

研 究 紀 要

第 53 号

平成 27 年 3 月

RESEARCH REPORTS
OF
KOBE CITY COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 53
MARCH, 2015

神戸市立工業高等専門学校

目 次

論 文

超音波を用いた FRP 積層板の成形モニタリング	朴 将海, 和田 明浩	1
各種支援燃焼によるディーゼルエンジンでの燃焼及び排ガス特性	渡邊 紳之介, 吉本 隆光	7
各種噴流火炎におけるプラズマ支援燃焼特性	鍛冶 勇至, 吉本 隆光	13
ビスー、トリスー、テトラキス-8-キノリノール化合物の合成	大淵 真一, 元山 貴雄, 瓜本 英昭	19
時間スケールの違いからみた明石川河口の地形変動特性	岸本 周平, 宇野 宏司	25
TOEIC Bridge と TOEIC の関係について	上垣 宗明	31
Relationship Between Curriculum and Society -A Brief Overview of Japan's Education System From 1945 - 2014	Mark Andrew PILEGGI	37
風化花崗岩地域における表土層深分布推定手法に関する基礎的研究	鳥居 宣之	41
工学教育のための実践的実験教材開発	藤本 健司, 早稲田 一嘉	51
東海道鉄道ルートにおける路線および線形の変遷に関する研究	橋本 渉一	57
外国人による神戸市の『緑空間』に関するSD調査	高科 豊, 沖本 慎一, 吉田 莉来, 宮崎 舞	61
英語指導者を対象にした多読に関する質問紙調査から一予備的研究一	今村 一博	67
契丹陶磁の「周縁性」に関する検討(4)ー西夏陶磁との関連からー	町田 吉隆	73

資 料

カレーの具材が甘さに及ぼす影響について	江副 真悠, 細野 悠風, 浦島 愛世, 内山 玄太郎, 中妻 果穂, 中岩 映梨香, 西山 貴偉, 稲本 宅哉, 久保 昂大, 谷口 博, 大多喜 重明	79
石鹼による精油の滅菌作用に関する調査	梅原 航輔, 山崎 敬太郎, 中村 啓太郎, 山添 智暉, 西脇 郁弥, 阿部 佑貴, 茨木 溪太, 大塩 愛子, 谷口 博, 大多喜 重明	85

CONTENTS

PAPERS

Ultrasonic Cure Monitoring of FRP Laminates	Changhae PAK, Akihiro WADA	1
Characteristics of exhaust gas and combustion in a diesel engine by various species of assisted combustion	Shinnosuke WATANABE, Takamitsu YOSHIMOTO	7
Characteristics on Plasma Assisted Combustion of Various Jet Flame	Yuhshi KAJI, Takamitsu YOSHIMOTO	13
Synthesis of Bis-, Tris-, Tetrakis-8-Quinolinol Compounds	Shinichi OHFUCHI, Takao MOTOYAMA, Hideaki URIMOTO	19
The Characteristic of Topographic Change of the Akashi River Mouth with the Different Time Scale	Shuhei KISHIMOTO, Kohji UNO	25
Relationship between TOEIC Bridge and TOEIC Scores	Muneaki UEGAKI	31
Relationship Between Curriculum and Society -A Brief Overview of Japan's Education System From 1945 - 2014	Mark Andrew PILEGGI	37
Estimation method for the Distribution of the thickness of decomposed granite soils	Nobuyuki Torii	41
Practical Experiment Teaching Materials Development for Engineering Education	Kenji FUJIMOTO, Kazuyoshi WASEDA	51
Transition of Route and Track Standards in Tokaido Railway Line	Shoichi HASHIMOTO	57
Semantic Differential Research on “Green Space” of Kobe City by Foreigner	Yutaka TAKASHINA, Shinichi OKIMOTO, Riku YOSHIDA, Mai MIYAZAKI	61
A Preliminary Study Based on a Questionnaire Survey of English Teachers on Extensive Reading	Kazuhiro IMAMURA	67
Examining on the Border Character of the Kitai Pottery in China(4):To relate with the Pottery of Xixia Dynasty	Yoshitaka MACHIDA	73

RESEARCHES AND FINDINGS

Sweetness Impact of Curry Ingredient	Mayu EZOE, Haruka HOSONO, Naruyo URASHIMA, Gentaro UCHIYAMA, Kaho NAKATSUMA, Erika NAKAIWA, Takayori NISHIYAMA, Takuya INAMOTO, Akihiro KUBO, Hiroshi TANIGUCHI, Shigeaki OHTAKI	79
A Study on the Sterilizing Activity of Pure Botanical Essential Oil Soaps	Kousuke UMEHARA, Keitarou YAMASAKI, Keitarou NAKAMURA, Tomoaki YAMAZOE, Humiya NISHIWAKI, Yuuki ABE, Keita IBARAKI, Aiko OSHIO, Hiroshi TANIGUCHI, Shigeaki OTAKI	85

超音波を用いた FRP 積層板の成形モニタリング

朴将海* 和田明浩**

Ultrasonic Cure Monitoring of FRP Laminates

Changhae PAK* Akihiro WADA**

ABSTRACT

In the field of civil engineering, laminated plates consisting of thermoplastic and SMC (Sheet molding compound) are used to rehabilitate aged sewerage pipes. In order to reduce the construction cost by minimizing the cycle time, cure monitoring is required. In this study, an ultrasonic testing is applied to investigate the curing process in SMC. Instead of conventional method in which through-thickness ultrasonic wave is used, wheel type probes are adopted to transmit and receive Lamb waves. AIC (Akaike Information Criterion) is introduced to evaluate the arrival time of transmitted waves in curing process. Two types of waveform, pulse and burst waves are examined to confirm the effect of waveform on the accuracy of measurement. It was found that the arrival time of Lamb wave can be used as cure index because it decreases with degree of cure and tends to be almost constant during post cure process.

Key words : GFRP, Rehabilitated pipe, Ultrasonic, Cure monitoring, Akaike Information Criterion

1. 緒言

現在、高度成長期に敷設された多くの下水管が老朽化している。神戸市では平成 22 年度末で下水管の敷設延長が 4036km に及ぶ。しかし管年齢 30 年を超過した老朽管が全体の約 50%を占めており、下水管の改築更新が求められている^①。最も信頼性の高い工法は下水管の工事による敷設替であるが現場の条件などにより敷設替が困難である場合、改築方法の一つとして管更生工法が利用される。この工法では古くなった下水管の中にガラス繊維と熱硬化性樹脂からなる未硬化の FRP 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、加熱硬化させることで老朽管内に FRP パイプを形成する。この際、地下水の侵入により硬化が遅れる場合があるため、現場における作業工程としては加熱時間を長くするなどに対応しており、余分な加熱時間を含んでいる可能性がある。そこで、成形時にリアルタイムで FRP の硬化状態を測定する成形モニタリングが求められている。成形モニタリングにより硬化度を判断できれば硬化不良を未然に防ぐことができ、また作業終了のタイミングを客観的に判断することができるため、作業時間の短縮につながる。

樹脂の硬化モニタリングには光の屈折率を測定する方法^②、光透過性を利用する方法^③、イオン粘度を測定する方法^④、硬化時の反応熱を測定する方法などがある。しかしこれらはセンサを固定しなければならない、常時測定が必要などの制限があるため下水道更生管のように広範囲にわたって検査が

必要な試料に対しては適さない。そこで本研究では測定位置の走査が容易な超音波測定法を採用し、超音波による成形モニタリングの可能性について検討した。また、広域を効率よく検査するためにタイヤ探触子を用いた。

2. 超音波による成形モニタリング

2.1 供試材 Fig. 1 に検査に用いた試料の材料構成を示す。試料は実際の下水道更生管に使用されているものと同じで、有機織物、SMC、熱可塑性樹脂をコーティングした有機織物の積層材とした。熱可塑性樹脂層が更生管の内側に相当し成形後の板厚は約 8mm である。本研究では SMC 層の硬化度を超音波により常時モニタリングすることを試みた。

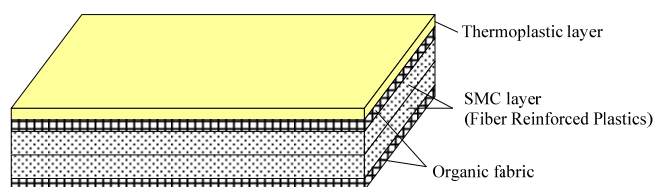


Fig. 1 Laminate configuration of the specimen.

2.2 超音波測定法 従来の超音波測定法では板厚方向に伝播する垂直入射法が多く利用されてきたが、本研究では広域を効率よく検査するために斜角入射法を採用した。Fig. 2 に斜角入射法の概略図を示す。送受信探触子を試料表面に対し斜角で設置し、発信機から縦波が発信され板波(ラム波)として材料中を伝播した波を受信機によ

* 神戸市立工業高等専門学校 専攻科 機械システム工学専攻

** 神戸市立工業高等専門学校 機械工学科 教授

って検出する。この方法では送受信探触子に挟まれた領域が検査領域となるため、1回の操作で垂直入射法に比べて広い領域を検査することができる。しかし、超音波の入射効率を高めるために探触子と試料の間に水を配置し検査対象物を水没させる必要があるため、実際の下水管などの大型構造物の検査には適さない。この問題を解決するために、本研究では Fig. 3 に示すようなタイヤ探触子を利用した。タイヤ探触子は充填液で満たされたゴムタイヤ内部に送受信探触子が斜角で配置された構造になっている。超音波は充填液とゴムタイヤを介して試料に入射される。そのため Fig. 2 で示した水浸法とほぼ同じ条件で超音波測定を行うことができる。加えて、タイヤを回転させて場所を変えながら測定を行うことで広域を効率よく検査することができるため、下水道更生管のような大型構造物にも適用できる。探触子の傾斜角は超音波測定に影響を及ぼすため角度の最適化が必要になるが、タイヤ探触子の構造的な制約から本実験においては傾斜角度 10° のものを用いた。

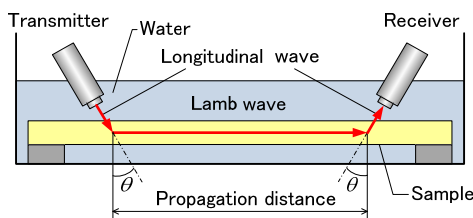


Fig. 2 Schematic diagram of ultrasonic oblique incidence.

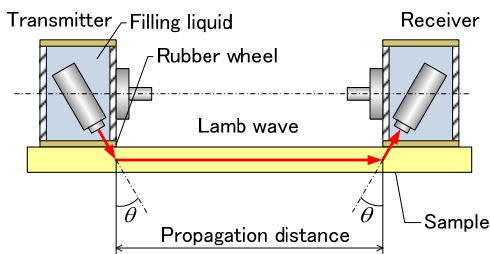


Fig. 3 Schematic diagram of ultrasonic testing with wheel type probes.

2.3 実験システム Fig. 4に本実験で用いた実験システムの概略を示す。前節で示した成形材料を金型にセットし、バギングフィルムをかぶせた後、真空引きしてフィルムを試料に圧着させた。実際には蒸気によって加熱を行うが本実験では金型をオープンに設置し、設定温度 90°C で加熱成形した。Fig. 5は実際のオープン内部の様子である。成形中は常時試料表面中央にタイヤ探触子を2つ中心間距離 100mm でセットし、一方の探触子から送信した超音波を他方の探触子で受信することで信号を測定した。また、試料表面及び内部に熱電対をセットし、成形中の温度変化も測定することで温度と超音波を同時にモニタリングした。入力波は振幅 100V 、周波数 160kHz のバースト波とし、インターバル 10ms とした。

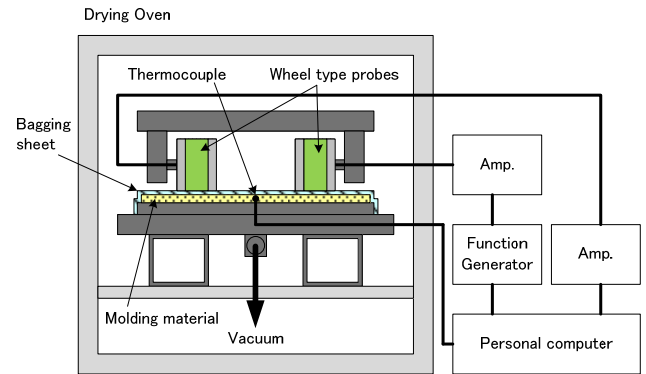


Fig. 4 Experimental setup for ultrasonic cure monitoring.

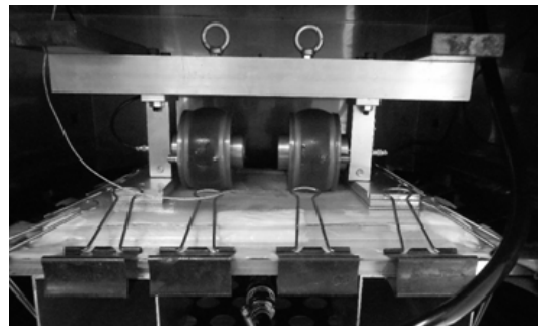


Fig. 5 Appearance of inside of the oven.

3. 受信波強度による評価

Fig. 6に成形モニタリング中に検出された波形の例を示す。成形開始から20分で信号は検出されず、40分頃から波形が現れ始めた。その後50分、60分と時間とともに波形は変形した。材料が未硬化であると、超音波はその領域の粘弾性特性により吸収され未硬化領域がない場合に比べて大きく減衰する。これより樹脂の硬化前と硬化後の受信波強度には大きな差が生じる。以下では得られた波形と温度変化の対応関係を明らかにすることで、受信波強度による硬化度評価を試みた。

Fig. 7に受信波強度と温度変化の関係を示す。上下のグラフは同じ実験条件による測定結果である。オープンの設定温度 90°C に対して測定温度が 100°C 辺りまで上昇した。これはSMCが硬化する時に生じる反応熱の影響だと考えられる。この反応熱が収まってきた時間帯から受信波強度が増加する傾向が見られた。上図において受信波強度は成形開始から40分頃にピークに達し、その後減少し70分頃から再び増加傾向を見せた。一方下図では上図に比べて受信波強度は緩やかに増加し50分頃ピークに達した後、緩やかに減少した。このことから、受信波強度を用いて樹脂硬化のおおよそのタイミングを知ることができることがわかった。しかし、増加した受信波強度は再び減少したため、温度と受信波強度との間に1対1の対応関係が得られなかった。また、硬化過程の受信波強度の振る舞いは実験ごとに異なり安定しなかったため、硬化度判断の指標として利用することは困難であることがわかった。

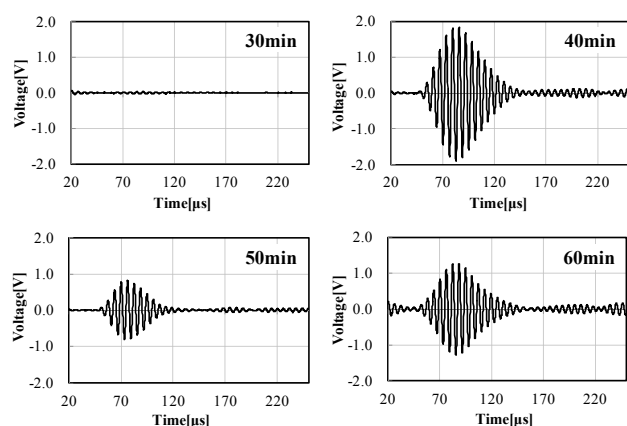


Fig. 6 Example of received waves with 160kHz.

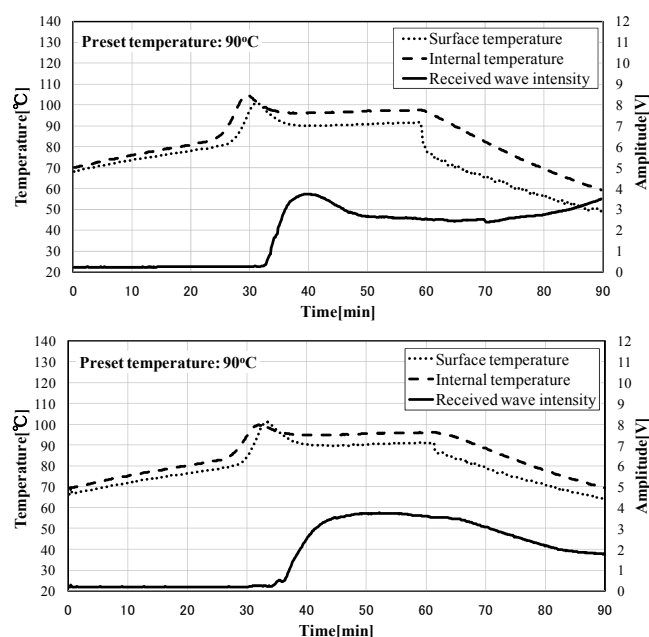


Fig. 7 Variation in received wave intensity and temperature in curing process.

4. 周波数解析による評価

樹脂が硬化すると高周波数成分の超音波が伝播しやすくなることが予想される。そこで周波数解析に基づいて樹脂の硬化度を評価することを試みた。高周波成分の波が伝播したかどうかを検証するために入力信号を160kHzから320kHzに変更して前章と同様の実験を行った。Fig. 8に入力波を320kHzとしたときの受信波形の一例を示す。160kHz のときと同様、成形開始から40分で波形が現れ硬化とともに波形が変化していった。これらの波形を周波数解析した結果をFig.9に示す。成形開始から40分後、タイヤ探触子の共振周波数である160kHz周辺の周波数成分が検出された。そして時間が経過するにつれて160kHzの周波数成分の検出強度が増加した。しかし、成形開始から60分後の樹脂硬化がかなり進んだ時間帯においても320kHzの周波数成分はほとんど検出されなかった。成形開始から80分後、

冷却過程に入った段階で320kHzの周波数成分はようやく検出された。加熱しながら超音波測定を行う実際の管更生作業における成形モニタリングでは冷却過程以前に硬化完了を判断することが求められるが、周波数分析では硬化初期段階の硬化度の相違を評価できないためリアルタイムでの硬化モニタリングには適さないことがわかった。

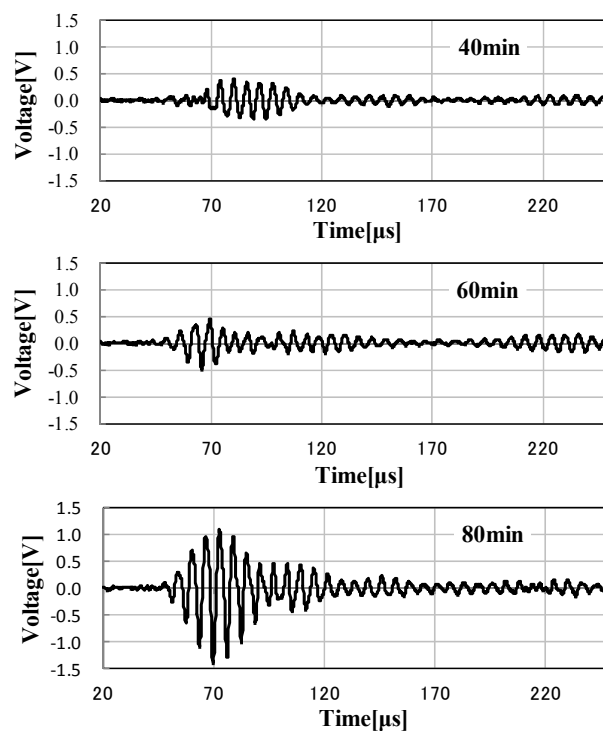


Fig. 8 Example of received waves with 320kHz.

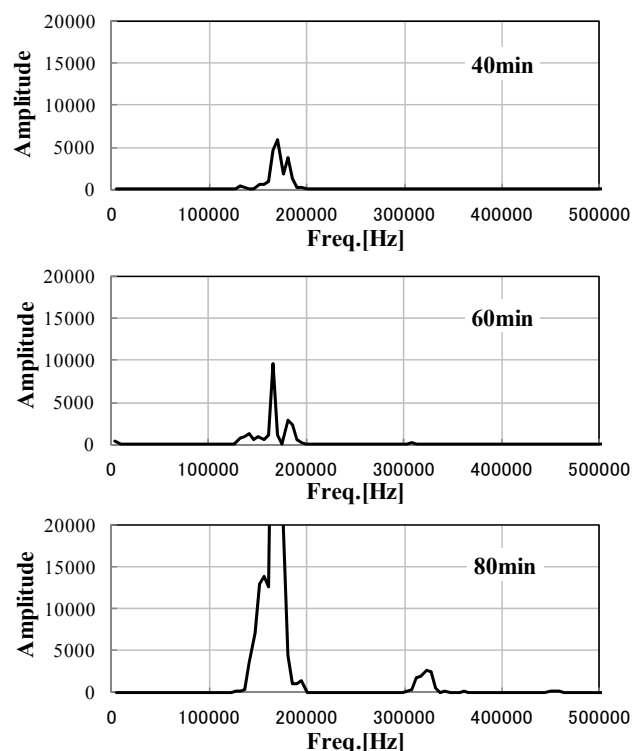


Fig. 9 Variation in spectrum diagram with time.

5. 波形到達時刻による評価

5.1 音速測定法 弾性体を伝播する超音波の伝播速度は次式により与えられる。

$$c \doteq \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

ここで、 c は超音波の伝播速度、 E は材料の弾性率、 ρ は材料の密度である。一般に樹脂の硬化に伴って弾性率は増加するためその中を伝播する超音波の速度が速くなる。この性質を用いて硬化度を判断することを試みた。以下では波の伝播速度を評価対象とするが、本実験では伝播距離が不明確なため、伝播速度にかえて波の到達時刻で評価を行った。

波の到達時刻は、波形データの先頭位置に対応するゼロクロスポイントを読み取る方法が一般的である。Fig.10に示すようなパルス状の波形の場合、最初のゼロクロスポイントを波形データの先頭位置とみなすことは容易である。しかし、本実験で得られた波形データにはFig.11のように入力波の影響やノイズが含まれているため、ゼロクロスポイントの候補が複数存在する。そのためゼロクロスポイントを読み取る方法では読み取り誤差が生じる可能性がある。

波形データの先頭位置を正確に決め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ればよい。そこで、本研究ではこの区間分割の判断基準として赤池情報量基準(AIC)⁽⁶⁾を用いた。これを用いることで、数学的客観性を保ちつつ精度の高い読み取りが可能となる。AICは次式で定義される。

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

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. 12 のように n 個の点を 2 つに分け、区間 1(1~ k)に MODEL 1、区間 2($k+1$ ~ n)に MODEL 2 を最尤法によりあてはめ、このときの 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、 $k_{\min}$ を分割点とする。

このとき、 n 個の点を 1 つの区間として MODEL 0 をあてはめ AIC を計算すれば、AIC($k_{\min}$)との比較から区間分割を行うべきかどうかの判断に使うこともできる。

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た。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⁽⁶⁾。

$$AIC(k) = n \log 2\pi + k \log \sigma_1^2 + (n - k) \log \sigma_2^2 + n + 2 \times 4 \quad (3)$$

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時の分散である。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した。

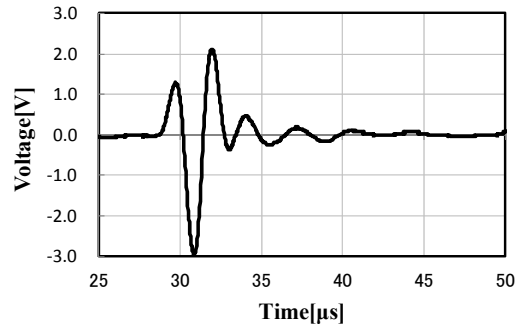


Fig. 10 Example of zero-cross detecting method.

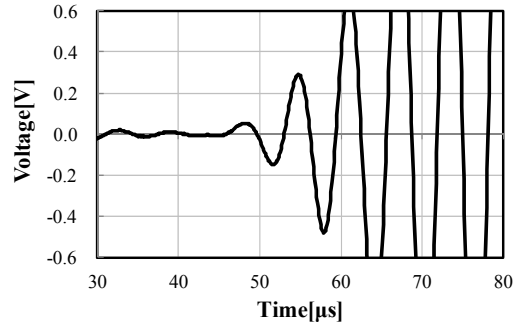


Fig. 11 Example of detected waveform in the experiment.

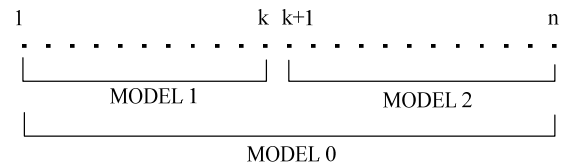


Fig. 12 Illustration of the method to divide a section.

5.2 バースト波による評価結果

Fig. 13に波形到達時刻と温度変化の関係を示す。モニタリングの初期段階では、樹脂が未硬化で超音波の減衰率が大きく信号がほとんど検出されないため、AIC解析値に変動があり波形到達時刻は安定しないが、硬化による反応熱がピークを過ぎた時間帯から波形到達時刻が急速に減少し、一定値に収束する傾向が見られた。これはFRP積層板が硬化したことによって材料剛性が大きくなったことを表している。また冷却過程に至る以前では各実験において同様の傾向を示しており、波形到達時刻は近い値に収束した。したがって到達時刻による硬化モニタリングには再現性があり、硬化度判断の指標として利用できる可能性がある。しかしこの方法では、波形到達時刻の読み取りが正確に行われていない時間帯が存在する。例えばFig. 13の反応熱が収まった直後、成形開始から30~40分の時間帯で樹脂は硬化の段階にあるため波形到達時刻は減少傾向になければならないが一部増加している箇所が存在する。このような硬化段階での読み取り誤差は作業終了の判断を誤る原因となるため正確な波形到達時刻の読み取りが求められる。

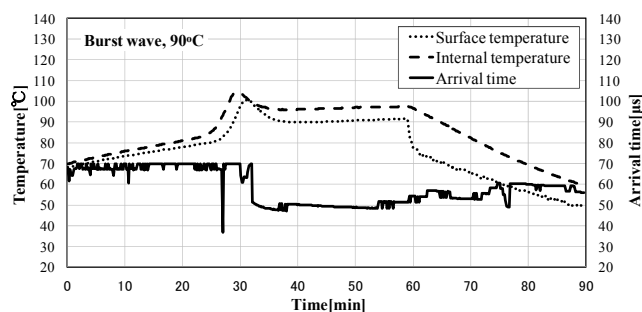


Fig. 13 Variation in arrival time and temperature with burst wave.

5.3 パルス波による評価結果 読み取り精度を改善するために入力波をバースト波からパルス波に変えて実験を行った. Fig. 14 にパルス波を用いた時の波形到達時刻と温度変化の関係を示す. バースト波の場合と同じようにパルス波の場合でも波形到達時刻は一定値に収束する傾向が見られ, 各実験において収束値は近い値を示した. また Fig. 13 に見られたような硬化段階での到達時刻の増加箇所はなくなり, モニタリング終盤にかけても到達時刻が徐々に減少する傾向が見られた. 結果的にパルス波を用いることでバースト波よりも正確な波形の到達時刻が得られ, より正確な成形モニタリングが可能であることがわかった.

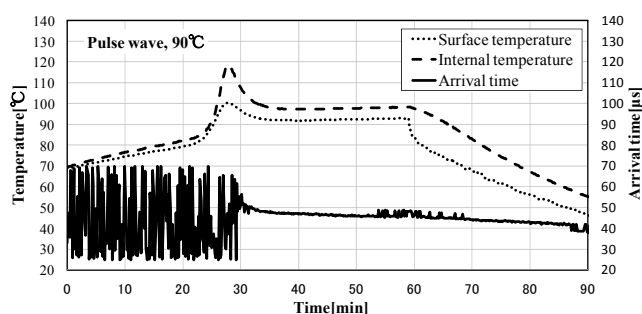


Fig. 14 Variation in arrival time and temperature with pulse wave.

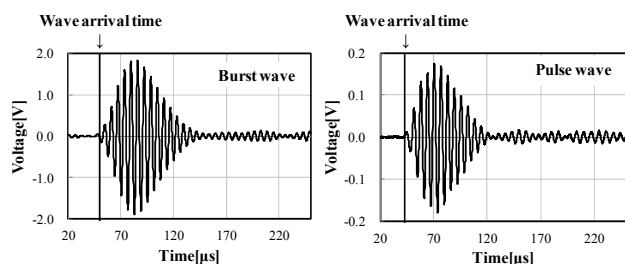


Fig. 15 Comparison between two types of waveform.

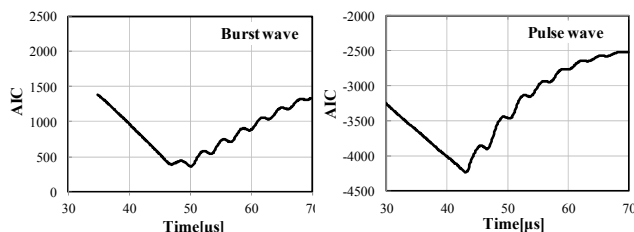


Fig. 16 Comparison between corresponding AIC values.

Fig. 15 にバースト波を用いた場合とパルス波を用いた場合の受信波形の比較を示す. 一見同じような波形であるが, パルス波による受信波形の方がバースト波に比べて先頭の立ち上がり方がより明確である. Fig. 16はFig. 16に対応するAIC値の変化であり, AICが最小となる時刻が波形到達時刻に相当する. バースト波を用いた場合, AICの第1極小値(361)と第2極小値(391)の差が小さく波形到達時刻の候補が複数存在する. 一方パルス波を用いた場合, AICの第1極小値(-4236)と第2極小値(-3893)は比較的離れており, パルス波では波形到達時刻が明確に判断できる. したがってパルス波を用いることでより正確に波形到達時刻を決定することができると考えられる.

5.4 成形温度による違い 成形温度の違いが成形モニタリングに及ぼす影響を調査するために, 成形温度を80°Cに設定して実験を行った. パルス波を用いた波形到達時刻と温度変化の関係を Fig. 17 に示す. 90°Cの場合と同様にモニタリング初期段階では信号が検出されず, 到達時刻が大きく変動している. 硬化に伴う反応熱によって設定温度 90°Cの場合よりもゆっくりと温度が上昇し, 温度のピークは 90°Cの時ほど上昇せずに収まった. これは反応速度が 90°Cの場合よりも遅いことを表している. 波形到達時刻も設定温度 90°Cの場合と比べて緩やかに減少し, 一定値に収束する傾向が見られた. このことから, 成形温度による硬化速度の違いも波形到達時刻によって検出できることがわかった.

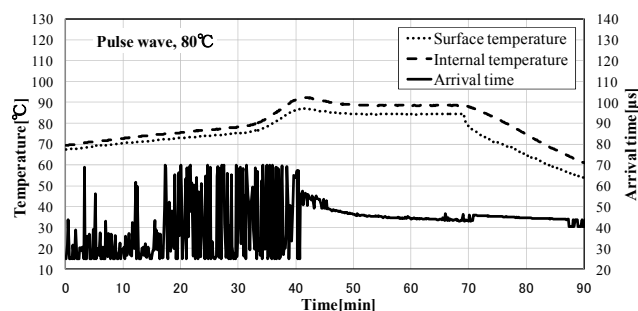


Fig. 17 Variation in arrival time and temperature in curing process with 80°C.

6. 力学特性と受信波の到達時刻の比較

6.1 試験条件 成形モニタリングの際に得られる受信波の到達時刻と樹脂の硬化度との関係を明らかにするために成形温度 80°C, 90°Cで作成された硬化度の異なる2種類の成形板に対して, JIS 7171 に基づいて三点曲げ試験を行った. 各試料から5本ずつ, 幅約20mm, 長さ約120mm(厚さ約8mm)の試験片を取り出し, Fig. 18に示すように三点曲げ試験による力学特性評価を行った. スパン長さは100mmとし, 負荷速度2mm/minでFig. 1の有機物側から圧子により荷重を加えた.

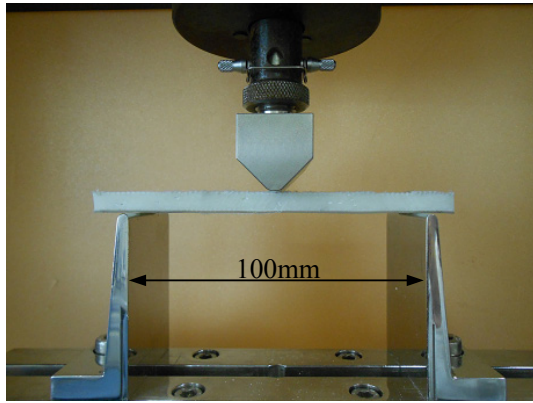


Fig. 18 Photograph of bending test.

6.2 曲げ試験結果 試験によって得られた荷重－たわみ線図をFig. 19に示す. 90℃で成形した試験片の最大荷重は 80℃成形品に比べて大きく, 荷重－たわみ線図の傾きも大きい. 三点曲げ試験で得られた荷重－たわみ線図の最大荷重点より曲げ強度を, 傾きが直線的な初期区間から曲げ弾性率を算出した. その結果を Fig. 20 に示す. 曲げ強度, 弾性率共に成形温度が高い 90℃成形品の方が高い値を示し, 成形温度の違いによって試料の硬化度が異なることを確認することができた. Fig. 14とFig. 17において, 内部温度ピークから 15 分後の到達時刻の収束値はそれぞれ 41.7 μ s, 45 μ s で, 弾性率の高い 90℃成形品の方が波形到達時刻の収束値が速い. このことから波形到達時刻の収束値は材料の力学特性と対応していることが確認できた.

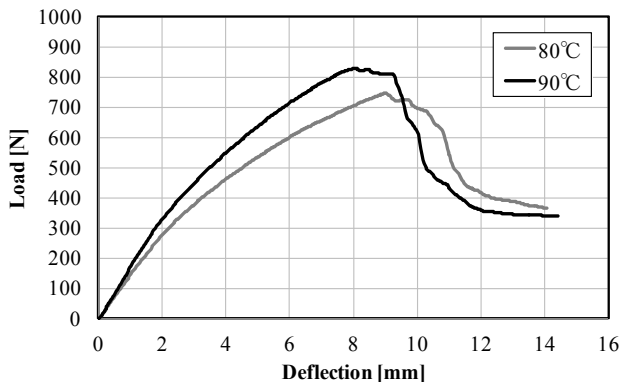


Fig. 19 Load-deflection diagram of GFRP laminates.

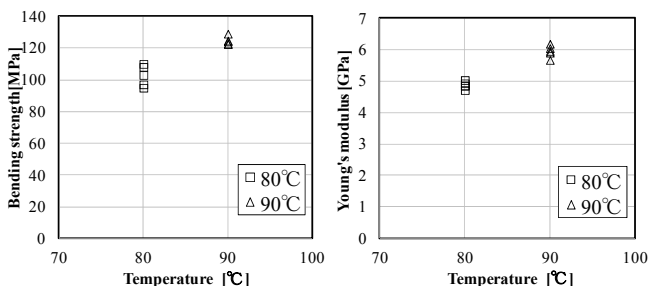


Fig. 20 Variation in bending strength and Young's modulus with temperature.

7. 結言

本研究では, 管更生工法における作業時間の短縮化を目的として, 超音波による GFRP 積層材の成形モニタリングについて検討した. 評価パラメータとして超音波の受信波強度, 周波数特性および受信波の到達時間の適用を試みた. 以下に得られた結論を示す.

- (1) 受信波強度を用いて樹脂硬化のおおよそのタイミングを知ることはできるが, 硬化度との間に 1 対 1 の関係がなく測定結果の再現性が低いことから, 硬化度判断の指標には適さない.
- (2) 受信波の周波数解析による評価では, 樹脂硬化直後における周波数成分の変化が小さいため硬化度判断が難しい.
- (3) AIC 解析に基づき算出した波形到達時刻は樹脂硬化とともに一定値に収束する傾向が見られ, 反応速度の相違も検出可能である.
- (4) 入力波をバースト波からスクエアパルスに変更することで, 樹脂硬化過程での受信波の到達時刻測定をより正確に行うことができる.
- (5) 波形到達時刻の収束値は材料の力学特性と対応しており, 樹脂硬化度の判断指標となり得る.

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:「神戸市の污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.20-25, 2012.
- (2) 高坂達郎:「シングル光ファイバを用いた屈折率リアルタイム測定法による樹脂の硬化モニタリング」, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.59, No.5, pp.391-397, 2010.
- (3) 葉名紀彦:「光透過性変化による GFRP の簡易形成モニタリング」, Journal of Society of Materials Science, Japan, Vol.56, No.8, pp.771-776, 2007.
- (4) 神野昌明:「耐熱タフエポキシ系 CFRP の硬化モニタリング」, Journal of Society of Materials Science, Japan, Vol.52, No.4, pp.413-418, 2003.
- (5) AKAIKE, H.:「Information theory and an extension of the maximum likelihood principle」, 2nd International Symposium on Information Theory, eds. B.N.Petrov and F.Csaki, Akademiai Kiado; Budapest, pp.267-281, 1973.
- (6) 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.

各種支援燃焼によるディーゼルエンジンでの 燃焼及び排ガス特性

渡邊紳之介* 吉本隆光**

Characteristics of exhaust gas and combustion in a diesel engine by various species of assisted combustion

Shinnosuke WATANABE* Takamitsu YOSHIMOTO**

ABSTRACT

The diesel engine has the high thermal efficiency and can be powered by the various species of fuels. However, the contents of exhaust gas from a diesel engine such as NO_x and other substances cause to the air pollution. The non-thermal equilibrium plasma is applied to a pre-processing. The objective is to study the effect of the reduction of NO_x and improve the state of the engine by performing the corona discharge where intake air flows, thereby generating a negative corona and positive corona. The results are obtained as follows. (1) Reduction of NO_x is found in the case of performing a corona discharge of more than 4.0 kV to the normal air conditions. In addition, if it is mixed with CH_4 , reduction in NO_x concentration is observed regardless to the voltage to be discharged. (2) Amount of the dust is increased by adding of CH_4 . There is no reduction in amount of the dust if it is mixed in the intake air with a corona discharge.

