス仙台駅行きに乗車した．13:00 に仙台駅に着き，この研修についての感想を一人ずつ述べた．その後，気をつけて自宅まで帰るように指示し，解散した．その時の様子を写真 21 に示す．

本校学生からは 20:00 に帰宅の連絡を受けた．

写真　21　仙台駅での解散の様子

3. その後

9 月 30 日に小泉地区で行われた秋祭りに，学生たちが部材を加工し，完成した椅子を住民の方が利用している様子をアプカスの現地スタッフの方に届けて頂いた．写真 22 に住民たちが椅子を利用している様子を示す．

写真 22　秋祭りで使用して頂いた椅子

4. 被災地について

2 回にわたり，気仙沼市を訪れることができ，現地の様子を見るなかで拙著が気付いたことを以下に示す．

4.1. 列車に代わるもの

海岸線を走っていた JR 気仙沼線の線路は，壊滅的なダメージを受け，写真８で見られたように，線路の橋梁が欠落しているところもある．また，写真 23 に示すように線路が津波で流されているところもあり，それを建設するだけでもかなりの時間と費用が必要となる．現在では，レールを撤去しアスファルトで舗装した道をバスのみ通行させる BRT という路線バスが電車の代わりを担っている．BRT を写真 24 に示す．以前は線路であった道を走行するために渋滞に影響されない．また，電車とは異なり，線路だけではなく，通常の道路も走行できるために，町の中での乗降も可能である．今後は，JR に代わる交通手段として，有効なものに成り得る．

写真 23　切断された線路

写真 24　ＢＲＴ

4.2. 橋について

海に近い場所に架かっている橋は，ほとんどが流されてしまっていた．橋が利用できなければ，復興や住民に必要な物資を届けることに支障をきたす．流された橋と同じような橋に復旧するには多くの時間が必要であるために，写真 25 に見られるようにほとんどが仮設の橋であった．

写真 25　仮設の橋

安全な物資の運搬のためにも，仮設の橋から通常の橋への掛け換えは早急にすべきことの一つである．橋が利用できないときは，写真 26 に示す JR のトンネルを利用し，トラックで物資を運んでいた．

写真 26　トラックが利用する旧 JR のトンネル

4.3. 神社について

視察した町や村には，多くの神社が山の中腹に祭ってあったが，その多くが今回の津波でも流されることなく，祠が鎮座していた．宮城県沿岸全域の 215 カ所の神社の被災状況の調査では，139 カ所で津波災害から免れ，23 カ所で一部浸水，被災した神社は 53 カ所であった[2]．神社を祭っている町や村は甚大な被害を受けたが，神社の約 3/4 は，津波に流されることなく現存している．現存している神社を写真 27 に示す．津波の被害に遭わなかったり，被害が少なかった神社の立地条件などの精査は，今後の街づくりにとって重要なことである．

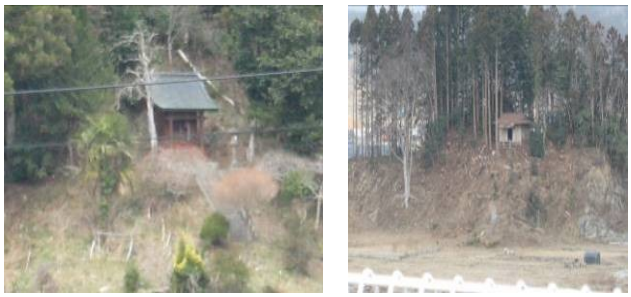


写真 27　山の中腹の祠

5. まとめ

毎日夕食後の約 2 時間の“振り返り”は，全員の前でその日自分が感じたこと，気付いたこと，経験したこと，その日の活動で素晴らしかった人を褒めるという内容であった．振り返りの様子を写真 28 に示す．

写真 28　振り返りの様子

“振り返り”では，日常生活ではあまり人前で話す機会がない学生にとって，自分の考えを自分の言葉で話し，他人に聞いてもらう貴重な機会となった．この活動を通して，一日の自己反省をし，今日の自分よりもすばらしい明日の自分をイメージすることができていた．そして，それに近づけるような具体的な行動を想像しやすく，実践することも容易になり，自分を高めることが可能になる．それに付け加え，普段は，他人のよい所に気付けても，それを言葉にして他人と共感することは少ない．仲間との共感は，集団生活を潤滑に営む上では非常に重要なことである．

リーダー研修では，リーダーやサブリーダーだけではなく，集団の一員としての立場もあるということを学ぶことができた．また，リーダーだけでは集団が効率的には機能せず，リーダーを支える人も貴重な役割であることは，リーダーを経験したからこそ学べたことである．5 泊 6 日という長い期間を 8 名で共同生活をしたことも集団内での役割を意識することができた要因でもある．今後，学生たちはこの体験を生かし，日常生活でもリーダーとして，あるいは，集団の一員として，自分の役割を意識して行動できるであろう．

学生は，この防災リーダー研修で気仙沼周辺の被災状況を自分の目で見ることで，様々なことを感じ，考えることができた．また，この研修で学んだことは，今後，学生たちが自分を高めてくれる何かのきっかに成り得るような貴重な体験であった．

6. 学生の感想

リーダー研修終了後，1 ヶ月が経過した 10 月の初旬に，本校から研修に参加した 2 名の学生に，記述式のアンケートを実施した．特徴的な記述を以下に抜粋する．

1）現地に行ってみて，一番印象に残っていることは．

・視覚的に一番インパクトを受けたのは，陸に打ち上げられたまま残っている共徳丸です．そこに普通あるはずのない巨大な船があることで，何の説明もいらず津波の恐ろしさがひしひしと伝わってきました．共徳丸の横には，いくつもの花が供えられており，たくさんの尊い命がここでなくなったのだと改めて思い知らされました．

・製材所で，木材をひたすらに加工することは単純で地味な作業でしたが，後日，自分たちが下準備した部材を利用して作られた椅子を地域のイベントで利用してもらい，地域の人が見せてくれた笑顔がとても印象的でした．

2）気仙沼の被災地を見て，どのように感じましたか．

・津波で流されたところはほとんどがさら地になっていましたが，場所によっては重機が活発に動いていたり，トラックが何台も入ってきたりしていて，復興はスピードが遅いながらも着実に進んでいるのだと思いました．しかし，仮設住宅に住んでいる人の中には移転先がまだ決まっていない人や，決まっていても移転が何年先になるか分からない人もいて，まだまだ将来の展望は明るくない部分がありました．復興のスピードを一番に遅らせているのは，何よりも防潮堤の建設計画が進んでいないということです．

これは私たちがボランティアや研修に行って簡単に解決できる問題ではなく，国の政治システムなども関わってくる非常に複雑な問題であると感じました．

3）今後，この経験をどのように活かしていきたいですか．

・どんな経験をどんなことで活かせるのかについては，具体的にはまだ分かりませんが，気仙沼に行って津波の被害を見たり聞いたりしたことや，年齢も性別も違う仲間や先生方と集団で協力し生活したことは，必ず今後に役立つと信じています．いろんな意識を持った人と関わることで，物事への考え方や取り組み方が少し変化したのではないかと思います．

4）この活動で，一番成長できたと思うところは？

・防潮堤建設や高台移転の話を聞いたりすることによって，単純に勉強や研究を行う意欲が強まりました．それが一番の成長ではないかと思います．毎日誰か仲間の良い点を褒めないといけないという決まりがありましたが，はじめは仲間の強烈な個性に嫌気を起こしたりすることもありました．しかし個性を認めようと努力したとき，長所と短所は本当に紙一重だと感じました．人の良いところをみるという事を学びました．

・一日の活動の最後に行われる「振り返り」では，自分の考えを整理し，他人に伝えることの難しさを実感しました．具体的に成長した点は，今は思い当たりません．しかし，成長するきっかけになるとてもよい経験ができました．

5）感想（なんでもOKです．）

・仮設住宅の方々にヒアリング調査を実施したときに，そこに住んでいるおばあさんから食べさせてもらったお漬物が絶叫するくらい美味でした．

・研修を通して，様々な人と出会いました．僕も負けてはいられないと強く思いました．

参考文献

(1) 平石年弘　2013 年夏の防災リーダー研修報告書，http://www.akashi.ac.jp/csee/archives/265

(2) 高田知紀：「大規模自然災害と伝統的地域社会のリスク・マネジメント思想」，神戸高専 参学官技術フォーラム ’13　講演論文集，　p.69，2013.11.