Keywords : Combustion, Exhaust gas, NO_x , Corona discharge

1. はじめに

高まる環境問題への取り組みの中、各種内燃機関の排出ガスによる大気汚染は地球規模の問題で、陸上だけでなく海洋においても大きな問題となっている。特に、海洋では陸上に比べて低質な硫黄分の多い燃料が多く使用されており、硫酸化物や煤塵の排出が問題視されている。一方で、石油自体の枯渇問題が深刻となっており、再生可能エネルギーとして新しい燃料の有効利用が重要視されている。

各種燃料に対応が可能で、熱効率が高いディーゼルエンジンは自動車や船舶など幅広い分野で使用されている。しかし、ディーゼルエンジンから排出される NO_x , SO_x , PM 等は大気汚染⁽¹⁾の原因となっている。 NO_x , PM の抑制法としては EGR や尿素 SCR 等が有用されている。新たな後処理抑制法の一つとして非熱平衡プラズマを用いた研究⁽²⁾が行われている。

本研究では、非熱平衡プラズマを前処理としてディーゼルエンジンに応用した。そこで吸気する空気にコロナ放電を行い、正針コロナならびに負針コロナを発生させ、一部プラズマ状態の空気を吸気することでエンジン内の圧力ならびに排ガス濃度 (NO_x 濃度, CO_2 割合, O_2 割合), 煤塵量の測定を行い、燃焼特性、排ガス特性への影響を調べる⁽³⁾⁽⁴⁾。また、 CH_4 混入によるデュアルフューエル燃焼で再生可能エネルギーの有効利用として適用し、同様の測定を行う⁽⁵⁾。

2. 実験装置と方法

2.1 使用機関 使用機関として予燃焼式ディーゼル機関(ヤンマーディーゼル製 1600cc4 ストローク2 気筒エンジン 13.2[kW]/1800[rpm])を使用する。この機関には直流電気動力計(容量 11[kW], 回転数 550~1650[rpm], 電圧 220[V], 電流 37[A])がたわみ軸継ぎ手を介して接続されている。Table1 に使用機関の仕様を示す。

* 専攻科 機械システム工学専攻

** 機械工学科 特任教授

Table1 Specification of diesel engine

Type	Yammer 2TL
Bore × Stroke	95×115 [mm]
Cylinder	2
Compression ratio	18.6
Max power	13.2/1800[kW/rpm]
The length of connecting rod	230[mm]
The length of crank arm	57.5[mm]
Fuel jet timing	10～12° before TDC
Fuel jet pressure	16[MPa]
Valve lift in no compression	1.1[mm]

Fig.1 に実験装置の簡略を示す。

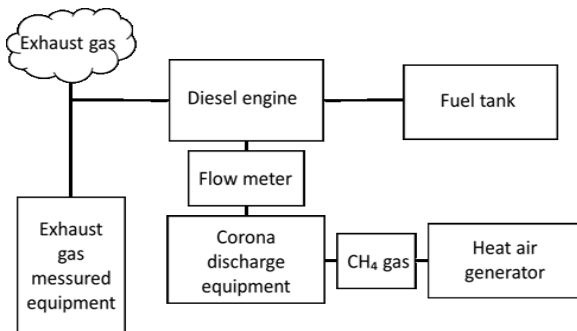


Fig.1 Flow diagram (corona discharge)

燃焼用空気を送気するために電動送風機が熱風発生機を介してディーゼルエンジンの吸気ラインに接続されている。Table2, Table3 に熱風発生器と電動送風機の仕様を示す。

Table2 Specification of hot air generator

Temperature range	Natural Temperature+15~300 [°C]
Air volume control range	1.7~3.5[m ³ /min]
Total capacity	6.9[kW]

Table3 Specification of blower

Maximum air flow	6.0 [m ³ /min]
Maximum static pressure	430 [kPa]
Revolution	3450 [rpm]

排ガス中の成分を測定するために燃焼排ガス分析計 (tosto340:テストー製)を使用する。煤塵量を測定するためにパーティクルカウンター(KC-01C:LION 製), 試料空気

希釈装置(KD-02B:LION 製)を使用する。燃焼室の圧力を測定するためにエンジン指圧変換器(PE-200KP, 定格容量 20[MPa]:共和電業製)ひずみゲージ式変換器(PCD-300B:共和電業製), データ収録ソフトウェア(PCD-100A:共和電業製)を使用する。

2.2 実験方法及び実験条件 吸気条件は主に, コンプレッサーまたは熱風発生器による強制吸気状態であり, 混合ガスは強制送気の燃焼空気中に混入させる。燃料はA 重油を使用した。吸気する空气にコロナ放電を行い, 空気を活性化させ, そのときの筒内圧力ならびに排ガス濃度を測定する。コロナ放電は負電圧放電による負針コロナの2種類を発生させ, 実験を行った。Fig.2 にコロナ放電発生装置の概要を示す。ノコギリ状の電極と平板の電極の間で放電されノコギリ状の電極を, 陽極にした場合, 正針コロナという。平板側を陽極にした場合を負針コロナという。

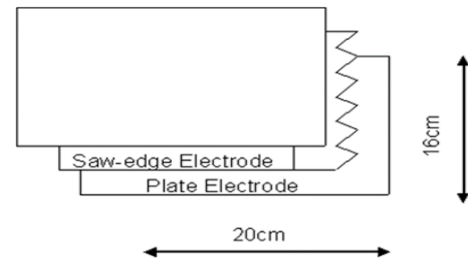


Fig.2 Corona discharge equipment

本実験におけるディーゼル機関の吸気条件をTable4 に示す。

Table4 Intake condition

Fuel	A Heavy oil
Revolution	1000[rpm]
Quantity of forced supply air	500[L/min]
Air temperature	35[°C], 90[°C]
Coolant temperature	40[°C]
Applied voltage	±4.0[kV], ±8.0[kV]
Quantity of CH ₄ mixed into air	10[L/min]
Measured components about characteristic of combustion	Pressure in the cylinder
Measured components of exhaust gas	NO _x , CO ₂ , and O ₂

3. 実験結果

3.1 筒内圧力 Fig.3 から Fig.6 に各条件下の筒内圧力を示す。Fig.3 と Fig.4 はそれぞれ吸気温度が 35°C, 90°C

の時の自然吸気，強制吸気， CH_4 混入の 3 つの条件を比較した圧力線図である。

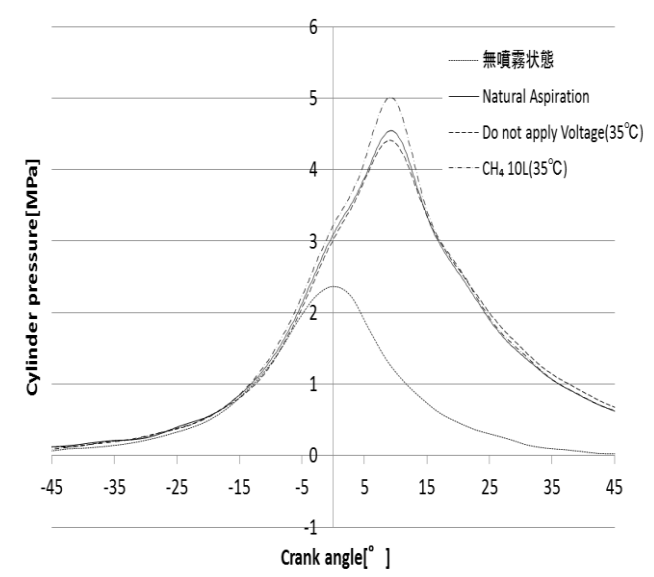


Fig.3 Cylinder pressure (35°C)

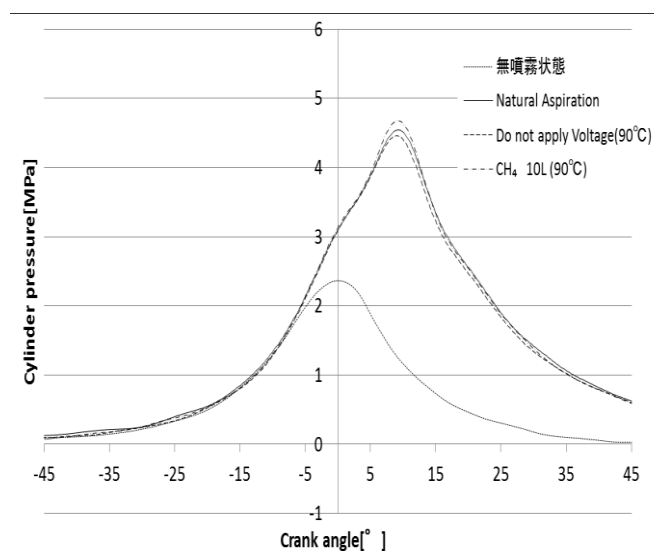


Fig.4 Cylinder pressure (90°C)

Fig.3 では， CH_4 を混入した場合が最も高い圧力を示した。Fig.4 でも同様に CH_4 の圧力値が最も高い値を示しているが，自然吸気および強制吸気との差は小さくなっている。これより， CH_4 混入によるデュアルフェーゼル燃焼により CH_4 も燃焼して機関内の圧力は上昇するが，吸気温度を上げることによって， CH_4 混入による圧力上昇は小さい。空気温度が上がることによる空気充填率が下がったためと考えられる。

Fig.5 と Fig.6 はそれぞれ吸気温度が 35°C，90°C の時の強制吸気， CH_4 混入，コロナ放電，コロナ放電+ CH_4 混入の条件を比較した圧力線図である。

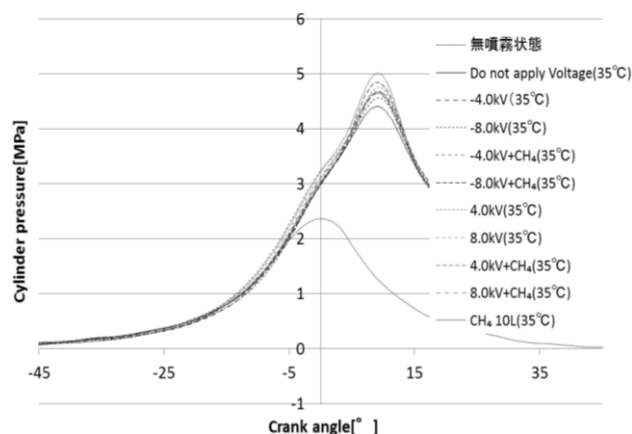


Fig.5 Cylinder pressure (35°C)

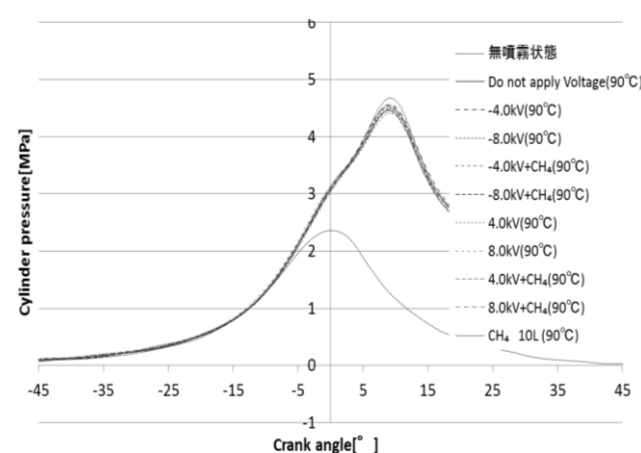


Fig.6 Cylinder pressure (90°C)

Fig.5 と Fig.6 より，吸気にコロナ放電を行うことで筒内圧力は上昇する。また，吸気に CH_4 を混入することで筒内圧力は更に上昇した。正針コロナ放電では電圧の絶対値が低く，負針コロナ放電では電圧の絶対値が高い方が，筒内圧力が上昇する傾向が見られた。しかし，こちらも吸気温度を上昇することで圧力上昇の効果は小さくなった。

3.2 排ガス測定

3.2.1 NO_x 濃度 Fig.7, Fig.8 に吸気温度が 35°C，90°C の時の常温空気のみ， CH_4 混合の場合の NO_x 濃度を示す。

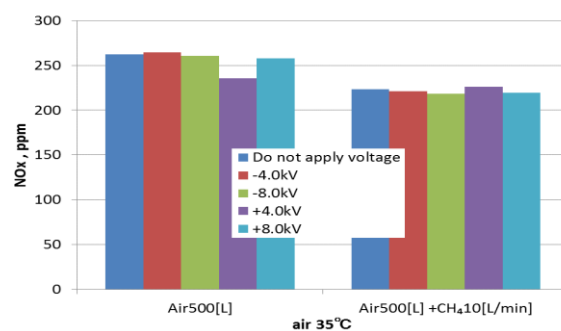


Fig.7 NO_x concentration (35°C)

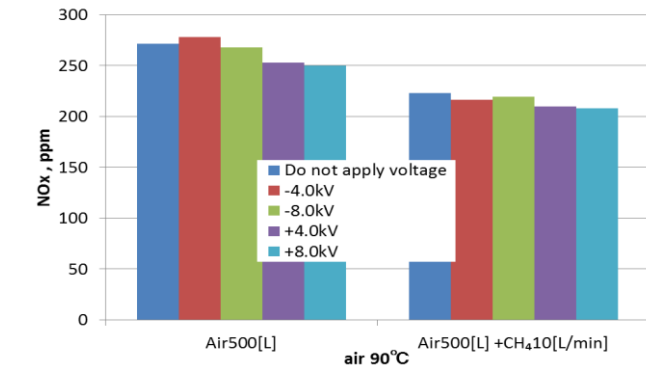


Fig.8 NO_x concentration (90°C)

Fig.7 より+4.0kV のコロナ放電を行った場合、強制吸気のみ条件では NO_x 濃度の低下が見られた。また、吸気空気に CH₄ を混入させた場合、強制吸気のみの場合と比較して NO_x 濃度の低下が見られた。Fig.8 より +4.0kV, +8.0kV の放電条件において強制吸気、強制吸気+CH₄ 混入の両条件において NO_x 濃度の低減が見られ、-4.0kV の放電条件で NO_x 濃度の上昇が見られた。また、こちらの吸気温度条件においても吸気中に CH₄ を混入することで NO_x 濃度の低減が見られた。

3.2.2 CO₂ 割合 Fig.9, Fig.10 に吸気温度が 35°C, 90°C の時の常温空気のみ、CH₄ 混合の場合の CO₂ 割合を示す。

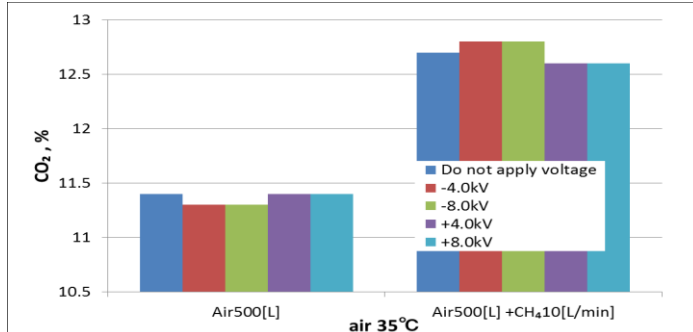


Fig.9 CO₂ percentage (35°C)

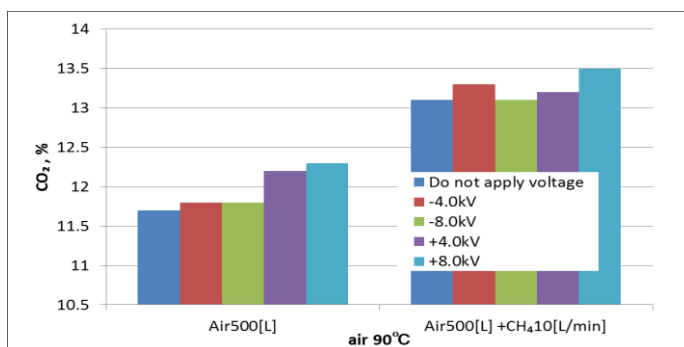


Fig.10 CO₂ percentage (90°C)

吸気温度が 35°C, 90°C のどちらの条件においてもコロナ放電による CO₂ 割合への影響は見られなかった。

また、CH₄ を混入させることで、排ガス中の CO₂ の割合は上昇した。これは混入させた CH₄ の C が燃焼によって空気中の O₂ と結びついた為であると考えられる。

3.2.3 O₂ 割合 Fig.11, Fig.12 に吸気温度が 35°C, 90°C の時の常温空気のみ、CH₄ 混合の場合の O₂ 割合を示す。

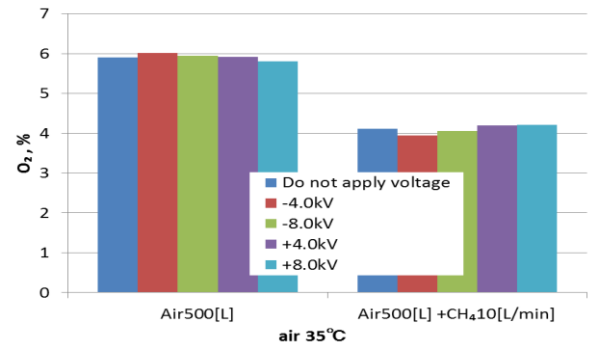


Fig.11 O₂ percentage (35°C)

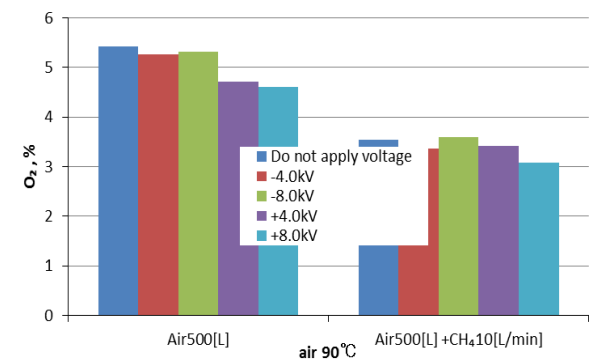


Fig.12 O₂ percentage (90°C)

Fig.11, Fig.12 より、O₂ 割合は CH₄ を混入することで低下し、CO₂ 割合とは逆の傾向が見られた。O₂ 割合も CO₂ 割合と同様にコロナ放電の影響は見られなかった。CO₂ 割合と O₂ 割合の結果から、CH₄ には吸気中に混入することで燃焼性を向上する働きがあると考察される。

3.3 煤塵測定

3.3.1 煤塵量測定 Fig.13, Fig.14 に各実験条件での煤塵量を示す。

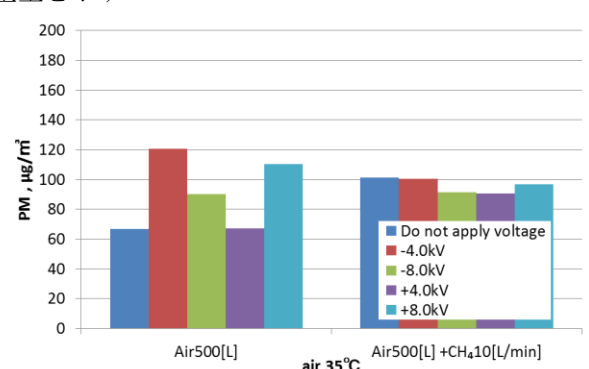


Fig.13 Amount of soot and dust

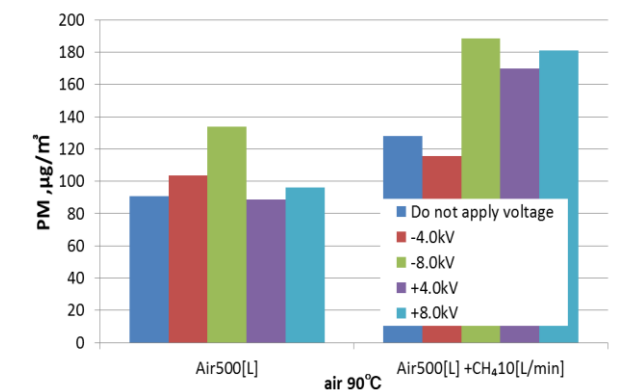


Fig.14 Amount of soot and dust

Fig.13 および Fig.14 より、吸気空気にコロナ放電を行うことで煤塵量が増加する傾向が見られた。また、CH₄ を混入することで強制吸気のみと比較して煤塵量は上昇する傾向が見られた。このことから、デュアルフューエル燃焼によりガス燃料 (CH₄) が先に着火・燃焼し、液体燃料 (A 重油) の着火が遅れ煤塵量の増加すると考えられる。

3.3.2 煤塵数測定 Fig.15 から Fig.18 に各実験条件での煤塵数を粒径毎に対数グラフで示す。

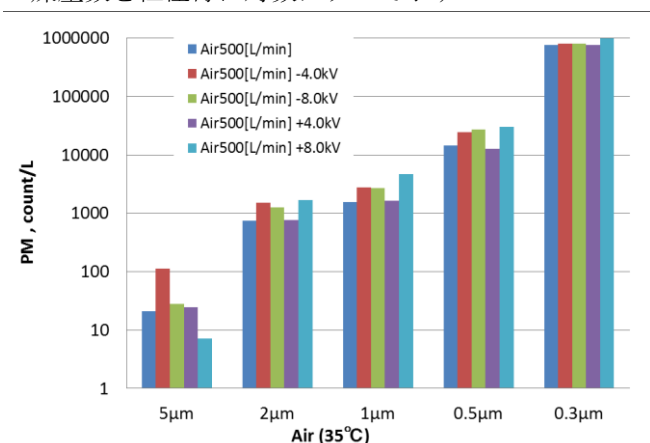


Fig.15 Soot and dust count (35°C)

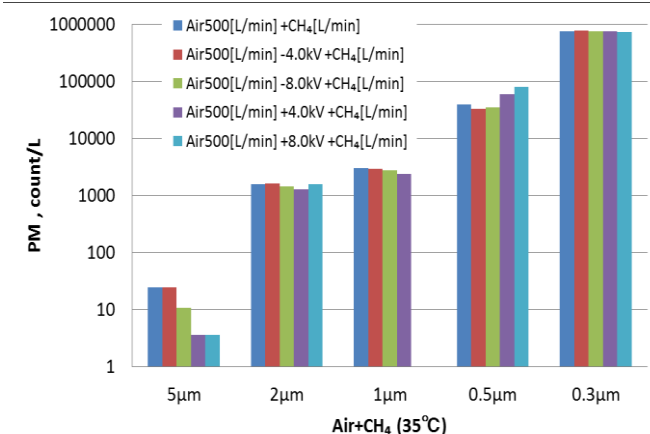
Fig.16 Soot and dust count (+CH₄, 35°C)

Fig.15 と Fig.16 を比較すると、吸気中に CH₄ を混入することで粒径が 0.5μm の煤塵数が増加した。また、粒径が 5μm の煤塵は CH₄ を混入することで減少した。

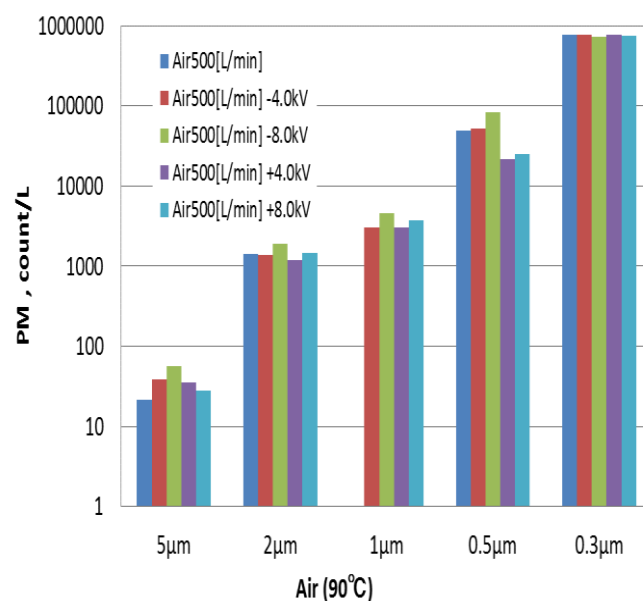


Fig.17 Soot and dust count (90°C)

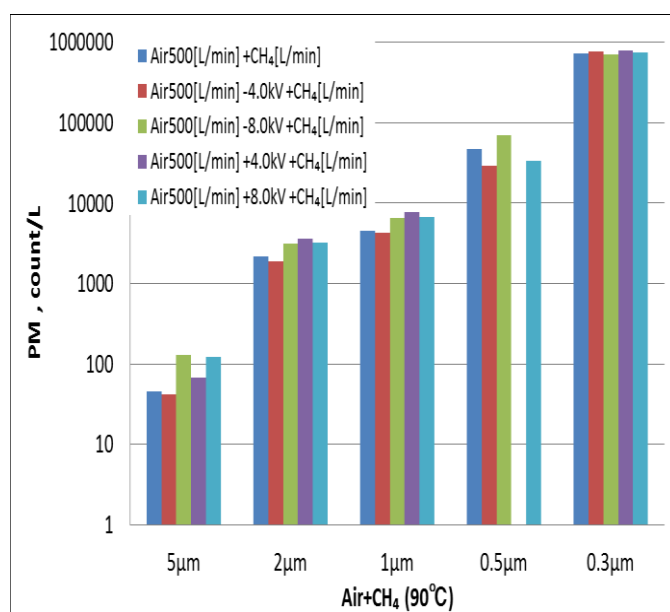
Fig.18 Soot and dust count (+CH₄, 90°C)

Fig.17 と Fig.18 を比較すると、吸気中に CH₄ を混入することで、粒径が 5μm, 2μm, 1μm の煤塵数が増加した。また、吸気温度を上昇させることで、0.3μm を除く粒径において煤塵数が上昇する傾向が見られた。

3.4 軸出力 Fig.19 と Fig.20 に各実験条件での軸出力を示す。

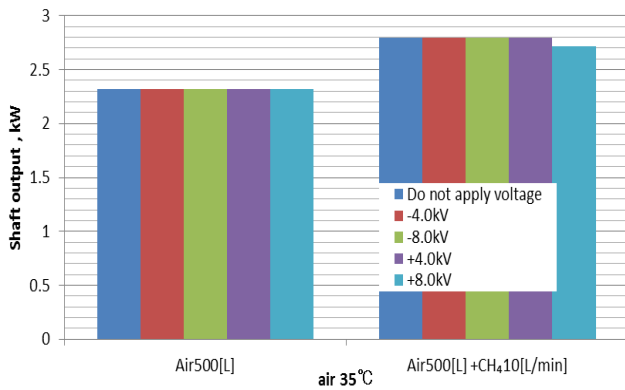


Fig.19 Shaft output (35°C)

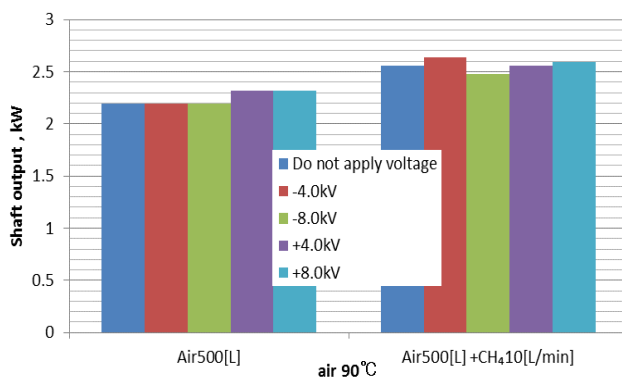


Fig.20 Shaft output (90°C)

どちらの吸気温度条件においても CH_4 を混入させることで軸出力は上昇した。しかし、吸気温度が 90°C の場合では軸出力の上昇幅は少ない傾向が見られた。また、コロナ放電を行ったことによる軸出力の変化は見られなかった。

4. まとめ

吸気中にコロナ放電及び CH_4 混入を行った場合のまとめを以下に示す。

- (1)自然吸気，強制吸気， CH_4 混入の条件で筒内圧力を比較した場合， CH_4 混入時の筒内圧力が最も高い。しかし，吸気温度を上昇させることで CH_4 混入によるデュアルフューエル燃焼により，圧力上昇の幅は減少する。
- (2)通常送気状態にコロナ放電を行うと筒内圧力は上昇する。また， CH_4 を混入することで筒内圧力は更に上昇する。
- (3)吸気温度 35°C の強制吸気状態にコロナ放電を行うと $+4.0\text{kV}$ の場合において NO_x の低下が見られた。また， CH_4 を混入した場合，放電する電圧の大きさに関わらず NO_x 濃度の低下が見られた。
- (4)吸気温度 90°C の条件では， $+4.0\text{kV}$ ， $+8.0\text{kV}$ の放電条件において強制吸気，強制吸気+ CH_4 混入の両条件において NO_x 濃度の低減が見られた。また，こちらの吸

気温度条件においても吸気中に CH_4 を混入することで NO_x 濃度の低減が見られた。

(5)吸気中に CH_4 を混入することで CO_2 割合は上昇し O_2 割合は低下した。 CO_2 割合と O_2 割合はコロナ放電の影響を受けないと考えられる。

(6) 吸気空気にコロナ放電を行うことで煤塵量が増加する傾向が見られた。 35°C の吸気温度条件では CH_4 混入による煤塵量の変化は見られなかった。しかし， 90°C の吸気異温度条件では CH_4 を混入した場合に煤塵量は上昇した。

(7) 35°C の吸気温度条件では CH_4 を混入することで粒径が $0.5\mu\text{m}$ の煤塵数が上昇した。また，粒径が $5\mu\text{m}$ の煤塵数は減少した。 90°C の吸気温度条件では CH_4 を混入することで，粒径が $5\mu\text{m}$ ， $2\mu\text{m}$ ， $1\mu\text{m}$ の煤塵数が増加した。吸気温度を上昇させることで， $0.3\mu\text{m}$ を除く粒径において煤塵数が上昇する傾向が見られた。

(8) CH_4 を混入させることで軸出力は上昇した。しかし，吸気温度が 90°C の場合では軸出力の上昇幅は少ない傾向が見られた。また，コロナ放電を行ったことによる軸出力の変化は見られなかった。

以上のことからデュアルフューエル燃焼による筒内燃焼コントロールで NO_x 低減効果が明らかになった。また吸気でのコロナ放電によるプラズマ支援により燃焼改善がみられる知見が得られた。

参考文献

- (1) Kohsuke Amano, Yoshihiko Nawaki, Takamitsu Yoshi Kohsuke Amano, Yoshihiko Nawaki, Takamitsu Yoshimoto, Hirotsugu Fujita “CHARACTERISTICS OF COMBUSTION AND EXHAUST GAS IN MARINE DIESEL ENGINE BY MIXING VARIOUS SPECIES OF GAS” Proceedings of the 3rd International Forum on Heat Transfer November 13-15, 2012, Nagasaki, Japan.
- (2) 小原考介, 藤井富朗, “コロナ放電リアクタによる燃焼排ガス中のダクト及び NO_x 処理”, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要, No.45(2007), pp.37-42.
- (3) 渡邊紳之介, 廣澤謙弥, 辻翔太, 吉本隆光, 赤松浩, 藤井富朗, 藤田浩嗣, “プラズマ支援燃焼によるディーゼルエンジンでの燃焼特性”, 第 51 回燃焼シンポジウム講演論文, pp.162-163, (2013.12.4)
- (4) 渡邊紳之介, 廣澤謙弥, 辻翔太, 吉本隆光, 藤井富朗, 赤松浩, “プラズマ支援燃焼によるディーゼルエンジンでの燃焼及び排ガ斯特性”, 日本機械学会関西支部第 88 期定時総会講演会講演論文集, 144-1, pp.1-21, (2014.3)
- (5) 渡邊紳之介, 吉本隆光, 天野航介, 那脇慶彦, 藤井富朗, “ディーゼルエンジンでの吸気条件による燃焼・排ガ斯特性”, 日本機械学会動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, 336-337, (2013.6.21)

各種噴流火炎におけるプラズマ支援燃焼特性

鍛冶勇至* 吉本隆光**

Characteristics on Plasma Assisted Combustion of Various Jet Flame

Yuhshi KAJI* Takamitsu YOSHIMOTO**

ABSTRACT

Combustion of biomass gas has been noted, but there is a problem that heating value is low as a main component methane biomass gas. Therefore the effective combustion technology has been studied for useful energy. We have researched on jet diffusion flame and jet premixed flame. But there is a problem that the flame lifting leading to blow-off from the nozzle base occurs for low-grade fuels such as biomass fuel. Stable combustion methods have been studied to suppress lifting flame. Moreover, plasma-assisted combustion has been studied in recent years. The fuel before combustion is introduced into Atmospheric pressure low-temperature plasma. Fuel is excited to the chemical active state by plasma. And it promotes the combustion reaction by activated fuel burning. We investigate flame behavior and combustion characteristics with plasma-assisted combustion in this study.

Keywords : Diffusion flame, Premixed flame, Plasma assisted combustion, CH radical

1. 緒言

現在，再生可能資源であるバイオマスガス燃料が化石燃料の代替燃料として期待されており，燃焼技術⁽¹⁾が注目されているが，バイオマスガスはメタンを主成分として低カロリー，低濃度な燃料であり燃焼性が低いといった問題があげられる．そのため有効的な燃焼技術の開発⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾が進められている．

近年，大気圧低温プラズマの応用研究⁽⁵⁾が盛んであり，燃焼分野においてもプラズマを応用するプラズマ支援燃焼の研究が行われている．大気圧低温プラズマは大気圧下においてパルス放電により生成でき，電子温度のみが高く，イオン，中性粒子の温度が低いという特徴を持つ⁽³⁾．本研究では燃焼前のメタンを大気圧低温プラズマに導入することで生じた化学的活性種が火炎の燃焼特性に与える影響を調べる．

2. 実験装置

2.1 実験装置概要 Fig.1 に拡散燃焼，予混合燃焼，プ

ラズマ支援燃焼における実験装置の系統図を示す．ポンベより圧力調整器で減圧した燃料，空気をそれぞれフロー式流量計に流し流量調整する．拡散火炎ではノズルより燃料ガスであるメタンのみを噴出させ火炎を形成する．予混合火炎では燃料としてメタンを，酸化剤として空気を使用し，これらをノズル手前で予混合し，ノズル先端より噴出させ鉛直噴流予混合火炎を形成する．プラズマ支援燃焼ではノズル先端に設置した電極間で放電することで大気圧プラズマを発生させる．流量を調整した燃料ガスをノズル内で発生させたプラズマに導入し，化学的に活性な状態に励起した後，着火し火炎を形成する．なお，本実験で

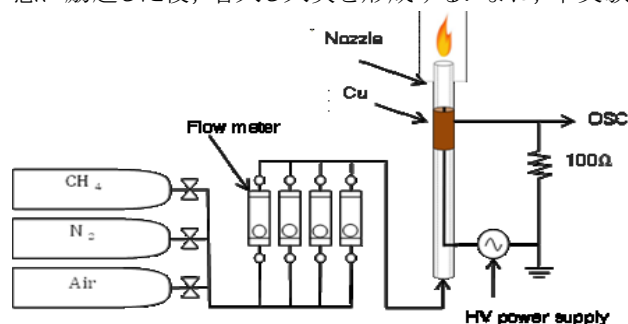


Fig.1 Flow diagram of experimental equipment

* 専攻科 機械システム工学専攻

** 機械工学科 特任教授

の高電圧電極への印加電圧は最大値 10kV および周波数 17 kHz の正弦波とした。Fig.2 に実験で使用したノズルの詳細を示す。

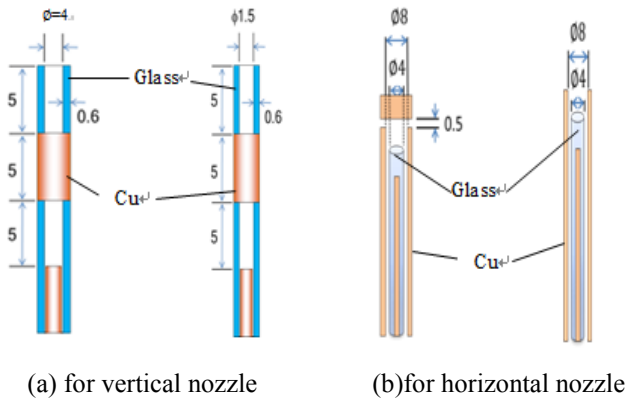


Fig.2 Method of plasma charge

2.2 分光測定装置 Fig.3 にファイバームルチチャンネル分光計 (SEC2000, BAS) を示す。大気圧プラズマによるラジカルの生成を観察するため、プラズマ支援燃焼用ノズルで生成したプラズマの発光を同軸上に平行に設置した分光計で計測した。これにより、プラズマ中の活性種の種類を特定した。

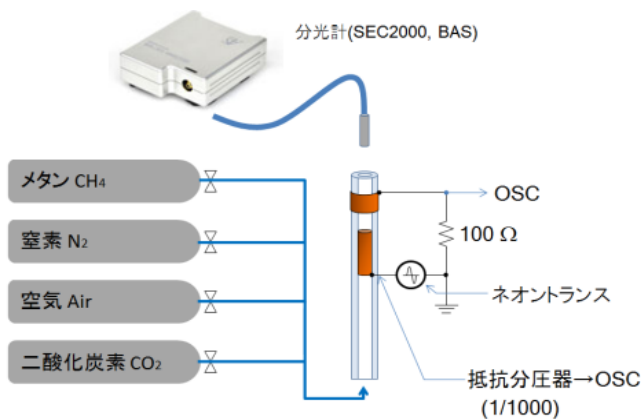


Fig.3 Spectroscopic Measurement

2.3 温度測定装置 Fig.4 に火炎の温度測定に用いる 0.1mm の R 型熱電対 (Pt-PtRh13%) を示す。熱電対を 2 本の円筒状絶縁体に通し、熱接点を直線に伸ばした簡易温度測定器である。なお、火炎内の温度分布を重視したため測定値に輻射損失等の温度補正は行っていない。

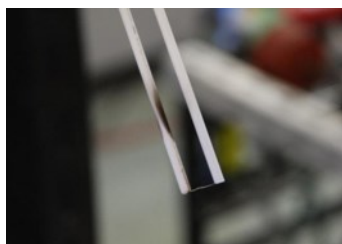


Fig.4 Probe of Thermocouple

2.4 サンプリングプローブ サンプリングプローブは採取管である内径 0.5mm のピトー管の周囲を銅管で覆う構造になっており、銅管内に水を循環させることによりプローブ全体を冷却する。火炎内 NO_x の測定においてはポンプによりサンプリングプローブを介して排ガスを吸入しサンプリングバッグに収集した後、測定器により NO_x 成分を測定する。

3. 実験結果

3.1 メタンの基礎放電特性 Fig.5 に分光計により計測したメタンの発光プロファイルを示す。高電圧電極への印加電圧は最大値 10kV および周波数 17 kHz の正弦波とした。

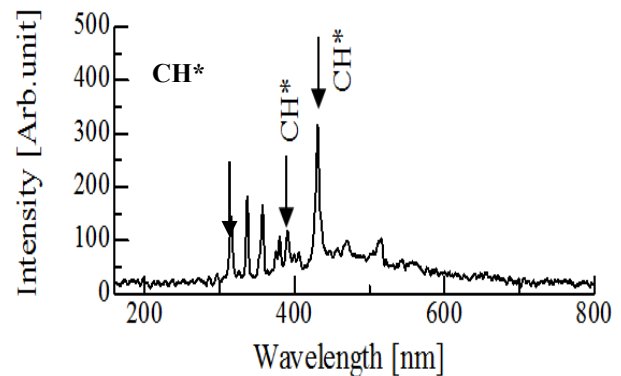


Fig.5 Optical emission spectra of plasma with CH^*

波長 314 nm および 389 nm, 431 nm において CH ラジカルのピークが確認できる。CH ラジカルが存在することにより燃焼が促進される可能性がある。

3.2 火炎挙動

3.2.1 拡散火炎 Fig.6 に鉛直ノズル ($\phi=1.5\text{mm}$) 内でプラズマを発生させたときの火炎と、通常の火炎の直接写真とシュリーレン写真による火炎の形状比較を示す。燃料流量 50ml/min のメタンを用いた拡散燃焼においてプラズマが火炎の形状に与える影響を検証した。なお印加電圧は 8kV の周波数 17kHz の正弦波である。

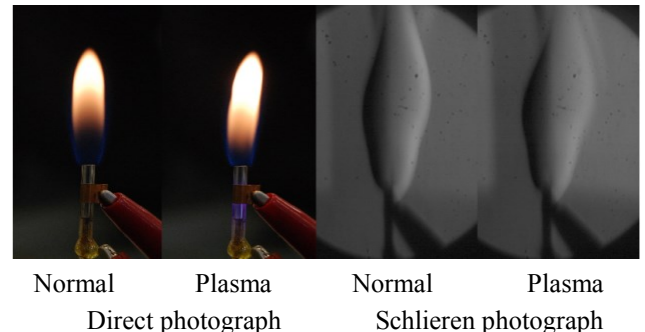


Fig.6 comparison of diffusion flame behavior with/without plasma

ノズル内でプラズマを発生させたとき、通常の火炎と比較

して青色火炎の部分が短くなる傾向がみられた。また火炎先端で揺れて見えるように火炎に乱れが生じる。

3.2.2 窒素で希釈した火炎 燃料にメタンを使用し窒素で希釈した火炎においてプラズマが形状に与える影響を調査した。Fig.7 に鉛直ノズル($\phi=1.5\text{mm}$) 内でプラズマを発生させたときの火炎と、通常の火炎の直接写真とシュリーレン写真による火炎形状の比較を示す。希釈剤に窒素(流量 50ml/min)を用いる。他は 3.2.1 と同条件で実験を行った。

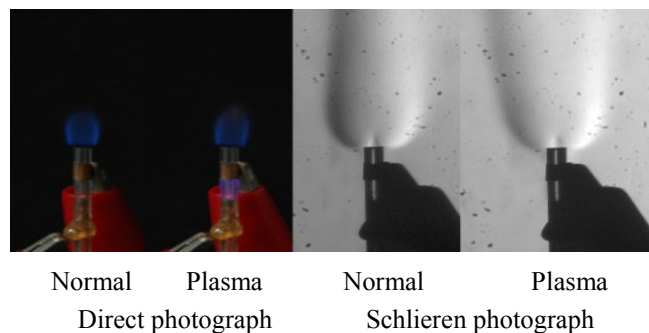


Fig.7 Comparison of flame configuration with diffusion flame

ノズル内で青色のプラズマが電極部に発生していることが観察させる。また、直接写真とシュリーレン写真よりプラズマ発生時には火炎先端が開き気味となる傾向が得られた。この他にノズルから噴出される燃料に一定の周期をもって層流と乱流を繰り返す様子が見られた。これは印加電圧が周期性を持つことによる影響と考えられる。

3.2.3 電圧による火炎の変遷 Fig.8 に燃料メタンを流量一定で燃焼させ印加電圧を徐々に大きくしたときの火炎形状の変遷を示す。電圧が 8kV , 9kV 付近で火炎先端が開き気味になり乱流状態になっていることが確認できる。また火炎長が短くなり燃えきりが早くなっていることも確認できた。



Fig.8 Translation of the flame with the applied voltage

3.2.4 非燃焼場における噴流挙動 Fig.9 にプラズマ支援時に燃料メタンを同流量(1L/min)で流し印加電圧を変化させたときの非燃焼場において燃料噴流をシュリーレン撮影したものを示す。

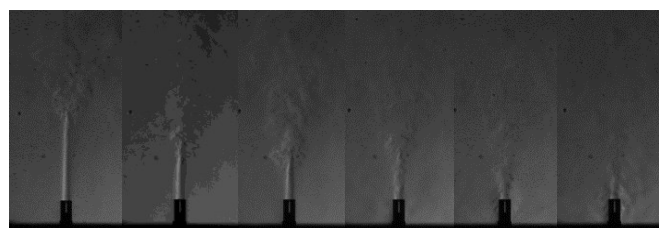
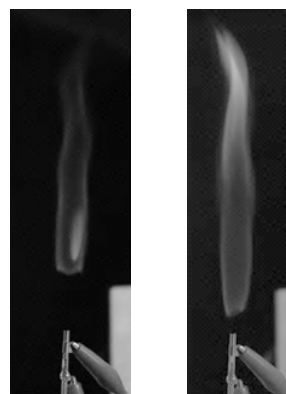


Fig.9 The jet behavior in non-combustion field with plasma

プラズマ支援無しの状態ではある程度の高さまで層流域が保たれていたがプラズマ支援時には印加電圧が大きくなるに連れて流れ下流部で乱流への遷移が早くなることが確認できた。また、プラズマの重畳時に噴流に周期的に振動が起こっている。この振動は印加電圧が周期性を持つことが原因であると考えられる。

3.3 火炎の安定 Fig.10(a)に燃料にメタンを使用しプラズマ支援を行わない拡散火炎, Fig.10(b)にプラズマ支援を行った火炎の浮き上がり時の比較写真を示す。



(a) Normal (b) Plasma

Fig.10 Comparison of lifting flame with plasma

燃料にメタンを使用してプラズマ支援を行った場合、プラズマ支援を行わなかった場合と比較すると写真より浮き上がり高さが短くなった。プラズマを燃料中に発生させると、化学反応性の高い活性種(CH ラジカル)が生成される。燃焼反応過程で生成される CH ラジカルをあらかじめプラズマによって生成しておくことで、燃焼反応が促進されたと考えられる。

3.4 火炎内温度分布

3.4.1 水平拡散火炎 Fig.11 に水平ノズルにメタンを流量 3L/min 流したときの水平拡散火炎の温度分布のグラフを示す。 $\text{CH}_4:3\text{L/min}$ の拡散火炎においてプラズマの有無が火炎の温度分布に与える影響を調査するため、R 型熱電対によりノズルのスリットからの高さ 0mm , 5mm , 10mm においてノズル先端から半径方向に温度測定を行った。プラズマ支援時の印加電圧は 6kV 、周波数は 17kHz の正弦波である。大気圧化におけるパルス放電によるプラズマ支援を行っても形成される火炎温度に大きな差は見られない。

最高温度は全ての高さでは、ほとんど変わらない。プラズマを発生させたときの火炎は温度分布が半径方向外側に広がる傾向にある。

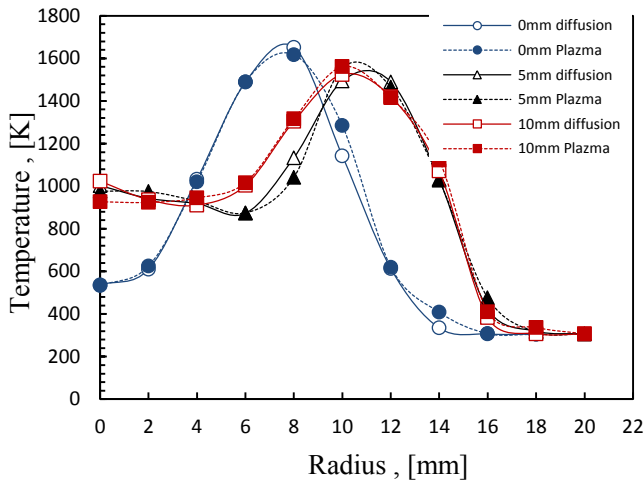


Fig.11 Temperature profiles of horizontal diffusion flame

3.4.2 水平予混合火炎 Fig.12 に水平予混合火炎(当量比 $\phi=28.6$)の温度分布のグラフを示す。燃料はメタン 3L/min に酸化剤として空気 1L/min を燃焼前に予め混合している。水平予混合火炎においてプラズマの有無が火炎温度に与える影響を調査するため、3.4.1 と同様に各高さにおいてスリットより半径方向に温度分布を測定した。グラフよりプラズマの有無が火炎の温度分布に影響はほとんどみられない。

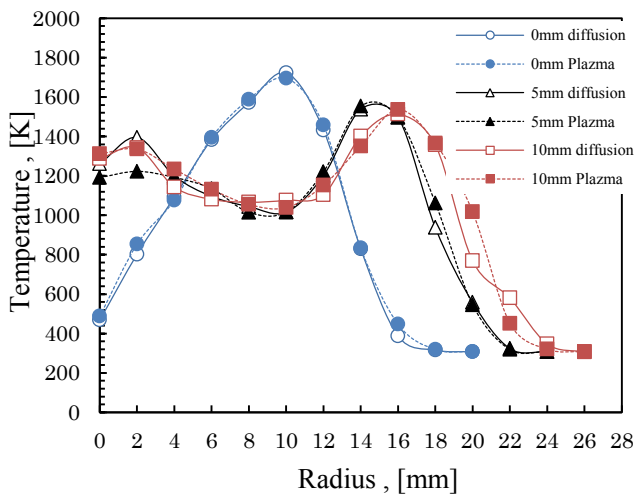
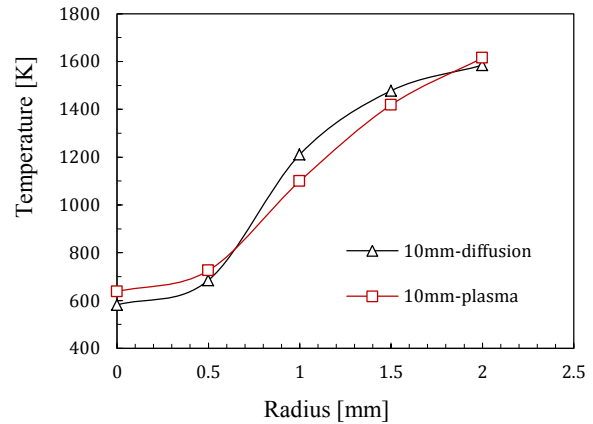


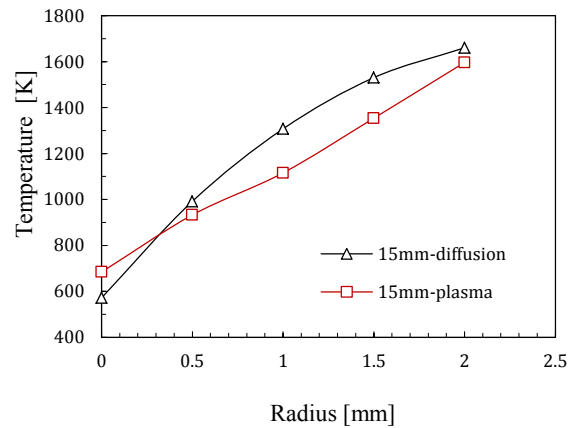
Fig.12 Temperature profiles of horizontal premixed flame

3.4.3 鉛直拡散火炎 Fig.13 に鉛直拡散火炎の温度分布を示す。内径 $\phi=4\text{mm}$ の鉛直ノズルを用い、管先端の中心から半径方向外側に各高さで計測した。全てのグラフで中心付近がプラズマ支援時に温度が上昇し 0.5mm 付近を境に逆転し温度が低下している。また火炎面付近のピーク温度が近い。中心の温度が高いことからプラズマによって励起された CH ラジカルにより、燃焼が促進されたことが温度上昇につながると考えられる。さらに外側では温度低下

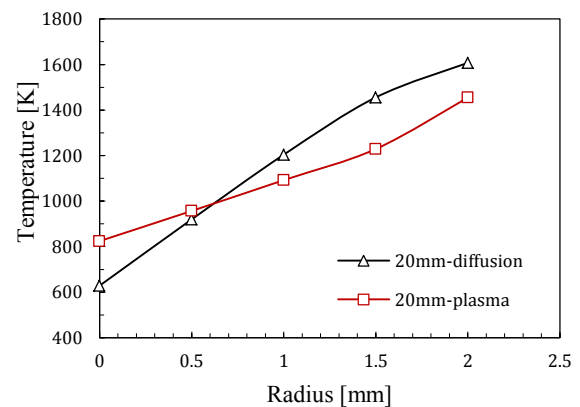
が見られるが、中心での燃焼が促進され燃えきりが早くなったことが考えられる。



(a) Height=10mm



(b) Height=15mm



(c) Height=20mm

Fig.13 Temperature of the vertical diffusion flame

3.5 NO_x 濃度分析

3.5.1 水平火炎 Fig14 は水平ノズルにメタンを流量 3L/min で流したときの水平拡散火炎の NO_x 濃度を示したものである。燃料にメタンを使用した水平拡散火炎においてノズル中心より半径方向に計測した。プラズマの有無が火炎内の NO_x 生成に与える影響を調査した。プラズマ発生時

の印加電圧は 6.8kV で、周波数は 17kHz の正弦波である。

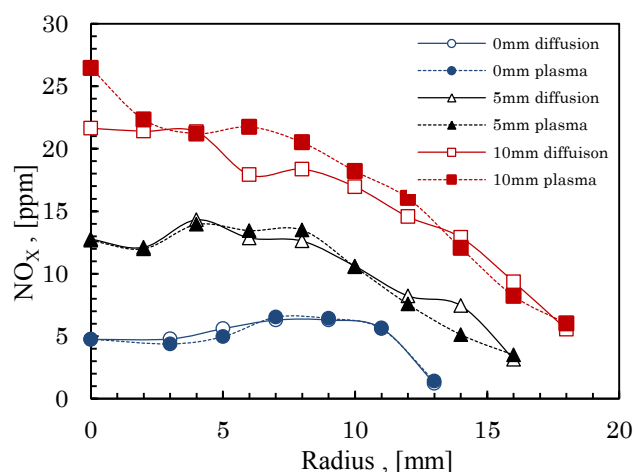


Fig.14 Profiles of NO_x with diffusion flame in horizontal flame

高さ 0mm の断面ではほとんど差は見られない。しかし下流部での高さ 5mm, 10mm の断面ではプラズマ有の場合、 NO_x 濃度は火炎面付近に来ると下がる傾向がみられた。Fig.15 は燃料にメタン 3L/min に空気 1L/min を予混合して燃焼させたときの火炎内部の NO_x 濃度を示したものである。燃焼反応が最も行われていると考えられる高さ 5mm で半径方向に測定を行った。

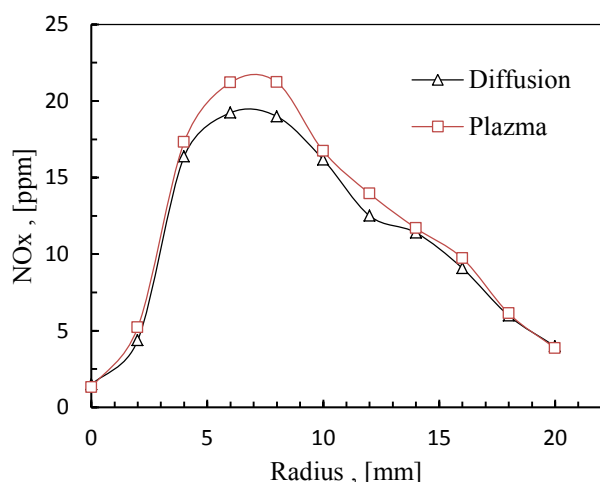


Fig.15 Profiles of NO_x with premixed flame in horizontal flame

予混合火炎では NO_x はプラズマ支援時の方が高くなっている。メタンに混合した空気中の酸素のラジカル化により、燃焼反応中に大気中の窒素との反応が促進された結果、 NO_x の生成に至った可能性が考えられる。

3.5.2 鉛直火炎 Fig.16 は管径($\phi=4\text{mm}$)の鉛直ノズルで燃料をメタン(流量 2L/min)とした鉛直拡散火炎による NO_x 測定結果である。なお印加電圧は 6.8kV, 周波数は 17kHz である。

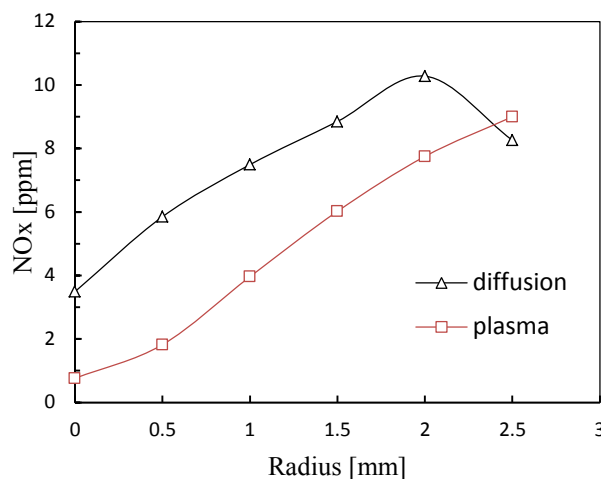


Fig.16 Profiles of NO_x in vertical diffusion flame

半径 2.5mm のあたりが火炎面にあたり、その内側の火炎内部の中心付近ではプラズマ支援により NO_x に減少傾向が見られた。火炎面内側の燃料リッチの付近であるため NO_x の生成過程としてプロンプト NO の減少が起因していると考えられる。燃料中でプラズマにより生成された CH ラジカルが空気中の酸素と反応促進し、窒素と結びつくはずの酸素を奪った可能性がある。

3.5.3 同軸流噴流拡散火炎 鉛直ノズル($\phi=4\text{mm}$)を筒状のガラス管($\phi=57.4\text{mm}$)で覆い、流量 0.15L/min, 印加電圧 7kV, 周波数 17kHz の条件において鉛直拡散火炎を形成し、プラズマ支援を行った場合の NO_x 濃度の測定比較を行った。測定の概略図を Fig.17 に示す。測定はガラス管上部の内壁から半径方向にプローブを移動させた。全体の NO_x 濃度を測定比較した。実験結果を Fig.18 に示す。

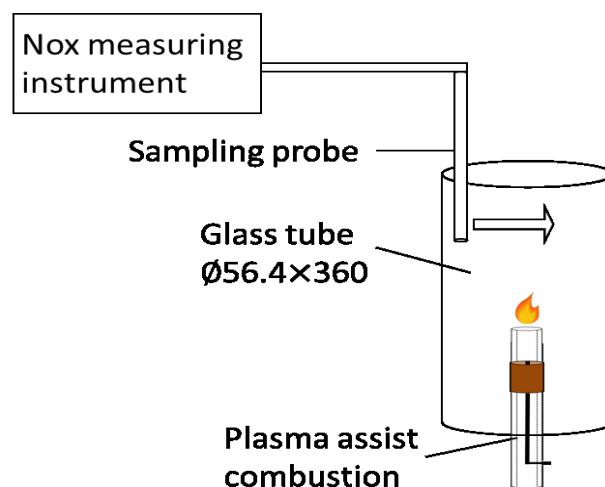
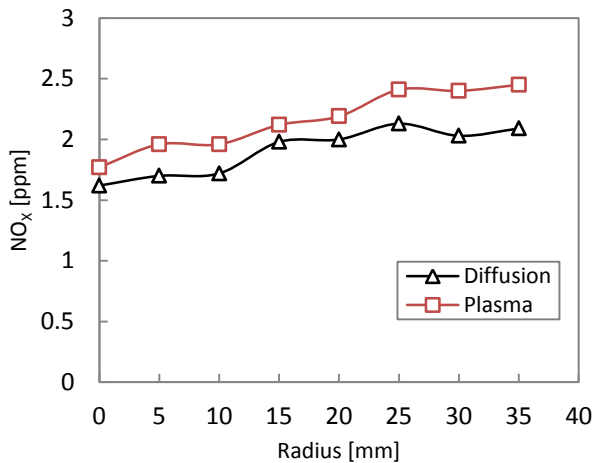


Fig.17 Schematic diagram of the measurement

Fig.18 Profiles of NO_x in coaxial jet diffusion flame

実験結果よりガラス管上部ではNO_x濃度は火炎内に比べて平均化され, ある程度一様に分布している. 通常の拡散火炎に比べてプラズマ支援を行った場合, NO_x濃度は約 10%上昇した. 燃焼反応が促進の起因により上昇したと考えられる.

4. 結言

これらの実験を通して以下の結論を得た.

- (1) 波長 314nm および 389 nm, 431 nm において CH ラジカルが確認できた. プラズマ印加により本来燃焼反応中に現れる CH ラジカルが燃焼前に生成されることにより燃焼が促進される可能性がある.
- (2) 非燃焼場におけるプラズマ発生時の噴流挙動の変化により乱流への遷移が早くなることで通常の火炎に比べて燃焼性がよくなる.
- (3) 水平拡散燃焼, 予混合燃焼においてはプラズマ支援時の温度分布への影響はほとんど見られなかったが, 鉛直拡散火炎では火炎の中心域で温度上昇の傾向がある.
- (4) 鉛直拡散火炎の中心付近のNO_xがプラズマ支援により減少する可能性がある.
- (5) プラズマ支援で火炎の燃焼性がよくなり燃え切りが早くなる.
- (6) プラズマの重量による燃料流の乱れが火炎に乱れを生じさせ, 反応面が増加したことによりサーマル NO が増加したと考えられる.

参考文献

- (1) 水谷幸夫:「燃焼工学」, 森北出版株式会社, 2008
- (2) 正司悠介:「メタン・水素予混合燃焼における火炎構造と安定限界に関する研究」, 第 84 回定時総会講演会講演論文集, No.094-1, pp.12-6, (2009)

- (3) 出口幸治, 吉本隆光, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要第 50 号, pp.51-56(2012)
- (4) Hara. H.:“Flame Behavior and Stability Limit on Radial horizontal Jet Premixed Flame of Low Calorie Biomass Gas”, Proceedings of ISME-Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (SPEC 2011), Summary or Paper-ISME520, 2011
- (5) 赤松浩・金田知大・市川和典, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要第 50 号, pp. 87-92 (2012)

ビスー、トリスー、テトラキス-8-キノリノール化合物の合成

大淵 真一*・元山 貴雄**・瓜本 英昭***

Synthesis of Bis-, Tris-, Tetrakis-8-Quinolinol Compounds

Shinichi OHFUCHI, Takao MOTOYAMA, Hideaki URIMOTO

ABSTRACT

8-Quinolinols form stable 2:1 or 3:1 complexes with various metals due to possessing two donor atoms, oxygen and nitrogen. And 8-Quinolinol-metal complexes have fluorescence. Therefore the complexes are very useful for the emissive layer of organic electroluminescent (EL) devices. It has been reported that the complex bridging 2-positions of quinolinol rings of Znq_2 by ethane chains, $\text{Zn}(\text{BQOEH})$, possesses improved thermal stability. In order to synthesize complexes having fluorescence as well as excellent thermal stability, compounds that two, three and four molecules of 8-Quinolinols are bridged to benzene ring by ethane chains were synthesized.

Keywords: 8-quinolinol, organic EL devices, ligand, metal complex

1. 序論

8-キノリノールは、分子内に近接した酸素と窒素の 2 つの異なるドナー原子をもち、種々の金属と安定な 2:1 または 3:1 錯体を形成し、その金属錯体は強い蛍光性を有することが知られている。近年、次世代ディスプレイとして注目されている有機 EL 素子の材料として、8-キノリノールとアルミニウムの 3:1 錯体である Alq_3 ⁽¹⁾ や亜鉛との 2:1 錯体である Znq_2 ⁽²⁾ が報告されている。M. Albrecht らは合成化学的な見地から数種のビス 8-キノリノール誘導体を合成し、1, 2-bis(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethane(**1**)と Ga の 3:2 カチオン性錯体の合成と構造を報告している⁽³⁾。米田らは、**1** を用いて金属錯体 $\text{Zn}(\text{BQOEH})$ を合成し、X 線結晶構造解析により、2 個のキノリノール環の N, O と 1 個の水分子が 5 配位であることを見出すとともに、 $\text{Zn}(\text{BQOEH})$ は Znq_2 よりも優れた熱安定性を有することを見出した⁽⁴⁾。このようなことから、筆者らは Znq_2 のキノリノール部分の 2 位同士をエテン鎖で架橋した化合物 1,2-bis(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethene(**2**)を合成した。2 は分子の共役系が長く、励起エネルギーが小さくなり、より低エネルギーで蛍光を発することが期待できるが、架橋部が二重結合であることから、分子が剛直な構造となり、

空間的な自由度が小さく金属とは錯体を形成しなかった。また、2 の安定な構造はトランス体が予想され、分子内のキノリノール部位が一つの金属方向を向くのは不利である。分子設計において共役系を長くすることと分子の自由度を大きくすることは相反することであり、両者を同時に満足することは難しい。本研究では合成した化合物を用いて金属錯体へ展開することを目的とするため、共役系を犠牲にして自由度を大きくすることを考慮した分子設計を行った。まず、架橋部に長鎖アルキル鎖を導入した 1,2-bis(8-hydroxyquinolin-2-yl)decane (**6**)の合成を行った。次に中心部にベンゼン環を導入し、架橋部は単結合であるエタン鎖を用いることで空間的な自由度が高まるベンゼン環にエタン鎖で架橋した化合物 1,2-bis-[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**10a**)、1,3,5-tris[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**10b**)、1,2,4,5-tetrakis[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**10c**)の合成を行った。これらの化合物は金属に対して新規な配位子として作用し、蛍光性及び熱安定性を有する金属錯体を形成することが期待される。

Scheme 1 に decylene 基が架橋された化合物(**6**)の合成経路を、**Scheme 2** に benzene 環を核に持つ化合物(**10a-c**)の合成経路を示す。いずれの経路でもまず、市販の 2-methyl-8-quinolinol(**3**)の 8 位のヒドロキシ基をメトキシ基で保護し、8-methoxy-2-methylquinoline(**4**)を合成する。**(6)**は、**4** と 1,8-dibromooctane、LDA を用いたカップリング反応⁽⁵⁾

* 応用化学科 教授

** 平成 15 年応用化学専攻修了

*** 大日本印刷(株)(平成 18 年応用化学専攻修了)

によって合成した。**10a-c** はプロモ体として、*o*-xylene(**7a**)、mesitylene(**7b**)、durene(**7c**)から AIBN をラジカル開始剤、NBS を臭素源とした Wohl-Ziegler 反応⁽⁶⁾を応用して 1,2-Bis(bromomethyl)benzene(**8a**)、1,3,5-Tris(bromomethyl)benzene(**8b**)、1,2,4,5-Tetrakis(bromomethyl)benzene(**8c**) を

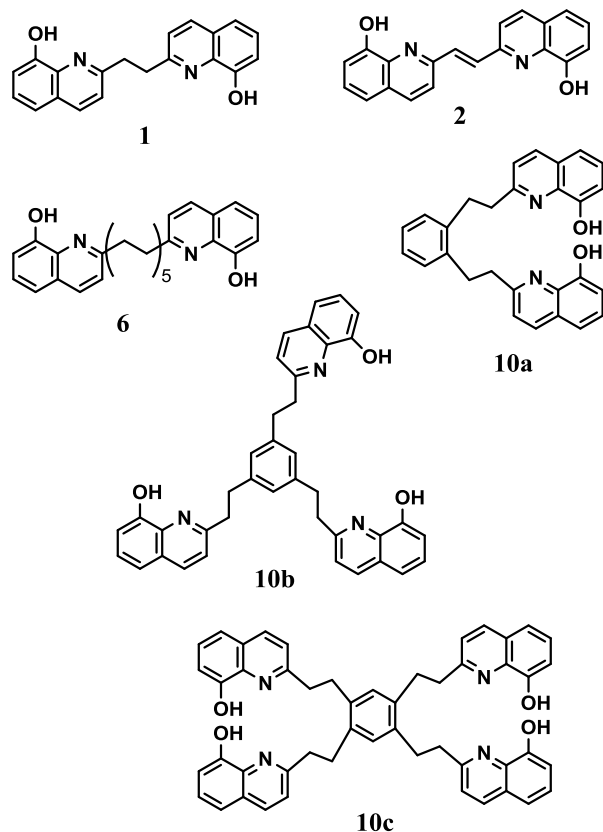


Figure 1. Structure of poly-8-quinolinols.

合成した。次いで **4** と **8a**、**8b**、**8c** からそれぞれ LDA を用いたカップリング反応⁽⁵⁾によって 1,2-Bis[2-(8-methoxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**9a**)、1,3,5-Tris[2-(8-methoxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**9b**)、1,2,4,5-Tetrakis[2-(8-methoxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene(**9c**)を合成する。そして、**9a**、**9b**、**9c** の 8 位のメトキシ基を臭化水素で脱保護し、目的の **10a**、**10b**、**10c** を得る。

2. 結果と考察

2.1. LDA を触媒に用いたクロスカップリング反応

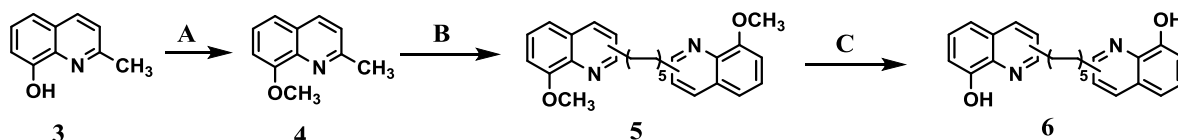
合成経路を Scheme 1 に示す。まず、市販の **3** と K_2CO_3 、 CH_3I を Acetone 中で 24 時間室温撹拌することで、8 位のヒドロキシ基を保護し、白色固体で **4** を収率 72.4% で合成した。次いで、LDA を触媒に使い、**4** と 1,8-dibromooctane から 1,10-bis(8-methoxyquinolin-2-yl)decane(**5**)の合成を試み、収率 42.2% で得た。従来の LDA を触媒に用いたホモカップリング反応では、24 時間で反応が完結したが、この反応においては 24 時間では完結せず、架橋部の片側にしかキノリン環が付加しなかった。

そこで、反応時間を長くすることによって架橋部の両側にキノリン環が付加した化合物を得ることができた。そして、**5** の脱保護反応により目的物である 1,10-bis(8-hydroxyquinolin-2-yl)decane(**6**)を収率 64.1% で得た。

2.2. Poly(bromomethyl)benzene 化合物の合成

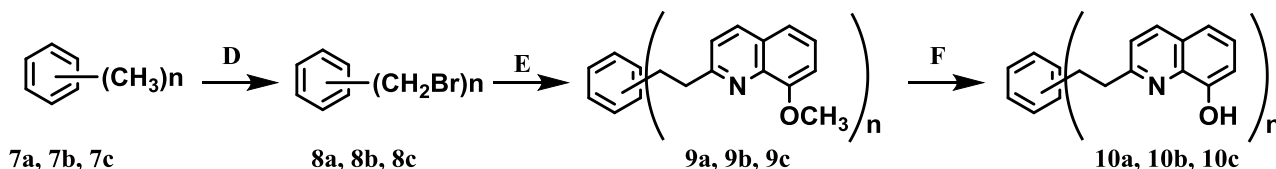
合成経路を Scheme 2 に示す。

CCl_4 中で Azobisisobutyronitrile(AIBN)と N-bromosuccinimide(NBS)を用いたラジカル反応により、市販の **7a**、**7b**、**7c** のベンジル位を臭素化し、白色針状結晶の **8a** を収率 50.3% で、白色固体の **8b** を収率 31.4% で、白色固体



A: K_2CO_3 , CH_3I , acetone B: (i) LDA, THF, $0^\circ C$ under Ar (ii) $Br(CH_2)_8Br$, $0^\circ C \rightarrow r.t.$ C: HBr / reflux

Scheme 1

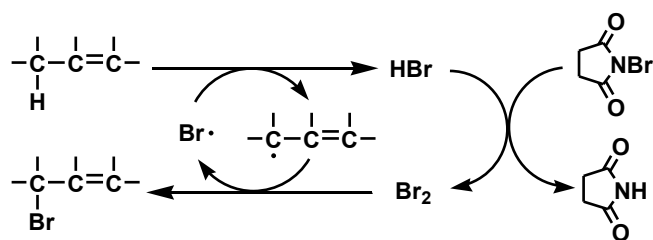


a : $n = 2$ (1,2-) b : $n = 3$ (1,3,5-) c : $n = 4$ (1,2,4,5-)

D : AIBN, NBS, CCl_4 E : **4**, LDA, THF, under Ar F : HBr , reflux

Scheme 2

の **8c** を収率 31.2% で合成した。**8a** の合成の際、未反応物質の量を出来るだけ減らすために攪拌時間を長くすると、臭素がより多置換された化合物($-\text{CHBr}_2$, $-\text{CBr}_3$)が合成されたため、攪拌時間は 5 時間程度が最適であることが分かった。**8b** の収率が 31.4% と **8a** の 50.3% より低くなったのは、副生成物である臭素の未置換化合物や多置換化合物などが複雑に生じたため、分離精製が困難になり、結果として収率が低下したものと考えられる。



Scheme 3

Wohl-Ziegler 反応は Scheme 3 に示す機構で反応が進行することが知られている⁽⁶⁾。**8c** の収率が 31.2% と低収率だが、これは Scheme 3 の反応機構から推測すると、生成したラジカルはベンジル位のメチル基を一つずつ臭素化していくものであり、**7c** は臭素で置換すべきメチル基が四つと **7a**, **7b** と比べ最多なので、メチル基に臭素が置換する可能性がすべてのメチル基について等しいなら、**8c** の全てのメチル基に臭素が付く可能性は **7a**, **7b** に比べて最も低く、結果的に収率が低下したと考えられる。さらに、Table 1 のように、出発原料に対する NBS の割合が増加するほど、生成したラジカルが出発原料と反応するより、NBS と反応する確率が高く、結果として収率が低くなると推測される。しかし、**8c** の収率は **8a** より低く、**8b** とは同程度であった。**8a** との収率の比較は上述の理由で説明できるが、**8b** との比較については適応されない。**8b** の合成では副生成物が複雑に生じ、単離の際に目的物の損失が多くなったが、**8c** の合成では、主生成物と副生成物とでは結晶性に大きな差があり、主生成物の方が結晶化し易く、単離精製の際にはシリカゲルカラムクロマトグラフィーではなく、再結晶法により **8c** を効率良く単離できたので、このような結果になったと推測される。

Table 1. Poly(bromomethyl)benzene 化合物の合成反応物のモル比

	原料のモル数 : NBS のモル数		収率[%]
8a	1	: 2	50.3
8b	1	: 3	31.4
8c	1	: 4	31.2

2. 3. [2-(8-Methoxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene 化合物の合成

合成経路を Scheme 2 に示す。まず、市販の **3** と K_2CO_3 、

CH_3I を Acetone 中で 24 時間室温攪拌することで、8 位のヒドロキシ基を保護し、白色固体で **4** を収率 72.4% で合成した。次に、合成した **8a**, **8b**, **8c** と **4** から THF 中、アルゴンガス雰囲気下でカップリング反応を行い、油状の **9a** を収率 13.5% で、黄色固体の **9b** を収率 46.9% で、黄色固体の **9c** を収率 15.3% で合成した。

9a の収率が 13.5% と低いものになっているが、これは目的物と副生成物の Rf 値がそれぞれ 0.14, 0.20 と非常に近く、分離するのが困難であったため、結果的に収率が低くなったためと考えられる。**9c** の収率も 15.3% と低いものになっているが、これは反応物である **8c** のモル数に対して **4** を 4 倍加えるものであり、LDA で **4** の 2 位のメチル基をリチオ化する際に、リチオ化物が十分に生成されない又は **4** と反応する前にリチオ化物が失活するということが起こり結果として収率が低下したと推測される。シリカゲルカラムクロマトグラフィーによる反応混合物の精製後、目的物とは別に未反応の **4** が大量に回収されることがこの推測を強めている。カップリング反応について、**4** のメチル基を LDA によってリチオ化する際、LDA の失活を防ぐために反応温度を 0°C で行ったが、ドライアイスとアルコールの混合物などさらに低温条件で行うことにより、より LDA の失活が防止でき、収率の改善につながったであろうと予想される。

2. 4. [2-(8-Hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene 化合物の合成

合成経路を Scheme 2 に示す。

合成した **9a**, **9b**, **9c** のキノリノール部分 8 位のメトキシ基を HBr と加熱攪拌することで脱保護し、目的の茶褐色油状の **10a** を収率 31.2% で、薄緑色固体の **10b** を収率 87.4% で、緑色固体の **10c** を収率 66.0% で合成した。

三つの化合物の合成の収率の差は、精製のし易さから生じるものである。単離が容易な **10b** が最も収率が高く、精製が困難な **10a** が最も収率が低かった。三つを通じて、実験操作法にある反応溶液の中和の段階で、中和が不十分であると、その後の抽出の効率が低下し結果的に収率が低下すると考えられるので、中和方法の改善により収率の向上が見込まれる。

3. 総括

官能基の保護、臭素化、LDA を用いたカップリング反応、脱保護を通じて、decylene 基の両末端にキノリノール部位を持つ 1,10-bis(8-hydroxyquinolin-2-yl)decane、3 種類のベンゼン環を核にもつ架橋キノリノール化合物 1,2-bis[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene、1,3,5-tris[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene、1,2,4,5-tetrakis[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene を合成した。これらの化合物は新たな金属包接化合物としての展開が期待できるものである。

4. 実験

4.1. 本研究で用いた各分析装置

NMR: Brucker 社製 核磁気共鳴測定装置「DRX-500」(^1H :500MHz, ^{13}C :125MHz)、FT-IR: 日本分光社製 赤外分光光度計「FT-IR 300E」、元素分析: 柳本製作所製 元素分析測定装置「CHN-Corder MT-5 型」、融点測定: 柳本製作所製 微量融点測定装置「MP 型」。

4.2. 化合物の合成

4.2.1 8-Methoxy-2-methylquinoline (4) の合成

文献⁽⁵⁾と同様の合成法にて行った。融点 127.0~128.0°C (lit.⁽⁵⁾ 127.0~128.0°C)。元素分析値 C: 76.06, H: 6.52, N: 8.01%。C₁₁H₁₁NO としての計算値 C: 76.28, H: 6.40, N: 8.09%。

4.2.2 1, 10-Bis (8-methoxyquinolin-2-yl) decane (5) の合成

Ar 雰囲気下にて、三口丸底フラスコに無水 THF(10ml) を入れ、氷冷しながら HN(*i*-Pr)₂(1.40g, 13.86mmol)、*n*-BuLi(9.12ml, 13.86mmol)を順に加えて、10 分間 0°C で攪拌した。1(2.00g, 11.55mmol)を無水 THF(15ml)に溶解した溶液を滴下漏斗からゆっくりと加えて 1 時間攪拌後、Br(CH₂)₈Br(1.86g, 13.83mmol)を加えて一昼夜室温で攪拌した。濾過後、溶媒を減圧留去した。精製は、シリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200, 展開溶媒: 酢酸エチル:ヘキサン=1:1)で行い、白色固体 720mg(42.2%)を得た。融点 87.0~89.0°C。 ^1H NMR(CDCl₃) δ [ppm] 1.28~1.35(m, 8H, 4-CH₂ and 5-CH₂), 1.39~1.44(m, 4H, 3-CH₂), 1.77~1.83(m, 4H, 2-CH₂), 3.03(dd, 4H, 1-CH₂, *J*=7.9, 8.1Hz), 4.07(s, 6H, 8-quiOCH₃), 7.03(d, 2H, 5-quiH, *J*=7.4Hz), 7.33(d, 2H, 7-quiH, *J*=8.4Hz), 7.38(dd, 2H, 6-quiH, *J*=7.9, 8.2Hz), 7.39(d, 2H, 3-quiH, *J*=8.0Hz), 8.03(d, 2H, 4-quiH, *J*=8.5Hz); 元素分析値 C: 78.35, H: 7.79, N: 6.06%。C₃₀H₃₆N₂O₂ としての計算値 C: 78.91, H: 7.95, N: 6.13%。

4.2.3 1, 10-Bis (8-hydroxyquinolin-2-yl) decane (6) の合成

5(180mg, 0.404mmol)と 10ml の 48% HBr を 200ml のナスフラスコに入れ、150°C で 24 時間加熱攪拌還流を行った。攪拌終了後、10% NaOH 水溶液で中和し、chloroform と水を加え chloroform 層に目的物を抽出した。Chloroform 層を取り出し、無水 Na₂SO₄ で乾燥後、ロータリーエバポレーターで chloroform を除去した後、残渣をシリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200, 展開溶媒: 酢酸エチル:クロロホルム=9:1)で行い、緑白色固体 111mg(64.1%)を得た。融点 52~55°C。 ^1H NMR(CDCl₃) δ [ppm] 1.28~1.40(m, 12H, 3-CH₂ and 4-CH₂ and 5-CH₂), 1.78~1.84(m, 4H, 2-CH₂), 2.94(dd, 4H, 1-CH₂, *J*=7.7, 7.8Hz), 7.14(d, 2H, 5-quiH, *J*=7.5Hz), 7.27(d, 2H, 7-quiH, *J*=8.2Hz), 7.29 (dd, 2H, 6-quiH, *J*=8.2, 8.5Hz), 7.38(d, 2H, 3-quiH, *J*=7.9Hz), 8.04(d, 2H, 4-quiH, *J*=8.4Hz); 元素分析値 C: 78.40, H: 7.56, N: 6.55%。C₂₈H₃₂N₂O₂ としての計算値 C:

78.47, H: 7.53, N: 6.54%。

4.2.4 1, 2-Bis (bromomethyl) benzene (8a) の合成

o-Xylene(7a)(10.62g, 100mmol)、N-Bromosuccinimide (39.16g, 220mmol)、Azobisisobutyronitrile(1.31g, 8mmol)を 150ml の四塩化炭素を入れた 500ml のナスフラスコに入れ、100°C で 5 時間攪拌還流を行った。攪拌終了後、ロータリーエバポレーターで四塩化炭素を除去すると褐色の粗生成物を得た。粗生成物に 100ml の Chloroform と 50ml の水を加え、Chloroform に目的物を抽出し、飽和 NaHCO₃ 水溶液で洗浄し、有機層を無水 Na₂SO₄ で乾燥した。乾燥後、ロータリーエバポレーターで Chloroform を除去すると白色の残渣を得、これをシリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200, 展開溶媒 Hexane)で精製し、再結晶により白色針状結晶の目的物を 13.29g(収率 50.3%)得た。融点 68~72°C。 ^1H NMR(CDCl₃, TMS 0ppm) δ [ppm] 4.66(s, 4H, benzene-CH₂), 7.31(d, 2H, 3-benzeneH, 6-benzeneH, *J*=3.4Hz), 7.36(d, 2H, 4-benzeneH, 5-benzeneH, *J*=3.8Hz)。 ^{13}C NMR(CDCl₃, CDCl₃ 77.0ppm) δ [ppm] 136.5, 131.1, 129.4, 30.0。I.R.(KBr 錠剤法) 600cm⁻¹(C-Br)。元素分析 実測値 C:36.38%, H:3.05%。計算値(C₈H₈Br₂) C:36.40%, H:3.05%。

4.2.5 1, 2-Bis [2- (8-methoxyquinolin-2-yl) ethyl] - benzene (9a) の合成

最初に、LDA を合成するために還流冷却器と滴下ロータを取り付けた 200ml の三つ口フラスコ(あらかじめアルゴンガスで置換しておいた)に注射器を用いて THF を 5ml 加えた。そこへ 1.6M *n*-butyllithium ヘキサン溶液(4.8ml, 7.7mmol)と diisopropylamine(0.773g, 7.7mmol)の順に注射器を用いてフラスコ内に直接加え、5 分間氷浴中で攪拌した。このように合成した LDA 中に 7ml の THF に溶かした 4(1.322g, 7.63mmol)を滴下ロータで 30 分かけて加え、1 時間氷浴中で攪拌した。攪拌中は透明の溶液がメチル基のリチオ化反応に伴い、赤色へと変化した。攪拌終了後、5ml の THF に溶かした 7a(1.00g, 3.82mmol)を滴下ロータから 30 分かけて加え、72 時間室温で攪拌を行った。攪拌終了後、50ml の水と 200ml の Chloroform を加え、Chloroform 層に目的物を抽出した。その Chloroform 層を飽和 NaCl 水溶液で洗浄し、無水 Na₂SO₄ を加えて乾燥した。乾燥後、ロータリーエバポレーターで Chloroform を除去し、残渣をシリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200, 展開溶媒 ethyl acetate)で精製すると油状の目的物 230.9mg(収率 13.5%)を得た。 ^1H NMR(CDCl₃, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.19(t, 4H, benzene-CH₂, *J*=8.0Hz), 3.35(t, 4H, qui-CH₂, *J*=8.8Hz), 4.05(s, 6H, qui-OCH₃), 7.02(d, 2H, 5-quiH, *J*=8.5Hz), 7.15(t, 2H, 4-benzeneH, *J*=4.0Hz), 7.19~7.26(m, 4H, 3-quiH, 3-benzeneH), 7.33(d, 2H, 7-quiH, *J*=8.1Hz), 7.38(dd, 2H, 6-quiH, *J*=7.6, 7.6Hz), 7.96(d, 2H, 4-quiH, *J*=8.4Hz)。 ^{13}C NMR(CDCl₃, CDCl₃ 77.0ppm) δ [ppm] 161.0, 155.0, 139.7, 139.3, 136.1, 129.1, 127.9, 126.2, 125.8,

122.0, 119.5, 107.7, 56.0, 40.3, 32.6. 元素分析 実測値 C:78.10%, H:6.35%, N:6.01%. 計算値($C_{32}H_{28}N_2O_2 \cdot 0.7H_2O$) C:78.13%, H:6.43%, N:6.08%.

4. 2. 6. 1, 2-Bis[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]-benzene (10a) の合成

9a(70mg, 0.049mmol)と 10ml の 48%**HBr** を用いて、**6** の合成と同様の操作を行った。シリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-200、展開溶媒 ethyl acetate)で精製し、油状の目的物 20.6mg(収率 31.2%)を得た。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.17~3.21(m, 4H, benzene- CH_2), 3.23~3.27(m, 4H, qui- CH_2), 7.14~7.19(m, 4H, 5-quiH, 4-benzeneH), 7.21~7.24(m, 4H, 3-quiH, 3-benzeneH), 7.28(d, 2H, 7-quiH, $J=8.2$ Hz), 7.38(dd, 2H, 6-quiH, $J=7.9$, 7.9Hz), 8.02(d, 2H, 4-quiH, $J=8.4$ Hz). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 159.5, 151.7, 139.2, 137.7, 136.4, 129.3, 126.9, 126.8, 126.5, 122.2, 117.6, 109.9, 39.8, 32.3. 元素分析 実測値 C:77.76%, H:5.83%, N:6.36%. 計算値($C_{32}H_{24}N_2O_2 \cdot 0.7H_2O$) C:77.64%, H:5.91%, N:6.47%.