Appendix 1

復興支援調査員募集

2013年8月26日（月）～8月31日（土）

締切：6月21日（金）

参加者には、神戸高専から気仙沼までの交通費が支給されます。

1．募集人員：4名

希望者は学科・学年・氏名を上垣まで連絡ください。申し込み多数の場合は、面接により決定します。

一般科　上垣　E-mail:uegaki@kobe-kosen.ac.jp

2．活動場所：　宮城県気仙沼市本吉町

3．事前準備

オリエンテーションと事前アンケートを実施します（期日は未定）。

事前に明石高専からの参加者とミーティングを行います。

4．現地での活動

以下の活動を予定しています。

初日：被災状況の説明と現地見学

2日目以降：ウッドデッキ材料の作成、共同農園の整備、集会所建設補助など。

最終日：レポート製作、アンケート回答

5．現地宿泊

NPO法人アブカス気仙沼現地事務所、食事は現地事務所での自炊となります。1人1,000円/日宿泊+食費は自費。

7．　これまでの取組

被災地支援活動を行っているNPO法人アブカスが現地での住民、行政との調整の窓口となり、仮設住宅のさまざまな問題の解決策を提案し、学生が施工を行っています。

今年の春にはコミュニティースペースの少ない仮設住宅に写真１に示すウッドデッキを製作しました。

写真１：仮設住宅に作ったウッドデッキ

8．　被災地仮設住宅

東日本大震災で建設された仮設住宅52,820戸にのぼります。自力で住宅再建が困難な場合は復興公営住宅建設を待つことになり、膨大な量の住宅が必要なため、建設には時間がかかります。仮設住宅入居者が復興公営住宅に移れるまでは短かくて数年間は仮設住宅に住む必要があります。長期化する仮設住宅での生活を少しでも改善する

水の伝説

八木善彦 *

The Legend of Water

Yoshihiko YAGI*

1. はじめに

水はありふれた物質でわれわれの身近に豊富に存在する. この水の当たり前でないことに気づくことから物語は始まる. 2013 年のエイプリルフール, 米国フロリダ州のラジオ番組が「一酸化二水素」のジョークを使って水道の危険性を警告したところ, 水道局に問い合わせが殺到. DJ たちはラジオ局から無期限謹慎処分になった.

> 一般の人々の科学リテラシーにまつわる古いジョークがある. 「摂取しすぎると死ぬ恐れがある危険な物質がある. その物質に完全に浸されると呼吸が妨げられる. その物質名は, 一酸化二水素（ジハイドロジェン・モノオキサイド：DHMO）(1)

事実のみを提示したとしても, その提示の仕方によっては聞き手の認識を誤った方向に誘導することができる典型と言える.

- 水酸と呼ばれ, 酸性雨の主成分である.
- 温室効果を引き起こす.
- 重篤なやけどの原因となりうる.
- 地形の侵食を引き起こす.
- 多くの材料の腐食を進行させ, さび付かせる.
- 電気事故の原因となり, 自動車のブレーキの効果を低下させる.
- 末期がん患者の悪性腫瘍から検出される.

情報化された現代では, このような誘導のための表現がいたるところにあふれている. 記事はこのように締めくくっている. 「一般大衆が基本的な化学式も理解できないのだとすると, 複雑な用量関係や複数の要因が関わってくる, もっと込み入った問題が理解されることは, おそらく望むべくもないということだ. 」

水はわれわれに多くのものを与えてくれている. われわれは水から生まれた. 母親の体内ではの羊水の中で成長する. 人間の体には多くの水が含まれる. 血液の９割以上は水で, 腎臓は 82 %, 筋肉は 75 %, 骨は 22 %, の水を含む. 全体重の 71 %は水である.

水はわれわれが生きて行くのに直接必要なだけではなく, 人間の生活のあらゆる面において影響を与え続けている.

人間が農耕を始めることにより計画性のある水利事業, 井戸堀りや潅漑設備, 洪水をせき止めるダム, 長く一定の緩やかな傾斜をもつ水路, を構築しなければならなくなった. このような活動は, 個人の利己を公共の福祉に従属させ, 感情的な力を合理的な統制に服させ, 社会組織を安定に保つ倫理を発達させる. 水の振る舞いの人間への感化は経済的な分化や, 宗教の教義や道徳に及ぶ.

水が作り出す情景は人間の情緒や芸術に驚異と感嘆, そして安らぎを与え, その不思議さに気づく者に科学の心を芽生えさせる.

人間は水をみて物質の３態（固体, 液体, 気体）を知り, 蒸気機関によって産業革命を起こした.

そこで, 若い学生や専門でない人々に科学の概説を提供し, 自分自身で自然現象を研究しようという人たちを生み出すために 1950 年代にアメリカで出版された Science Study Series の Water: The Mirror of Science (S18) (2) をもとに水の不思議をひもといてみる.

2. 水の異常さ

2.1 水の沸点・凝固点

どんな物質でも, 分子同士が十分に接近すると弱い引力が働く. この力をファン・デル・ワールス力という. この分子間力は一方の分子の原子核と他の分子の電子との引力の力の方が, 原子核同士や電子相互の斥力よりもわずかに大きいために生じる. この引力は, 重い分子間の引力は軽い分子間の引力よりも強いため, 重い分子の物質の沸点・凝固点は高く, その物質の分子量に比例して沸点・凝固点が上昇する.

*一般科　教授

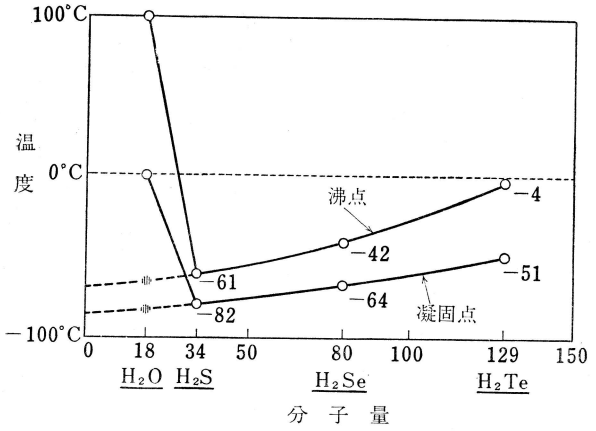


図1 周期律表で水の同族にある分子の沸点・凝固点

物質の分子構造や分子量を知ると他の物質と比較してその物質の沸点や凝固点をかなり正確に予測することができる. では, 酸素の同族である S イオウ, Se セレン, Te テルルについて化学構造式が H_2O と同じ H_2S, H_2Se, H_2Te の沸点や凝固点を調べると分子量が増すごとに上昇して行く (図 1). この性質を利用して H_2O の沸点, 凝固点を予測すると −95°C, −100°C となる. 実際にはよく知られた 100°C, 0°C である.