4. 2. 7. 1, 3, 5-Tris(bromomethyl)benzene (8b) の合成

70ml の四塩化炭素、Mesitylene(**7b**)(3.00g, 25mmol)、N-Bromosuccinimide(13.35g, 75mmol)、Azobisisobutyronitrile(0.3g, 1.8mmol)を用いて、**8a** の合成と同様の実験操作を行い、白色固体の目的物 2.81g(収率 31.4%)を得た。融点 79~81°C。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 4.46(s, 6H, benzene- CH_2), 7.36(s, 3H, benzeneH). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 139.0, 129.6, 32.2. I.R.(KBr 錠剤法) 1618 cm^{-1} (benzene 環), 584 cm^{-1} (C-Br). 元素分析 実測値 C:29.63%, H:2.38%. 計算値($C_9H_9Br_3 \cdot 0.3H_2O$) C:29.84%, H:2.67%.

4. 2. 8. 1, 3, 5-Tris[2-(8-methoxyquinolin-2-yl)-ethyl]benzene (9b) の合成

1.6M n-Butyllithium ヘキサン溶液(6.25ml, 10mmol)、diisopropylamine(1.01g, 10mmol)から LDA を合成し、**4**(1.61g, 9.3mmol)、**8b**(1.07g, 3mmol)を用いて、**9a** の合成と同様の実験操作により薄黄色固体の目的物 893mg(収率 46.9%)を得た。融点 58~61°C。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.07~3.10(m, 6H, benzene- CH_2), 3.30~3.33(m, 6H, qui- CH_2), 4.09(s, 9H, qui-O CH_3), 7.00(s, 3H, benzeneH), 7.04(d, 3H, 7-quiH, $J=7.5$ Hz), 7.21(d, 3H, 3-quiH, $J=8.4$ Hz), 7.34(d, 3H, 5-quiH, $J=7.8$ Hz), 7.40(dd, 3H, 6-quiH, $J=7.7$ Hz, 8.0Hz), 7.99(d, 3H, 4-quiH, $J=8.4$ Hz). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 161.1, 155.0, 141.6, 139.8, 136.1, 127.9, 126.5, 125.8, 122.1, 119.5, 107.7, 56.1, 41.0, 36.0. I.R.(KBr 錠剤法) 1603 cm^{-1} (芳香環), 1109 cm^{-1} (C-O-C). 元素分析 実測値 C:78.01%, H:6.51%, N:6.23%. 計算値($C_{42}H_{39}N_3O_3 \cdot 0.6H_2O$) C:78.26%, H:6.29%, N:6.52%.

4. 2. 9. 1, 3, 5-Tris[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)-ethyl]benzene (10b) の合成

9b(100mg, 0.158mmol)と 50ml の 48%**HBr** を用いて、**6** の合成と同様の実験操作により薄緑色固体の目的物 82mg(収率 87.4%)を得た。融点 38~41°C。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.06~3.09(m, 6H, benzene- CH_2), 3.16~3.19(m, 6H, qui- CH_2), 6.92(s, 3H, benzeneH), 7.16(d, 3H, 7-quiH, $J=7.6$ Hz), 7.18(d, 3H, 3-quiH, $J=8.5$ Hz), 7.28(d, 3H, 5-quiH, $J=8.1$ Hz), 7.39(dd, 3H, 6-quiH, $J=7.9$ Hz, 7.9Hz), 7.99(d, 3H, 4-quiH, $J=8.4$ Hz). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 159.6, 151.8, 141.6, 137.6, 136.2, 126.9, 126.8, 126.4, 122.4, 117.6, 109.8, 40.1, 35.3. I.R.(KBr 錠剤法) 3367 cm^{-1} (OH 伸縮), 1599 cm^{-1} (芳香環), 1088 cm^{-1} (OH 変角). 元素分析 実測値 C:79.00%, H:5.85%, N:7.06%. 計算値($C_{39}H_{33}N_3O_3$) C:79.16%, H:5.62%, N:7.10%.

4. 2. 10. 1, 2, 4, 5-Tetrakis(bromomethyl)benzene (8c) の合成

Durene(**7c**)(6.71g, 50mmol)、N-Bromosuccinimide(35.60g, 200mmol)、Azobisisobutyronitrile(0.30g, 1.8mmol)を用いて、**8a** の合成と同様の実験操作により白色固体の目的物を 7.01g(収率 31.2%)得た。融点 156~157°C。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 4.60(s, 8H, benzene- CH_2), 7.37(s, 2H, benzeneH). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 137.6, 133.6, 28.7. I.R.(KBr 錠剤法) 1637 cm^{-1} (benzene 環), 609 cm^{-1} (C-Br). 元素分析 実測値 C: 26.99%, H:2.15%. 計算値($C_{10}H_{10}Br_4$) C:26.70%, H:2.24%.

4. 2. 11. 1, 2, 4, 5-Tetrakis[2-(8-methoxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene (9c) の合成

1.6M n-Butyllithium ヘキサン溶液(33ml, 52.8mmol)と diisopropylamine(5.34g, 52.8mmol)から合成した LDA と **4**(7.62g, 44mmol)、**8c**(4.95g, 11mmol)を用いて、**9a** の合成と同様の実験操作により黄色固体の目的物 1.38g(収率 15.3%)を得た。融点 243~244°C。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.07~3.10(m, 8H, benzene- CH_2), 3.24~3.28(m, 8H, qui- CH_2), 4.05(s, 12H, qui-O CH_3), 7.02(d, 4H, 7-quiH, $J=7.5$ Hz), 7.08(s, 2H, benzeneH), 7.12(d, 4H, 3-quiH, $J=8.4$ Hz), 7.33(d, 4H, 5-quiH, $J=7.9$ Hz), 7.39(dd, 4H, 6-quiH, $J=7.7$ Hz, 8.0Hz), 7.93(d, 4H, 4-quiH, $J=8.4$ Hz). ^{13}C NMR($CDCl_3$, $CDCl_3$ 77.0ppm) δ [ppm] 161.3, 155.0, 139.7, 137.0, 136.0, 130.0, 127.9, 125.8, 122.2, 119.5, 107.7, 56.1, 40.3, 32.3. I.R.(KBr 錠剤法) 1603 cm^{-1} , 1502 cm^{-1} (芳香環), 1257 cm^{-1} , 1107 cm^{-1} (C-O-C). 元素分析 実測値 C:78.07%, H:6.28%, N:6.68%. 計算値($C_{54}H_{50}N_4O_4 \cdot 0.6H_2O$) C:78.16%, H:6.22%, N:6.75%.

4. 2. 12. 1, 2, 4, 5-Tetrakis[2-(8-hydroxyquinolin-2-yl)ethyl]benzene (10c) の合成

9c(1.067g, 1.303mmol)と 100ml の 48%**HBr** を用いて、**6** の合成と同様の実験操作により薄緑色固体の目的物 656mg(収率 66.0%)を得た。 1H NMR($CDCl_3$, TMS 0ppm) δ [ppm] 3.09~3.17(m, 16H, benzene- CH_2 , qui- CH_2), 7.00(s, 2H,

benzeneH), 7.15~7.18(m, 8H, 3-quiH, 7-quiH), 7.28(d, 4H, 5-quiH, $J=8.1\text{Hz}$), 7.39(dd, 4H, 6-quiH, $J=7.8\text{Hz}$, 8.0Hz), 8.01(d, 4H, 4-quiH, $J=8.4\text{Hz}$). ^{13}C NMR(CDCl_3 , CDCl_3 77.0ppm) $\delta[\text{ppm}]$ 159.7, 151.8, 137.6, 137.0, 136.4, 130.3, 126.9, 126.8, 122.3, 117.6, 110.0, 39.8, 32.0. I.R.(KBr 錠剤法) 3371cm^{-1} (OH 伸縮), 1603cm^{-1} , 1510cm^{-1} (芳香環), 1244cm^{-1} (C-O), 1086cm^{-1} (OH 変角). 元素分析 実測値 C:77.83%, H:5.67%, N:7.27%. 計算値($\text{C}_{50}\text{H}_{42}\text{N}_4\text{O}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) C:77.79%, H:5.62%, N:7.26%.

参考文献

- (1) C.W.Tang, S.A.VanSlyke, *Appl. Phys. Lett*, 51, 913(1987).
- (2) Y. Hamada, T. Sano, M. Fujia, T. Fujii, Y. Nishino, K. Shibata, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 32, L514(1993).
- (3) M. Albrecht, O. Blau, *Chem. Commun.* **1997**, 345(1997).
- (4) 米田昭夫, 大内幹夫, 北村千寿, 大淵真一, 塘啓祐, 松下隆之, 日本化学会第 81 回年会予稿集, 東京, (2002).
- (5) C. Kitamura, N. Maeda, N. Kamada, M. Ouchi, A. Yoneda, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, **2000**, 781, (2000).
- (6) 古賀元, 古賀ノブ子, 安藤亘, 有機化学用語辞典, 初版, 朝倉書店, 376, (1990).

時間スケールの違いからみた明石川河口の地形変動特性

岸本周平* 宇野宏司**

The Characteristic of Topographic Change of the Akashi River Mouth with the Different Time Scale

Shuhei KISHIMOTO* Kohji UNO**

ABSTRACT

We conducted the field observations and arranged weather and wave data to grasp the water environment and topographic change at river mouth on a short-term scale. Moreover, we examined the topographic change at the river mouth by using aerial photographs on a long-term scale. Study site is Akashi River mouth, Hyogo Prefecture in Japan. From on a short-term scale study, it is clarified right bank sandbar often developed than left bank one. However, from the result of the long-term scale study, it turned out opposite to short-term scale study.

Key words : continuous monitoring, topographic change, river mouth bar, portable GPS, Aerial photograph

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、流路延長21.0 km、流域面積128.4 km²の都市中小河川(2級河川)である。河口では、一年を通して砂州やテラスの形状や面積が大きく変化している。そのため、河口の水環境は短期間で大きく変化し、様々な稚魚の生育場となっている。河口砂州がもたらす恩恵は各地でみられ、例えば、大阪湾に流れ込む都市河川において、砂州が形成されることでアユ稚魚が生育できる環境が維持されているという事例⁽¹⁾が報告されている。また、琵琶湖においても砂州により内湖が形成されることで、水質が改善する⁽²⁾といったこともある。

明石川河口右岸では船上浄化センターが隣接しており、河口閉塞が進むと下水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。このようなことから砂州の動態を知ることは河川管理や環境を保全する上で必要なことだといえる。

著者らは過去3年間の現地調査によって春季～夏季にかけての出水による砂州フラッシュと冬季波浪による砂州回復のサイクルが繰り返されていることを見出した⁽³⁾が、その回復過程については十分に明らかでない。また、持続

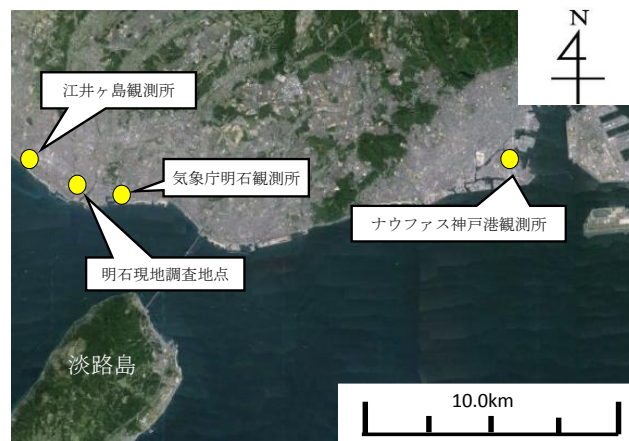


写真1 各観測点の位置関係

可能な河道管理の観点からは、砂州短期間のスケールだけではなく、より長期間スケールでの砂州動態の把握が必要である。

本研究では、短期間スケールでの砂州の地形変動特性として右岸砂州が発達した場合(2011年9月～2013年2月)と左岸砂州が発達した場合(2013年9月～2014年2月)の気象・海象データを整理することで、短期間での砂州回復過程の要因を検討するとともに、過去の航空写真を比較することで、長期間スケールでの明石川河口砂州の地形変動特性を把握した。

* 専攻科都市工学専攻

** 都市工学科准教授

2. 調査概要

短期間スケールでの砂州動態を把握するために、2011年9月～2014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(ただし、これについては2012年～2013年のみ)を対象とし、地形の時空間変動の把握に関する現地に調査を行なった。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に砂州全体の撮影を行った。さらに、観測期間中の気象・海象データを整理した。

一方、長期間スケールでの砂州動態を把握するために、航空写真をもとに潮位補正をした砂州面積を比較した。

2.1 短期間スケール（2011年9月～2014年9月）

(a) 砂州形状・水位 明石川河口の左岸堤防天端の定点(写真2)で河口砂州形状をデジタルカメラ(COOLPIX P6000, Nikon社)で撮影した。また、河口砂州の汀線位置を携帯型GPSで記録した(2011年9月～2014年9月)。その際、河口から上流側約800m地点の右岸護岸下(写真2)に自記録式水位計(HOBO U-20, onset社)を取り付けたブロックを設置し、2分間隔で連続モニタリングを行った。

(b) 砂州表層底質の有機物 砂州形状が変化することによって河口の閉塞度が変わると砂州質の有機物量にも何らかの影響が及ぶことが考えられる。そこで2011年11月～2014年7月における砂州底質の強熱減量の推移を調べるため、砂州表層の砂を三地点(上流側、先端部、海側)採取した。

(c) 気象・海象データ 砂州回復過程の要因を検討するために、右岸の発達した冬季(2011年9月～2012年2月、2012年9月～2013年2月)と、左岸の発達した冬季(2013年3月～2014年2月)について、気象データ(気象庁アメダス観測点:明石)⁽⁴⁾や海象データ(国土交通省港湾局ナウファス観測点:神戸)⁽⁵⁾を整理した。

気象データとしては、降雨流出による砂州地形変化への影響を見るために、降水量を対象とした。ここでは対象とする降雨が局所的なものであったか否かを確認するため、明石及びその周辺(三木、神戸、姫路)の雨量について1時間間隔で整理を行った。図1に各観測点の降水量を示す。この図から降雨の開始と終了の時刻がほぼ同じであったため、今回対象とする事例は、局所的なものではなく広範囲に及ぶ降雨であったといえる。また、明石以外の観測点は明石川の流域面積に含まれていないため、本研究では降雨データとして明石のものを使用した。

海象データに関しては、明石川河口では波浪に関するデータがないため、大阪湾側の神戸港での波高及び波向データを使用した。波高に関しては明石川と同じく播磨灘に位置する江井ヶ島での値も併記した。なお、風の影響(風向、風速)については気象庁アメダス観測点(明石)のデータを使用した。

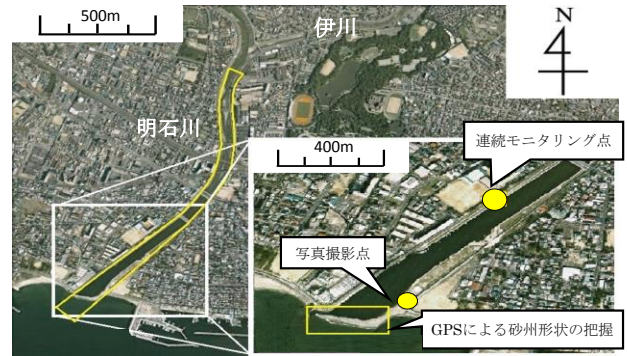


写真2 明石川河口と現地調査地点

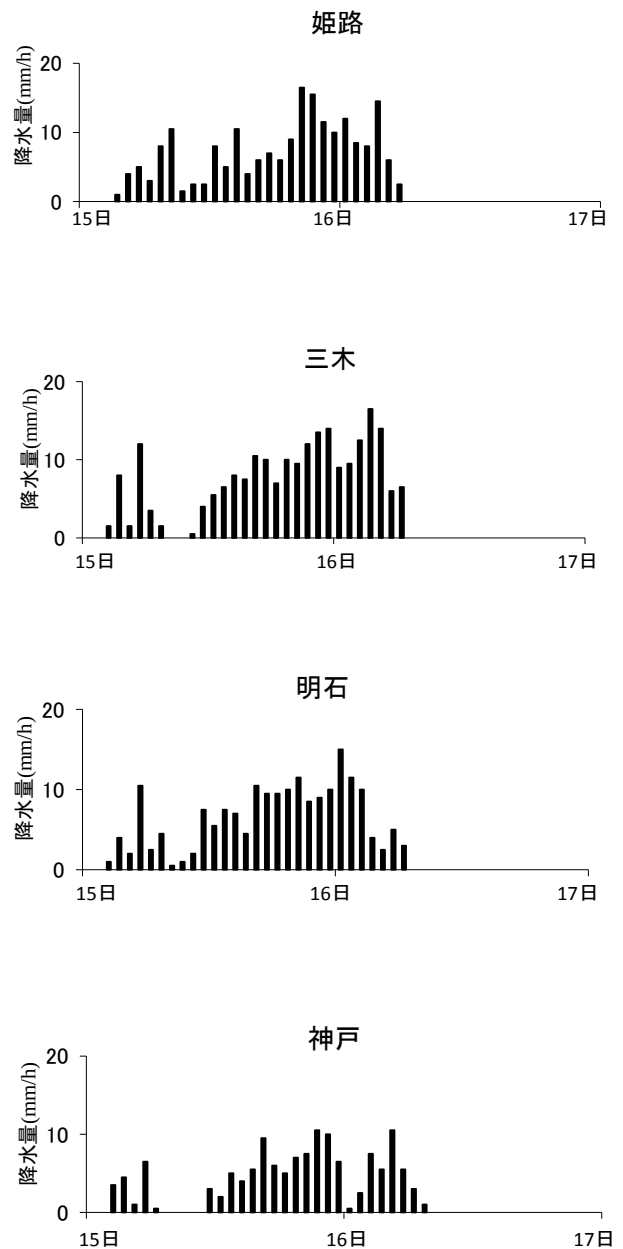


図1 各観測点の降水量(2013年9月出水時)

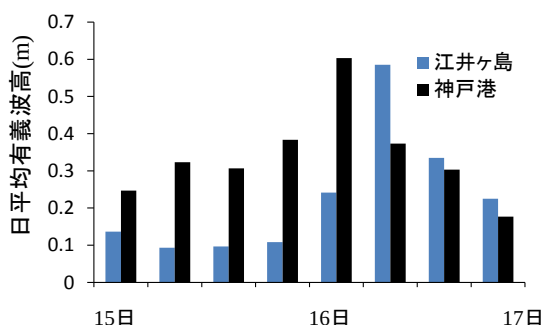


図2 各観測点の有義波高(2013年9月)

図2に有義波高のデータを示す。出水期間前半では神戸港で波高が高かったが、後半には江井ヶ島での波高が上回る結果となっていた。このように両地点の波高は時間によって高さが異なり局所性を有することに留意が必要であるが、波高の変化傾向はよく似ていると判断した。

2.2 長期間スケール (1946年11月～2009年5月)

(a) 使用データ 1946年～2009年のうち、17年分の航空写真⁽⁶⁾をもとに明石川河口砂州地形の変遷を把握した。

(b) 潮位補正 航空写真からは砂州の形状を把握し、見かけの砂州面積を算出することができるが、撮影時刻が異なるため、ある基準面(ここでは平均海水面)での面積に補正した上で比較する必要がある。ここでは、航空写真撮影時刻から明石川の推算潮位(潮位観測基準面)を求め、これをT.P.値に換算した。その上で、平均海水面との水位差を算出し、砂州周縁部の地形勾配を用いて砂州面積を補正した。

3. 調査結果および考察

3.1 短期間スケール (2011年9月～2014年9月)

(a) 砂州形状・水位 図3に2011年～2013年の9月、11月、翌年1月の砂州形状と降水量を示す。9月は台風接近に伴う出水の影響で河口砂州がフラッシュされ、河口が閉塞されていない時期、11月は風が強く、有義波高が高くなることで、砂州が形成され始める時期、翌年1月は降雨量が少なく、出水の影響が少なくなることで河口が閉塞する時期といったように、明石川河口地形動態には一年周期のサイクルがある。本図からも、9月には降水量が増加することで河口砂州はフラッシュされ、観測期間中の全ての年で河口は閉塞されないということがわかる。冬季(11月～翌年1月)の砂州の形状についてみると、2011年～2012年については右岸テラスが大きく発達し、その上流側に左岸砂州が発達していた。なお、2012年1月は、右岸砂州についてのGPS観測を行えなかったが、右岸砂州は左岸砂州よりも発達していた。一方、2013年については右岸から砂州が発達せず左岸から砂州が大きく発達していた。以上のことから現地調査を行った2011年から2014年にかけての短期間では、明石川河口の砂州は左岸砂州が発達する場合よりも、右岸砂州が発達する場合

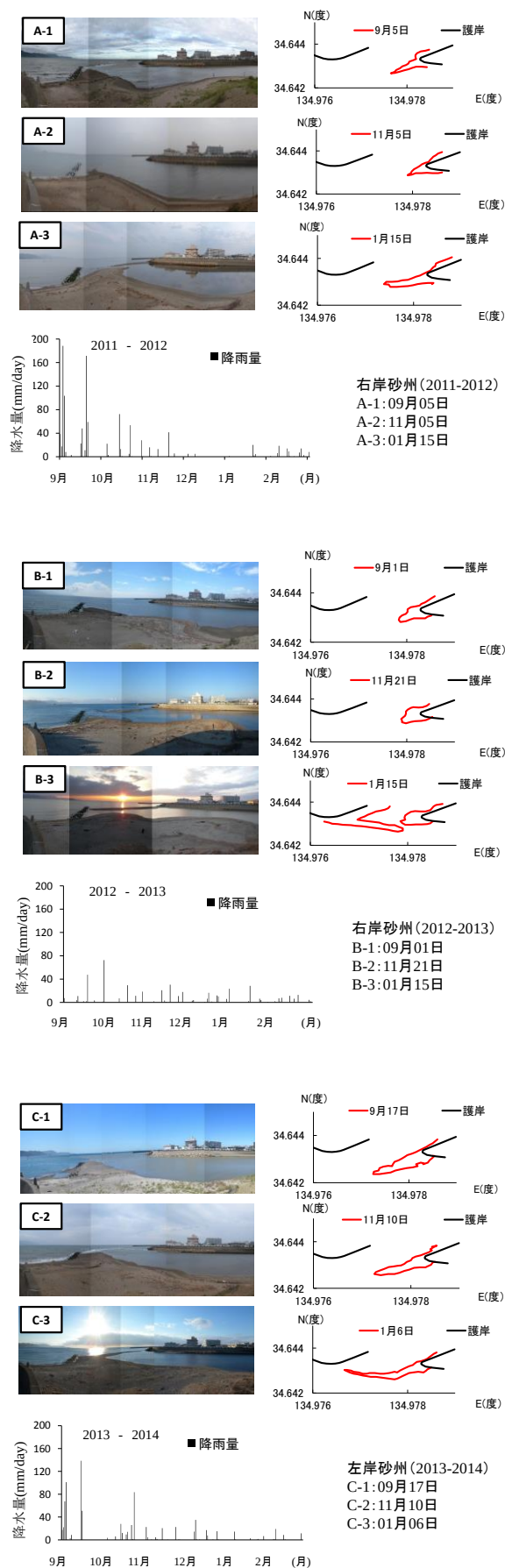


図3 砂州形状推移(2011年-2014年)

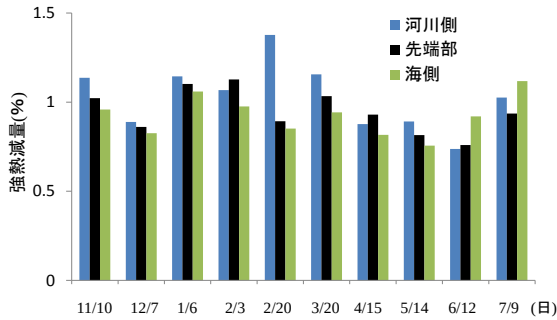


図4 砂州表層底質の強熱減量（2013年～2014年）

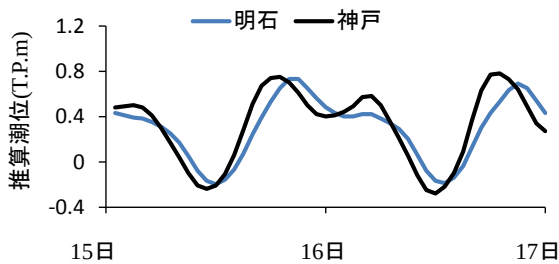


図5 明石川河口・神戸港の推算潮位（2013年9月）

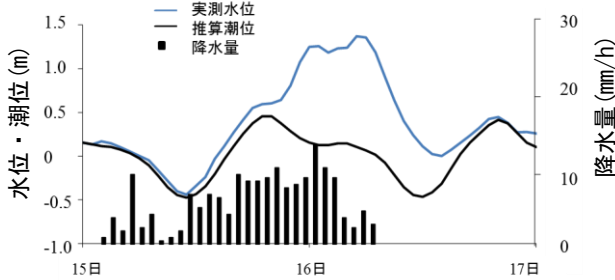


図6 実測水位と推算潮位の差（2013年9月出水時：明石）

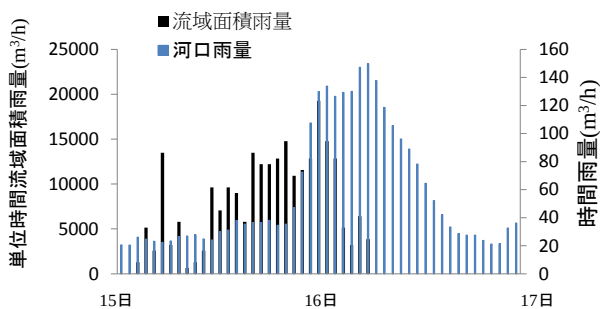


図7 降雨量が河口に与える影響

が多いという結果が得られた。

(b) 砂州表層底質の有機物 図4に砂州表層底質の強熱減量を示す。この図より、冬季は河川側の方が有機物量は大きく、海側ほど小さな値になっていた。海側で低い値になっているのは、水が滞留しやすい河川側の水に比べて、河口沖では海水の流れが速いためであると考えられる。また、河川側で大きな値となっているのは、右岸にある処理場の処理水が直接流入していることの影響も考えら

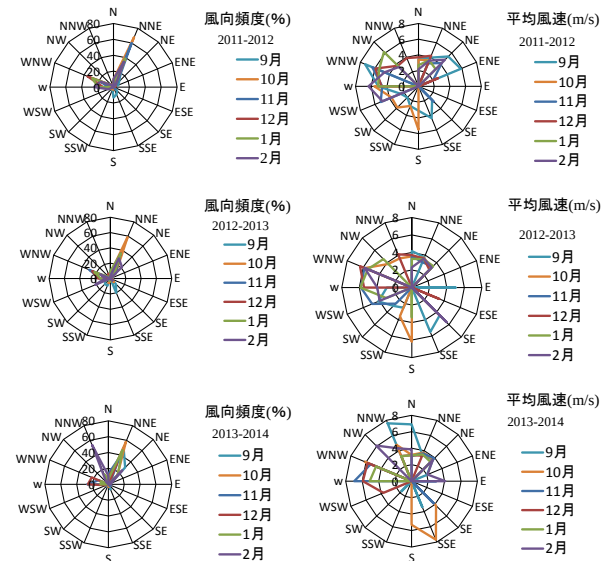


図8 風向頻度・平均風速（9月～翌年2月）

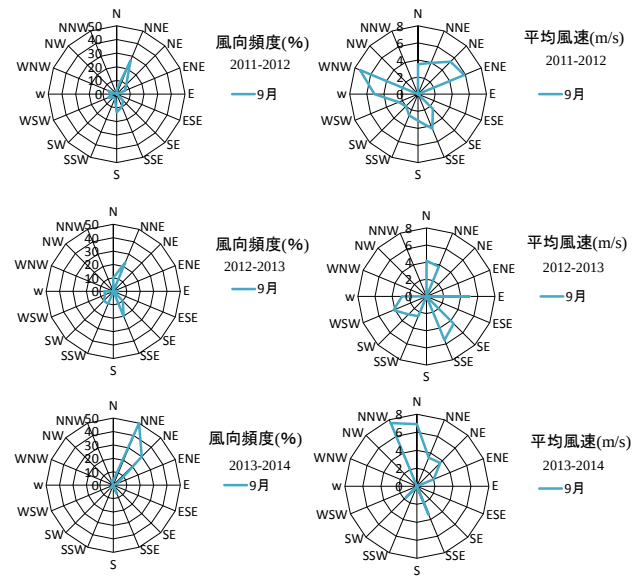


図9 風向頻度・平均風速（9月）

れる。一方、夏季には上流側よりも海に近いほど有機物量が大きくなっていた。これは、梅雨の時期に伴う出水により、滞留水が増水した河川の影響によって薄められたためと考えられる。

(c) 気象・海象データ 明石川河口で砂州の発達に違いが見られた要因として、砂州の形成要因である風の影響、波の影響についてもそれぞれ検討した。

図5に明石川河口と神戸港の推算潮位、図6に実測水位と推算潮位の差、図7に降雨量が河口に与える影響について示す。なお、先行降雨については9月8日(8.5mm/day)以来、観測されていない。これらの図より、降雨が観測されてから河口の流量に影響が出るまでには6

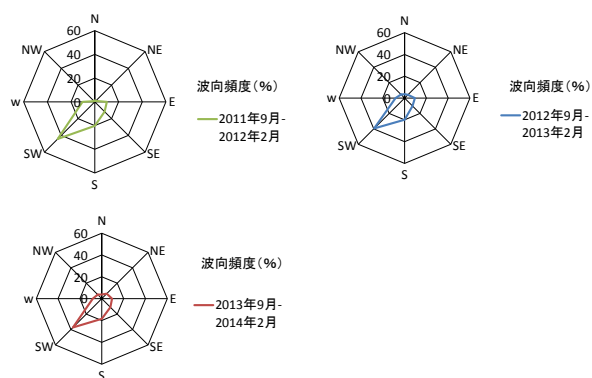


図 10 冬季波向頻度

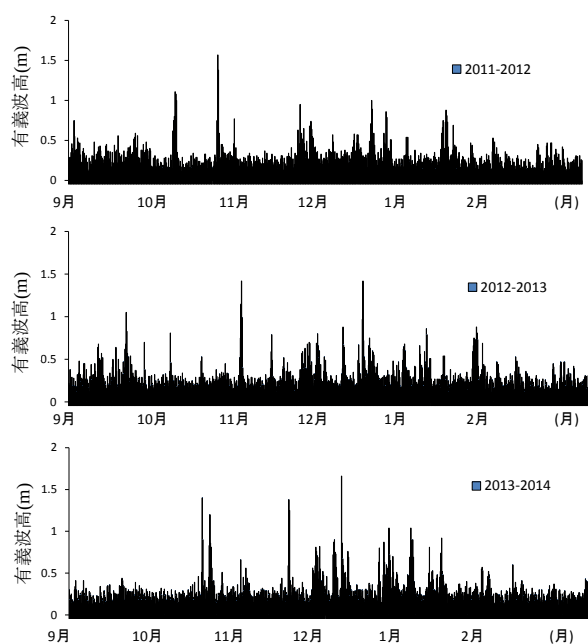


図 11 有義波高

時間程の時間差があった。また、流域内総降雨量の 0.74% が今回の出水による流出量に相当していることがわかった。

次に砂州が回復する冬季の風と波の状況について検討する。

図 8 に 2011 年～2014 年までの冬季(9 月～翌年 2 月)の風向頻度と平均風速を示す。全期間では大きな違いが見られないため、代表として砂州の発達し始める 9 月の値を図 9 に示す。図 9 より右岸の発達した 2011 年～2012 年、2012 年～2013 年の冬季では弱い NNE の風と、強い WNW の風の出現が卓越していたことが確認できる。それに対して左岸の発達した 2013 年～2014 年の冬季では NNE と WNW の風に加えて NNW の風が高い割合を占め、平均風速も大きくなっていった。

図 10, 11 に波の統計データを示す。右岸砂州、左岸砂州どちらが発達した場合でも有義波の波向に大きな違いは見られず、どちらの場合も SW の波が卓越していた(図 10)。しかし、有義波高を見ると、右岸砂州が発達した

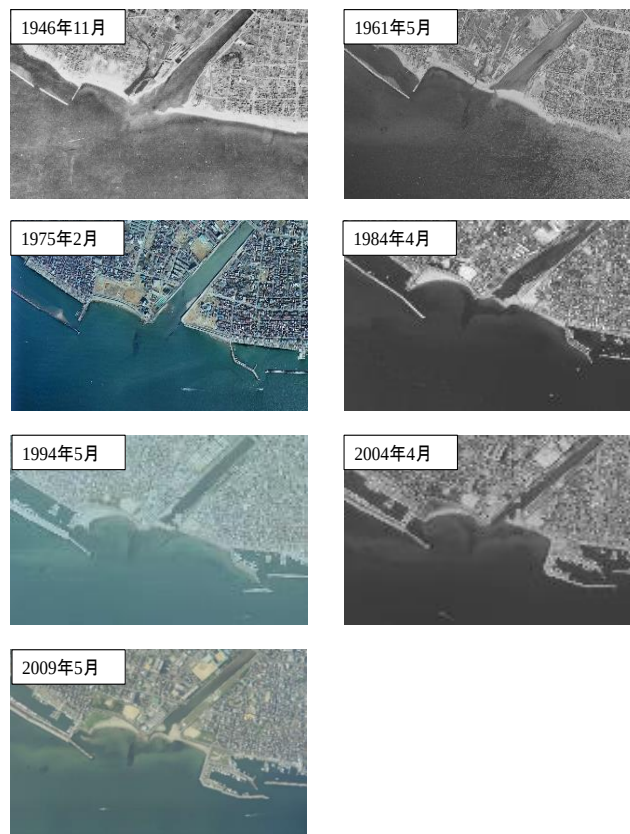


写真 3 明石川河口地形の経年変化

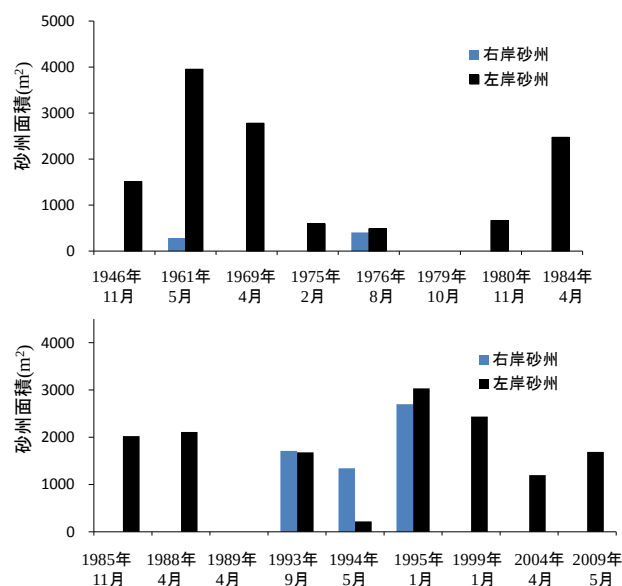


図 12 砂州面積の経年変化

時と比べて、左岸砂州が発達した時は、砂州が形成され始める 9 月～10 月の有義波高が小さくなっていることがわかった(図 11)。南向きの平均風速が大きく出現頻度も高いことから、海から川に向かう波が発達しにくかったためだと考えられる。これにより陸風の影響が強い場合には波が

十分に発達することなく、そのため、出水時に流出し左岸側の浅瀬に堆積した土砂が戻るとどまったのではないかと考えられる。一方、海風の影響が強い場合では十分に発達した波によって、右岸側のみお筋側付近に流出していた土砂が戻り、右岸側テラスや砂州を形成すると考えられる。

3.2 長期間スケール（1946年11月～2009年5月）

(a) 河口地形 写真3に明石川河口地形の経年変化を示す。最も古い1946年と最も新しい2009年までの明石川河口の様子を見ると、1946年にはなかった親水空間が1994年頃から整備され、これに伴い川幅が減少していることや、左岸の沖合に1975年頃から防波堤や埋立地が建設されている。また、砂州の形状を比較すると、季節や撮影時間は異なるが、1946年、1961年、1984年、2004年、2009年の5年で左岸砂州が発達していたのに対し、1994年のみが右岸砂州が左岸砂州よりも大きく発達していた。他の年では右岸砂州が左岸砂州よりも発達した年は一度もなく、左岸砂州が大きく発達するか、両岸の砂州が発達するかという結果であった。つまり、長期間スケールで見ると、明石川河口の砂州は右岸砂州が発達する場合よりも左岸砂州が発達する場合の方が高い頻度を占めている結果となった。ここ最近の連続モニタリングにより、明石川は右岸砂州の方が卓越する河川だと考えていたが、長期間スケールで砂州の形状をみると明石川では左岸砂州の方が卓越する機会が多く、ここ最近の砂州形状は長期的な傾向から見て珍しいものだということがわかった。

(b) 砂州面積 図12に潮位補正を行った砂州面積の経年変化を示す。この図から、明石川河口では左岸砂州が卓越する場合が多いことがわかった。また、季節ごとにみると、春季では砂州が大きく発達し、秋季には砂州がフラッシュされたり縮小されたりしていた。左岸砂州はフラッシュされていない限り存在するが、右岸砂州は全く発達しない年も少なくないこともわかった。

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気象・海象データを詳細に整理することによって、右岸砂州が発達した場合（2011年9月～2013年2月）と左岸砂州が発達した場合（2013年9月～2014年2月）の砂州が回復する過程の要因を検討した。また、国土地理院から得られた過去の航空写真を比較し、長期間の明石川河口においての砂州の形状変化を把握した。本研究で得られた結論を以下に示す。

(1) 短期間スケールによる明石川河口砂州の形状特性

2011年～2014年の短期間で行った現地調査の結果、明石川河口の砂州は左岸砂州が発達する場合よりも右岸砂州が発達する場合の方が多かった。また、砂州の形成要因に関してみると、風、波浪の影響で違いが見られた。強熱減量の結果からは、明石川河口では潮流や下水処理場の影響を受けて海側は有機物質が少なく、河川側で多い傾向が示された。また、気象・海象データを検討した結果、陸風の影響が強い場合には波が十分に発達することなく、出水時に流出し左岸側の浅瀬に堆積した土砂が戻っている可能性が示された。一方、海風の影響が強い場合では十分に発達した波によって、右岸側のみお筋側付近に流出していた土砂が戻り、テラスや砂州を形成すると考えられる。

(2) 長期間スケールによる明石川河口砂州の形状特性

国土地理院から得られた航空写真の17年間のうち、出水の影響で砂州が形成されていなかった年を除けば、1993年、1994年の2年のみ右岸砂州が左岸砂州よりも大きく発達していた。また、左岸は多くの年で砂州が形成されていたが、右岸では砂州が全く形成されない年もあった。

都市河川のような中小規模河川の動態を考えるにあたっては、短期間のモニタリングのみではなく、長期的な時間スケールで捉えておくことが重要であるといえる。

参考文献

- (1) 古川 光里, 今井 勝幸:「大和川における自然再生事業の取り組みについて（中間報告）」, 近畿地方整備局研究発表会論文集, 調査・計画・設計部門
- (2) 宇治市: 内湖再生全体ビジョン,
<http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako/naiko/files/vision-no4/files/no4-siryou3.pdf> (2014年10月30日確認)
- (3) 宇野 宏司, 木下 歩, 岸本 周平, 辻本 剛三, 柿木 哲哉:「都市河川河口の地形・水環境の年変化」, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. I_558-I_563, 2014
- (4) 気象庁: 過去の気象データ,
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2014年10月30日確認)
- (5) 国土交通省港湾局: ナウファス,
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/> (2014年10月30日確認)
- (6) 国土地理院地図: 空中写真閲覧サービス,
<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.dopp.160-165,2004>. (2014年10月30日確認)

TOEIC Bridge と TOEIC の関係について

上垣宗明*

Relationship between TOEIC Bridge and TOEIC Scores

Muneaki UEGAKI*

ABSTRACT

This paper focuses on relationship between TOEIC scores and TOEIC Bridge scores. In January 2013, every 3rd grader at Kobe City College of Technology was given TOEIC Bridge test. The following academic year, they had the TOEIC Test in November. A questionnaire was administered to every student in February, 2013. With statistical analysis, we analyzed the relationship among their TOEIC scores, TOEIC Bridge scores, and their motivations for English and English learning. Based on their TOEIC Bridge scores, we divided them into three groups. Their TOEIC Bridge scores and their TOEIC scores had slight correlation, especially concerning the lower and the higher scoring students of TOEIC Bridge, these scores scarcely had correlation. The results of the analyzed questionnaire showed that the higher motivated students got the higher scores on TOEIC Bridge and on TOEIC. That tendency appeared in the Reading Section of TOEIC more clearly than the Listening Section of TOEIC.