このことは水が通常の分子間力と異なる結合力を持っていることを表している. 実際に水は水素結合によりこの力を得ている. 典型的な水素結合 (5 〜 30 kJ/mole) は, ファンデルワールス力より 10 倍程度強いが, 共有結合やイオン結合よりはるかに弱い. 水素結合は水などの無機物においても, DNA などの有機物においても働き, 水の性質, たとえば相変化などの熱的性質, あるいは水と他の物質との親和性などにおいて重要な役割を担っている.

2.2 氷ると体積が増加

熱の考察は熱い・冷たいという感覚から始まった. 1592 年ガリレオは球付のガラス柱を水面に倒立させて, 球部を暖めることによって水面が変化することを示す（空気温度計）の温度計を発明した. 最近は, ガラス柱の中にいろいろな色の水の入ったバルーンを浮かべた「ガリレオ温度計」なるインテリアオブジェを購入できる. この発明により熱の科学は始まった. 熱を客観的な数量でとらえられるようになった. 18 世紀の中頃ジョセフ・ブラックが熱を「重さのはかれない流体」というあたかも物質のようなものと考えてこれを「カロリック」と命名した. 物体によってこのカロリックを吸収できる能力が異なり, ある物体に同じ熱量を与えても温度のあがり方が異なる事実を説明した. 現在では熱はエネルギーの一つの形態であり, 原子や分子の運動の活発さの目安とされている.

固体では, 分子は互いに固定した規則正しい配列をしている. 温度が上昇するにつれて, 物体の分子の運動エネルギーは増加し, 分子同士を引きつけている結合力にさからって配列を歪ませ流動させる. これが液体である. 気体ではこの分子間の結合力を振り切って飛び回ることになる.

この理屈では温度に比例して分子の運動は激しくなり, すべての物質は温度が上昇するにつれて体積が増加し, 温度が低下するに従って体積は減少することになる. 水では, 100°C から温度を低くしていくと 4°C までは体積が縮小していくが, 温度が 4°C から 3°C, 2°C, 1°C, 0°C と低下するにつれて収縮せず, 逆に膨張していく.

0°C を経て水が固体 (氷) になると突然, 液体のときよりも体積が十一分の一増加する. この特性は, 海や湖が凍るほど寒くなっても水面から凍ることになり水中の生物の生存を助けている. 水分の少ない砂漠では昼の気温は驚くほど上昇し熱風が吹き荒れるが, 夜になると骨まで凍るような冷え込みに襲われる.

この体積増加を打ち消すように圧力をかけてやると氷は溶けて水になる. この性質により人間はスキーやスケートを楽しむことができる. 水になることで摩擦係数が極めて小さくなりよく滑るのである. 氷河の下部では圧力が高くなり液体化することで氷の塊が動きやすくなる. この動き出した氷河の浸食作用は洪水と比べてもはるかに大きい.

氷になると体積が増加するのは当たり前と思うかもしれない. しかし, 固体も温度に比例して体積が減少すので, 十分に温度を下げてやると水より重たい氷も当たり前に存在する. さらに, 氷の結晶は圧力により I 型, II 型, …と変化し, その中には液体から固体になるときに体積の増加しない氷もある.

> 圧力を変えることで相変化を起こし, 結晶構造や物理的性質に差がある, さまざまな高圧相氷になることが知られている. この場合, 我々が普段目にする「普通の」氷は「氷 I」と呼ばれる. 現在のところ, 圧力が高い状態において氷 II から氷 VII まで発見されている. 特に, きわめて高い圧力下では, 水素結合が縮んで水分子の配列が変わる. このように様々な相が存在することを多形という. [3]

2.3 潜熱

固体状の物質の温度を融点まで上昇させるときか, 液体状の物質を沸点までに上げるときには, 熱を加えても温度上昇が停止する転移段階があり, 二相 (固体と

液体, 液体と気体) が共存する状態がある. この期間を通して固体が完全に液化するまたは液体がすべて気化するまで, 加えた熱は吸収されて物質の温度変化は起こらない. この熱を潜熱と称し, 物質によって異なる. 水ではこの潜熱の値が他の物質と比較して非常に大きく熱のエネルギーをより多く蓄えられる.

氷点下以下の気温の夜でも水槽に水を満たした室内の温度は外気温よりも暖かいし, 雪かまくらは雪の断熱性だけでなく, この潜熱によって暖房の効果を果たす.

逆に冷凍に使うこともある. 氷を利用した冷蔵庫 (氷室) は電気冷蔵庫が出現するまで世紀を越えて使われていたし, 古代人は多孔性の容器 (素焼きの壺) を利用して飲料水を冷却していた. 最近, 熱帯の乾燥地帯で氷るほど冷たい水をつくる壺の うわさ や気化熱式冷蔵庫がネットで話題になった.

水は潜熱の大きさと体積の変化によって大気および海洋の熱交換の主役となり, 地球上に生命を育む恒常性の世界を作り上げている. 熱交換のエネルギーは熱帯で発生する台風に, また熱で膨張し上昇した水蒸気が水滴になるときに発生する潜熱で作られる巨大な上昇気流と積乱雲, それに付随しておこる竜巻や雷に見て取ることができる.

2.4 溶媒と表面張力

二つ, もしくは三つ以上の物質が一つの物理的境界で他から分離されているものを溶液と名付け, そのうちの一つで他を含むものを溶媒という. その他の溶解して溶液中に一様に分布している物質を溶質という.

天然水には化学元素として知られている元素の半数が溶け込んでいる. 世界中の海洋は, イオンの形で金属, 非金属, 無機物, 有機物を溶かし込んでいる. しかし水自体は不活性である. この性質は生物にとって有用で, 生体の隅々に必要な物質を運び, 不要なものを運び去ることができる. しかも何回でも繰り返し溶媒として利用できるのである. 多くの物質を溶かし込んだ海水で, 干潟のような環境があり海水が繰り返し水の蒸発, 浸水を繰り返す環境から遺伝子の一部 RNA が作られることが確かめられている.

水の表面には互いに引き合う力が働いている. これを表面張力という. 水の表面張力は水銀を除けば一番大きい. これは, 他の物質に付着する力でもある. 二枚のガラス板を近づけて水面に立てると水の表面部分はガラスに引き寄せられ水面より高くなる. 二枚のガラス板の間隔が狭くなれば狭くなるほどカラスの壁に接した部分の水面は高くなる. これは毛細管現象とも呼ばれ, 土壌の中での水の移動や植物の根が水や養分を吸い上げたり幹に循環させること, 動物の体内を血液が隅々まで循環するのに役立っている.

3. 水の伝説

3.1 純水

ここまで見てきたように水は生命にとって非常に大切なものであるとわかる. しかし, その水は純水の話では無かった.

小学生の頃, 「純水を飲むと下痢をする」という噂が立った. しかし, だれも実験してみる者はいなかった.

純水は不純物の混入を嫌う化学実験や電子部品の洗浄, 製品のばらつきを押さえるための食品や飲料, 更には医薬品の製造などに用いられる. 半導体の洗浄に使われる超純水については, 有害性に関する風説がある. 「純水はものを溶解する能力が極めて高く危険であると言われている. 」

これに対し,

> 超純水とは高度に精製された水の「状態」を意味し, 何らかの物質や核種を指すものではない. つまり「コップに採った超純水状態の水を飲用する」ことは可能だが, 体内に入ったコップ一杯分の水を, 超純水状態に維持し続ける事は不可能である. 従って, 飲んだ超純水が腸管粘膜に与える影響, などというものは存在しない. 歯の脱灰についても, 砂糖の摂取や唾液による再石灰化と比較する限り無視できる.
> 普段飲用に供する水（水道水, 井戸水, 河川水など）と比較すると, それらが一般に溶解している物質（残留塩素や「ミネラル分」など）を含んでいないが, 生体に必要な微量元素などは食物から供給されるものであり, 長期間飲用したとしても欠乏することはない. [4]

のような反論がなされたが果たして実験してみるまでもなく, 複雑な用量関係や複数の要因 が関わってくる, もっと込み入った問題が理解できるのであろうか.