Keywords : TOEIC Bridge Score, TOEIC Score, 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 月に国際コミュニケーション英語能力テスト(Test of English for International Communication : 以降 TOEIC)を初めて 4 年全学生に受験させた。TOEIC は、英語能力を測定するテストとして社会でも広く受け入れられ、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は、当日の英語試験に代わり、TOEIC スコアを英語の試験点数に換算し合否判定の資料として用いている⁽¹⁾。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⁾に、TOEIC に関する様々な公式データが掲載されている。受験者数は、2011 年以降 200 万人以上で、最近では、公開テストに比べ IP テストでの受験者が増えている。また、全受験者数や大学各学年、高専各学年の受験者数、平均点なども公開されており、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。

2. 調査対象について

本稿では、本高専の 2012 年度 3 年の全 6 クラスの学生を対象に、2013 年 1 月に実施した TOEIC Bridge のスコア、翌月 2 月の英語演習の授業中に実施した英語や英語学習に対する動機づけに関する質問紙、そして、4 年時の 2013 年 12 月に実施した TOEIC スコアを分析対象とする。TOEIC Bridge は 224 名が受験、質問紙には 232 名が回答、TOEIC は 229 名が受験したが、全てを受けた学生は 207 名だったので、この 207 名を分析対象とする。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。

3. TOEIC Bridge と TOEIC について

3.1 TOEIC Bridge の結果

TOEIC Bridge は、Listening と Reading の 2 つのセクションからなり、それぞれ 50 問、計 100 問出題される。各セクションは 2 点刻みの 10～90 点で評価され、トータルスコアも 2 点刻みの 20～180 点で評価される。分析対象とした 207 名の TOEIC Bridge の結果を表 1 に示す。

* 一般科 教授

表1 TOEIC Bridge の結果

n = 207	Avg.	Max	Min	S.D.
Total	125.1	172	88	15.1
Listening	62.2	86	30	7.8
Reading	62.9	88	40	9.1

(n=人数 Avg.=平均点 Max = 最高点
Min=最低点 S.D.=標準偏差)

表1より、Listening と Reading の平均点はほとんど同じだが、Reading の標準偏差の値が高く、スコアにバラつきがあることが分かる。つまり、Reading に関しては、Listening よりも学生の力の差が大きいといえる。2013 年度の TOEIC の公式データ⁽³⁾では、IP テストでの TOEIC Bridge の全国高専3年生(3,256名受験)の平均は、Listening が 59.5、Reading が 59.1、トータル 118.6 であった。全国の平均と本高専の平均を比較すると、Listening でも Reading でも全国平均よりも3点近く高い。また、全国では Listening の方が僅かだが平均点が高いが、本高専では、Reading の方が平均点は高かった。標準偏差を考慮すると、全体的に英語力は全国平均よりも高いといえるが、Reading に関しては、Listening に比べて、学生間での差が大きいことが分かる。

3.2 TOEIC の結果

TOEIC も TOEIC Bridge と同様に、Listening と Reading の 2 つのセクションからなり、TOEIC Bridge よりも問題数が多く、それぞれ 100 問、合計 200 問出題される。各セクションは 5 点刻みの 5~495 点で評価され、トータルスコアも 5 点刻みの 10~990 点で評価される。分析対象とした 207 名の TOEIC の結果を表2に示す。

表2 TOEIC の結果

n = 207	Avg.	Max	Min	S.D.
Total	342.5	700	130	94.5
Listening	198.9	390	80	51.9
Reading	143.6	35	40	52.0

(n=人数 Avg.=平均点 Max = 最高点
Min=最低点 S.D.=標準偏差)

表2より、Listening の平均点が Reading よりも 55 点近く高く、標準偏差にはほとんど差がみられない。Listening の方が良いスコアを取っていることが分かる。2013 年の TOEIC の公式データ⁽⁴⁾では、IP テストでの TOEIC の全国高専4年生(8,273名受験)の平

均点は、Listening が 205、Reading が 136、トータル 341 であった。TOEIC Bridge と同様に、調査対象の学生は、全国の同年代の学生と比較すると Reading の方が良いことが分かる。TOEIC Bridge では、標準偏差にバラつきがあり、本高専内の学生間での力の差があることが分かったが、TOEIC では、Reading の標準偏差が Listening とほぼ同じ値を示している。Reading に関する学生間の力の差は縮まっている。また、Reading の全国の平均点との比較では、TOEIC Bridge で 100 点中約 4 点の差があったが、TOEIC では、500 点中約 6 点の差となっており、全国平均に近づいている。

3.3 TOEIC Bridge と TOEIC の分析

TOEIC Bridge のスコアを基準に TOEIC Bridge、TOEIC のスコアを上位、中位、下位の 3 群に分けた。それぞれの群の TOEIC Bridge、TOEIC のスコアを表3に示す。

表3 各群の TOEIC Bridge と TOEIC の結果

		Avg.	Max	Min	S.D.
上位群 n=65	Bridge	142	172	134	8.2
	TOEIC	420.6	700	275	95.3
中位群 n=70	Bridge	126	132	120	4.1
	TOEIC	327.9	515	130	71.0
下位群 n=72	Bridge	109	118	88	7.6
	TOEIC	286.3	400	140	61.9

(Avg.=平均点 Max = 最高点
Min=最低点 S.D.=標準偏差)

表3より、上位群の TOEIC Bridge と TOEIC のスコアは他群と比較してバラつきがあり、スコアの開きが一番大きい。つまり、上位群は、学生間での英語力の差が大きいことを示している。中位群では、TOEIC Bridge のバラつきは小さく、ほぼ同じような実力の学生が多いことが分かる。しかし、TOEIC の結果は、標準偏差において上位群よりも低い値だが、下位群よりも高く、少しだが両テストにおいて英語力に違いがみられる。下位群では、TOEIC の標準偏差の値が一番低く、同じような実力の学生が集まっている。つまり、TOEIC Bridge と TOEIC で下位群の学生は英語力にあまり変化が生じず、TOEIC Bridge で良くないスコアの学生は TOEIC でも同じようにスコアが良くなかった学生が多いことが分かる。

それぞれのテストで各群に統計的に有意差が認められるかをクラスカル・ウォリス検定で分析した。その結果を表4に示す。

表4 各群の比較

TOEIC Bridge				
		χ^2 値	P 値	判定
上位群	中位群	42.90	.000	**
上位群	下位群	183.06	.000	**
中位群	下位群	49.98	.000	**
TOEIC				
		χ^2 値	P 値	判定
上位群	中位群	29.89	.000	**
上位群	下位群	73.30	.000	**
中位群	下位群	9.71	.008	**

** = 1%有意 * = 5%有意

表4より、両テストにおいて各群で、1%水準の有意差を確認できた。両テストにおいては、各群では英語力にはっきりとした差があることが分かった。

次に、TOEIC Bridge と TOEIC での全体と各群において、差があるのかを詳細に検討する。TOEIC Bridge と TOEIC では、評価が190点満点と990点満点と異なっているために、通常の有意差を求める t 検定などは利用できず、順位の相関を求めるスピアマンの順位相関係数を用いて検定した。その結果を表5に示す。

表5 全体、各群での両テストの差

	n	P 値	判 定
全体	207	.0000	**
上位群	65	.0001	**
中位群	70	.06	
下位群	72	.005	**

** = 1%有意 * = 5%有意

全体、上位群、下位群では、1%水準で有意差が認められた。TOEIC Bridge と TOEIC の平均点と標準偏差から分析した通りである。しかし、中位群に関して、TOEIC Bridge と TOEIC の平均点と標準偏差から僅かに英語力の違いが見られたが、スピアマンの順位相関係数では5%水準でも有意差は認められなかった。

Listening と Reading の各セクションに分けて、更に詳しい検討を加える。表6に、各群の TOEIC Bridge と TOEIC における両セクションの結果を示す。

表6より、上位群の TOEIC の Reading において、標準偏差が、TOEIC の Listening や他群の両セクションよりも大きく、学生の力に差があることが見て取れ

表6 各セクションの結果

		Listening		Reading	
		Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
上位	Bridge	69.72	5.1	72.25	5.37
	TOEIC	237.92	50.05	182.69	57.32
中位	Bridge	62.83	3.74	63.14	3.79
	TOEIC	195	51.5	122	39.89
下位	Bridge	54.92	5.87	54.08	6.35
	TOEIC	167.64	38.53	118.68	34.69

る。中位群は TOEIC Bridge の標準偏差が低く、全学生が同じようなスコアを取得していることが分かる。下位群では TOEIC Bridge の Listening と Reading の標準偏差が高く、スコアにバラつきがある。一方、TOEIC では、下位群の Reading は他群に比べ標準偏差が低く、スコアがまとまっている。下位群の Reading は、下位群の他の標準偏差とは反対の傾向を示し、その値が低かった。平均点と標準偏差からではなく、統計的に両テストに差があるのかをスピアマンの係数を用いて検定した。その結果を表7に示す。

表7 両セクションの各群の差

		N	P 値	判定
Listening	全体	207	.00	**
	上位	65	.013	*
	中位	70	.088	
	下位	72	.092	
Reading	全体	207	.00	**
	上位	65	.00	**
	中位	70	.052	
	下位	72	.00	**

** = 1%有意 * = 5%有意

表7より、両セクションとも全学生を対象とした比較では、1%水準で有意差が確認できた。しかし、Listening では、上位群は5%水準で有意差は認められたが、他群では有意差は認められなかった。また、Reading セクションでは、中位群以外は1%水準で有意差が認められた。Listening よりも Reading の方がはっきりと差が表れていることが分かる。

4. 質問紙について

英語や英語学習に関する動機づけを調査するための質問紙を、『外国語教育リサーチマニュアル』⁽⁵⁾を参考にして著者が作成した。16の設問 (Appendix 1)

からなり、4段階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。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。

質問紙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」⁽⁶⁾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。

質問紙のクロンバック α 係数を求めると、前回の調査⁽⁷⁾と同様に設問6“英語を勉強するのは嫌だ”，設問8“高専では英語の勉強は必要ないと思う”，設問9“今後、英語よりも数学のほうの方が大切だと思う”の相関係数がマイナスの値を示した。設問6は-0.38，設問8は-0.29，設問9は-0.14を示していた。そのために、この3つの設問を“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、 α 係数は0.79となった。ゾルタイが指摘している0.8に非常に近い数値となり、この質問紙の信頼度は確保できているといえる。

次に、質問紙の結果をTOEIC Bridgeの点数に基づき、上位群、中位群、下位群の3群に分けた。その結果を表8に示す。

表8 各群の質問紙の結果

	n	Avg.	S.D.	Min.	Max
全体	207	45.89	6.45	60	22
上位	65	48.2	5.64	60	35
中位	70	45.8	6.03	57	32
下位	72	44	6.9	58	22

(n=人数 Avg.=平均点 Max = 最高点
Min=最低点 S.D.=標準偏差)

表8より、平均値は、上位群が高く、その次に、中位群、下位群の順番となっている。上位群の方が英語や英語学習に対する動機付けが高いことが平均値から推測できる。また、標準偏差では、上位群は一番バラつきが少なく、値にまとまりがある。下位群では標準偏差の値が高く、値にバラつきがあり個人によって違いが大きい。

各群に有意差があ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9に示す。

表9 3群の比較

		差	χ^2 値	P値	判定
上位群	中位群	2.4	4.7973	.0908	
上位群	下位群	4.2	13.5131	.0012	**
中位群	下位群	1.6	2.2481	.3250	

** = 1%有意 * = 5%有意

表9より、上位群と下位群においては1%水準で有意差があり、上位群の学生の方が英語や英語学習に対する動機づけが高いことが分かる。反対に、下位群は上位群に対しては、有意に動機づけが低いといえる。中位群については、上位群と下位群ともに有意差は認められなかった。

次に、16の設問で、各群によって違いがみられるのかを明確にするために、全体と各群の各設問の平均値、標準偏差を表10に示す。

表10 全体と3群の各設問の数値

設問	全体		上位群		中位群		下位群	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
1	3.55	0.65	3.74	0.44	3.49	0.76	3.44	0.67
2	2.94	0.87	3.15	0.78	2.9	0.85	2.79	0.95
3	3.55	0.65	3.66	0.54	3.57	0.58	3.43	0.78
4	1.72	0.77	1.92	0.76	1.84	0.79	1.43	0.67
5	3.71	0.55	3.85	0.4	3.63	0.68	3.65	0.51
6	2.55	0.91	2.91	0.84	2.59	0.86	2.18	0.88
7	2.86	0.76	2.89	0.81	2.79	0.76	2.9	0.72
8	3.44	0.7	3.66	0.57	3.36	0.76	3.33	0.71
9	2.86	0.78	3.02	0.62	2.76	0.84	2.82	0.83
10	2.5	0.95	2.55	0.97	2.66	0.92	2.29	0.96
11	2.7	0.81	2.8	0.77	2.64	0.8	2.67	0.86
12	2.62	0.93	2.77	0.98	2.6	0.89	2.5	0.9
13	2.56	1.1	2.51	1.13	2.54	1.14	2.61	1.03
14	2.9	0.9	2.98	0.93	2.94	0.93	2.79	0.85
15	3.4	0.77	3.55	0.66	3.4	0.75	3.26	0.86
16	2.03	0.76	2.26	0.8	2.07	0.75	1.79	0.67

(設問6, 8, 9は逆数)

表10において、特徴的な設問について検討する。多くの設問で、上位群、中位群、下位群と徐々に平均値が下がっている。特に設問1は、上位群と下位群では、0.3異なっており、標準偏差は上位群の数値が低く、

バラつきが少ない。上位群の学生は、全体として、他群より英語が通じたときに強く喜びを感じていることが分かる。同様な結果が設問2、3でも表れている。

設問4に関しても、平均値は1点台と低いにも関わらず、値の開きが0.49と2番目に大きく、下位群の方が英語を難しいと強く感じていることが分かる。

設問5は、他の設問とは異なり、上位群だけが3.85と高い値を示しているが、中位群と下位群はそれぞれ3.63、3.65であり、上位群とは約0.2の差がある。この設問から上位群だけが英語の必要性を強く感じていることが分かる。上位群の標準偏差も0.4と低い値であり、上位群全体の特徴である。

設問6は、上位群と下位群で平均値の開きが0.73と一番大きかった。この設問は逆数となっているので、上位群よりも下位群の方が英語の勉強を嫌いだと強く感じていた。

設問7については、上位群と下位群では、平均値で0.1と最も差が少なく、両群で単語や熟語が文法よりも大切だと感じていることが分かった。

多くの設問とは異なり、下位群、中位群、上位群の順で平均値が高くなっていたのは設問13だけであった。上位群と比較し下位群の方が平均値で0.1高かったが、全ての群で標準偏差が1.1点台と他の設問よりも高かった。外国で暮らしてみたいという設問については、各群の中でも学生個人によって感じ方が異なっているが、下位群の方が海外で暮らしてみたいと思う気持ちが強い傾向にあるといえる。

5. まとめ

TOEIC Bridge, TOEIC, 質問紙をTOEIC Bridgeのスコアを基準に、上位群、中位群、下位群の3群に分け、詳細に分析した。

TOEIC BridgeとTOEICのスコアに関して、全学生対象では有意差があることが分かった。TOEIC Bridgeの10ヵ月後にTOEICを受験しているのので、その間に、学生の英語力に変化が生じていたことが推測できる。次に3群について検定した結果、上位群と下位群では、1%水準の有意差が認められたが、中位群に関しては、有意差は認められなかった。つまり、中位群に関しては、TOEIC BridgeとTOEICのスコアはほぼ同じ結果であった。しかし、上位群と下位群では、TOEIC BridgeとTOEICとでは異なる結果となった。上位群と中位群では、TOEIC Bridgeで16点、TOEICで93点の差があった。一方、中位群と下位群のTOEIC Bridgeの差は20点、TOEICでは41点の差しかなかった。中位群を基準にすると、上位群はTOEICのスコアが良く、下位群はTOEIC Bridgeのスコアが有意に良いといえる。

質問紙から、上位群に関しては、下位群と比較し、英語や英語学習動機が高いことが分かった。TOEIC

Bridgeを受験してからほぼ10ヵ月後にTOEICを受験しているので、その間、上位群の学生はTOEICでより高いスコアを取得するために努力をしたことも考えられ、その結果、TOEICのスコアが高くなったと推測できる。

TOEICとTOEIC BridgeのListeningとReadingの各セクションも分析した。Listeningに関して、TOEIC BridgeとTOEICで1%水準の有意差が見られたのは全体だけで、各群では上位群にのみ5%水準で有意差が見られた。全体は、207名と多くの学生を対象として差の検定を行っているために差が見られやすい。しかし、対象人数が上位群、中位群、下位群とほぼ同じ人数を対象とした検定にも関わらず、上位群にのみ5%水準で有意差が見られたのは、上位群の学生がTOEIC Bridgeに比べて、TOEICで良いスコアを取った結果である。Readingに関しては、中位群のみ有意差が認められず、全体、上位群、下位群では1%水準の有意差が見られた。Listeningと比べて、Readingの方が英語力の差がスコアにはっきりと出ているために、有意差が認められた。特に注目すべきは、中位群のTOEICの平均値で、上位群と中位群では40点、中位群と下位群では3.7点の差しかない。TOEIC Bridgeでは、上位群と中位群で7.4点、中位群と下位群で7.4点とほぼ同じスコアの差になっている。中位群のTOEICのReadingのスコアの悪さが目立っている。

全国の同年代の学生と比較すると、TOEIC Bridgeでは、上位群で23.4点、中位群で7.4点良いスコアを取っており、下位群では9.6点悪いスコアだった。しかし、TOEICでは、上位群では81点とかなり良いスコアだが、中位群で14点、下位群で56点も悪いスコアであった。先述したとおり、上位群の動機づけが高く、TOEIC Bridge受験後10ヶ月間英語の学習をしてきた結果、英語力を身に付けることができたが、中位群、下位群では英語や英語学習への動機づけが高くなく、この10ヶ月間であまり英語力を身につけることができずに、上位群との差や全国平均との差が広がったといえるだろう。

5. 今後の課題

TOEIC Bridgeの受験後から、10ヶ月間で上位群の学生はしっかりと英語力を身につけていたことが分かったが、中位群、下位群の学生は、英語学習動機もあまり高くなく、英語力を身に付けていない現状が浮き彫りになった。今後は、中位群と下位群の学生の英語力の向上を目指した英語教育が必要である。

最後に、TOEIC Bridge, TOEIC, 動機づけに関する質問紙の3つを対象として調査を行ったが、今回の調査結果がこの学年特有のものか、神戸高専の全学年にいえることなのかを、今後も継続して調査していく必要性を痛感した。

参考文献

- (1) 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
- (2) TOEIC ホームページ
<http://www.toEIC.or.jp/>
<http://www.toEIC.or.jp/toEIC/pdf/data/DAA2012.pdf>
- (3) (2)と同じ
- (4) (2)と同じ
- (5) 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.
- (6) ゾルタイ・ドルニエイ著, 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.
- (7) 上垣宗明:TOEIC スコアと中間・定期試験の点数につ
いて, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要, Vol.52,
2014.3, pp.97-102.

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	英語を使う仕事に就きたい

Relationship Between Curriculum and Society: A Brief Overview of Japan's Education System From 1945~2014

Mark Andrew PILEGGI*

ABSTRACT

This paper's main theme was decided while I was studying for my Master of Science in Education specializing in Curriculum, Instruction and Technology. I was researching curriculum and its effect on society and vice versa, but instead of focusing on America's system, I chose to research about Japan, as it has been a short but exciting journey in the last 70 years. I love Japan, and raising my own two children here, I want to try my best to help make reforms in education, especially English education, where ever possible. Let's work together to bring about changes for the better to both the educational system and essentially to society as a whole.

Keywords: curriculum, society, educational system, implementation, democracy

1. Introduction

Ever since the mid-1940's, the United States has played an extensive role in the total reform of Japan in the political, governmental, religious and educational realms. Here we will focus on outlining the reform that began in 1945 that changed not only the curriculum but the entire educational system in Japan in the course of 8 years. The period of time examined begins in a rather sensitive period, but I hope that it will not offend anyone. My wish is that this information might stimulate healthy thinking about curriculum and educational reforms.

2. 1945-1959

In stark contrast to the notion introduced by Olivia (2005) that curriculum rarely changes completely or abruptly, this is exactly what the end of World War II and the occupation of the United States in Japan caused the Japanese educational system to undergo. Japan had been implementing an imperialistic education system that had been using a militaristic, educational curriculum for from the end of the Meji Period up to World War II. The United States tried to eradicate this militaristic education system and "democratize" Japan. The educational system that the United States implemented was based on the American model. Teachers that were antagonists of the US were removed from the school system and teachers with anti-war effort ideas that had lost their jobs before the war were offered new positions. Discrimination was prohibited.

Shinto was considered the ultra- nationalistic source and was banned from schools completely. There was a purge of the teaching staff and 650,000 teachers were examined. Just under 3,000 teachers were purged without any further examination, which meant there were huge losses to the teaching force at this time. The school system took on a 6-3-3-4 structure with six years of elementary education, three years of junior high school and three years of high school followed by four years of university. Compulsory education started out being elementary school only but was soon extended to include junior high school as well.

The overhaul of the national educational administration was a huge task. What had been a top down tier system was changed to a democratic system requiring local boards of education to be established. The U.S. demanded that non-professional community members be elected into administration on the local level to make the change to a democratic style. This was a totally new concept in Japan and it was difficult for the newly independent boards of education to create enough funding to pay teachers and secure facilities for use as schools. It wasn't until the economic boom of the 1950s that the school system had enough money to properly fund its teachers, the facilities and the materials needed. In the area of materials, all of the textbooks had to be recalled, most of them rewritten, especially in the subject areas of morals, Japanese national history and geography. Civics courses were implemented not only for the students but on the community level as well, social education was needed to educate all citizens about the new form of government

*General Studies Lecturer

called democracy. Political and educational reforms were connected in many ways, and the enforced equity of the sexes was another such area that was the result of a direct order by Douglas MacArthur to the Japanese Cabinet in December of 1945. From a curriculum planner's viewpoint, this type of situation must be a colossal job and a huge responsibility.

To help organize this huge complete curricular reform in Japan, the U.S. sent over a team of 26 acknowledged experts in education led by George D. Stoddard. After analyzing the situation, they outlined the curricular changes deemed necessary meeting with the Japanese acknowledged team of educational experts. It was at this point in Japanese history that the Romanized alphabet was introduced and English language arts entered the Japanese curriculum. Even more important was the revising of Japanese morals, civil law, Japanese history and geography into one new wider scoped class called social studies, which was the vehicle that would deliver the understanding of democracy to formerly imperialistic Japan. The fusion of the different disciplines allowed for the smaller number of teachers to complete the large task at hand. A similar course was introduced as civil education to educate the public community and train new teachers in higher education as well. Not only in schools, adult education was implemented through parent-teacher activities, evening and extension classes for adults as well making use of libraries and museums. In the "Report of the United States Education Mission to Japan" (1946) which became the guideline for the United States new democratic curriculum implementation, they notably stated, "To this end, knowledge must be acquired that is broader than any available in a single prescribed textbook or manual, and deeper than can be tested by stereotyped examinations. A curriculum consists not merely of an accepted body of knowledge, but of the pupils' physical and mental activities; it takes into account their differing backgrounds and abilities. It should therefore be set up through cooperative action involving teachers, calling on their experiences and releasing their creative talents."

Because of the scale of change implemented in Japan after World War II, curriculum planning and reform were continually implemented. After the U.S. occupation of Japan ended, Japan saw the need for reform and in 1958 Courses of Study were announced, making the curriculum more compatible to the Japanese educational system as they saw fit. Slowly but surely other subjects were introduced back into schools including the dividing of social studies back into civics, geography and history. These changes

could be made as the economy rebounded and government funding and scholarships were able to help provide the facilities, materials and newly trained teachers. To help stimulate the economy after the war science and mathematics were targeted as good subjects to focus on and the results caused a circular effect of education helping to increase technical skills in the work force and the rising economy helped the funding the educational system.

3. 1960s

The 1960s was a period of rapid economic growth and technological advancements. To keep up with the world changing around them, the Japanese decided that further reform of the curriculum would be necessary and a new Courses of Study was implemented for elementary schools in 1971 and for junior and senior high school in 1972. In efforts to collect data to help in the reform of the curricula The Ministry of Education tried to use surveys of student's academic progress in their last year of elementary and secondary school. Unfortunately the Japanese Teacher's Union was not on board because they worried the data would be used to evaluate the teachers in attempts to control the educational system. Nevertheless, an international survey in 1964 helped the Japanese educational system to gain international recognition when Japanese marks were high internationally, and this helped to facilitate the cooperation needed for more reforms and a remarkable increase in students seeking higher education. From the MEXT reports on "The Growth of Higher Education" it shows an exponential growth in the number of universities and junior colleges from 226 and 228 respectively in 1953 to 389 universities and 486 junior colleges in 1971. In terms of students, the number attending universities increased 1,468,538, which was 3.3 times that of the student population in 1953, where the number of junior college attendees jumped 4.3 percent to 275,256 students. The sudden boost in the higher education can be attributed to multiple factors including the increase of economic stability in the 1950s and the establishment of a "single-track" system that insured students an automatic eligibility to higher education if they completed their secondary education. A simplification of procedures for the establishment of new private universities and the rising prestige of such private universities greatly contributed to the rapid growth in higher education as well.

3. 2006-2014

Fast forwarding to the present situation in Japan, we find the revision of the Basic Act on Education which

was implemented in 2006. It was the largest reform to take place since the 1950s and in it they outline the foreseeable important social changes facing Japan as well as the social concerns of the current times. In paragraph 1 of Article 17 of the revised Act the government was required to formulate a basic plan, which would facilitate the comprehensive and systematic implementation of measures for the promotion of education. The Basic Plan for the Promotion of Education was implemented in 2008, and the resulting curricular changes coming from the plan are still being implemented at the time of this paper's conception in 2012. Critical issues such as the general public's excessive pursuit of economic convenience, weakened social ties and the spread of undesirable "individualism" were addressed. It clearly stated the dangers of a society chasing material abundance and warned about the declining birthrate and ever increasing elderly population. I was most impressed to read the amount of social conditions in the opening of the plan for Japan's commitment to the improvement of not only the educational system but the reconstruction of the social systems. The competition intensifying in the international society was also mentioned, China specifically, as well as the need for international efforts towards finding new solutions for energy sources and food shortages. Issues such as ethnic conflicts and religious confrontations as well as terrorism were also mentioned at the onset.

In the Basic Plan for the Promotion of Education (2008) the Mission of education opens with an interesting summary of the role of education, "Education is essential to building character through unique personality development, improvement of abilities, acquisition of independence and lifelong pursuit of a happy life. At the same time, education takes on a mission to nurture the citizens who form the country and society. Education also empowers us to sustain a democratic society. Furthermore, throughout the history of mankind, cultures and civilizations have been transmitted from one generation to another through the intermediation of education, and have evolved into a richer state. Such role of education is universal regardless of how our society changes in the future."

It appears that indeed the Japanese have come to embrace the benefits of democracy and the value of education in securing a healthy future for the country. The objectives laid out to help transform students into healthy citizens of the future were made into five objectives and then summarized into the following three:

-To bring up people whose intelligence, morals and physical strength are well-balanced, and who are

independent and seek self-realization throughout a lifetime.

-To bring up citizens who respect a sense of public duty and voluntarily participate in the formation of the country and society.

-To raise Japanese people who participate in the international society with respect for the traditions and culture of Japan and other countries.

These objectives were brought into being by the Office of Educational Reform, Policy Planning and Coordination Division, Lifelong Learning Policy Bureau in 2008.

4. Conclusion

It seems as if being a curriculum designer could be paramount to founding a country such as George Washington and the founding fathers did in 1776. What an enormous task and responsibility at the national level! The knowledge born from the experiences of each countries educational system can be used to help other countries in similar situations or for developing countries following the same pattern. UNESCO has a great Bureau called the International Bureau of Education, which has the profiles of 130 countries education systems available online at <http://www.ibe.unesco.org/en.html>

REFERENCES

- (1) Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). (2005). 施策の概要 就学ガイドブック[Guidebook for Starting School, Procedures for Entering Japanese Schools]. Retrieved from www.mext.go.jp/a_menu/shotou/clarinet/003/001/001.pdf
- (2) MEXT. (2) GHQ Directives concerning Supervisory Policies and Educational Administration. Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1317417.htm
- (3) MEXT. (1) The Growth of Higher Education. Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1317443.htm
- (4) MEXT. (1946). (3) Report of the United States Education Mission to Japan. Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1317419.htm
- (5) MEXT. 3 Revisions of the Courses of Study and the Development of Teaching Method. Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1317440.htm
- (6) Office for the Promotion of Educational Reform, Policy

- Planning and Coordination Division, Lifelong Learning Policy Bureau. (2006). *Introduction*. Retrieved from <http://www.mext.go.jp/english/lawandplan/1303467.htm>
- (7) Office for the Promotion of Educational Reform, Policy Planning and Coordination Division, Lifelong Learning Policy Bureau. (2008). *Current Status of Education in Japan and the Challenges We Face*. Retrieved from <http://www.mext.go.jp/english/lawandplan/1303469.htm>
- (8) Olivia, P. F. (2005). *Developing the curriculum -6th ed.* United States of America: Pearson Education, Inc.

風化花崗岩地域における表土層深分布推定手法に関する 基礎的研究

鳥居 宣之*

Estimation method for the Distribution of the thickness of decomposed granite soil
Nobuyuki TORII*

ABSTRACT

Granitic rocks are well known to be very sensitive to weathering and are vulnerable to shallow slope failure. Such slope failures in areas where the decomposed granite soil is widely spread are often induced by intense rainfall over a relatively short period. In order to mitigate landslide disasters, it is important to evaluate the potential of slope failure events in space and time quantitatively. Rainfall-triggered slope failures are controlled by rainfall characteristics, slope topographic attributes and soil parameters. In these factors, the thickness of surface soil layer is a key parameter to control the result of evaluation. Therefore, it is important to consider the spatial variation of it in target area. In order to obtain the spatial variation of it, it is necessary to carry out field investigation such as portable penetration test (PPT). However, it is not realistic procedure to do it for the large area because it required tremendous amounts of money and time. In this paper, estimation method for the distribution of the thickness of decomposed granite soil is proposed as a method that takes the place of only measurement.

Keywords: slope stability analysis, decomposed granite soil, landslide disaster prevention and mitigation

1. はじめに

わが国は、国土の約 70%が山地・丘陵地といった急峻な地形で占められており、脆弱な地質も広く分布している。さらに、梅雨期や台風期には各地で集中豪雨が毎年のように発生しており、最近では極めて短時間に集中した豪雨（局所的大雨）が頻発している。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第 4 次評価報告書によると、地球温暖化の進行に伴い、突然の豪雨の発生が増加することが予想されており、厳しい自然条件下に置かれているといえる。また、都市域ではスプロール化により市街域が山麓周辺部まで拡大し、その結果、斜面災害の危険性が年々増大しており、中山間地では過疎化や経済的な問題から間伐、徐伐等の手入れが行き届かない森林が増加している。このように、わが国は自然・社会条件的にも斜面災害を被りやすい環境下に置かれていることから、毎年、各地で斜面災害が発生し、尊い人命や財産が奪われてきた。花崗岩質地盤は、わが国の国土面積の 13%強にわたって広く分布し、1 種類の岩種としては最大の占有率を示して

いる。花崗岩は、風化の進展が早い上に風化による強度低下が著しいため、豪雨時には表層崩壊型の斜面崩壊の発生の頻度が高く、防災上大きな問題を有する地盤といえる（例えば、昭和 42 年の六甲山や平成 11 年・26 年の広島での災害など）。このような多発する斜面災害に対し、これまで防災施設の整備等による対策（ハード対策）が進められてきたが、近年は斜面災害のおそれのある箇所数も増加傾向にあり、限られた予算の中では防災施設の整備が追いつかないという現状にある。平成 13 年には、平成 11 年の広島豪雨災害を契機に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（土砂災害防止法）が施行され、従来のハード対策に加えて、斜面災害に関する情報提供、警戒避難体制の整備などのソフト対策の推進が各自治体で行われている。よって、災害時において発生する被害を最小化するためには、豪雨時に斜面崩壊がどこで起こりえるのかということを事前に把握しておくことが必要不可欠となっている。そのためには、斜面崩壊の発生危険度を経験的な手法に頼ることなく、対象地域に応じた様々な条件を科学的な手法で定量的に評価する手法の構築が重要である。

* 都市工学科 准教授

筆者は、これまでに風化花崗岩地域における表層崩壊を対象とした豪雨による斜面崩壊の発生危険度評価手法に基づくリアルタイム型のハザードマップシステムの構築に関する研究^{例えば(1)}を行ってきた。表層崩壊の発生危険度を精度良く評価する場合、表土層深（潜在崩土層深）は斜面勾配とともに崩壊の発生しやすさ（起こりやすさ）に与える影響が大きいことが知られており、対象領域内の表土層深分布を知ることが非常に重要である。しかし、この表土層深分布を求めるためには、現状では簡易貫入試験に代表されるような現地調査により求める必要がある⁽²⁾。よって、ある（広域な）流域を対象とした表層崩壊発生位置の予測を行う場合、この表土層深分布を求めるために多大な労力と時間が必要となることから、通常はいくつかの地点で簡易貫入試験を行い、その結果を基にある一定の表土層深（例えば、平均表土層深）を仮定する場合や、補間により対象領域の表土層深分布を推定している。しかし、斜面上の表土層深は場所により大きく異なっており、限られた代表地点（実測値）のみからの（単純な）補間による推定では、精度の高い面的な表土層深分布を推定することは難しいと思われる。

一般に表土層の形成には、地形が大きく影響していることが知られている。そこで、本研究では地形量と表土層深との関係性に着目し、重回帰分析結果に基づく地形量と表土層深の関係式から表土層深を推定する手法を提案することとする。

2. 青谷試験地の概要

地形量と表土層深の関係性を明らかにするため、花崗岩地域の試験地において、表土層深を実測するとともに、実測点の地形量を算定することとする。

試験地としては、神戸市街地の背山を形成する六甲山系南側斜面の山麓部に位置する青谷試験地（図1参照）を選んだ。試験地内の人工構造物は石積擁壁のみであり、ほぼ自然な状態の表土層が存在していると考えられる地域である。

図2は、地形量を算定する際に用いるメッシュ間隔5mの数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）から作成した等高線図である。図に示すように、試験地の中央には谷筋が通っている。

図3に示すように、青谷試験地では空中写真と地形図を用いて地形区分が行われており、さらに、これを基図とし田村⁽³⁾によって定義される微地形単位をもとにして区分された地形に名称がつけられている。これらの地形区分の特徴を以下に示す。

- 1) 頂部斜面 尾根部に存在する凸型の横断型、縦断型を持つ緩傾斜の斜面。斜面上部に位置し、表土の流入は少ない。また、緩斜面であるために表土の流出も多くない。
- 2) 谷頭凹地 後述する上部谷壁斜面に囲まれ谷頭部に



図1 青谷試験地の位置図

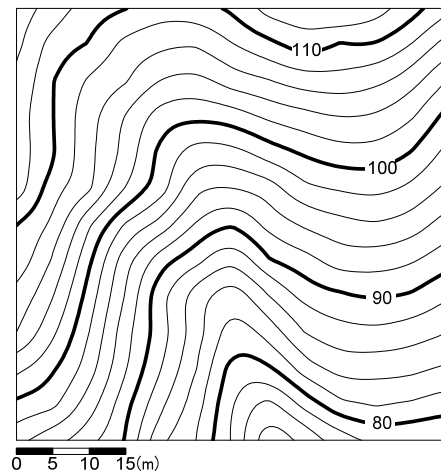


図2 青谷試験地の等高線図

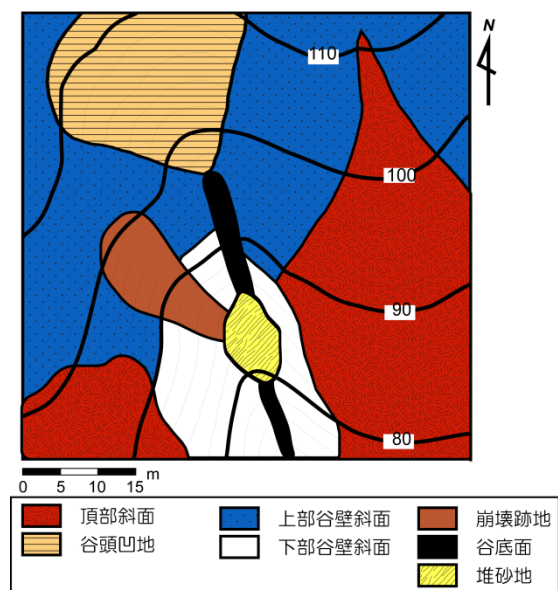


図3 青谷試験地の地形区分図

位置し漏斗状の平面形を持つ凹型の緩斜面。斜面上部から流入してきた表土が堆積している。

3)上部谷壁斜面 頂部斜面とは遷急線で分けられる。横断型・縦断型とも直線ないし凸型を呈していることが多い。傾斜は頂部斜面より急であるが、後述する下部谷壁斜面より緩やかである。つまり、上・下端とも遷急線で分けられる斜面。頂部斜面よりも急斜面であるために表土の流出量が流入量よりも多い。

4)下部谷壁斜面 上記の微地形単位とは明らかな遷急線で分けられる急な斜面で縦断形は直線的である。また、下端では谷底と遷急線で分けられる。急斜面であるため、表土の流出が多い。

5)崩壊跡地 上部谷壁斜面と下部谷壁斜面にまたがって出現しており、植生の状況から判断して、1961年梅雨末期の集中豪雨によって発生したと思われる表層崩壊跡地。

6)谷底面 流域の最低所を占める緩傾斜の斜面を指す。流水はあまり見られず、崩土が堆積している。

7)堆砂地 谷底の一部に砂防堤があり、これにより堆砂した区域。

3. 表土層深の定義と測定結果

3.1 表土層深の定義 沖村・田中⁽⁴⁾は、豪雨時に自然斜面で発生する表層崩壊を考察する上で必要な表土層を区分するため、本研究と同様の青谷試験地およびその周辺地域を対象に、神大式簡易貫入試験器⁽⁴⁾を用いて簡易貫入試験とトレンチカットによる土層の肉眼観察を実施した。その結果、土層を表1のように区分している。沖村・田中⁽⁴⁾は、六甲山系における過去の斜面崩壊は表1におけるⅢ層内にすべり面を持つことが多いことを指摘し、このⅠ～Ⅲ層を表土層と定義している。本研究では、沖村・田中⁽⁴⁾の結果を参考に表土層の測定結果を整理することとした。また、花崗岩地域の表土層は、堆積、浸食等により形成される土層である運積土層と基岩である花崗岩が風化することにより形成される土層である残積土層から構成されており

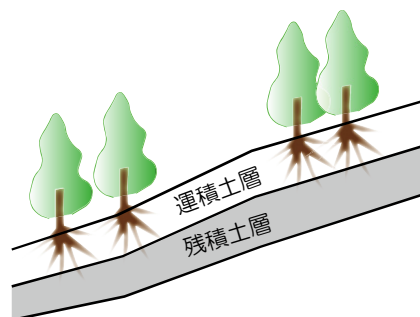


図4 表土層の概念図

(図4参照)、それぞれ土層の形成過程が異なる。したがって、地形量と表土層深の関係を明らかにする際には、表土層を1つの層としてとらえるのではなく、それぞれを別々の層として扱うほうが表土層の形成過程を考慮できるものと思われる。

以上のことから、本研究では、運積土層を表土移動層(D1層)、残積土層を基岩風化層(D2層)と称する。また、両層の境界となる簡易貫入試験の測定値 N_c 値の基準値は、表土移動層が $N_c \leq 5$ 、基岩風化層が $5 < N_c \leq 12$ とすることとした。

3.2 表土層深の測定方法 山地斜面の表土層深を求める調査には、物理探査、機械ボーリング、サウンディング等の手法がある。サウンディング手法の1つである簡易動的コーン貫入試験(簡易貫入試験)は、対象表土層深が2~3mで、土層が緩ければ簡易に良い精度で表土層深を求めることができるのが特徴である。簡易貫入試験の原理は、5kgのハンマーを0.5mの高さから落下させた時の直径23~25mm、先端角60°のコーンを0.1m貫入させるために必要なハンマーの打撃回数 N_c を求めるものであり、深さ方向に連続した測定値が得られるうえ、軽量で持ち運びに便利であるため、本試験地が対象としている山地での測定に適している。したがって、本研究では、この手法により表土層深を実測することとした。

図5に簡易貫入試験の実測位置図を示す。実測点は

表1 区分された土層と物理的特性の関係⁽⁴⁾

土層名	肉眼観察	簡易貫入試験	乾燥密度	間隙比	三軸圧縮試験		平均厚
		N_{10}	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	e	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$	(cm)
I	A	0～2	1.20以下	1.10以上			10
II	B	2～7	1.20～1.40	1.10～0.70	15～23	13～14	60
III	B-C	7～13	1.40～1.50		26～29	9～12	25
IV	C	13以上	1.50以上	0.70以下	30以上	5以下	
V	D						
VI							

肉眼観察における記号(A~D): USDA(米国農務省)等による土壤層位

N_{10} : 神大式簡易貫入試験器による測定値(コーンを0.1m貫入させるために必要なハンマーの打撃回数)

合計 63 測点であり、地形区分別では、頂部斜面で 10 測点、谷頭凹地で 16 測点、上部谷壁斜面で 18 測点、下部谷壁斜面で 11 測点、崩壊跡地で 8 測点である。