3.2 重水

今まで, 水について化学構造式が H_2O という単一の化合物の話をしてきた. ところが水素には安定同位体である二重水素 ^2H, 放射性同位体の三重水素 ^3H が自然界には存在し, さらに酸素も自然界には 3 種の安定同位体が存在する.

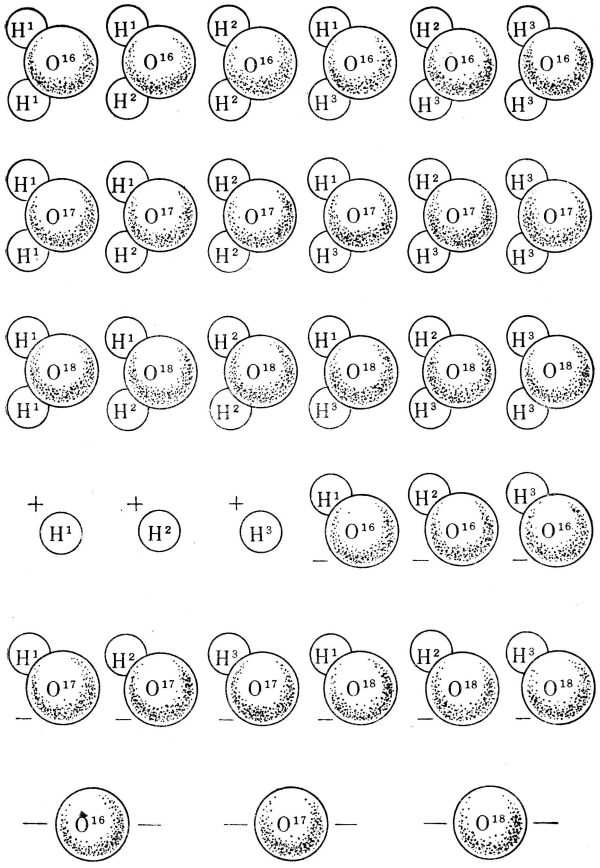


図２ 同位体を考慮にいれた水の分子

これらを考慮して純粋水は18種の同位体と15種のイオンからなる混合物である (図２). H, ^{2}H, ^{3}H の存在比は海水中で 0.999816, 0.000184, 0.000000 (水素ガス中では 0.999974, 0.0026, 0.000000) である. O, ^{17}O, ^{18}O の存在比は 0.99762, 0.00037, 0.00204 でこれらを考慮して水の各同位体の存在比が計算できる. これは, 重水 $^{2}H_2O$ の密度:1.11 g/cm^3, 沸点:101°C, 融点: 3.8°C が水 H_2O と異なる値をもつため, 日常使用する水の性質の計量では混合物の物理的値となることに注意する必要がある.

重水の有害性に関する風説がある.「純重水は, 物質の溶解度, 電気伝導度, 電離度などの物性や反応速度が軽水とは異なる値を示す. それ故, 飲料水などとして大量に（体重に対して数十％以上）摂取すると生体内反応に失調をきたす. 重水中では魚類はすべて死に, 植物は発芽しない. 微生物は重水中でも培養できるものもある.」これは本当らしい.

4. H_2O の有極性

２つの水素は酸素に対して 105° の角度をなしている. 原子, 電子の正負の電化分布が不均等になり水の分子は正と負の極をもつ. 分子の大きさに対して, この極の分離間隔が大きいため双極子モーメントが大きい.

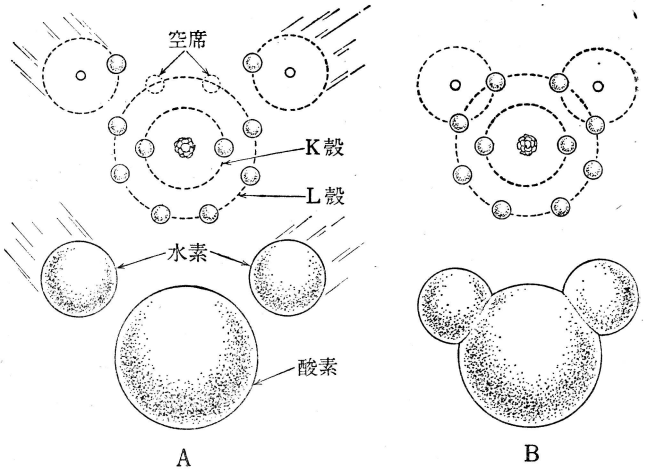


図３ 水分子の原子核と電子配置の模式図

図３に水分子の原子核と電子配置の模式図を示す. 実際は電子の配置が立体的であるが平面の配置でも電子の位置の平均と陽子の位置の平均から分極が理解できる. この分極のために電場をかけると, 水の分子はその電場を打ち消すように並び, 水中におかれた２つの電荷が引き合ったり退け合ったりする力は弱くなる. このことは, 水が物質をよく溶かし, 特にイオン結合だけで, あるいは主としてイオン結合している物質をよく溶かすということの説明になっている. 食塩 NaCl は Na^+ イオンと Cl^- イオンが互いに引き合って形作られており, それらがクーロン引力で結合している. この結合は比較的弱い結合であり, 食塩の結晶を水に入れて切り離すと, 水の誘電率の高さのためにクーロン引力が弱められて二度と結合できない.

5. 帯電

乾いた雪や氷の結晶の表面を他の物質が通過すると摩擦電気が生じる. 飛行機が電気をもった雲の中を飛ぶと, 電荷を受け取り, それは数十万ボルトにも達する. 純水は電気を通さないため, 静電気の運び手となる. ベンジャミン・フランクリンは雷が電気であることを明らかにした人物であるが, 世界で最初にモーターを発明した人でもある. フランクリンの静電モーターは, 絶縁体の円盤に金属の球をつけ, そばに二つの電極をつけたものである. これだけで回転する. 回転の向きは, はじめにどちらにスタートさせるかで決まる.

図４はフランクリンモーターを自動的に動き一方向にだけ回転するように改良したものである. 垂直な壁は絶縁体で, 円盤はプレクシガラス（Plexiglas, アクリル酸樹脂）で導体のボールが周りに埋め込まれている. 円盤の中心は針がさしてあり, 自由に回転できる.

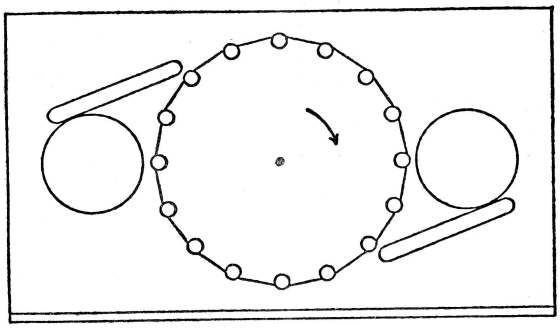


図4 自動的に回転するフランクリン・モーター[5]

針は壁に固定してあり, 実際は円盤が抜け落ちないように壁を後ろに傾けてある. 左右の丸いものは電極の管で壁に突き刺してあり, さらに電極にしんちゅうの棒を取り付けてある. しんちゅう棒のおかげで一方向にだけ回転する. このモーターを見た人は何も動力が無く回転を続けるので永久機関ができたと思うだろう.

静電誘導発電機がきっかけで, イギリスのケルビン卿は落水発電機 (ケルビン発電機) を考えついた. 彼の発電機を図式的に示す (図5).

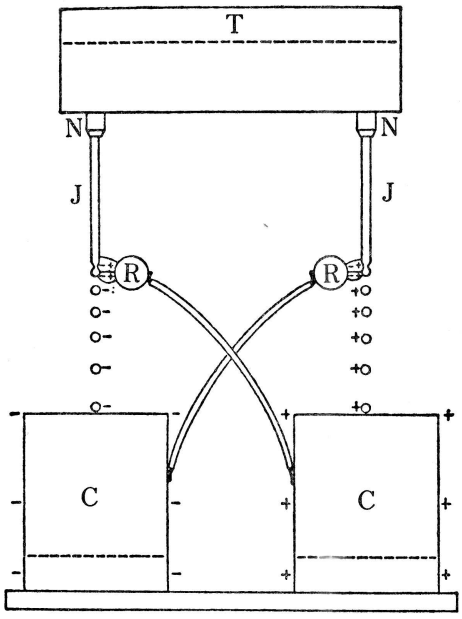


図5 ケルビン落水発電機[5]

絶縁体の上に錫のカンをおく. 絶縁体で支えた二本の金属の棒がカンにつないであり交差して他方のカンの上に来るように調整してある. 一番上には水を入れたタンクがあり2つのカンに水を注ぐノズルがある. ノズルから流れる水は繋がって流れ, 金属棒の位置で水滴に分かれるように流水量を調整してある. 何らかの理由で一方のカンの電位が他方のカンよりあがると, そこにつながれた金属棒によって他方のカンには静電誘導により, 低い電位になった水滴が落下する. 他方のカンが電位が下がるのでそこにつながれている金属棒によってもとのカンには, 高い電位になった水滴が落下する. このようにしてたまった電荷によりさらに多くの電荷が誘導されてたまっていく.

この形では, 電圧が高くなると電圧に引っ張られた水流が棒に引き寄せられ放電してしまう. 金属の棒の先を水流を取り囲むリング状に改良して一方向に引かれないように改良した落水発電機では15キロボルトの電圧を達成している. このときは落下する水滴が他方のカンに引っ張られてそちら側に落下するようになり, 発電が停止する.

6. その他にも

水10ccに5ccを加えると15ccになる. では, 水10ccにエタノール5ccを加えると体積はいくらになるか? それは, 14.6ccである. 正確にはエタノールの濃度によって異なるが, 体積の減少は, エタノールの濃度が18%のときに最大になる.

水は温度によって物を溶かす能力が変化する. 一般に温度が高くなると固体や液体はよく溶けるようになる. 気体は水の温度が低いほうがよく溶ける. ところが, この溶解性はものを溶かす順序で変わってくる. 単純に物質Aをa gと物質Bをb g溶かして水溶液を作るところが, 溶かす順番によって溶けなくなったりする.

1956年4月, アーサー・M・パスウェルとウォース・H・ロッドブッシュは「サイエンティフィック・アメリカン」で水の氷点について報告している. 天然ガス輸送のパイプ中では水は20°Cという高い温度で凍ってしまう. この柔らかい雪のためにパイプが塞がってしまい, ガスも止まってしまう. トウモロコシは4.45°Cまで温度が下がると, 結氷の被害を示す. この温度では, まだ霜は降りない.

このことが契機となって, 水の構造について詳しく研究されるようになった. この現象は水分子が作る構造から起こる. メタン分子は水の二倍の体積を持っている. 水の分子がメタン分子の周囲に集まって「籠」を作る. そのとき, メタン分子は水分子間の引力を断ち切ってしまう. そのために水は凍る.

同じことがタンパク質分子と水の場合にも起こる. 生物でもタンパク質分子の表面にそって水分子が結晶し, 膨張して生物の組織を破壊する.

これらは, 水分子同士を結びつける水素結合の力のためである. 水素結合により, 水分子同士は一体となり, 連続した構造を保っている.

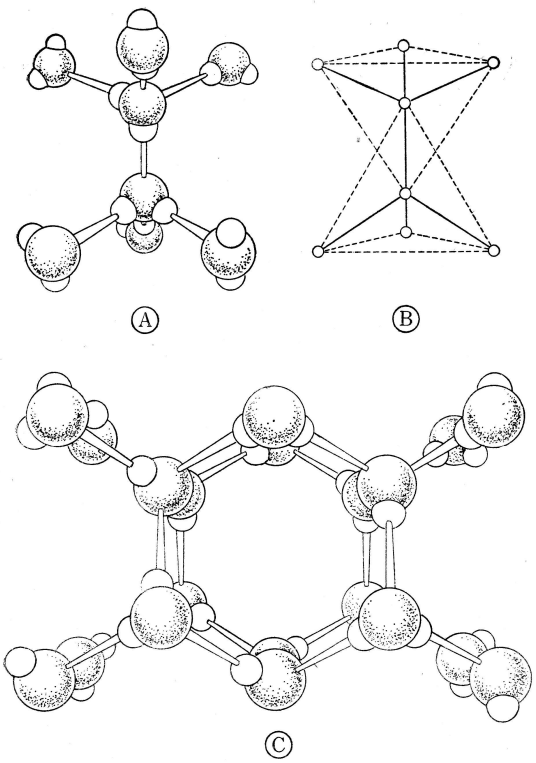


図 6 氷の結晶の四面体構造

図 6 に氷の結晶の四面体構造を示す. 水素結合によるこの構造は, 水分子の隙間だらけで間に他の物を取り込む能力をも示している. 同時に水分子のクラスター仮説やその他の伝説も呼び込むのである.

7. おわりに

物理学の中に, 人間原理というものがある.「宇宙が人間に適しているのは, そうでなければ人間は宇宙を観測し得ないから」という論理を用いる.

これは多重宇宙説であり, われわれの住む宇宙では, いろいろな物理定数がうまく調節されている説明を与える.

ブランドン・カーターはこれをさらに進めて, 知的生命体が存在し得ないような宇宙は観測され得ない. よって, 宇宙は知的生命体が存在するような構造をしていなければならない, という「強い人間原理」を示した. スティーヴン・ホーキングは, 宇宙の時間が逆転する可能性を述べた上で, そのような現象を人間は観測できないとした. 人間が宇宙を観測する時, それは人間の脳に記憶として蓄積されるが, 時間が逆転すれば記憶は失われていくので, 観測は不可能になる. よって, 時間が過去から未来へと進むのは, 人間がそのような時間の流れる宇宙しか観測できないからとした.

水もこの人間原理に従っている. 水の微妙に調整された, 驚くべき振る舞いは知的生命体が存在するように仕組まれた絶妙な配剤である.

参考文献

(1) 「「一酸化二水素」ジョークで, 米国のラジオ番組 DJ が無期限謹慎処分に - WIRED 2013.5.15 WED 版」
：http://wired.jp/2013/05/15/dihydrogen-monoxide-joke-gets-djs-suspended/.

(2) Kenneth Sydney Davis (Author) , John Arthur Day:“Water: The Mirror of Science (Science Study Series, S18)”, Anchor Books, 1961.

(3) 「ウィキペディア「氷」」: http://ja.wikipedia.org/wiki/氷, 2013.

(4) 「ウィキペディア「超純水」」: http://ja.wikipedia.org/wiki/超純水, 2013.