本研究では表土層深データを正確に得るため、各測点で簡易貫入試験を複数回行った。基本的に各測点において 2 回簡易貫入試験を行い、両者の N_c プロファイル（簡易貫入試験の測定結果を深度方向の連続データとして表したもの）に著しい相違があると判断された場合は、さらに追加で試験を実施し、プロファイルの傾向が異なる実測データは除外した。どの測点においても類似した実測データが確認できるまで簡易貫入試験を行い、それらの平均値を採用値として用いることにした。なお、次節において詳細に採用表土層深データの決定方法を示す。

3.3 採用表土層深データの決定方法 採用表土層深データの決定方法について以下に示す。まず、一例として図 6 に測点 5-11 の N_c プロファイルを示す。本研究では、上述したように $N_c \leq 12$ で表土層を評価するのではなく、 $N_c \leq 5$ の表土移動層（D1 層）、 $5 < N_c \leq 12$ の基岩風化層（D2 層）として評価するため、 $N_c \leq 5$ 、12 を表土層の判断指標として活用している。なお、 $N_c \leq 5$ 、12 に該当する深さを判断するにあたり、本研究では基本的に実測データが最終的に N_c 基準値を上回る深さを選定している。以下に、本研究での採用表土層深データの決定方法の基準を示す。① $N_c \leq 5$ 、12 を複数回上回るケースは基本的には最終的に N_c 基準値を上回る深さを選定、② 実測データの平均値を採用値として採用、③ 著しく傾向の異なる実測データは不採用とすることとした。この基準に従うと測点 5-11 では採用表土層深データとして表土移動層（D1 層）が 64cm、基岩風化層（D2 層）が 104cm となる。以上の基準を全 63 測点に適用し、各層の表土層深をそれぞれ決定した。

4. 形成過程を考慮した表土層深推定手法の提案

4.1 既往の研究 渡邊⁽⁵⁾が指摘している表土層深と相関がある地形的特徴としては、地表面の傾斜・形状・凹凸・曲率、高さ、集水性、浸食性等が挙げられている。渡邊⁽⁵⁾は、これらに関連する地形量（地形特性値と称する）を説明変数に選定し、重回帰分析を行った結果、地形特性値単体での相関関係はあまり認められないが、複数の地形特性値間には、ある程度の相関関係があることを指摘している。さらに、これらの地形特性値の中で、他の地形量と比較して相対的に相関関係が強いと考えられている地形特性値としては、局所地形量である傾斜と広域地形量である集水性を挙げている。前述したように、地形量と表土層深の関係を明らかにする際には、表土層を 1 つの層としてとらえるのではなく、それぞれを別々の層として扱うほうが表土層の形成過程をより良く考慮できるものと思われるが、渡邊⁽⁵⁾の手法ではこの点を考慮しておらず、表土

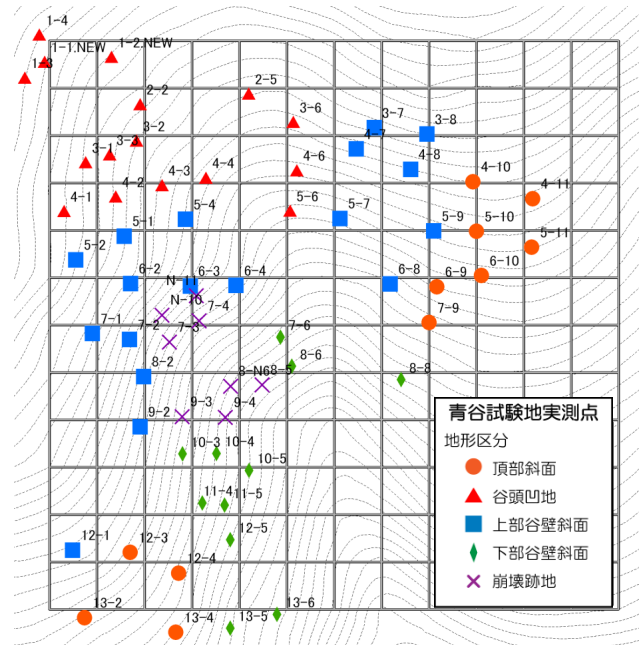


図 5 実測点の位置図

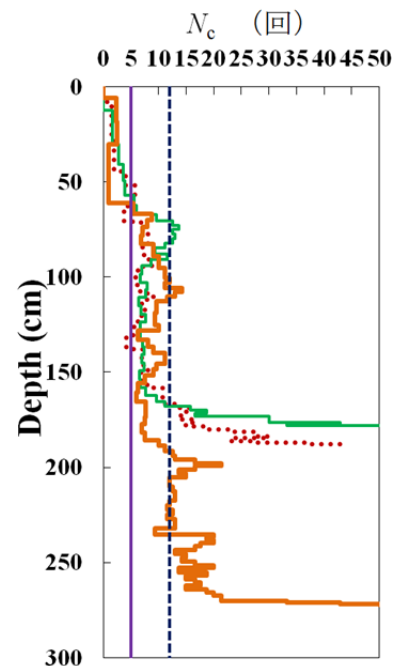


図 6 N_c プロファイル (測点 5-11)

層深の推定手法としては確立されていない。また、同種の研究として、傾斜や集水面積等の地形量と表土層深との関係を統計的手法から求めた回帰式を用いて表土層深分布を推定する試みも行われている^{(6), (7)}が、実用化には至っていないのが現状である。

4.2 表土層深推定手法の提案 表土層の形成には地形が大きく影響していることから、本研究では、重回帰分析結果に基づく地形量と表土層深の関係式から表

土層深を推定する手法を提案することとする。また、表土層に関しては、表土移動層（D1 層）と基岩風化層（D2 層）に大別して考えていくこととする。つまり、それぞれの層毎に重回帰分析を行い、地形量と各土層深の関係式から各土層深を推定していくこととする。重回帰分析の説明変数には、渡邊⁽⁵⁾の方法を参考に局所地形量と広域地形量を選定することとした。具体的には、表土移動層（D1 層）を目的変数とした場合には地形的特徴として、地表面の傾斜、凹凸、曲率、浸食性、未浸食性、集水性を示す地形量を選定した。これは表土移動層（D1 層）が地表面に露呈している土層で、地表面の傾斜・凹凸・曲率等の斜面の状態や表土移動層（D1 層）の形成過程である堆積、風化に大きな要因となる浸食性、未浸食性、集水性を勘案することで表土移動層（D1 層）と地形特性値群（説明変数）の相関関係を明確にできるのではないかという考えからである。一方、基岩風化層（D2 層）を目的変数とした場合には地形的特徴として、地表面の傾斜、標高、運積量（表土移動層（D1 層）の推定値）を優先的に選定することとした。これは基岩風化層（D2 層）が基岩からの風化により成り立つ土層で運積量によって風化速度が異なってくるという特徴を考慮するためである。地表面の傾斜については、表土層と最も相関関係が強い地形量であり、表土移動層（D1 層）のみならず基岩風化層（D2 層）形成にも影響を与えることが予測されるため、これを説明変数として採用した。さらに、推定精度を補完する観点で地形的特徴として地表面の凹凸、曲率、浸食性、未浸食性、集水性を示す地形特性値を説明変数群に追加している。理由としては、基岩風化層（D2 層）を目的変数とした場合には、運積量を考慮する観点で表土移動層（D1 層）を説明変数に選定しているが、その表土移動層（D1 層）は上述した説明変数から重回帰分析によって算定しているので一定の相関関係は評価でき、説明変数として選定するに値するとの判断からである。また、説明変数として定義した地形特性値は偏回帰係数評価のため、任意試験地では(1)式により 0～100 に規準化している。理由としては、重回帰分析の説明変数として使用する地形特性値は様々な桁の異なる変数を使用するため、これを規準化した後に重回帰分析を行う方が任意試験地においては説明変数間の関係ならびに他の地形区分との比較に際して有用になると考えたためである。

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 X ：規準化した地形特性値（説明変数）

X_i ：任意の地形特性値

$X_{\max}$ ：地形特性値の最大値

$X_{\min}$ ：地形特性値の最小値

また、目的変数（実測点群）については推定精度向上のためにグループ化および取捨選択を行っている。グループ化については地形区分に基づき、頂部斜面、谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面、崩壊跡地の 5 つの地形区分に大別し、実測点の取捨選択については任意の実測点により重回帰分析の分析精度が大きく低下するものを目的変数から除外することとした。

重回帰分析には、青谷試験地における実測点 63 測点を用いるが、本研究ではこれらの実測点を大きく 3 つのグループに大別して扱うことにする。1 つのグループは、重回帰分析の目的変数として選定する実測点群である。これは、各地形区分（頂部斜面、谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面、崩壊跡地）において試験地全域に対する面積比も重要であると考えが、おおよそ 10 測点前後を目的変数として選定することにする。理由としてはひとつの地形区分において 10 測点前後の実測点があれば該当する地形区分の表土層深分布の傾向を重回帰分析の出力において反映させることが可能になると考えたためである。2 つ目のグループは、青谷試験地の実測点として扱わない実測点群である。当然最も良い実測点の活用方法は、全ての実測点を活用することであると考えられるが、重回帰分析において明らかに重回帰精度を低下させる実測点は本研究において用いないこととした。3 つ目のグループとしては、同試験地における推定精度検証のための検証測点に分類する実測点群である。基本的に重回帰分析の目的変数と説明変数の相関関係は、一定の相関関係が確認されれば実測値と推定値を近似できる特徴を有する。そこで推定手法の実用性に関していえばこの段階で判断するのは不可能であると考えられる。そこで、推定手法（回帰式）の実用性に関して検討するため、目的変数として選定せずに検証測点とする実測点を設けることとした。なお、検証測点として設ける実測点は、表層崩壊の発生位置予測が本研究の延長線上にある目的であることを考慮し、表層崩壊が数多く確認される谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面の実測点を選定し、それぞれ 2 測点ずつ設けることとし、表土層深のオーダーとしては、各地形区分の中央値前後の値をもつ実測点を選定した。具体的には 50～110cm となる実測点である。選定理由としては、重回帰分析の精度が最も期待できる中央値付近でどの程度の差がでるかを評価したいこと、もうひとつは、表土層深に限らず中央値もしくは平均値前後の値で検証することが最大値、最小値で検討するよりも一般性、汎用性があるとの判断からである。したがって、青谷試験地における総実測点 63 測点のうち、重回帰分析の目的変数に 51 測点（各地形区分に 10 測点前後）、実測点として扱わない測点（除外対象）に 6 測点、検証測点の対象に 6 測点をそれぞれ選定した。

1)説明変数 説明変数は、数値標高モデル (DEM) から算定した地形特性値を用いる。数値標高モデルは、青谷試験値の集水域をカバーできるように、 62×49 格子 (5m 間隔, 3,038 点) とした (図 7 中の解析対象区域)。数値標高モデルを利用して計算される地形特性値は、比高、傾斜、曲率、凹凸、地表面形状のように対象格子点付近の地形量で定義できる局所地形量と集水面積、浸食高、未浸食高、接峰面高度、接谷面高度、起伏量などの広がりを持った広域の地形量で定義される広域地形量である。本研究では 9 点法 (図 8 参照) により各地形特性値を算定している。9 点法とは求めようとする対象格子点 (H_9) をその格子点のまわりの 8 格子点を含めた計 9 点から地形特性値を算出する方法である。具体的に述べると 9 点法により定義した地形特性値は比高率、比高の平均、傾向面の傾斜、流下方向傾斜、流入方向傾斜、平均傾斜、入出傾斜和、傾向面の偏差、 PrC (Profile curvature), PIC (Plan curvature), 接峰面高度、接谷面高度、浸食高、未浸食高、起伏量である。それぞれの定義式についての詳細は、参考文献^{(5), (8)}を参照されたい。また、9 点法では、各格子点で地形特性値が算定されることとなる (図 9 参照)。したがって、1 つの格子点に 1 つの格子の属性を持たせるため、その格子内に位置する実測点は、実測点近傍の格子点を持つ地形特性値を有することとした。

2)目的変数のグループ化および選定 目的変数 (実測点群) のグループ化として 5 つの地形区分 (頂部斜面、谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面、崩壊跡) に基づくグループ化を行った。また、前述したように重回帰分析の分析精度が大きく低下するもの (6 点) を目的変数から除外することとした。具体的には、重相関係数で 0.05 以上相関係数が低下するものを除外した。

3)地形区分毎の重回帰分析結果 表土移動層 (D1 層) と基岩風化層 (D2 層) の重回帰分析結果を表 2 に示す。なお、表中の偏回帰係数一覧はそれぞれの変数を 0~100 に規準化した場合の重回帰分析結果である。したがって、変数間のバラつきを制限しており、実質的な表土層深への寄与率であると考えられる。

表 2 より、地形特性値別では地表面の曲率を示す PrC , PIC , 地表面の傾斜を表す傾向面の傾斜が説明変数の上位に挙げられている。地形区分別に見ると、頂部斜面では標高が他の地形区分と比較して土層深に影響を与えているといえる。また、浸食高、未浸食高は影響を与えていない。これは他の地形区分と比較して相対的に高い位置に位置し、安定的な表土層深分布になっていることから表土層としての流動性もなく前述した説明変数が影響を与えているといえる。一方、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面では表層崩壊が発生しやすい地形区分であり、表土層としての流動性を有しているために地表面の曲率、浸食高、未浸食高の影響度が高いと判断できる。また、谷頭凹地については頂部斜面と上

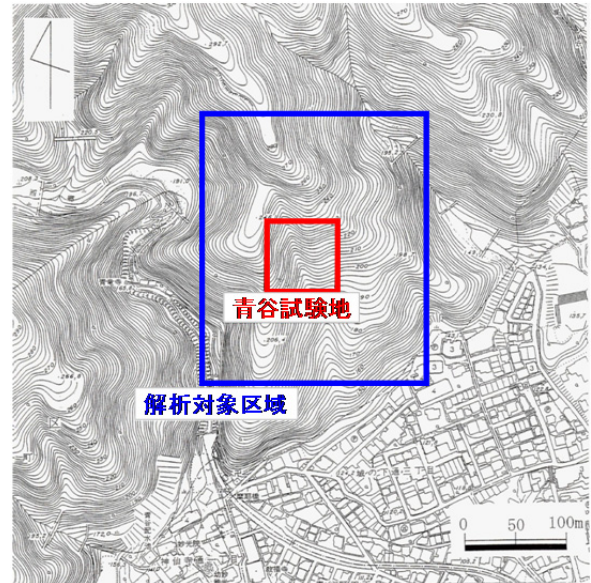


図 7 数値標高モデルの作成範囲

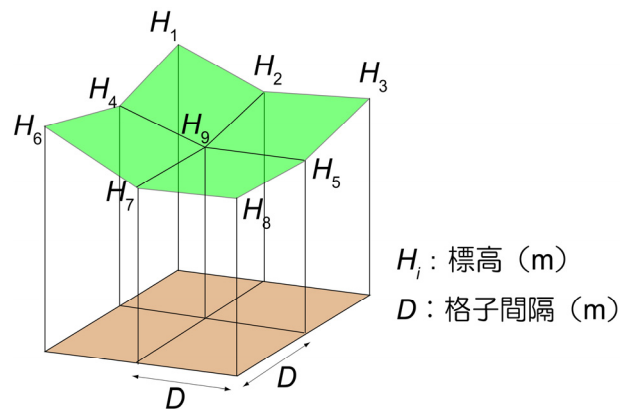


図 8 9 点法における基本格子

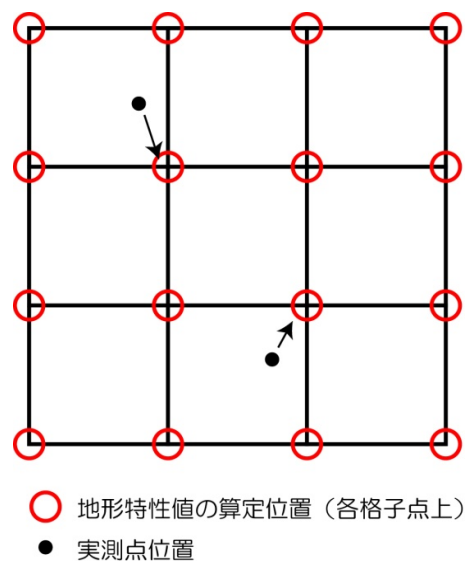


図 9 実測点位置と地形特性値算定位置の関係

表 2 重回帰分析結果一覧表

地形区分 地形量	頂部斜面		谷頭凹地		下部谷壁斜面		上部谷壁斜面		崩壊跡地	
	D1層	D2層	D1層	D2層	D1層	D2層	D1層	D2層	D1層	D2層
傾向面の傾斜	-1.3	4.1	0.7	-2.6	-	0.3	2.5	-	-2.5	8.1
平均傾斜	-	-	-	-	-	-1.0	-	-0.3	-	-
集水面積	-	-4.0	0.4	-1.3	-	0.8	-0.5	-	-2.0	1.8
傾向面の偏差	-	-2.5	-0.4	1.7	-	-	-	-	-1.0	3.5
入出傾斜和	-	1.4	-0.5	-2.6	-0.7	-	-1.4	-0.3	1.3	-3.4
PrC	-24.6	-	24.6	-21.8	4.7	153.9	155.2	-	-	-
PIC	56.6	-78.1	-24.0	21.3	22.7	-	24.1	153.9	-	-
標高	-4.0	6.3	-	1.1	-	3.2	-	0.7	-	-2.0
浸食高	-	-	-0.2	-0.8	-0.3	-1.7	-0.3	0.7	-2.7	-
未浸食高	-	-	-0.7	-	-	-0.8	1.1	1.3	-3.0	-
表土移動層	-	-0.4	-	0.6	-	-0.6	-	-0.7	-	3.9
切片	-2790	4849	86	203	-2578	-5142	-16920	-14760	437	-661

部谷壁斜面，下部谷壁斜面の特徴を併せもつために双方の影響を受けているといえる。

4.3 表土層深推定式 重回帰分析結果より得られた各地形量の偏回帰係数を用いて各土層の表土層深推定式を次式により定義する。

$$D = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \dots + Y \quad (2)$$

ここで， D ：推定表土層深（cm）

X_i ：任意の地形特性値

α_i ：任意の地形特性値に対する偏回帰係数

Y ：切片

この式より推定した各層の地形区分毎の推定値と実測値との関係を図 10 に示す。図より，いずれの地形区分においても表土移動層（D1 層）の実測値と推定値は良い相関関係を示していることが分かる。一方，基岩風化層（D2 層）の実測値と推定値の関係は，谷頭凹地や上部谷壁斜面において表土移動層（D1 層）に比してややバラツキがあるものの，概ね良い相関関係を示していることが分かる。したがって，説明変数に選定した地形区分毎の地形特性値がそれぞれにおいて目的変数を説明しうる説明変数であるといえる。

つぎに，形成過程を考慮したことの有用性を検証するため，渡邊⁽⁵⁾の手法で用いられている説明変数（地表面の傾斜・形状・凹凸，集水性，浸食性を考慮し，地形区分別の説明変数の差異はなし）を用いて推定した結果と本手法の結果を比較する。なお，比較を行うにあたり，渡邊⁽⁵⁾は表土移動層（D1 層）と基岩風化層（D2 層）を 1 つの表土層として扱っているのので，本手法の推定結果も，表土移動層（D1 層）と基岩風化層（D2 層）を合わせたものを表土層として扱うことにする。その結果を図 11 に示す。

図 11 より，形成過程を考慮した本手法の方が重回帰分析結果を用いた表土層の推定精度が向上していることが分かる。したがって，本手法で提案している形成

過程を考慮し地形区分別に説明変数の選定に差異を設けることで推定精度は向上するといえる。

4.4 推定精度の検証 重回帰分析という手法は，目的変数に対して適切に一定の相関関係があると判断される変数を説明変数とすれば推定値を限りなく実測値に近づけることが可能である。しかし，それは目的変数に選定している変数に限られ，選定していない変数はこの条件には当然該当しない。つまり，重回帰分析結果に基づく表土層深の推定を行っている本研究において，重回帰分析によって定義した推定式を新たな検証用の測点に適用し，推定式による推定値と実測値の関係がどの程度であるかを検証する必要がある。そこで，前述したように，青谷試験地において検証用に設定した 6 測点（谷頭凹地，上部谷壁斜面，下部谷壁斜面それぞれ 2 測点ずつ）を用いて，提案手法の推定精度の検証を行う。なお，ここでの検討では，目的変数を表土移動層（D1 層）と基岩風化層（D2 層）を合わせた表土層を用いて比較，検討することとし，図 12 に検証測点における推定値と実測値との関係を示す。なお，図中には形成過程の有用性についても検討している。

図 12 より，本手法を用いた表土層深の推定は，谷頭凹地や下部谷壁斜面では良好に推定されていることが分かる。特に下部谷壁斜面では，形成過程を考慮していない場合と比較するとその差は歴然である。一方，上部谷壁斜面での推定精度は，両者に比較するとやや精度が落ちる結果となっているが，やはり形成過程を考慮していない場合と比較すると本手法の方が推定精度は高いことが分かる。

以上の結果から総合的に考察すると，形成過程を考慮した表土層深推定手法の利点は 2 点あると考えられる。1 点は何の地形区分においても一定の精度を確保することができる点，もう 1 点は実用性のある推定を行うことができる点（表 3 参照）である。表 3 で示している平均誤差は，検証測点を用いて精度検証を行った谷頭凹地，上部谷壁斜面，下部谷壁斜面の誤差である。形成過程を考慮して，表土移動層（D1 層）と基岩

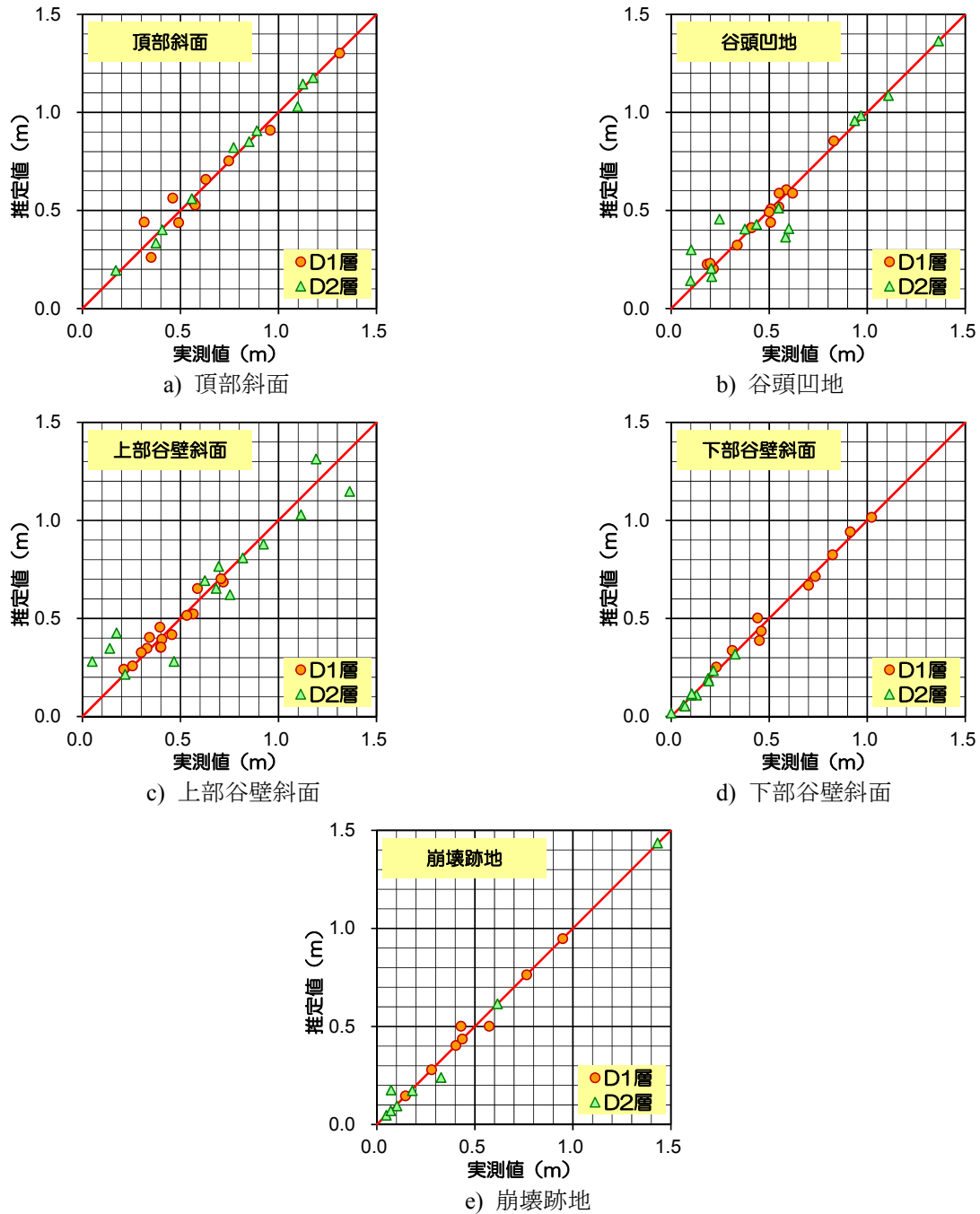


図 10 各層の地形区分毎の推定値と実測値との関係

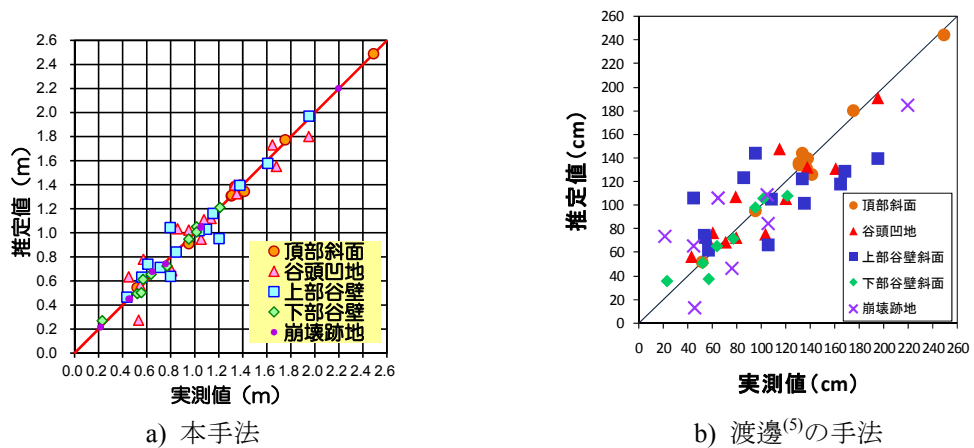


図 11 本手法と渡邊⁽⁵⁾の手法との比較

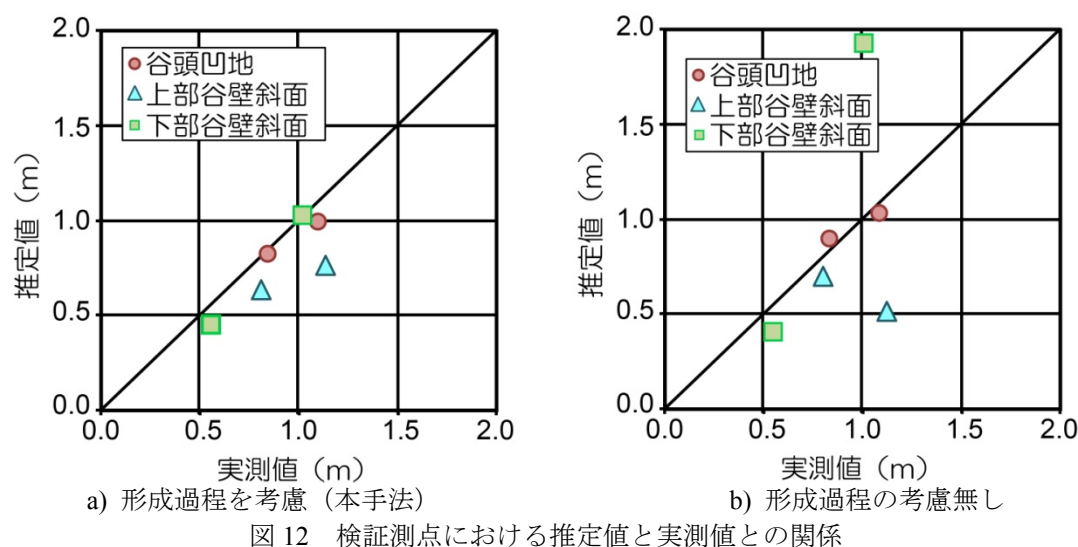


表 3 平均誤差（検証測点）

	平均誤差 (m)
表土層深（D1 層と D2 層を別々に推定後足し合わせた場合）	0.13
表土層深（1 つの土層深として推定した場合）	0.32

風化層（D2 層）をそれぞれ推定した後にそれらを足し合わせて表土層深とした方が形成過程を考慮せずに 1 つの表土層として推定するよりも平均誤差を小さくすることができている。したがって、形成過程を考慮した重回帰分析に基づく表土層深の推定式を作成すれば実用性のある表土層深の推定を行うことが可能であると考えられ、数値標高モデル（DEM）から各格子点における地形量を算出し、そこから推定式により格子点毎の表土層深を推定することで、広域の表土層深分布を実測に比して容易に得ることが可能となる。

5. まとめ

本研究では地形量と表土層深との関係性に着目し、重回帰分析結果に基づく地形量と表土層深の関係式から表土層深を推定する手法を提案した。得られた結果を以下にまとめる。

1) 重回帰分析結果を用いた表土層深推定手法では、実測点は必ず必要となる。対象試験地の面積にもよるが、ひとつの地形区分に実測点の数が 10 測点前後あれば地形特性値（説明変数）と表土層深（目的変数）の相関関係を明確化させることができ、その関係性から推定値と実測値を近似させることができることを明らかにした。また、目的変数についてもグループ化等を考慮することで推定精度は向上することがわかった。

2) 表土層深を形成過程別（表土移動層と基岩風化層）に考え、それぞれ重回帰分析を行うと全ての地形区分において良好な推定を行うことができることを示した。

その際、説明変数の選定は地形区分別、形成過程別に差異を設け設定すると推定精度が向上する。具体的には、表土移動層を目的変数とした場合には、地形の特徴として、地表面の傾斜、凹凸、曲率また、集水性、浸食性を示す地形特性値を選定し、基岩風化層を目的変数とした場合にはまず、地形の特徴として高さ、運積量、地表面の傾斜を示す地形特性値を選定し、推定精度を補完する観点で地表面の凹凸、曲率また集水性、浸食性を示す地形特性値を加えると良い。

3) 形成過程考慮の有用性に関して、既往の研究成果である形成過程を考慮せずに推定を行ったものと比較した結果、本手法で提案している形成過程を考慮した方が全地形区分において良好な推定を行うことができることがわかった。

4) 形成過程を考慮した重回帰分析に基づく表土層深の推定式を作成すれば実用性のある表土層深の推定を行うことが可能であると考えられ、数値標高モデル（DEM）から各格子点における地形量を算出し、そこから推定式により格子点毎の表土層深を推定することで、広域の表土層深分布を実測に比して容易に得ることが可能となる。

今後は、本手法を他地域にも適用し、本手法の汎用性を検討する必要があると思われる。

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) 沖村孝, 鳥居宣之, 尾崎幸忠, 南部光広, 原口勝則: 豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築, 新砂防, 63-6, pp.4-12, 2011.
- (2) 鳥居宣之, 沖村孝, 中村 幸一: 簡易貫入試験による山腹斜面における潜在崩土層深の経年変化量の測定, 建設工学研究所論文報告集, 49, pp.33-44, 2007.
- (3) 田村俊和: 微地形分類と地形発達—谷頭部斜面を中心に—, 水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—, 古今書院, pp.177-189, 1996.
- (4) 沖村孝, 田中茂: 一試験地における風化花崗岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究, 新砂防, 33-1, pp.7-16, 1980.
- (5) 渡邊住秀: 数値地形モデルより推定した表土層を用いた崩壊発生位置の予測, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, 58p, 1995.
- (6) Tsai, C et al.: Prediction of Soil Depth Using a Soil-Landscape Regression Model: a Case Study on Forest Soils in Southern Taiwan, *Proceedings of the National Science Council*, 25, 1, pp. 34-39, 2001.
- (7) Catani, F. et.al.: An empirical geomorphology - based approach to the spatial prediction of soil thickness at catchment scale, *Water Resources Research*, 46, W05508, 15p., 2010.
- (8) Burrough, P. A. and McDonnell, R. A.: Principles of Geographical Information Systems, *Oxford University Press*, 333p., 1998.

工学教育のための実践的実験教材開発

藤本 健司* 早稲田 一嘉**

Practical Experiment Teaching Materials Development for Engineering Education

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 of these higher education institutions. 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 materials for college student, using higher level teaching materials. For example, there are windmill created by 3D printer and general purpose measurement tool...etc.

The teaching material provides the both theory and actual practice for engineering education. Currently, we are using the materials in the experiment of Electronic Engineering second grade in this college.

Keywords: engineering teaching material, arduino, windmill, 3D printer

1. はじめに

2013年6月に政府が示した成長戦略の中にプログラミングや3Dプリンタなどの項目が組み込まれたように、今後プログラミング技術の習得やハードウェアに関する知識の習得が当たり前になる社会になっていくと思われる。しかし、重要なのは技術の習得ではなく、これらの技術がどのように利用できるのかといったキャリア教育も同時に行うことが必要であると考えられる。例えば、現在これらの技術を実際に学び、生産開発に用い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）の学生の中に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る学生は多くない。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が見られるのが現状である。

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。

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ことができ、また、理論と実践を体験できる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。

今までの研究では、理論と実践の両方を体験でき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中心に行ってきたが、今回、更に3Dプリンタを組み合わせたより高度な実験教材や計測ツールなどを開発したので本論文において報告する。

2. 実験教材の位置づけ

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。現在、提供することのできる教材の種類を図1、図2に示す。図中の下線部は今回追加した教材を表している。例えば高専でこれらの教材を用いて実験テーマを作成する際には、教材を組み合わせることによって学科毎の特色

* 電子工学科 准教授

** 機械工学科 准教授

を生かした実験テーマを作成することが可能である。

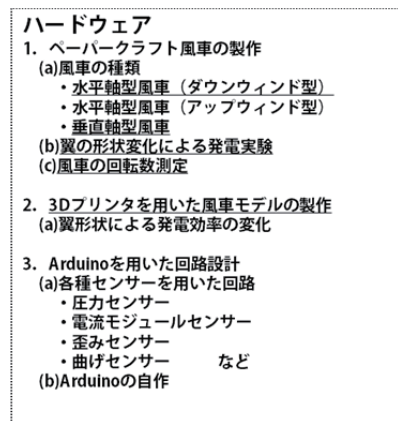


図 1. ハードウェア教材例一覧

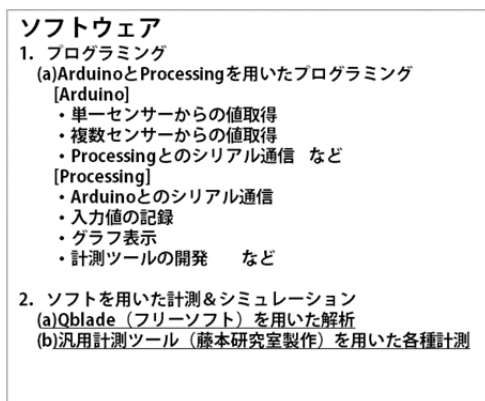


図 2. ソフトウェア教材例一覧

本校電子工学科では、昨年度の後期からこれらの教材を用いて2年生向けの実験実習を行っている。その内容を図3に示す。全部で3週の実験となっており、1週目はハードウェア、2週目はハードウェアとソフトウェア、そして、3週目はソフトウェア中心の内容となっている。また、各週毎の小テーマ内で「理論と実践」のバランスを取っている。



図 3. 電子工学科実験テーマ (2年生向け)

電子工学科の例では、複数の学科の内容が組み込まれているが、組み合わせによっては各学科に特化した内容やより高度な内容で実験テーマを作成することも可能である。図4に機械工学科で利用する実験テーマの例を示す。この例では、主に高学年での利用を前提にしている。最後に解析結果と実験結果の比較を行い、

その結果をフィードバックすることでよりよい製品を開発するという疑似体験を体験できる。こういった内容の実験は、近年 JABEE などが必要さが叫ばれているエンジニアデザイン能力の育成にも役立てると考えられる。

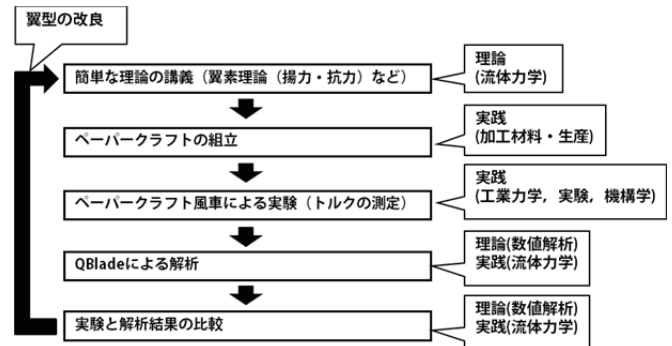


図 4. 実験テーマの例 (機械工学科)

3. 製作した実験教材

次項より、図1, 2に記載している今回追加した教材について報告する。

3.1 ペーパークラフト風車 昨年度まで用いられていた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製作されたもの^{(1),(2)}である。この風車は、図5に示すような水平軸型風車 (アップウィンド型) であったが、今回、水平軸型風車 (ダウンウィンド型) と垂直軸型風車のペーパークラフトについて同研究室で開発を行った。製作したペーパークラフト風車の外観を図6, 図7に示す。



図 5. 水平軸型風車 (アップウィンド型)



図 6. 水平軸型風車 (ダウンウィンド型)



図 7. 垂直軸型風車

図 5, 6 に示す水平軸型風車については、ペーパークラフトではあるが、実際の風車と同様に、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増速機の機構を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、摩擦車を製作し、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実現している（図 8 参照）。

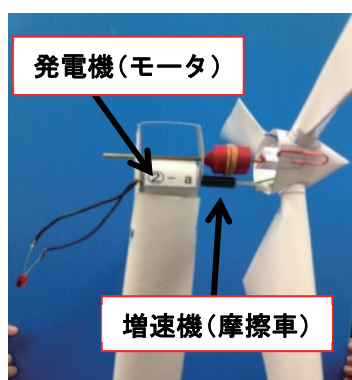


図 8. 風車内部（アップウィンド型）

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。また、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 を発電機として用いている。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。

なお、アップウィンド型は翼（ブレード）の風車の前方から風を受けることで回転するが、ダウンウィンド型は風車の後方から風を受けることで回転するのが特徴である。

図 7 の垂直軸型風車は、風の向きにブレードを垂直に調整しなければいけない水平軸型風車とは違い、向きの調整は必要がない。但し、ブレードの無い場所に

風があたると風車が回るのに必要なトルクが得られるまで時間がかかるという欠点を持っている。

今回、このような 3 種類のペーパークラフト風車を開発したことで、風車の形状やブレードの形状における発電効率やトルクの強さの違いなどを比較することができる実験テーマが可能になった。また、製作する難易度が垂直軸、アップウィンド型、ダウンウィンド型と順に難しくなっており、学生のハードウェア製作能力に応じて使用するペーパークラフト風車の種類を決定することも可能となっている。

3.2 高度な風車製作教材 前項で説明したペーパークラフト風車では、紙でできているという特性上、翼の形状を容易に変形させることができ、その結果、翼の形状による風車のトルクや発電効率を調べることが可能であった。しかし、高専や大学工学部の低学年の学生であれば、翼の形状（ひねりの有無など）によってトルクなどが変化するといった体験でも問題はないが、高専や工学部の高学年であれば、より高度な翼型の形成が必要であると考えた。そこで、3D プリンタと解析ソフトを用いた、より高度な風車製作教材の開発を行った。

今回は翼型の形状についての考察が行えることを目的としているため、図 9 に示す主要パーツについては、あらかじめ 3D プリンタを用いて製作した状態でユーザーに提供することとしている。これらのデータについては、フリーソフトである FreeCAD を用いてデータを製作した（図 10 参照）。

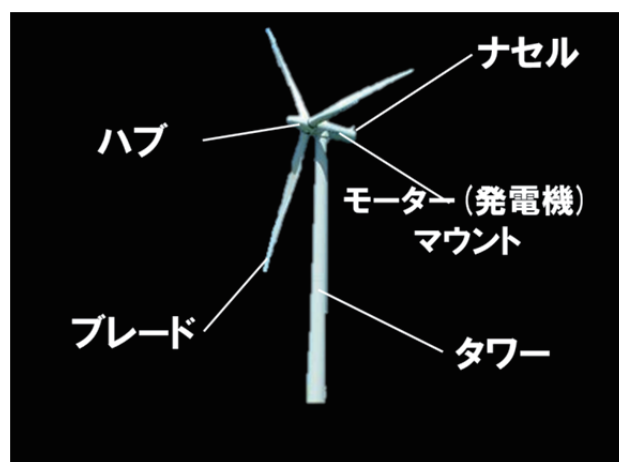


図 9. 製作する風車の各パーツ

翼型の形状と設計については、フリーソフトである QBlade を用いて行う。まず、QBlade 上で翼型（ブレード断面）の設計を行い、次に、その翼型の揚抗比の解析を行う。最適な揚抗比を持つ翼型が求めれば、2D モデルから 3D モデルへ変換し、ブレードを完成させる。今回 QBlade を用いた理由としては、これらの一連の作業は、全て QBlade 上で GUI を利用して行うこ