(5) A. D. Moore:“Electrostatics”, Doubleday & Company, 1968.

神戸高専研究紀要　　投稿規定（投稿の手引き）

１．まえがき

本誌は，神戸市立工業高等専門学校の研究紀要として毎年発行する．

２．編集委員会

『研究紀要』の編集，発行は，研究紀要編集委員会（以下，編集委員会と称する）がその任にあたる．編集委員会は，情報委員会により組織される．

３．投稿資格

原稿の内容は学術に関する未公開の論文，または，資料とする．投稿者は，神戸市立工業高等専門学校の教職員，前教職員，非常勤講師および在学生とする．共著論文または共著資料は，少なくとも前記１名を共著者として含まなければならない．

４．投稿方法

投稿者は，後述の「投稿上の注意」を熟読の上，本規定に適う形式で原稿を作成し，投稿すること．

原稿は，ワードプロセッサなどで作成したＡ４サイズの PDF 形式ファイルを提出すること．フォーマットが投稿規定に準拠していること，図表が充分な品質であること，全てのフォントが埋め込まれていることを確認し，別途案内する方法で提出すること．受理した原稿は全て編集委員会によって査読する．査読後，編集委員会によって採録または修正条件付採録と判定された原稿の著者は，最終原稿を提出すること．

最終原稿の作成，提出にあたっては編集委員会の指示に従うこと．特に，ランニングヘッドおよびページ番号は，編集時に一括処理するので原稿に記入しないこと．

著者には，抜き刷り（別刷）30 部を無償配布する．これを超える部数の抜き刷りは自己負担とする．

５．原稿の査読（校閲）

研究成果を発表する論文としての，また教育・研究に有用な資料としての体裁を整えるために，学内学識経験者による査読を行う．査読者は，編集委員会が選出，指名する．

査読結果に基づいて，編集委員会より，変更，削除など，原稿の修正再提出を求めることがある．著者による修正がなされない場合は，編集委員会の判断によって掲載を見送ることがある．また，編集委員会は，資料相当と判断した原稿の資料への，論文相当と判断した原稿の論文への変更を要求することもある．査読終了後の訂正は認められない．

査読者はいかなる理由であっても公表されない．

６．投稿上の注意

以下に示す投稿上の規定，注意は，指示や特記事項がない限り，論文，資料の両者に適用される統一規定となるので，投稿者は，原稿作成の前に必ず熟読すること．

＜6 - 1＞　フォーマット

ワードプロセッサなどを利用して投稿原稿を作成する際に，原稿の余白等は次のように設定する．また，フォーマットの種類は，論文の分野，内容に応じて，投稿者が表１の中から適当なものを選択すること．文字の大きさや文字数は，選択したフォーマットによって異なるので注意すること．

(a) 原稿は，Ａ４サイズで作成し，本投稿規定最終頁に示す形式を厳守すること．
(b) 余白：上 25㎜，下 24㎜，左右各 16㎜，段間 8㎜
(b) 文字の大きさ，片段の行数，文字数などは，下記の表１に従うこと．

表１　投稿原稿のフォーマット（論文，資料共通）

フォーマット	段組，文字・行数/１ページ	文字の大きさ	制限枚数
１．和文（横書）	2 段組，24 文字×50 行	10 ポイント	原則として，６ページ以内でまとめること．超過の場合は10ページ以内とし，それを超えることは認められない．
２．英文	2 段組，48 文字×50 行	10 ポイント	
３．和文（縦書）	2 段組，33 文字×32 行	10 ポイント	
４．和文，英文(横書特例)	(和)1 段組，　50 文字×46 行 (英)1 段組，100 文字×46 行	10 ポイント	

＜6－2＞　表題ページ

(a) フォント・フォントサイズ

表題ページのフォント，フォントサイズについては，表２を参照すること．なお，表２では，フォントを明朝体，Times などに指定しているが，それに酷似した他のフォントを使用しても構わない．また，英語以外の外国語（独語，仏語など）を使用する場合は，表２の英文に準じるものとする．ただし，この場合，英語表題は必要となるので注意すること．

表２　表題ページに使用するフォント・フォントサイズ

フォーマット	表　題	著 者 名	英語表題	英語著者名	英文要旨	本　文
1. 和文(横書)	ゴシック体 18 ポイント	明朝体 12 ポイント	Times 14 ポイント	Times 12 ポイント	10 ポイント ・見出しの「**Abstract**」はゴシック ・要旨本体は Times	明朝体 10 ポイント
2. 英　文	ゴシック体 18 ポイント	Times 12 ポイント				Times 10 ポイント
3. 和文(縦書)	ゴシック体 18 ポイント	明朝体 14 ポイント	Times 10 ポイント	Times 10 ポイント		明朝体 10 ポイント
4. 和文，英文 (横書特別)	上記の１(和文・横書)，２(英文)に準ずる					

(b) 表題・著者名

［1］和文（横書）

- 表題は，原稿の２行目中央に記入し，２行にわたる場合は，原稿の２行目～４行目に適当な配置で記入すること．
- 著者名は、表題の後に１行あけて記入し，共著者名も同じ行に略さずに記入すること．
- 英語表題は，著者名の後に１行あけて記入し，２行以上にわたる場合は，適当な配置で記入すること．表題に使われる各単語の頭文字は，大文字とすること．ただし，冠詞・接続詞・前置詞は除く．
- 英語表記の著者名は，英語表題の後に１行あけて記入すること．名(First Name)は頭文字のみを大文字とし，姓(Family Name)は全て大文字とすること．
- 表題・著者名は，段組を行わずに中央揃えとすること．

［2］英文（他の外国語の文）

- 表題は，原稿の２行目中央に記入し，２行にわたる場合は，原稿の２行目～４行目に適当な配置で記入すること．各単語の頭文字は大文字とすること．ただし，冠詞・接続詞・前置詞は除く．
- 著者名は，表題の後に１行あけて記入すること．名(First Name)は頭文字のみを大文字とし，姓(Family Name)は全て大文字とすること．
- 表題を英語以外の外国語で表記する場合，その表題の後に１行あけて，英語表記を記入すること．そして，さらに１行あけて，著者名を記入すること．
- 表題・著者名は，段組を行わずに中央揃えとすること．

［3］和文（縦書）

- 表題は，原稿の３行目から記入すること．このとき，表題の上部には，４字程度の余白をとること．

・ 著者名は，８行目に略さずに記入すること．著者名の下部には，４字程度の余白をとること．
・ 英語表題と英語著者名は，表題ページには記入せず，論末にアスタリスク記号を表示し，その下に
“英語表題”：英語著者名
の形で記入すること．

(c) 著者の所属機関

著者の所属機関は，ページ左下に実線を引き，その下に記入すること．なお，連名の場合は，名前の後ろにアスタリスク等の記号を上付きで「*」，「**」のように付け，ページ左下に対応する所属機関を記入すること．

（注）著者の所属機関の表記法は，以下を参照すること．

○著者が本校に属する場合：学科，職名の順で記載．例）電気工学科准教授，機械工学科名誉教授
○本校以外の機関に属する場合：所属機関名を記載．例）××大学，△△株式会社，□□研究所
○本校に在籍する学生の場合：所属，学科・専攻を記載．例）本科都市工学科，専攻科応用化学専攻
○本校の卒業生の場合：所属・卒業年度を記載．例）△△株式会社（平成８年度卒）

(d) 英文要旨

論文として投稿する場合は，シングルスペースで 150 語程度の英文要旨を必要とする．ただし，和文（縦書）の論文，および資料に関しては，英文要旨を必要としない．また，英語以外の外国語（独語，仏語など）で本文を書く場合でも，論文であるならば英語による英文要旨は必要である．

・ 英文要旨は，前述(b)の英語著者名の後に１行あけ，中央に「**ABSTRACT**」と表示すること．このとき，フォントはゴシック体で全て大文字とすること．
・ 「**ABSTRACT**」から１行あけて，英文要旨の本文を記述すること．要旨を記述する際，左右に２文字程度の空白をとること．

(c) キーワード

・ 英文要旨から１行あけて「*Keywords*:」と斜文字（イタリック）の文字スタイルで記述すること．
・ 同じ行に続けて５つ以内の英文キーワードを記述すること．文字スタイルは，標準（Normal）を用いること．
・ 各キーワードは，名詞形で記述し，それぞれをカンマ（,）により区切ること．また，特に意味がある場合を除き，全て小文字で示すこと．尚，文字の大きさは 10 ポイントとする．
・ 英文キーワードが２行にわたる場合は，適切に配置し見やすいものにすること．本文が英語以外の外国語の場合，本文と同じ外国語を用いても構わない．
・ 和文（縦書），資料に関しては，キーワードは必要としない．

(f) 本文

上述のキーワードから１行あけて２段組となる本文を書き出すこと．特例を除き，本文は２段組とする．

※ 英語表現，英文要旨，キーワード，および英文論文など，外国語で記述する文章，単語は，それを読んだ国内外の読者が「正確明快に理解できる」ということに注意して執筆すること．

＜6 - 3＞　本文

本文は，章（チャプター），節（セクション）に分け，それぞれに番号と適当な見出しを付け，読者が理解しやすいようにすること．このとき，章や節の見出しのフォントは，ゴシック体にすること．

(a) 章（チャプター）について

本文中の各章の始めには，例えば，「**１．はじめに**」，「**２．実験操作**」，等々の章番号と適当な見出しを付け，改行してから文章を書くこと．また，各章の区切りは，１行あけること．

(b) 節（セクション）について

一つの章をさらに細かい節（セクション）に分ける場合は，例えば，「**2. 1 分析条件**」や「**3. 2 温度変化の追跡**」，等々の節番号と適当な見出しを付けること．文章は原則として改行せずに見出しから２文字あけて書き始めること．構成上，改行したほうが見やすくなる場合は改行しても構わない（例えば，見出しが

長くなり，文章が若干しか書けない場合など)．セクションの区切りは，行をあけないこと．

※ 節をさらに細かく分ける場合も，適当な見出しは必要となる．このとき，細節番号の決め方やフォントなどは著者の見識にゆだねることとする．例えば，「2. 2. 1」，「2. 1. 2」や「(a)」，「(b)」，「(c)」など．

＜6－4＞　数式

数式には，「(1)」，「(2)」のように通し番号を付けること．また，長い数式等が存在し，一つの式が２行以上にわたる場合は，次行の冒頭に，「＝」，「＋」，「－」，「×」，「÷」などの記号がくるようにすること．

＜6－5＞　図（写真を含む），表

ＰＤＦ原稿を印刷したとき，図表が鮮明に描かれるように作成すること．説明文（caption）は図表の中央にくるようにセンタリングし，文字サイズは，本文と同じか少し小さめであることが望ましい．

(a) 図（写真を含む）について

本文中の各図には，「図１」，「図２」，「Figure 1」，「Figure 2」のように通し番号を付け，１文字あけて図の説明文を書くこと．通し番号と説明文は，横書原稿の場合は図の下部に，縦書原稿の場合は図の右側に書くこと．図の大きさは，左右（または上下）どちらかの１段の中に納まることが望ましいが，図の性質上，２段にわたる必要がある場合は，２段使用しても構わない．

（b）表について

本文中の各表には，「表１」，「表２」，「Table 1」，「Table 2」のように通し番号を付け，１文字あけて表の説明文を書くこと．通し番号と説明文は，横書原稿の場合は表の上部に，縦書原稿の場合は表の右側に書くこと．表の大きさは，左右（または上下）どちらかの１段の中に納まることが望ましいが，表の性質上，２段にわたる必要がある場合は，２段使用しても構わない．

＜6－6＞　謝辞

論文や資料に謝辞を必要とする場合は，最終節の文末の後に１行あけて，段の中央にゴシック体で「**謝辞**」，または「**Acknowledgement(s)**」という見出しを付け，次の行から本文中と同じフォントで記述すること．謝辞には節番号は付けないこと．助成金，装置の借用，資料の提供を受けた場合は，謝辞に記述すること．

＜6－7＞　参考文献（引用文献）

(a) 参考文献の書き方

本文中で引用した参考文献は，最終節の文末の後（謝辞がある場合は，その後）に１行あけて，段の中央にゴシック体で「**参考文献**」，または「**REFERENCES**」という見出しを付け，次の行から本文中と同じフォントで記載すること．参考文献には節番号は付けないこと．なお，和文，英文以外の論文は，使用した言語で「参考文献」を意味する単語を記載すること．

引用した参考文献には，本文中で現れる順番に通し番号を付け，左詰めで書くこと．参考文献の記述様式は，原則として，著者名，題目（表題），論文誌名（雑誌名または出版社），巻，号，ページ，発表年月（出版年月）の順に記述すること．

（参考文献の記述例）以下の例は全て架空のものである．

(1) 神戸太郎，高専次郎，その他：「高専教育に関する研究」，神戸高専研究紀要，第 55 号，pp.30-35，2000.
(2) 神戸太郎著：「高等専門学校の変遷」，コロナ社，第２章，1975.
(3) 調査専門委員会編集：「最近の科学の進歩について」，電気学会，1989.
(4) 神戸三郎，その他：「有機化合物の発光特性」，応物学会全国大会講演論文集[3]，pp.3-75，2000.
(5) 神戸花子：「SI デバイスの応用」，物理学会 SI デバイス研究会講演論文集，Vol.7，pp.23-28，1998.
(6) 高専史郎，高専五郎：「長良川河口堰の現状」，土木学会論文誌 A，Vol.116-7，pp.245-253，1997.
(7) Hanako Kosen, Taro Kobe, et al. : ” A Novel Scheme for DSG System” , IEE-Transactions on Nuclear Science, Vol.30, No.5, pp.555-561, 1999.
(8) Taro Kobe : ” Design Considerations for New Circuit Topology” , Proceedings of IEEE-International Symposium on Power Electronics Circuit (SPEC’98), Vol.1, pp.23-28, 1998.

英文の場合，「Conference」や「Symposium」，「International」等を「Conf.」，「Symp.」，「Int.」と略しても構わない．また，「Proceedings」や「Transactions」等も「Proc.」，「Trans.」と略しても構わない．

上記の文献(8)を略式で記述すると以下のようになる.

(8) Taro Kobe : ”Design Considerations for New Circuit Topology”, IEEE Proc. Int. Symp. on Power Electronics Circuit (SPEC’98), Vol.1, pp.23-28, 1998.