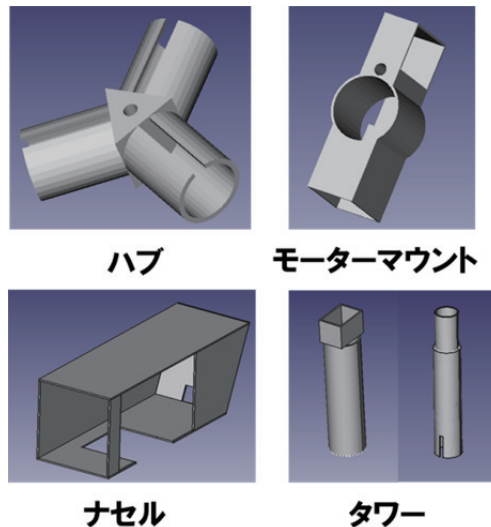


図 10. 各種パーツの 3D データ

とができるため、3DCAD の作業に習熟していない学生でも 3D モデルを製作することができるという利点があるからである。図 11 に QBlade を用いて製作したひねりの無いブレードとひねりの有るブレードを示す。ひねりの無いブレードは水平軸型のペーパークラフト風車で使用している翼型と同じような形状である。一方、ひねりの有るブレードは、ペーパークラフト風車では、実現することが難しい形状ではあるが、3D プリンタを用いることで製作が可能となった。また、ペーパークラフト風車に比べ、強度、耐久性共に高いため、安定性も高く、ブレードの形状による発電効率やトルクの違いなどを測定する際にも信頼性の高いデータを得ることができる。信頼性の高いデータを得られるということは、実験結果と QBlade とのシミュレーション結果の比較結果も信頼性が高くなり、その後の翼型の改良のためのフィードバックにも生かすことができる。

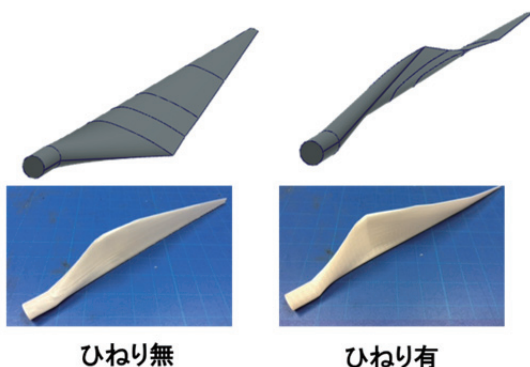


図 11. QBlade を用いて設計した 3D データと製作物
上側：QBlade を用いて設計した 3D データ
下側：3D データを基に 3D プリンタで製作したもの

なお、今回使用した 3D プリンタは、図 12 に示す 3D Touch (BITS FROM BYTES 社製) を用いた。精度は 0.25 mm となっている。このプリンタを使用し、製作した風車の外観と内部の構造を図 13 に示す。今回製作したものはアップウィンド型であるが、ダウンウィンド型に関しても QBlade を用いて設計は可能である。また、垂直型に関しては現在らせん状にブレードが配置されたものを製作中である。



図 12. 使用した 3D プリンタ
(3D Touch: BITS FROM BYTES 社製)

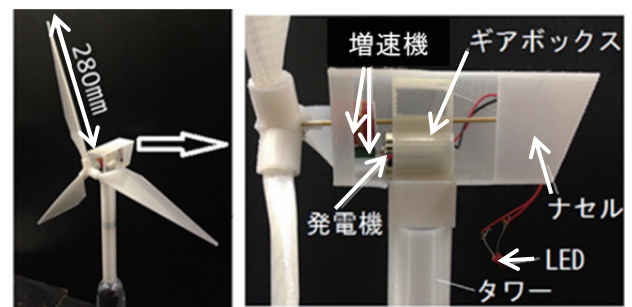


図 13. 3D プリンタを用いて製作した風車

3.3 回転数計測 風車に加わる要素と QBlade など解析した解析結果を比較し性能評価が行えるように、回転数測定を行う教材を製作した。図 14 にその概要を示す。回転数については、摩擦車の部分に反射シールを取り付け、非接触式反射型回転数計で計測することで計測が可能である。この回転数計については、図 13 に示す回路を設計し、Arduino を用いて計測を行えるようにした。回路図を図 14 に示す。市販品は、簡易なものでも 1~2 万円であるのに対し、設計した回路については 500 円程度と非常に安価なものになっている。また、精度についても、市販のタコメータと製作した回転数計を用いて 5 つの風車に対して結果を比較したところ、表 1 のようになり、市販タコメータとの平均

誤差率は 1%未満であり，市販タコメータに比べてもほとんど変わらない性能を有していることが分かる．但し，今回使用した反射型フォトセンサ RPR-220(Rohm 社製)の認識距離が 6 mm～1cm と非常に短いため，測定部分についてはフォトセンサ部分を収納したプローブなどを製作する必要がある．

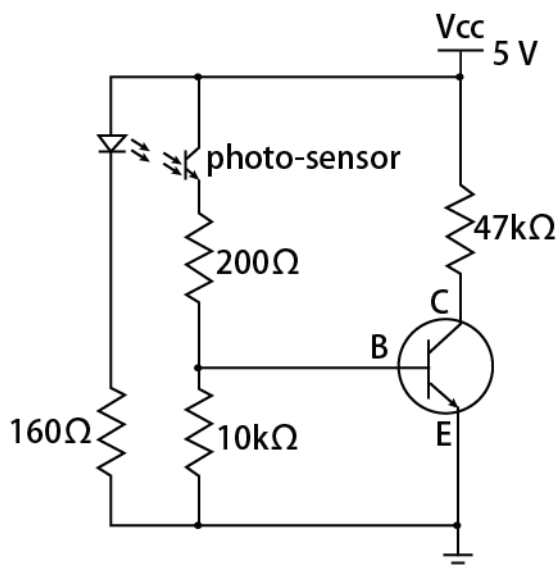


図 14. 回転数計の回路図

表 1. 回転数計特性評価結果

データ	rpm (tacho)	rpm (提案モデル)	誤差	誤差率 (%)
1	309	308.4	0.6	0.19
2	318	319.2	-1.2	0.38
3	312	310.2	1.8	0.58
4	317	316.2	0.8	0.25
5	302	301.8	0.2	0.07

3.4 汎用計測用ツール プログラミング系の科目が多い学科については，実際に発電電圧計測用ツールの製作を行うための教材をすでに開発している．しかし，プログラミングが苦手という学科や学生のために，Processing を用いて，汎用計測ツールの開発を行った．Processing は，オープンソースプロジェクトであるため無料で使用可能であり，電子アートやビジュアルデザインなどに適している言語である．また，初心者でもプログラミングが容易であることと Arduino と親和性が高いのが特徴である．今回製作した計測ツールは，メニュー画面とそこから選択できる複数のツールからなっている．図 15 にメニュー画面，図 16 に現在搭載している汎用計測ツールの機能の 1 例を示す．メニュー

画面は 3 つ選択できるようになっているが，今回提供しているツールに関しては，電圧測定ツールのみとなっている．もし，他のツールなどが必要になった時には，メニューの空きスロットにそのツールを関連付けることで容易に追加が可能となっている．

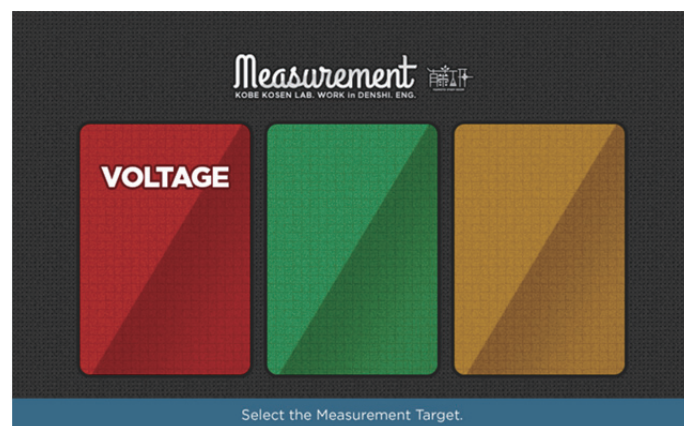


図 15. 汎用計測ツールメニュー画面



図 16. 汎用計測ツール画面 (Voltage)

今回提供している図 16 の計測ツールは，以下のような機能がある．

- (1)複数入力値のグラフ化 (4 入力まで可能)
- (2)計測データの保存
- (3)保存した計測データのチェック機能
- (4)計測ツール画面のキャプチャ機能

(1)については，今回 4 入力まで可能となっているが，実際には，Arduino のアナログポート数まで拡張が可能である．もし拡張が必要な場合には，簡単に修正できるように設計している．ツールの上部にある電圧，電流，電圧，電流と書かれているタブをクリックすると，そのタブに対応した入力をグラフ化できるようになっている．また，選択したタブについては，タブの色も変化し，タブの下側に Active という文字を出すことで，自分がどの入力をグラフ化しているか分かりやすいようにし

ている。他にも、グラフ描画エリアの上部にあるタブの色と同じ矩形エリアに数値として表示することで視認性の向上を行っている。

(2)については、計測ツールの下部にある **Export CSV files** ボタンを押すことで、CSV 形式としてデータが保存できる。保存をやめたい場合には、**Export CSV files** ボタンを押した後に出てくる **Reset** ボタンを押すことで保存を中止することができる。

(3)については、計測ツールの下部にある **Auto Stop & Check** ボタンを押すことで、(2)の機能で保存したファイルを再生することができる。その際に再生ボタンと停止ボタンが出るので自分の好きな場所で停止して確認することが可能である。また、このときにマウスのポインタをグラフ上に持っていき、クリックすることで、そのときの電圧をグラフ描画部分の上部に表示するようにしている。

(4)については、計測ツール下部にある **Save Current Frame** ボタンを押すことで、ボタンを押したときの計測ツールの画面を **png** 形式で画像としてキャプチャが可能になっている。今回の図 16 については、この機能を利用してキャプチャしたものである。

この汎用計測ツールは、現在広く普及しているオシロスコープよりも入力端子が多く、デジタルオシロスコープなどについているデータ保存機能と同等レベルのものを有している。更に、ユーザの使用したい状況などに応じて容易にカスタマイズ可能な点など非常に強力なツールとなっている。

4. 運用状況

現在、以前に開発した教材を用いて本校の電子工学科2年向けに平成25年度の後期から実際に運用を開始している(図17参照)。しかし、運用を開始してさほど実績が無いため、本実験教材に対する詳細なアンケート収集などは行っていない。今年度は、全ての実験が終了後に、実験に関するアンケートを実施し、教材や実験内容にフィードバックする予定である。また、平成25年度から東京大学機械工学科において、ゼミナール教材として本教材を取り入れた実験を行っている。今年度についても、新しく開発した汎用計測ツールなどを組み込んだ新実験テーマを利用する予定となっている。



図 17. 電子工学科2年実験実習で製作した風車

5. 今後の展望

平成25年度までは、高専や大学工学部の低学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をもてるのか、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いうことを重視して教材の開発を行っていた⁽³⁾。今年度開発した教材については、高学年層も利用できるよう平成25年度の内容を更に発展したものとなっている。これらの教材の有効性を確かめるために、今後は、**Web**などで開発した教材や教材を利用した実験テーマ例などを公開し、本校以外での本教材の利用促進を狙いたいと考えている。

また、現在製作している教材は、機械・電気・電子工学の分野に関わるような内容となっているが、製作している教員の専門分野である機械・電子工学科の内容のものが多くなっている。そこで、最終的には、製作した風車を最終的に直列に接続し、発電を行い疑似スマートグリッドの実現(電気工学)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製作(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ー機械機能及び組み立てやすさの改良ー", (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.
- (2) 藤本 健司, 早稲田一嘉: "ペーパークラフト風車を用いた実験教材の開発", 神戸高専研究紀要, 第52号, pp.43-47, 2014.

東海道鉄道ルートにおける 路線および線形の変遷に関する研究

橋本 渉一*

Transition of Route and Track Standards in Tokaido Railway Line

Shoichi HASHIMOTO*

ABSTRACT

Chuo Shinkansen adopted Magnetic Levitation System is decided to construct from 2014. Tokaido line is the most important route for transport of passenger and freight in Japan from Meiji era. Tokaido narrow gauge line is opened in 1889, from Tokyo to Kobe. New Tokaido trunk line, Tokaido Shinkansen is opened in 1964, from Tokyo to Shin-osaka. Next stage, Chuo Shinkansen using MAGLEV System is planned opening in 2027 from Tokyo to Nagoya. These three railway system operating speeds are increasing up and trip time have been changing shorter and shorter. Track or guideway standards such as horizontal or vertical curvature radius, steepest gradient, length of transition curve have changed. Consequently these routes are selected near straight line as increasing speed. In this study, change of construction standards and route selection are explained at these three stage Tokaido railway systems.

Keywords : Tokaido-line, Shinkansen, MAGLEV, speed up, railway standard

1. はじめに

我が国における鉄道は、1872年新橋～横浜(汐留～桜木町)間によりその歴史が始まった。これはイングランドのストックトン～ダーリントン間の世界初の鉄道創業47年後のことであった。引き続き1874年大阪～神戸間、1877年京都～大阪間と延伸され、1889年には東京～神戸間の東海道線が全通した。国力増強に対する鉄道の重要性を認識した明治新政府は開業後17年で我が国の幹線である東海道線(新橋～神戸)を完成させた。

その後1901年の全線複線化まで12年、全線電化までは第2次世界大戦後の1956年まで67年を要することとなった。

戦後の高度経済成長に伴い、東海道ルートの旅客および貨物の輸送需要は増加を続け、狭軌複線のみによる輸送能力は逼迫してきた。

1964年10月の東京オリンピック開幕時期に合わせるため標準軌別線で東海道新幹線建設が進められ、世界初の200km/h超の営業運転が開始された。これはその後世界各国の200km/h鉄道高速化の嚆矢となった。

新幹線開業前の1962年から国鉄鉄道技術研究所において開発が開始された、我が国独自の技術開発である超電導磁気浮上式鉄道は、1977年から宮崎実験線において走行実験が行われ、1997年からは山梨実験線において実用化を目指した走行実験が続けられてきた。¹⁾

JR東海から中央リニア新幹線の2014年度の着工、2027年東京～名古屋間の営業運転開始の計画が発表された。

明治以来、日本経済を支える大動脈であった東海道メガロポリスを貫く路線において、線形基準と路線選定の変遷を比較検討した結果について報告する。

2. ルートの変遷

125年前に開通した東海道線の初期ルートは、旧東海道にほぼ並行し人口のある都市を繋いでいるが、地形の険しい箱根を北方へ迂回する御殿場経由であった。

同区間は急勾配のため輸送のボトルネックとなっていた。輸送量増強と時間短縮のため、1934年に熱海～三島間に難工事であった丹那トンネルを貫通させ、国府津～沼津間は大きく短縮された。

東海道新幹線は標準軌が採用され、基本的に在来線ルートにほぼ並行しながら別線で建設された。東京～

* 都市工学科 特任教授

大阪の中間主要都市の駅は在来線と同位置であるが、駅間は構造物建設および用地買収の難易を考慮しながら直線的ルートが選定された。

中央リニア新幹線は、中間駅は各県に1駅置くのみであり、東京圏・名古屋圏・大阪圏を可能な限り短時間で結ぶことを目的としている。これにはトンネル掘削技術の進展により山岳地帯における長大トンネルが可能になったこと、大深度地下法の施行により大都市圏地下において直線的ルートが選定可能になったことが寄与している。(図1、図2)

2.1 路線延長(表1)

東海道線、同新幹線、中央リニアの路線延長(平面距離)を地図ソフトを用い算出した。

東京～名古屋間は、東海道全通当初は378.3kmであったが、丹那トンネル開通の結果11.7kmの短縮が図られ、366.6kmとなった。

東海道新幹線では、多くの駅は在来線と共通位置にあるものの都市間では直線的な路線選定がなされ、在来線から-24.6kmの342.0kmとなった。

中央新幹線は全国新幹線整備法に基づく計画路線として位置づけられ、主な経過地として甲府市付近、名古屋市付近、奈良市付近として1973年に運輸省より告知されている。国での審議を経てJR東海は2011年6月に東京～名古屋間のルートおよび駅位置について計画を発表した。

南アルプス直下を横断することにより延長は新幹線に対して-56.0kmとなり、在来線からは-80.6kmと大きく短縮されることになった。品川～名古屋間の直線距離と比較して僅か21.2km長くなっているだけである。

2.2 時間短縮(表1)

鉄道システムが進化することにより、車両の運転性能は大きく進化し営業速度は大幅に向上した。路線延長が短縮されたことと相俟って、到達時間は大きく短縮されることとなった。

我が国の鉄道創業時の最高速度は30km/h程度とされているが、新幹線開通以前の在来線特急の最高速度は100km/hまで向上された。

世界初の200km/h鉄道となった新幹線は、開業後永らく22年間は210km/hで停滞していたが、JR移行後東海道区間270km/h山陽区間300km/hまで向上し、2015年度には東海道区間285km/h運転が予定されている。なお東北区間では既に320km/h運転が行われている。

東京～名古屋間の所要時間は、新幹線開通前の在来特急の4時間14分から2014年時点の新幹線で1時間36分まで短縮し、中央リニア新幹線ではさらに56分間が短縮され40分が予定されている。

東京～大阪間では在来特急で6時間30分を要していたが、速度向上後の新幹線で現在2時間25分となり、中央リニア新幹線開通時には僅か1時間7分が予定されている。

3. 線形諸元の変遷(表2)

鉄道のルート選定作業を行うには、予め定められた線形に関する基本諸元に基づく必要がある。

平面の計画は最小曲線半径と緩和曲線長より、縦断の計画は最急勾配と最小縦曲線半径より検討が可能となる。²⁾³⁾⁴⁾

3.1 最小平面曲線半径

平面曲線半径は走行速度、カント、車内床面並行加速度の3パラメータが相互に関係する。

在来鉄道から新幹線、磁気浮上リニアへと営業速度は飛躍的に向上しているが、車内乗客に許容される床面並行加速度は乗り心地の観点から0.08～0.09gでほぼ同一の管理目標値が採用されている。

最大カントは、鉄車輪鉄レール方式においては円曲線中に停止した場合の車両の内方転倒に対する安定性から決まっている。リニアにおいてはU形ガイドウェイにより転倒はないが、車内乗客の歩行性を考慮し決まっている。

カント、走行速度および床面並行加速度が決まると、曲線半径は(1)式で表される。

$$R = \frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{\alpha_u / \cos \theta + \tan \theta} \quad \dots \quad (1)$$

ここに R …平面曲線半径

v …走行速度

g …重力の加速度(9.8m/s²)

α_u …乗客の受ける床面平行加速度(g)

θ …軌道・ガイドウェイのカント角

3.2 緩和曲線長

直線から円曲線にかけて曲率・カントを連続変化させる緩和曲線を挿入する。その長さは鉄車輪・鉄レールシステムでは、(1)車両の3点支持による脱線に対する安全の限度、(2)カント量の時間的変化割合に対する乗り心地の限度、(3)超過遠心力の時間的変化割合に対する乗り心地の限度、の3条件から緩和曲線長が決められている。

ガイドウェイでは、車両の走行性・乗り心地に関係する、(1)台車の平面性、(2)車体のローリング角速度、(3)車体のローリング角加速度、(4)床面平行加速度の変化率の4条件から緩和曲線長が決められた。

3.3 最小縦曲線半径

縦曲線半径は走行速度、車内床面直角加速度の相互関係から(2)式で与えられる。

縦曲線走行時に車内では、凹区間では鉛直上向き定常加速度を受け、凸区間では鉛直下向き定常加速度を受けることになる。

$$R = \frac{v^2}{g \alpha_v} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここに R ……縦曲線半径
 v ……走行速度

g ……重力の加速度 (9.8m/s^2)

α_v ……乗客の受ける床面直角加速度 (g)

車内乗客に許容される床面直角定常加速度は乗り心地の観点から新幹線と同等の $0.05g$ を採用すると、 $40,000\text{m}$ となる。

3.4 最急勾配

最急勾配は、鉄車輪鉄レール方式では機関車のけん

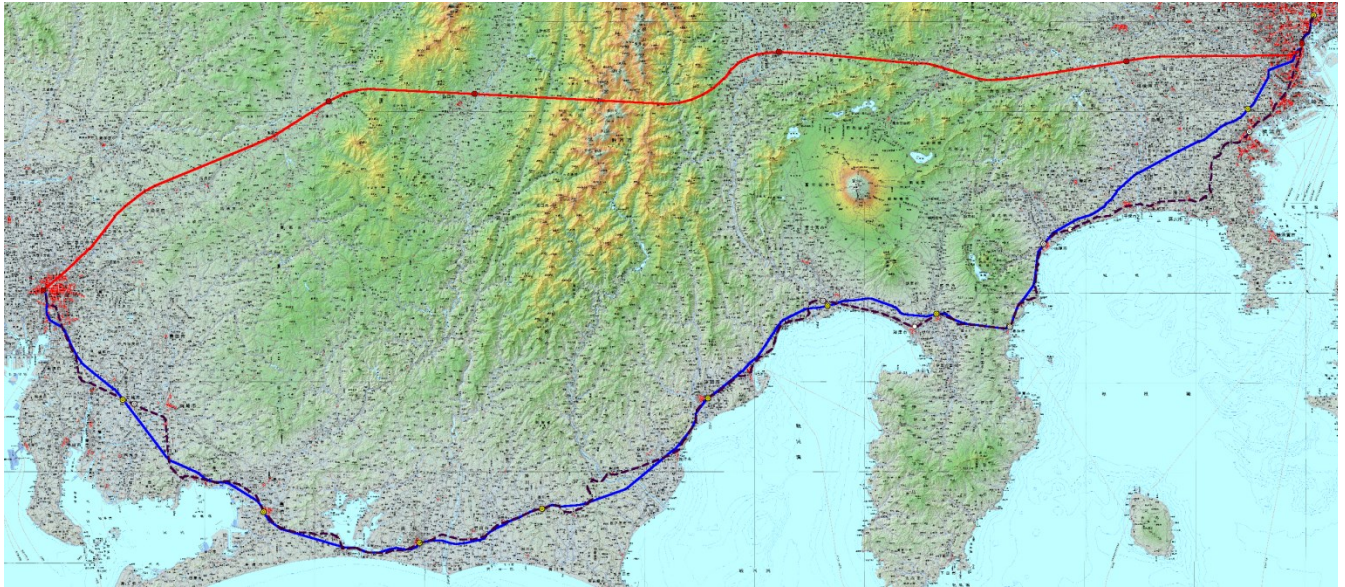


図1 東京～名古屋ルート

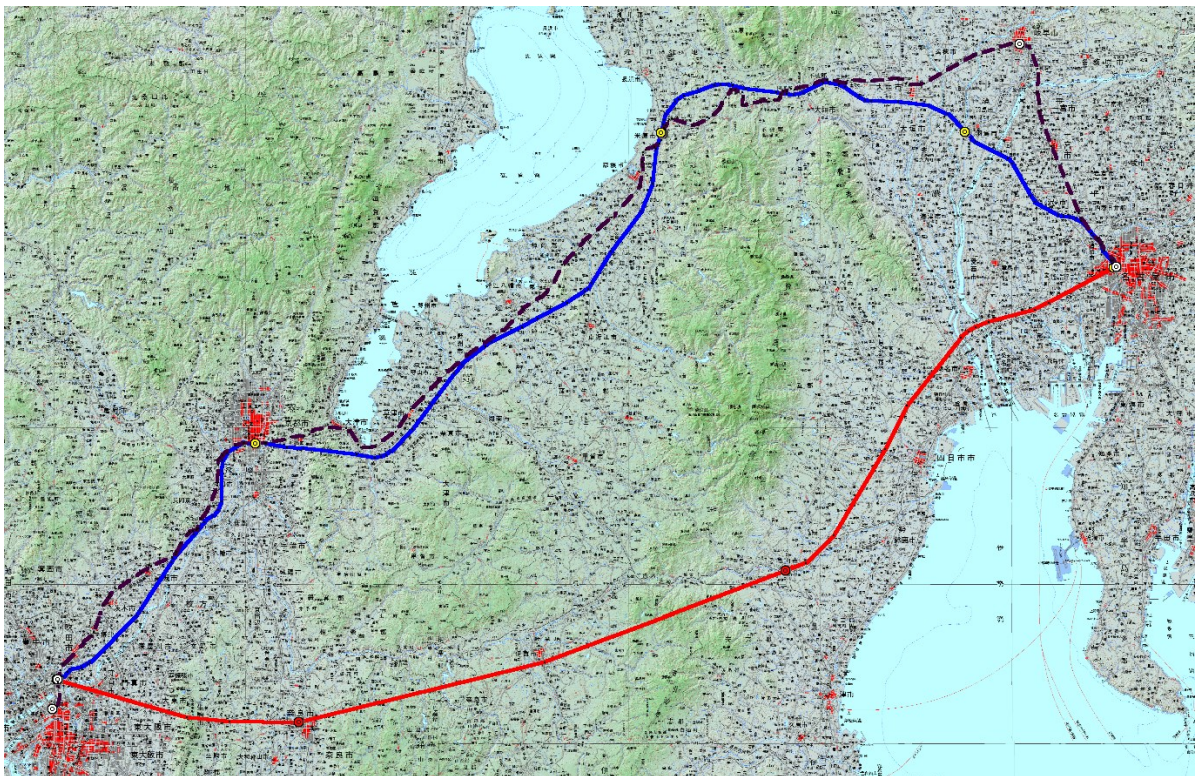


図2 名古屋～大阪ルート

引重量、速度を制約するなど輸送能率に大きな影響を及ぼすものであり、緩やかに設定することが望ましいが、地形および工事費を総合的に検討したうえ急勾配区間にも建設されることがある。

在来の狭軌線においては蒸気機関車の均衡速度を考慮して決められ、新幹線においては電車の主電動機の温度上昇を抑制するように決められている。

磁気浮上リニアモータ推進の場合、鉄車輪・鉄レール方式のように粘着力に頼るシステムではないため、リニアモータ出力を大きくすることにより登坂の勾配限界はない。我が国の河川支川の作る扇状地の勾配は最急40%程度である。これ以上に最急勾配を許容してもトンネル延長比率が減少すると考えられないため40%に決められた。

3.5 トンネル断面積

トンネル断面積は、高速すれ違い時の空力による車両への相互作用の影響を及ぼさないよう決められている軌道中心間距離と建築限界から決まる。

また高速鉄道の環境問題、トンネル高速進入時の出口側に発生する微気圧波音発生への対策としても、速度向上に連動して増加している。

4. まとめ

鉄道技術として第3世代となる超電導磁気浮上方式を採用した中央リニア新幹線は2014年の着工が決定された。鉄道技術開発の成果である新輸送機関が、我が国の21世紀の持続的発展に資することが期待されている。

在来方式の東海道線、標準軌別線の同新幹線から続く路線選定および線形の変遷についてまとめると以下のとおりである。

① 我が国に初の鉄道路線である東海道線は、機関車の登坂能力を考慮し、また当時の土木技術に見合い本来の地形の影響を受けた路線選定がなされた。結果として曲線半径および勾配は小さく抑えられ、路線延長は長くならざるを得なかった。

② 東海道新幹線は第2次世界大戦前に計画された弾丸列車計画の路線を引き継ぎ、中間主要駅は在来の東海道線に併設された。駅間部は高速運転が可能となるよう曲線半径は大きくより直線に近い路線が設定された。最急勾配は電車列車運転のみであり在来線より大きくされている。

③ 中央リニア新幹線の路線は、全国新幹線整備計画における中央新幹線を適用している。東海道ルートとは異なり、超高速走行が可能となるよう曲線半径はより大きく直線的となり、中部地域の山岳地帯を横断することとなった。また大都市部では大深度トンネル区間を走行し、リニアモータ推進であることから最急勾配は大きく設定された。

参考文献

- 1) 橋本渉一：「浮上式鉄道ガイドウェイの研究と技術開発」，土木学会論文集，No. 619/ I -47, pp. 1-12, 1999年4月
- 2) 橋本渉一「超高速鉄道の線形基準」神戸高専研究紀要，第39号，2001年3月
- 3) 橋本渉一「超高速鉄道における車内加速度の評価」神戸高専研究紀要，第48号，2010年3月
- 4) 橋本渉一「超高速鉄道駅アプローチ加減速区間における線形評価」土木学会平成24年度関西支部年次学術講演会概要集，2012年6月

表1 東京～大阪 線路諸元、時間比較

	東京～名古屋				名古屋～大阪				東京～大阪		
	始発駅	平面(km)	/在来	/新幹線	終着駅	平面(km)	/在来	/新幹線	平面(km)	/在来	/新幹線
東海道(御殿場経由)	東京～	378.3	1.03	—	—	—	—	—	—	—	—
東海道本線	東京～	366.6	1	1.07	～大阪	190.2	1	1.10	556.8	1	1.08
東海道新幹線	東京～	342.0	0.93	1	～新大阪	173.3	0.91	1	515.3	0.93	1
中央リニア新幹線	品川～	286.0	0.78	0.84	～新大阪	145.9	0.77	0.84	431.9	0.78	0.84
中央リニア/直線	品川～	264.8		1.08	～新大阪	135.2		1.08	400.0		1.08

表2 東京～大阪 距離比較

	平面曲線	縦断曲線	最大カント		最急勾配	トンネル断面	東京～名古屋		東京～大阪	
	(m)	(m)	(mm)	(度)	(%)	(m ²)	所要時間	時間比	所要時間	時間比
東海道本線	400	4,000	105	5.4	15	約50	4時間14分	6.3	6時間30分	5.9
東海道新幹線	2,500	10,000	200	7.6	20	62	1時間36分	2.4	2時間25分	2.2
中央リニア新幹線	8,000	40,000	—	10	40	74	40分	1	1時間7分	1

外国人による神戸市の『緑空間』に関するSD調査

高科豊* 沖本慎一** 吉田莉来*** 宮崎舞****

Semantic Differential Research on “Green Space” of Kobe City by Foreigner

Yutaka TAKASHINA* Shinichi OKIMOTO** Riku YOSHIDA*** Mai MIYAZAKI****

ABSTRACT

In this research, the viewpoint from the visit to Kobe Japan visitor of the foreigner is inspected for a city plan of green space. The sensitivity from an overseas visitor, the ways of city virescence are important matter. The purpose is to be investigated a connection in between “green degree” and “town charm degree”. There is my simple question “how about Kobe city's green feel from foreigner”. The Kobe city's green existence is considered based on an imaginary evaluation from the SD method from a foreigner. As the result, the visitor from the foreign countries finds an element of much hospitality of the town in Kobe and is conscious of relations of the existence of the virescence enough. In addition, Asian neighboring countries people may be different from a developed countries people in viewpoints of the sensitivity in the green space.

Keywords : virescence, SD method, hospitality, foreigner, Kobe city's green

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

神戸市には、多くの外国人訪問者が観光等を目的として来訪する。神戸市立高専においても、国際交流の活動として、インドネシアやシアトルとの学生間交流活動やホームステイ等の活動を行っている。

本研究は、海外から来る外国人にとって、神戸市の『緑』と街の繋がりや魅力度について、外国人来訪者意識の上から調査することを目的とする。神戸市では、2025年（平成37年）を目標年次とし、「緑とともに、永遠に生き続ける都市＝緑生都市」を基本理念の方針とする『グリーンコウベ21プラン（神戸市緑の基本計画）』を計画策定している。神戸市の緑の計画として、その都市空間形成が、「みどり」、「まち」、「田園」の3ゾーンで構成され、これらを繋ぐことに着目し、緑空間の将来像を描き、「緑生都市」実現に向けた施策展開の方向を進めている。¹⁾

本研究では、緑の都市空間づくりの考え方に、外国人の訪日来訪者からみた視点を検証し、海外の来訪者

からの感性を取り入れる観点を持ち、「緑生都市」神戸のあり方等を検討する。また、神戸市の街並におけるオープンスペース、ガーデン緑化、身近な緑の意識についても外国人からの意識等を検討し、デザイン都市神戸、観光都市神戸のあり方の向上の模索を本研究の期待される結果又はその効果と位置づける。

1.2 神戸の緑の定義

『緑』の定義は、一般には、樹木、草花等の植生を示すものであるが、都市として観るとき、景観法の中の地区や限定的な規制等を考えるのではなく、神戸市全体像を吟味する上での指標のあり方が必要と考えた。即ち、オープンスペースや都市施設等、その『緑』を含めた都市空間全体を捉えた広い意味合いを持つ存在の緑空間として、研究の対象を考える。¹⁾

我が国の都市は、神戸だけに限らず、高度経済成長期とともに、多くの街が画一統一的な都市計画として進められたと考える。狭い国土の我が国においては、地域に個性を持つ創生が必要であり、コンクリートのビル街や構造物に囲まれた街づくりは、その創意工夫が今後求められる。成熟期の我が国にとって、都市の緑化の街への取り込みは、今後積極的に行われるべきと考える。コンクリート構造物の緑化や緑の回廊造り等、緑は人間生活空間のうるおいを与える重要な要素と考え、都市の中に緑の連続的な繋がり空間を持たせ、

* 都市工学科 准教授

** ミヨシ油脂

*** 都市工学科卒業生

**** 都市工学科5年生

山と海の特徴を際立たせることは、神戸市の都市計画として必要不可欠なものとする。

また神戸市は、『陸、海、空』のアクセスにおいて、最適な立地にある。しかし海外には、沢山の魅力ある街があることも同時に痛切に感ずる。

本研究は、海外の人からみた時『神戸はどのような街に映るのか』という素朴な疑問から検討したいとの趣旨やその想いがある。

神戸海上アクセス、神戸空港、新神戸駅から、海外の人々が、この街に降りた時、『神戸の街に海外の人は何を観るのだろうか』、それが本研究の動機である。



写真1 JENESYSプログラムにより、神戸市立高専へ来日したインドネシア留学生



写真2 JENESYSプログラムホームステイにおける須磨水族園での様子

2. 神戸市における街と緑に関する外国人からみたアンケート意識調査

神戸には、多くの観光名所やランドマークがある。本研究では、外国人から神戸市の街の風景、緑の存在がどのように意識されるかを主にSD法からイメージの評価等を基に検討する。その手法として、スライド風景写真等を用い、各国の外国人被験者にアンケート調査をすべて英文表記にて行った結果から分析する。

2.1 被験者 (Trialist) とそのプロフィール

神戸には、多くの来日外国人が在住や訪問をする。本研究の被験者プロフィール項目として、性別、年齢、在籍国(出身国)、神戸への訪問回数、滞在(延べ)日数を検討した。具体的に、被験者の協力をお願いしたのは、公立大学法人 神戸市外国語大学の在籍留学生9名(C³Space(シーキューブスペース Cross-Cultural Communication Space)在籍者)、及び公益財団法人神戸国際協力交流センターに所属の留学生2名(神戸大学所属)の計11名をアンケート調査等の対象者とした。

表1に被験者の国籍を示す。ベトナム、モンゴル、ドイツ、フランス、アメリカ、ロシア、中国、韓国と多くの国々からの結果を得た。



写真3 神戸の緑に関する意識調査を行った神戸市外国語大学 C³Space での被験者確認

表1 被験者数とその国籍と分類

発展途上国	Vietnam	1	2
developing nation	Mongolia	1	
先進国	Germany	1	5
advanced nation	France	1	
	USA	2	
	Russia	1	
アジア近隣諸国	China	3	4
Asian Neighboring Countries	Korea	1	

2.2 スライド写真の設定

神戸市全域の代表的風景を表す21箇所のイメージ写真スライドを無料壁紙ダウンロード等から作製した。

各スライドは、数枚の遠景、中景、近景写真を用い、その風景箇所におけるイメージをまとめた。また地域性(エリアカテゴリー)・モニュメント・対象物の存在感等もスライド写真内に表現できるように配置・配慮した。

2.3 イメージ形容詞の選定とSD法

本研究は、写真イメージを形容詞等の言葉に5段階評価を行うことで、潜在的な感性の風景イメージ因子を抽出するSD法を用いた。SD法（Semantic Differential method）は言葉でその感性を測定する方法で、心理学的な測定、意味的構造を明らかにしようとする目的で用いられる一般的な方法である。

3. SD法による神戸の風景イメージ因子解析と結果

3.1 イメージ形容詞への評価

下記のような質問を34のイメージ形容詞について、被験者に5段階評価の回答を求めた。

Questionnaire Section)

How do you have feeling through watching this photograph (picture)? Please evaluate your feeling score between each image next word and photo.

Example) No1. Image word: 『Unified(Unity)』 feeling If this photograph does not have 『Unified(Unity)』 at all, evaluating score is 1.

If this photograph has 『Unified(Unity)』 slightly, evaluating score is 2.

If this photograph has 『Unified(Unity)』 normally, evaluating score is 3.

If this photograph has 『Unified(Unity)』 greatly, evaluating score is 4.

If this photograph has 『Unified(Unity)』 very greatly, evaluating score is 5

今回検討した34の用いた形容詞を以下に列記する。統一観のある（統一性のある）Unified (unity), 個性的な（特有の）Individual (characteristic), 近代的な Modern, 変化のある Variety, 単調な Monotonous, 広々とした Extensive, 庶民的な Popular (democratic feeling), 人工的な Artificial, 圧迫感のある Mental pressure, 男性的な Masculine atmosphere - Feminine atmosphere, 親しみがある Friendly feeling (familiarity), 潤いがある Moisture (flavor), 心が安らぐ Peaceful feeling, 整然としている Orderly feeling, 調和のある Harmony, 印象のある Impression, にぎやかな（活発な）Lively feeling, 見晴らしの良い Distant view, 下町のような Downtown area feeling, 陽気な（元気のよい）Merry(Cheerful feeling), 憧れる Longing, 住みたい Inhabitable feeling, 温かい Warm-hearted, 伝統的な Traditional, 興味のある Interested, お気に入りの Favorites, 雄大な Magnificent, お洒落な Stylish(fashionable), かっこいい Cool, 明るい Bright, 立体的な Three-dimensional(3D), 派手な Flashy, さわやかな Refreshing, 魅力的な Charming

3.2 評価因子と因子負荷量

形容詞から統合したイメージ因子の抽出するために、できるだけ多くの観測変数（イメージ形容詞）から、できるだけ少ない共通因子で抽象的な神戸市における

風景のイメージを説明できる因子を抽出し、緑という抽象的な定義のスコアと関連させる分析を通して、緑の空間的意義を定量的に捉えるのが、本研究の目的である。被験者の神戸のイメージの中で、緑の空間のイメージがどのように定量的な立場で位置づけられるかを模索することで、緑の効果等について検討できると考えた。

今、形容詞イメージの相関行列（各形容詞間の相関関係）から、被験者の心理的な側面として、幾つかの因子が共通に働いていると考え、抽象的観測数の多いものから、共通因子を引き出し、定量的整理を行う。

最初に34形容詞を用いた因子分析から因子負荷量を算定し、因子数3つを仮定し、因子負荷量が0.8以上の形容詞を残し選別した。形容詞間相関係数行列に基づいて因子分析を行うとき、変数の持つ情報量の大きさは1に規準化され、今、総変数が持つ情報量の大きさ（因子寄与の最大）は形容詞数になる。

また情報の大きさと分析対象とする相関係数行列の「固有値」には対応関係があり、因子数を推定する上において、固有値は共通因子数を決める一つの指標になる。

形容詞群と写真スライド群による因子分析の結果、共通因子数は算定固有値の結果から、3が妥当なものと考えた。34の形容詞群は、バリマックス回転後の因子負荷量の大きさから、16の形容詞に絞り込んだ。その結果、60.4%が第1因子となり、第2、第3因子が続くこととなった。各因子解釈として、形容詞を統合し、各因子軸に意味を持たせた。第1因子をTown Hospitality FACTOR, 第2因子, 第3因子をDimensional FACTOR, Structural FACTORと整理した。

特に神戸市の風景には個性があり、印象的、暖かく、興味のあるTown Hospitality FACTORが第1共通因子として強く算出された。表2にその直交回転後の因子負荷量の算定結果を示す。

表2 各形容詞の直交回転後の因子負荷量

	第1因子	第2因子	第3因子	共通性
02.Individual(characteristic)	-0.88604	0.052074	-0.04906	0.790181
04.Variety	-0.82758	0.026639	-0.25162	0.748904
05.Monotonous	0.963427	-0.07441	-0.03072	0.934672
07.Popular(democratic feeling)	-0.90075	0.145481	-0.16385	0.859364
08.Artificial	-0.17997	0.309395	-0.80349	0.773719
09.Mental pressure	0.362955	-0.09108	-0.81948	0.811583
16.Impression	-0.89485	0.315368	0.188179	0.935623
17.Lively feeling	-0.86793	-0.01433	0.017771	0.753817
18.Distant view	-0.02257	0.838061	0.042189	0.704636
20.Merry(Cheerful feeling)	-0.87535	0.37105	0.126556	0.920811
21.Longing	-0.9001	0.190556	0.143	0.866935
23.Warm-hearted	-0.82712	0.079211	0.448814	0.891832
25.Interested	-0.92082	-0.0224	0.174677	0.893729
26.Favorites	-0.95535	0.147839	0.173577	0.964672
31.Three-dimensional(3D)	-0.21832	0.85873	-0.33882	0.899881
34.charming	-0.80994	0.421865	0.149736	0.856396
因子負荷量の二乗和	9.668661	2.054163	1.883932	
寄与率	60.42913	12.83852	11.77457	
累積寄与率	60.42913	73.26765	85.04222	

Town Hospitality FACTOR SCORE からみた結果では、新生田川等のコンクリート河川軸や神戸医療産業都市の風景のイメージは、その値としてホスピタリティー性の弱いものとなった。

逆に、神戸布引ハーブ園、有馬温泉、六甲山牧場、南京町、須磨水族園等の多くの場所でホスピタリティー性の強いイメージとなった。

3.3 Town Hospitality SCORE と緑の必要性の関係

アンケートの次の英文質問から、緑の必要性を定量化した。

Questionnaire Section)

There are 21 pieces of photograph slides. Please answer in your opinion while taking a look at each photograph.