（b）本文中での引用

本文中に引用する場合は，その文章や項目の終わりに，「[1]」，「[1],[3]」，「[4]-[8]」のように，文末に挙げた参考文献の文献番号を上付で記入すること．また，参考文献中の文章等をそのまま引用する場合は，引用符「　」や“　”，で括るか，横書の場合は左端に，縦書の場合は上端に，本文より２～３文字（４～６文字）多めに余白を取り，引用箇所が明確に識別できるようにすること．本文と引用箇所の間に１行空白を入れても構わない．

一般に公開されていない委員会報告等は参考文献としてあげないようにすること．また，掲載は決定しているが未発行の論文等は，巻，ページの代わりに「印刷中」もしくは「in press」と書くこと．

尚，ページのレイアウトに関する詳細は，本規定の末尾に添付した『神戸高専の紀要に関するフォーマット』を参照すること．

７．著作権

神戸高専研究要に掲載された論文，資料の著作権（著作財産権，Copyright）は神戸市立工業高等専門学校に帰属する．

尚，本投稿規定は，平成 24 年 8 月に改正され，平成 24 年度から施行されるものとする．
（平成 18 年 3 月改訂）
（平成 21 年 3 月改訂）
（平成 22 年 12 月改訂）
（平成 24 年 8 月改訂）

【テンプレート中の青文字は全て削除して下さい】
rev. 20120808

25 mm

（1行空ける）

神戸高専の紀要に関するフォーマット（18 pt，ゴシック）

（1行空ける）

神戸太郎*　　高専次郎**（12 pt）

（1行空ける）

Format for Memoirs of Kobe City College of Technology (14 pt)

（1行空ける）

Taro KOBE*　　Jiro KOSEN** (12 pt)

（1行空ける）

ABSTRACT (10 pt, Sans-serif)

（1行空ける）

行頭は字下げせずに，150 ワード程度の英文要旨を，10 ポイント，Times 系書体で書く．この時，左右にはそれぞれ 2 文字程度の余白を取ることを忘れないようにする．充分に推敲した英文要旨を記載すること．また，要旨は改行せずに一段落で書き，引用番号を付けての文献引用はしない（必要であれば要旨中に記述する）．

（1行空ける）

Keywords : format, reference（Times 系 10 pt, *“Keywords”*のみ斜体, 5 件以内，左に 2 文字程度余白）

（1行空ける）

1. はじめに

このファイルは投稿規定の中で特に重要と思われる部分および補足説明を記したものである．詳細については，

16 mm

http://www.kobe-kosen.ac.jp/activity/publication/kiyou/ を参照すること．なお，このファイルは Windows 版 Microsoft Word （2003 以前）で作成しているので，これ以外の環境では適宜調整すること．

見出し，本文とも 10 pt とし，章と節の見出しのみゴシック/Sans-serif 体にする．本文は，和文は明朝体，英数字は Times 系とする．和文中に混在する英数字も Times 系とすること．

（章の間は１行空ける）

2. 章の分け方

章と章の区切りは上記のように改行し，必ず 1 行空ける．また，本文は，章の見出しを記述した行から改行して書き始めること．（↓節の間は改行しない）

2.1 節について　節（セクション）の見出しには，左記のように「．」で区切った節番号をつける．このときセクションの本文は，セクションの見出しを記述した行から改行せず，２文字分あけて書き始めること．ただし，下記のように見出しでその行のほとんどが埋まる場合は改行して本文を書き始めても構わない．（↓節の間は改行しない）

2.2 節を更に細かく分ける場合（サブセクション）

更に細かく分けられた節（サブセクション）には，適当な見出しは必要であるが，その記述方法や使用書体は著者に委ねる．例として，「2.2.1」，「2.2.2」や (a) (b) (c) など．

16 mm

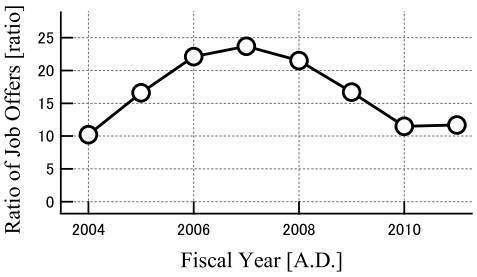


図１　神戸高専本科の求人倍率の推移．

（図表の下は１行空ける）

表１　投稿紀要のフォーマット．

フォーマット	段組・文字×行数	文字	制限枚数
1. 和文	2 段, 24 字×50 行	10 pt	原則 6 ページ以内．超過の場合も 10 ページ以内．それ以上は認めない．
2. 英文	2 段, 48 字×50 行		
3. 和文（縦書）	2 段, 33 字×32 行		
4. 横書　（和）	1 段, 48 字×46 行		
特例　（英）	1 段, 96 字×46 行		

（図表の下は１行空ける）

3. 原稿の記述について

下記の指針に従って原稿を作成すること．

3.1 図や表について　図や表は，図１や表１のように

*　一般科　教授
**　専攻科　電気電子工学専攻

24 mm

通し番号を付けて掲載すること．通し番号と説明文は，図の場合は下部，表の場合は上部に記載する．

3.2 単位について　数値と単位の間に空白を入れ，変数を表す文字は斜体（イタリック体），数値と単位は正立（ブロック体）で記述すること．例：左右マージンは $d = 16$ mm とする．

3.3 参考文献について　参考文献は末尾のフォーマットを参考に引用順に列挙すること[(1)]．引用は上付き，丸括弧で番号を記すこと[(2)(3)]．

3.4 投稿ファイルについて　投稿は PDF ファイルとする．その際，図表が充分なクオリティであることと，全てのフォントが埋め込まれていることを確認すること．印刷工程上，フォントが埋め込まれていない原稿は処理できない．フォントが埋め込めているかどうかについては，Adobe Reader であれば，[ファイル]-[プロパティ]-[フォント] で全てのフォントが図２のように「(埋め込みサブセット)」と表示されていることを確認すればよい．

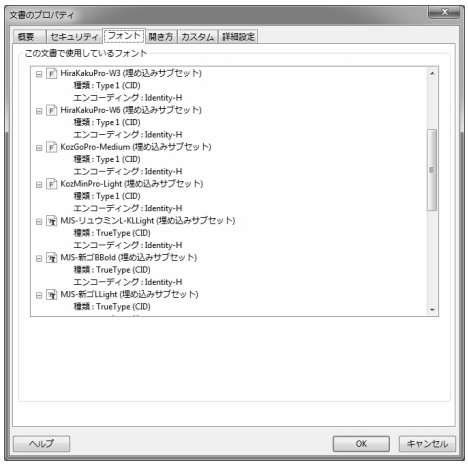


図２　フォント埋め込みの確認．

（図表の下は１行空ける）

なお，オンライン公開なので必要であればカラー図版を使用しても差し支えない．また，ランニングヘッド，ページ番号および受理年月日は，編集時に一括処理するので原稿に記入しないこと．

（章の間は１行空ける）

4. まとめ

投稿者が提出した PDF 原稿がそのまま印刷原稿として用いられるため，決められた規定には充分注意を払って原稿を作成して頂きたい．神戸高専研究紀要をより充実したものにするため，みなさまのご協力をお願いする．

（謝辞の前は１行空ける）

謝辞

本研究の一部は○○の支援を受けて進められました．ここに謝意を表します．

（参考文献の前は１行空ける）

参考文献

(1) 研究振興委員：「神戸高専研究紀要 投稿規定」，神戸高専研究紀要，第 37-2 号，pp.75-78，1999.

(2) Hanako Kosen, Taro Kobe *et al.*: “A Novel Scheme for Kosen System”, IEEE Trans. on Kosen Education, Vol.12, No. 3, pp.456-789, 2012.

(3) 高専次郎：「高専紀要執筆学概論」，神戸高専出版，2012.

研　究　紀　要　第 52 号　（非売品）

発　行　日　平成 26 年 3 月 12 日

発　行　者　神戸市立工業高等専門学校

神戸市西区学園東町 8 丁目 3 番地

TEL (078) 795－3311　(代)

FAX (078) 795－3314

神戸市広報印刷物登録

平成 25 年度　第 358 号　(広報印刷物規格 A-6 類)