Q) Do you think that there should be enough green in this place of the photograph's area? Please choose number.

1. Necessary 2. Normal 3. Not Necessary

今、上記の英文評価の集計値(図2)から、Town Hospitality FACTOR SCORE と緑の必要性の関係性を調べた。

図1にその関係性の結果を示す。今、Town Hospitality FACTOR SCORE の値が小さいほど、神戸の街としての風景のイメージとしてのおもてなしの要素と考えたホスピタリティーに富む要素が大きいと解釈される。

逆に Town Hospitality FACTOR SCORE の値が大きいほど、ホスピタリティー性のない街として、被験者はそのイメージを捉え、そこには、緑の必要性を感じるという関係性が明確になった。

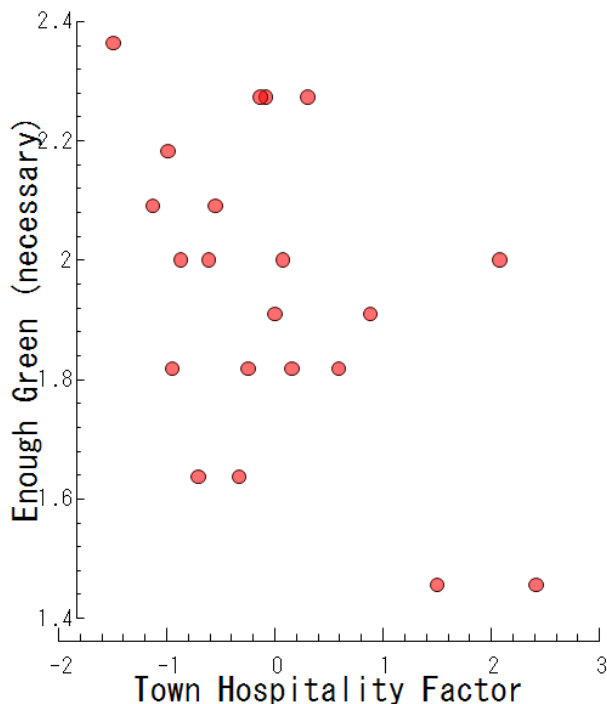


図1 Town Hospitality FACTOR SCORE と緑の必要性の関係性

すなわち、多くの海外からの来訪者は、街の空間におもてなしの多くの要素を神戸に見つけ、かつその緑化の空間的存在との関係性を意識しているものと推察される。

次に第2、第3因子の影響は小さいものの、両因子は都市空間や構成的な尺度となり、第2因子の立体的景観、第3因子の人工的圧迫感に着目し検討すると、神戸医療産業都市等の現風景は建設途中の発展期でもあるので、今後その配慮のある推進をすべきと考える。

高度医療や技術とともに、緑を通した人間の都市・神戸の姿が計画的に求められると考える。緑の存在とTown Hospitalityには関係があり、今後の空間設計には、その感性を考慮した街の計画がされなければならないものとする。本研究では、被験者の数は少ないものの、多くの側面の数量データから、緑の存在と街空間でのおもてなしイメージ要素には関連が定量的にあることを検証できたことが大きい成果と考える。

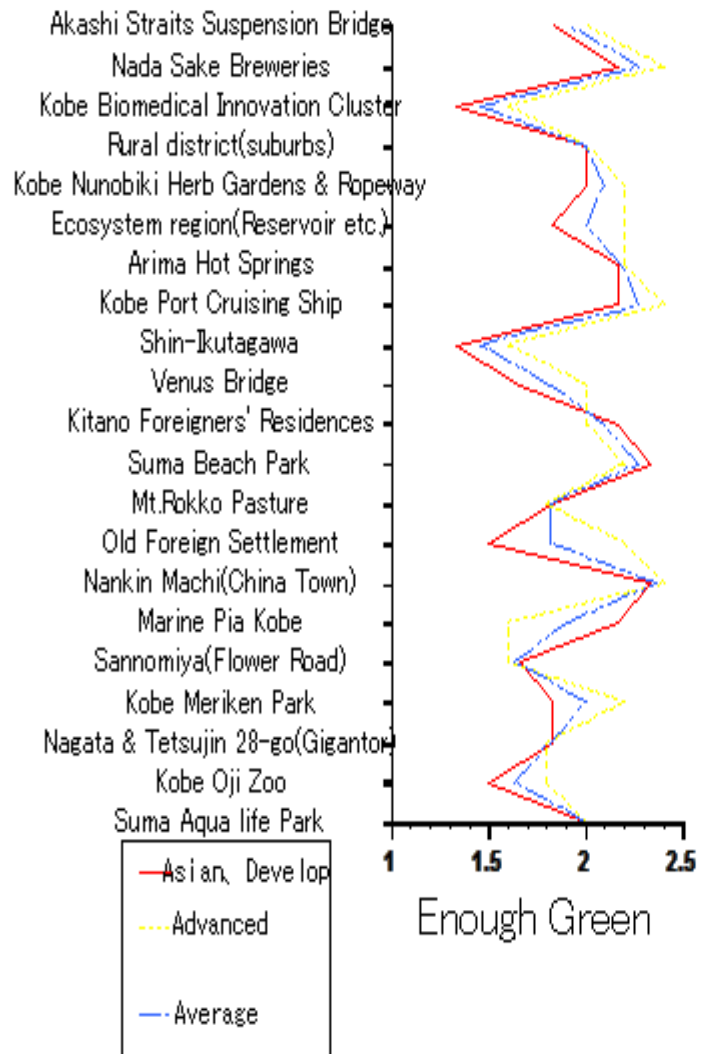


図2 緑の必要性の集計結果

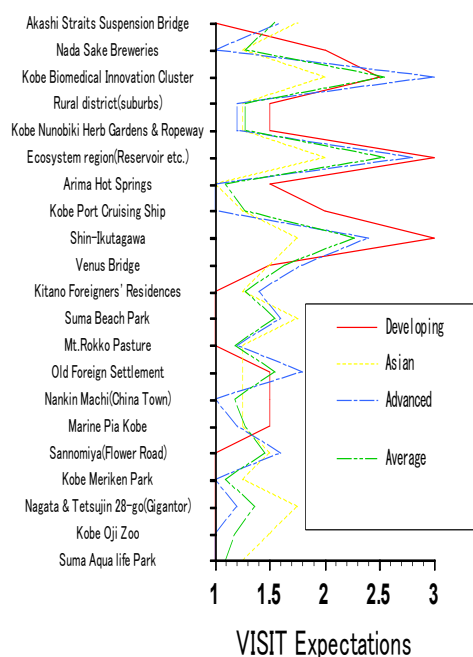


図3 訪れたい場所（数字が小さいほど訪れたい）

図3に、訪れたい神戸の場所（期待度）を示す。

外国人にとって、灘五郷（魚崎郷）、布引ハーブ園、有馬温泉街、神戸ポートクルージング、六甲山牧場、旧居留地、南京街、メリケンパークエリア、王子動物園、須磨水族園等、神戸には多くの場所がその魅力等を持つ街と考えられている。

4. 外国人のオープンスペースに対する認識の結果

外国人がみたオープンスペースに対する認識の結果についてもまとめた。先進国の留学生の被験者（欧米人）にとっては、神戸のオープンスペースは多いものとは認識されず、逆に、アジア近隣諸国（中国・韓国）の被験者には、多いものと認識されており、両極端な視点を持つことが分かった。

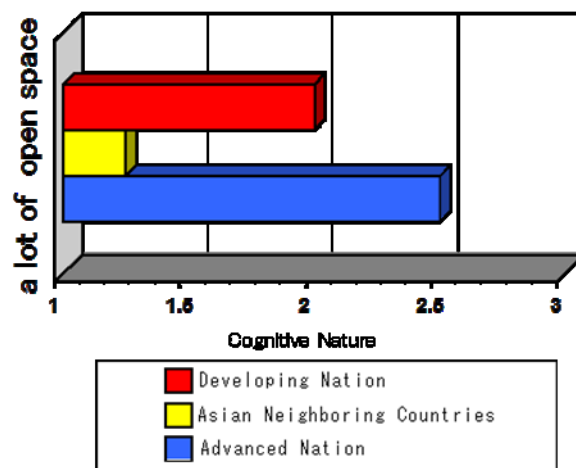
確かにヨーロッパのカフェやレストラン街は、道路沿いに多くの屋外空間が積極的に利用されている。

先進国の人にとっては、神戸だけでなく国土の狭い日本のオープンスペースは、貧弱なものと考えているものとする。図4に、外国人のオープンスペースに対する認識の結果をまとめた。

5. 外国人からの神戸市のイメージにおけるガーデン緑化等の普及意識

神戸市全体イメージとして、ガーデン緑化等の普及について、以下のような質問を行った。

Q) Do you think that there is a lot of virescence (green of house' s garden and green of building' s wall) in the Kobe city? Please choose number→ ()

図4 外国人のオープンスペースに対する認識
(数字が小さいほどオープンスペースが多いと認識)

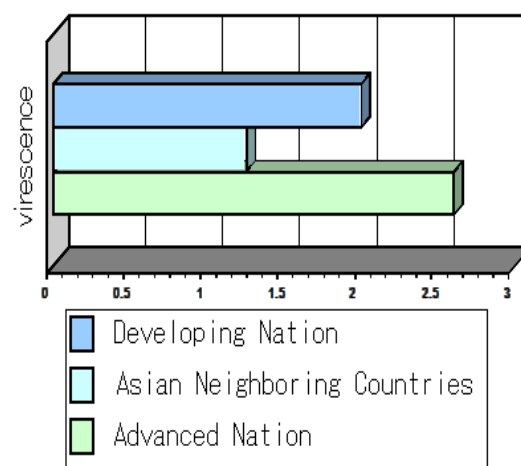
1. Yes 2. Not Realize 3. No

図5にその結果をまとめ、外国人の緑化等に対する認識として示した。

その結果、緑化に対する意識も、オープンスペースに対する認識と同様に、先進国の被験者（欧米等）にとっては、神戸の緑化はあまり認識されてはおらず、逆に、アジア等の近隣諸国（中国、韓国）の被験者と非常に極端な反転的な結果となった。

先進国の人にとって、神戸の街は緑化においても、オープンスペースの評価と同様に、低い意識のものとなった。

神戸は山と海が近いことから、河川軸や道路軸等を緑化回廊とし、街全体が繋がりと溜まりの場所になるような計画が必要と考える。

図5 外国人の緑化に対する認識
(数字が小さいほど緑化が多いと認識)

6. まとめ

本研究は、緑の都市の空間づくりについて、外国人の訪日来訪者からみた検討を行った。その成果として、海外からの来訪者は、街の空間に多くのおもてなしの要素を見つけ、かつ緑化の存在との関係を十分に意識している。また先進国とアジア近隣諸国の被験者は、オープンスペース等、街の空間における感性的視点が異なる可能性がある。

謝辞

神戸市外国語大学の屋久和夫氏、久野友士氏、及び公益財団法人神戸国際協力交流センターの在籍留学生サロン参加の機会やアンケート調査にご協力を頂いた皆さんに感謝の意をここに表します。

また公益財団法人神戸市公園緑化協会から研究助成を頂いたことに感謝の意を表します。

平成24年度採択:『外国人からみた観光都市神戸としての緑に関する意識調査』都市工学科5年沖本慎一

平成25年度採択:『デザイン都市神戸の緑に関する外国人によるSD評価』都市工学科5年吉田莉来
の両研究生に感謝の意を表します。

また外務省 JENESYS からの国際交流インドネシア留学生ホームステイ受け入れ活動

神戸YMCA国際・奉仕センター活動

北カルフォルニア日本文化コミュニティセンター

JCCCN 第2回 TAKAHASHI YOUTH AMBASSADOR FELLOWSHIP PROGRAM 参加

留学生ホームステイ受け入れ活動等にご協力頂いた皆様に感謝の意を表します。



写真5 外務省 JENESYS からの国際交流
インドネシア留学生ホームステイ受け入れ活動



写真4 JCCCN 第2回 TAKAHASHI YOUTH
AMBASSADOR FELLOWSHIP PROGRAM

参考文献

- 1) 神戸市「緑の基本計画(グリーンコウベプラン)」
- 2) 神戸国際観光コンベンション協会「Feel KOBE」
- 3) デザイン都市神戸
(<http://www.city.kobe.lg.jp/information/project/design/>)

英語指導者を対象にした多読に関する質問紙調査から —予備的研究—

今村 一博*

A Preliminary Study Based on a Questionnaire Survey of English Teachers on Extensive Reading

Kazuhiro IMAMURA*

ABSTRACT

This pilot study uses a questionnaire survey to investigate the methods used by English teachers at junior and senior high schools in Japan to make their students read extensively, the effects teachers expect from extensive reading, and why some teachers do not make their students read extensively. The results showed that some of the teachers do not make their students read extensively because they do not know how to do so and because they think extensive reading is not suitable for their students. The results also revealed that many junior high school teachers do not give their students opportunities to read extensively and that teachers who think the academic level of their students is low tend not to make the students read extensively. Finally, it was found that many teachers expect extensive reading to improve their students' speed of reading, attitude and motivation regarding English and English education, and speed of recognition of words.

Keywords : extensive reading, questionnaire, teachers, junior high and high school, *kosen* (college of technology)

1. はじめに

日本の学校教育における英語多読に関する研究は増えてきているが、英語の指導者を対象とした質問紙調査による研究は依然として少ない。その中の一つである山崎は小学校、中学校、高校、大学の英語指導者を対象に多読指導に関する郵送による質問紙調査を行った⁽¹⁾。この調査の対象に高専の指導者は含まれていないが、近年で初めて、日本の小学校から大学まで多くの学校の指導者を対象に英語多読に関する大規模な調査をしたものである。小学校の調査結果を割愛し、中学校から大学までの調査結果を示す(表 1)。結果としては、中学では、教科書以外の読み物を読ませていたのは 33.3 パーセントに留まった。中学校で生徒が読むものを選んで読む形式をとっていたのは、わずか 5.6 パーセントであった。高校では、教科書以外の読み物

を読ませていたのは 70.8 パーセントであり、教科書しか読ませていない学校が、29.2 パーセントあった。高校で生徒が読むものを選んで読む形式をとったのは、15.4 パーセントであった。大学においても、多読を実施していたのは 35.7 パーセントに留まった。

表 1 中学校、高校、大学での英語多読指導に関する郵送による質問紙調査結果 (山崎)

	中学校 <i>n</i> = 72	高校 <i>n</i> = 65	大学 <i>n</i> = 98
教科書以外の読み物を読ませた	33.3%	70.8%	
学習者が読むものを選んで読んだ	5.6%	15.4%	---
多読を実施した	---	---	35.7%

一方、今村において、3 つの私立大学、2 つの国公立大学の大学生(1・2 年生 446 人)を対象に行った在籍した高校の英語多読指導に関する質問紙調査(表 2)によ

* 一般科 教授

れば、高校で英語多読を行ったのは、全体で 12.3 パーセントと少なかった⁽²⁾。学習者が読むものを自分で選んで多読を行ったのは、3.8 パーセントとさらに少なかった。大学ごとに見ると、ばらつきが見られ、高校で多読を行ったのは、最も低い率の A 大学生(私立)で 5.0 パーセント、最も高い率の D 大学生(国立)で 21.1 パーセントであった。

今村で指摘されたように、大学生を対象に行った在籍した高校での多読指導について尋ねた質問紙調査の「学習者自身が図書を選んで多読をした」という質問項目に対する 3.8 パーセントと比較すると、山崎の質問紙調査の「学習者自身が読むものを選んで読んだ」に該当する高校生が 15.4 パーセントという割合はかなり高い⁽¹⁾⁽²⁾。これは、今村の質問紙調査では、「多読をした」という言葉が使われている一方、山崎では単に「読んだ」という言葉になっていて、この違いに起因している可能性も考えられる⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、山崎の質問紙調査が郵送による調査で、回答して回収された数を発送数で割った回収率は、高校で 32.5 パーセントと、ほぼ 3 分の 1 であることから、山崎の調査結果は多読に関する指導を積極的に行っている学校または先生からの回収率が高いために、全体として多読に関して高い数値が示されている可能性も考えられる⁽¹⁾。しかしながら、いずれにせよ、山崎及び今村の調査結果から、日本では、中学から大学まで、10 年間にわたる英語教育において、多読指導は十分に行われていないことが多いことが判明した⁽¹⁾⁽²⁾。

表 2 大学生を対象に行った在籍した高校の
多読指導に関する質問紙調査結果

	高校で多読を 行った	高校で学習者 自身が図書を 選んで多読を 行った
A 大学生(119 人)	5.0%	0.8%
B 大学生(121 人)	5.8%	1.7%
C 大学生(57 人)	19.3%	10.5%
D 大学生(142 人)	21.1%	5.6%
E 大学生(7 人)	14.3%	0.0%
全体(446 人)	12.3%	3.8%

注：A・B・C は私立大学，D は国立大学，E は公立大学

2. 本研究の特色

本研究では、英語指導者を対象に多読に関する質問紙調査を実施した。この質問紙調査は、指導者が国内のある教育委員会にほぼ無作為抽出されたと言ってもよい条件で集合した際に実施したものであり、このほ

ぼ無作為と言える条件が極めて重要だと考えられる。それは、英語教育の分野においても、学会や研究会に参加する指導者に質問紙調査を実施したところ、英語教育の理論や実践に関心がある指導者が多いためか、実態よりも明らかに高いと思われる数値が出てしまうといった事例がしばしば起こっているが、そうしたことなく無縁な条件であるからである。また、前項「1. はじめに」で述べた通り、質問紙調査を郵送で行った場合、回収率が低くなることや、返送する回答者がその質問紙で尋ねている内容に関心を持っていたり、実際に実施していたりすることが多い可能性は否定できない。そのため、被験者がほぼ無作為抽出されたと言ってもよい条件で質問紙調査を実施できる機会は極めて少ないという点で、本研究の質問紙調査は貴重だと考えられる。

また、前項で述べた通り、英語指導者を対象とした多読に関する質問紙調査は多くなく、実施された質問紙調査も多読の実施率を調査する程度に留まっているものが多い。そこで、本研究ではさらに多読の効果に関する指導者の考えや、多読をしなかった場合の理由に関しても調査した。

3. 本研究の目的

本研究は、参加者(被験者)の数は多くはなかったが、前項で述べた通り無作為抽出されたのに近い条件で集まった中学・高校の指導者を対象とした質問紙調査を行い、筆者が実施する計画をしている高専の英語指導者を対象とする質問紙調査の予備的研究とする。さらに、高専に入学してくるのは中学卒業生であるが、中学生に対する多読指導の状況、高専の低学年(1～3 年生)と同年齢である高校生に対する多読指導の状況、及び中学・高校の英語指導者の多読に関する考え(信念, belief)を調査することを目的とする。

4. 研究方法

4.1 参加者 中学校の英語指導者 25 人、高校の英語指導者 21 人、合計 46 人が参加者であった。

4.2 調査方法 紙ベースで作成した質問紙調査(「資料」参照)を参加者に配布し、質問項目に回答してもらい、後に統計処理を行った。

5. 結果と考察

5.1 学習者の英語習熟度レベル

英語指導者から見て、生徒の英語習熟度に関して、「大変高い」が 2.2 パーセント(1 人)、「どちらかと言えば高い」が 19.6 パーセント(9 人)、「どちらとも言えない」が 23.9 パーセント(11 人)、「どちらかと言えば低い」が 30.4 パーセント(14 人)、「大変低い」が 17.4 パーセント(8 人)、「回答せず」が 6.5 パーセント(3 人)という結果であった。指導者が全

体としては生徒の習熟度をやや低く評価していることがわかった。

5.2 多読の実施状況 多読指導を過去 10 年以内に実施したのは 46 人中の 19.6 パーセント(9 人)に留まった。内訳を見ると中学校の指導者では 25 人中の 8 パーセント(2 人)、高校の指導者では 21 人中の 33.3 パーセント(7 人)というように、中学校よりも高校の方が高い割合で多読指導を行っていた。

そこで、統計的有意差があるかどうか調べるために、参加者が多くないことからノンパラメトリック検定である χ^2 乗検定によって検定を行ったところ、

$\chi^2 = 4.768$, $p = .029 < .05$, $\phi = .33$ (効果量中)となり、5 パーセント水準で有意差があることが明らかとなった。統計的有意差をもって、中学校の指導者よりも高校の指導者の方が多読指導を行っている者が多いことが分かった。しかし、高校の指導者も多読指導をしているのは、3 人に 1 人の割合なので、中学校の指導者で多読指導をしている者が極端に少ないことが明らかとなった。

5.3 多読の方法 多読の方法に関して、多読指導を行った指導者 9 人は、複数回答方式で、「長期休暇中や学期中に、授業外で、指定の多読用図書を読ませた」と回答した指導者が最も多く、55.6 パーセント(5 人)であった。次いで、2 番目に「長期休暇中や学期中に、授業外で、多読用図書を生徒自身に選ばせて読ませた」が 44.4 パーセント(4 人)、3 番目に「授業中に、指定の多読用図書を読ませた」が 33.3 パーセント(3 人)、最後に「授業中に、多読用図書を生徒自身に選ばせて読ませた」が 11.1 パーセント(1 人)と続いた。全体の傾向としては、授業中よりも授業外で読ませていることが多いことが分かった。授業時間数を重視する近年の状況から見ても授業外で多読をするのは妥当な結果だと考えられる。

5.4 多読を実施しなかった理由 多読指導を過去 10 年以内に実施しなかった 37 人の英語指導者を対象に、多読指導を実施しなかった理由を複数回答可で答えてもらったところ、「勤務する学校の生徒に適した指導と、考えないから」という理由が最も多かった(35.1 パーセント, 13 人)。次いで、2 番目に「多読指導をする方法を知らないから」(29.7 パーセント, 11 人)、3 番目に「多読指導の実施について、全く考えもしなかった」(27.0 パーセント, 10 人)、4 番目に「忙しいので、多読指導の準備等をする時間があまりないから」(18.9 パーセント, 7 人)、5 番目に「多読指導に関心があつたが、なんとなく実施しなかった」(13.5 パーセント, 5 人)が続いた。一方、「多読に効果があると、あまり考えないから」(0 パーセント, 0 人)、「精読の方が、効果があるから考えるから」(8.1 パーセント, 3 人)という

ように多読の効果を否定して多読指導を行わないとする指導者はほとんどいないことが分かった。つまり、多読指導の効果を認めながらも、自分の生徒たちの指導には適していないと考える指導者、また多読指導の方法を知らない指導者、なんとなく特に大きな理由はなく多読指導を実施しない指導者が多いことが明らかとなった。

多読が平均的な英語習熟度の高校や、上位と見られる高校の生徒を対象にして、英語読解力が高い方の群の学生だけでなく、低い方の群の生徒も、多読によって読む速さや読む正確さが向上したという実証的研究はある(橋本他⁽³⁾, Imamura⁽⁴⁾)。しかし英語習熟度が特に低い生徒・学生を対象とした実証的研究は少ないと見られるので、そうした生徒・学生を対象とした実証的研究を行っていく必要がある。また、多読指導の方法について知らない指導者も多いので、その方法を学べるワークショップや研修を増やしていく必要があることも分かった。

5.5 期待される多読の効果 全ての参加者(46 人)を対象にした期待される多読の効果に関しての回答では(複数回答可)、「速読力」が最も多く(52.2 パーセント, 24 人)、過半数を超えた。次に「英語や英語学習に対する態度・動機づけ」(39.1 パーセント, 18 人)及び「英単語を見てその意味が認識できる力」(39.1 パーセント, 18 人)が多かった。これらは、橋本他、今村、Imamura 等の実証的研究の結果とほぼ一致しており、指導者が学習者を指導する中で経験的に知ったり、研究会や英語教育関係の文献等を通じて知ったりしていると思われる⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、一方では 19.6 パーセント(9 人)の指導者が無回答で、多読の効果に関してあまり意識をしてない指導者も多いことが明らかとなった。

5.6 学習者の英語習熟度レベルと多読実施状況の関係 英語指導者から見た生徒の英語習熟度(5.1 参照)と多読の実施状況(5.2 参照)に関係があるかを調査することにした。まず、生徒の英語習熟度は質問紙では 5 段階に分かれていたが、人数比も考慮して、①「大変高い」、②「どちらかと言えば高い」を『高い』、③「どちらとも言えない」、④「どちらかと言えば低い」、⑤「大変低い」を『低い』の 2 つの群に分けた。そして学習者の英語習熟度レベルと多読実施状況のクロス表を作成したところ(表 3)、習熟度が低い生徒を対象に多読が全く実施されていないことがわかった。

そこで、統計的有意差があるかどうか確認するために、参加者が多くないことからノンパラメトリック検定である χ^2 乗検定によって検定を行ったところ、

$\chi^2 = 10.297$, $p = .001$, $\phi = .49$ (効果量中)となり、1 パーセント水準で有意差があることが明らかとなった。統計的にも「習熟度の低い」学習者よりも、「習熟度の

高い」学習者を対象にしてより多く多読指導が実施されていることが確認された。

表3 Q4と修正Q2のクロス表(人数)

		Q2(2群に分類したQ2)		合計
		『習熟度高い』	『習熟度低い』	
Q4	多読実施	8	0	8
	多読実施せず	13	22	35
	合計	21	22	43

6. 本研究の限界、今後の研究、教育的示唆

参加者が少なかった点が、本研究の大きな限界であった。本研究は予備的研究であり、「2. 本研究の特色」で述べた通り、あまり多くない機会を捉えて得られた参加者であるのでやむを得ない点ではあるが、今後このような無作為抽出に近い状況でより多くの参加者を得ることができれば、英語指導者に対する質問紙調査をすることが望まれる。また、質問項目を増やして、多読指導を行っている指導者にはより詳しく多読指導の方法や状況について尋ねることも期待される。さらに、面接をすることができれば、より細かい部分まで把握することができると考えられる。

また本研究から、中学生に対する多読指導、習熟度が低いと見られる学習者を対象とした多読指導があまり行われていないことが示唆された。こうした学習者を対象に多読指導を行い、多読の影響を多面的に調査することが喫緊の課題であると考えられる。

教育的示唆としては、高校や高専に入学してくる中学生の多くが多読の経験がなく、学校ではほとんど教科書しか読んできていないものと考えて指導の計画をする必要がある。中学校がそうした状況であるために、ますます高校や高専での多読、読む量を重視した指導が重要と考えられる。

多読の方法に関しては、授業外で行う方法が現在も多い状況で、今後も授業時間数が大きく増えることは期待しにくいと思われるので、授業外で行う効果的な指導法を研究していく必要がある。そのためには、指導者が多読指導を行って、指導法に関して調査を行い、結果を積極的に発表していくことや、多読指導者間で情報を活発に共有していくことが望まれる。

「5.4 多読を実施しなかった理由」で述べた通り、実施しなかった理由の2番目に「多読指導をする方法を知らないから」、3番目に「多読指導の実施について、全く考えもしなかった」、4番目に「忙しいので、多読指導の準備等をする時間があまりないから」、5番目に「多読指導に関心があったが、なんとなく実施しなかった」と続き、多読指導の方法を知らなかったり、

周囲で多読指導をしている指導者がいないためか、多読指導についてほとんど考えられていなかったりするケースが多いと見られる。「5.5 期待される多読の効果」でも述べた通り、多読の効果に関して、経験的にもしくは文献等を通じて知識として知っている指導者も多いが、一方で全く知らないケースも多いと見られる。これらの点から、指導者が、多読指導の方法に関するワークショップに参加したり、多読に関する文献に目を通したりすることが望まれる。

7. 最後に

英語教育における質問紙調査の回答者が英語指導者である場合は、質問紙を配布して回答してもらう調査か、郵送で回答を依頼して行う調査かによって、また研究会や学会の会員や参加者を対象とする調査を行うか、無作為抽出に近い条件の回答者を対象とする調査を行うかによって、結果が大きく異なってくることが少なくないと考えられる。近年、英語教育分野において、統計手法に関心が集まり、研究が増加してきているが、統計処理をする前の重要な段階である、回答者をどのように選ぶかという点にも関心が高まり、研究が進められることが期待される。

参考文献

- (1)山崎朝子:「多読指導の現状: 科学研究の成果 平成18年度~19年度科学研究費補助」, 第34回全国英語教育学会東京大会発表資料, 2008.
- (2)今村一博:「多読が単語・コロケーション・定型句・反義語の認識(アクセス)速度に及ぼす影響」. *Language Education & Technology* (外国語教育メディア学会紀要), 第48号, pp. 185-214, 2011.
- (3)橋本雅文, 高田哲朗, 磯部達彦, 境倫世, 池村大一郎, 横川博一:「高等学校における多読指導の効果に関する実証的研究」, 『STEP BULLETIN』, 第19号, pp. 118-126, 1997.
- (4)Imamura, K.: (2008). The effects of extensive reading for Japanese high school students on their reading and listening abilities, vocabulary and grammar. *ARELE*, Vol. 19, pp. 11-20, 2008.
- (5)今村一博:「高校生に対する多読指導と情意, 使用する読解ストラテジーの認識との関係—縦断的研究—」, *Language Education & Technology* (外国語教育メディア学会紀要), 第44号, pp. 87-106, 2007.

資料

「多読指導について」のアンケートのご協力をお願い

[前文省略]

下記の[]内において、最も近いと考えられるものに○をつけてください。また、その他の質問にお答えください。

◇現在勤務されている学校は、

Q1[①中学・②高校]で、だいたいと言うならば、生徒の英語力のレベルについては、

Q2[①大変高い ②どちらかと言えば、高い ③どちらとも言えない ④どちらかと言えば、低い ⑤大変低い]状況である。

◇先生ご自身は、何らかの『多読』指導(例えば、「リーディング・マラソン」や、長期休暇中に、英語の読み物を沢山読ませる等は、『多読』指導の一つと考えることにします。本アンケートでは細部に拘るよりも、読む量を重視した読みを多読と定義します。)を、過去 10 年以内に、

Q3[①実施した ②実施しなかった]

Q3 で、「①実施した」と答えた方は、次の Q4 にお答えください。(Q4 の後、Q5 に答えずに Q6 へ)

Q3 で、「②実施しなかった」と答えた方は、Q4 は答えずに、Q5 にお答えください。(Q5 の後、Q 6 へ)

Q4 多読指導を実施した内容は次のどれでしょうか。(複数回答可: 当てはまるもの全部に○をつけてください。)

[①長期休暇中や学期中に、授業外で、指定の多読用図書を読ませた。

②授業中に、指定の多読用図書を読ませた。

③長期休暇中や学期中に、授業外で、多読用図書を生徒自身に選ばせて読ませた。

④授業中に、多読用図書を生徒自身に選ばせて読ませた。

⑤その他(具体的に)]

Q5 多読指導を実施しなかった理由は、次の中のどれでしょうか。(複数回答可: 当てはまるもの全部に○をつけてください。)

[①多読に効果があると、あまり考えないから

②勤務する学校の生徒に適した指導と考えるから

③精読の方が、効果があるから考えるから

④忙しいので、多読指導の準備等をする時間があまりないから

⑤多読の本の費用がない

⑥多読の本を貸し出す点で、困難を感じるから

⑦多読指導をする方法を知らないから

⑧多読指導に関心があったが、なんとなく実施しなかった

⑨多読指導を実施したかったが、同僚の賛成や協力が得られなかった

⑩多読指導の実施について、全く考えもしなかった

⑪その他(具体的に)]

Q6 多読の効果により、次のどのようなものが向上すると、考えておられますか。(複数回答可: 当てはまるもの全部に○をつけてください。))

[①英語や英語学習に対する態度・動機づけ

②精読力

③速読力

④文法力

⑤英単語を見てその意味が認識できる力

⑥日本語を見て、英単語のスペリングを書く力

⑦リスニング力

⑧その他(具体的に)]

Q7 多読について特に詳しく知りたいと思っておられることがありましたら、ご記入ください。(具体的に)

契丹陶磁の「周縁性」に関する検討（４） －西夏陶磁との関連から－

町田 吉隆*

Examining on the Border Character of the Kitai Pottery in China(4) : To relate with the Pottery of Xixia Dynasty

Yoshitaka MACHIDA

ABSTRACT

We are able to find out an archaic style in the Kitai(契丹)Pottery. These styles are similar to the pottery in the Tang(唐)Dynasty rather than the pottery in the Northern Sung(北宋)Dynasty of the same era(A.D.10-12c). In other words, the style of the Kitai pottery is the border character. This paper will survey the pottery of the Xixia(西夏) Dynasty. the Xi-xia Dynasty ruled over the Ningxia(寧夏) and the Gansu(甘肅) from the 11th century to the 13th century(1038-1234). the Kitai and the Xixia are alike in that it was cooperating while it was opposed to the Northern Sung. It had influence on mutual at the culture of those countries. We will need to understand although the relation of those pottery is complicated.

Keywords : pottery, Kitai(契丹), Xi-xia Dynasty(西夏), China, history

1. はじめに

10 世紀初めから 12 世紀初めにかけて華北の一部を含む北東アジアから内陸アジアにまたがる領域を支配した契丹国（遼朝，以下，契丹国と表記）の陶磁器のうち，その領域内で生産された陶磁器を，ここでは「契丹陶磁」と規定する。

契丹国の陶磁器には古風な特徴があることが指摘されている。それは 10 世紀から 12 世紀にかけて生産されたものであるにもかかわらず，むしろ唐代の陶磁器に類似しており，同時代の北宋時代の陶磁器とは異なる様式であることを意味する。そして，それはしばしば中心文化が地方へと波及する時差により遅れることを意味する「周縁性」として説明されてきた。⁽¹⁾ ⁽²⁾

筆者はその「周縁性」について，

①唐代に盛行した器種（form）である「唾壺」や「陶枕」などが契丹陶磁にも見られるが，前時代の唐代とも，同時代の北宋時代とも異なる点が多いこと。

②低下度鉛釉陶器の技法は唐代の中原地域（陝西省・

*一般科教授

河南省）の陶磁窯の影響を受けていることは間違いないが，その直接的な継承関係は器種や技法でも跡づけることは現時点では難しく，今後の検討を要すること。

③契丹陶磁を生産した陶磁窯は契丹国（遼朝）の都城造営に関連して，「官窯」的な性格を持っていたと推定されてきたが，必ずしも都城や州県城の造営・立地にともなって発展した「官窯」ではなく，陶磁器の需要や購買層の成立により発展した陶磁窯の存在が先行し，「官窯」としての性格は二次的なものであったと思われること。

などから，契丹陶磁が周縁的な性格を有することは認めつつ，その「周縁性」には多様な要素が含まれることを指摘した。⁽²⁾

本稿では，同時期に契丹国の支配領域の西にあって，現在の寧夏回族自治区および甘肅省などを支配していた西夏国の陶磁器生産と契丹国のそれを比較し，両者の相違点と共通点の検討を通じて，その「周縁性」の多様な側面について考察する。

2. 西夏国の陶磁器

西夏は9世紀の初めに夏州(現在の内蒙古自治区と陝西省の境界に位置するオルドス地方)において勢力を拡大したチベット系党項族(タングート)を支配層とする国である。唐末の混乱期に国家を形成しようとした動きは契丹族と軌を一にする。

唐が滅び、宋が建国すると西夏は自立傾向を強め、1038年、李元昊が皇帝を自称し、国号を「大夏」とした。都が置かれたのは夏州の西、黄河に面した興慶府(現在の寧夏回族自治区の銀川市)である。宋は「大夏」を西夏と呼んだが、1044年の慶暦の和約以降、両国は共存体制に入り、1004年、契丹国(遼朝)と宋間に結ばれた澶淵の盟に始まる澶淵体制(マルチ・ステート・システム)の一翼を担うことになった。

これらの国々はしばしば政治的には緊張関係に入っていたが、外交と通商による関係は保たれ、陶磁器などの商品も国境を越えてもたらされ、物質文化における交流が継続した。その一方、西夏文字や契丹文字など漢字とは異なる各国固有の文字が創造され、使用され、宋とは異なる文化的なアイデンティティを形成しようとしていたこともよく知られている。

そのような傾向は陶磁器についても見られる。西夏の陶磁器は現在の河北省北部・河南省南部に展開していた宋代の磁州窯系陶磁窯の影響を受けながら、西夏固有の特色も有していた。以下にその様相をまとめる。

3. 寧夏靈武窯

現在の寧夏回族自治区の中部、靈武県にあった靈武窯は現時点で確認されている最も大規模な西夏時代の陶磁窯である。西夏の首都・興慶府があった銀川市の南約50km、靈武県治から東約35kmの磁窯堡において、1984年から1986年にかけて行われた発掘調査により、窯炉4基、工房遺址は西夏時代8基、元時代1基が発掘、確認された。(3)(4)

出土した遺物総数は約3,000点に及び、各層からの遺物を分類した結果、銅銭「乾隆通宝」が伴に出土した清代の窯炉1基(2号炉)を除けば、3期に時代区分されることがわかった。第1期から出土した陶磁器の器種は金および南宋と類似しており、出土銅銭も北宋以外には西夏、南宋、金を下限とすることから、西夏時代中期にあたる11世紀末から12世紀末に区分された。第2期は遺物も少なく、技法においても優品が乏しくなることから1227年に滅びた西夏時代晩期12世紀末から13世紀初めの陶磁窯と考えられる。第3期は型式(type)が他の磁州窯系陶磁窯との比較から元時代の様式(style)と考えられる。その上限および下限は明確なところでは西夏滅亡から元朝成立の1271年をはさむ14世紀前半までと比定されている。明代、嘉靖十九年(1540年)重修の『寧夏新志』に「正徳初、

以非要冲之地、徒事糜費、乃撤之。今止慶府窯匠、軍余四十余名、并各處陶器者十余人居焉。」とあることから、16世紀前半には衰微していたとされる。

生産されていた器種(form)は碗、小皿、大皿、鉢、杯、盒、壺、甕などの飲食器一般、硯や水滴などの文房具、人形や陶器の笛(埙)および瓦当などの建築材料も多く見られた。第1期と第3期の堆積層はそれぞれ約2mに達し、その生産量はほぼ同程度と想定されるが、第3期は器種の種類や技法の数が少なくなり、精巧な白釉陶器が減少、建築材料を焼成しないなどの点が第1期とは異なり、靈武窯の陶磁窯としての最盛期は第1期、つまり西夏国の後期12世紀にあったと考えられる。

靈武窯の南方には現在も採掘されている炭鉱があるが、窯炉の調査によれば、窯口坑(ピット)の焼結面には煤炭層が堆積しており、第1期の時点で、すでに石炭を燃料として用いており、柴薪、つまり木材燃料が使用されていた痕跡は無い。靈武窯がある高地には現在は疎林も見られないが、1984年の発掘調査の際には、最高地点で発見された明代の烽火台も同時に調査しており、同地域は靈武窯の活動時期においても、すでに乾燥した半砂漠地であった想像される。

西夏時代の陶磁窯は、同じ靈武県内の回民巷、賀蘭県插旗口、銀川市の缸瓷井、甘肅省武威古城の塔兒湾窯などでも発見されている。そのうち回民巷窯は靈武窯のある磁窯堡北4kmにあつて、類似した陶磁器を生産していた。缸瓷井窯は白釉の板瓦と共に、磚も大量に見つかったところから、西夏王族陵墓の造営に当たって設けられた可能性もある。また、山西省と境を接する内蒙古自治区南部からも西夏陶磁の特色が見られる陶磁器が多く出土することから、同地域に未発見の陶磁窯が存在していることを指摘する意見もある。(5)

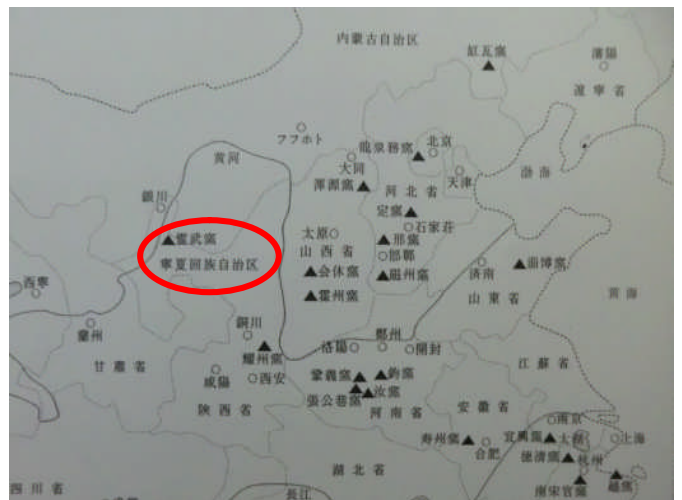


図1. 10-12世紀における中国北半部の陶磁窯址

(大阪市立東洋陶磁美術館『定窯一優雅なる白の世界 窯址発掘成果展』, 2013 所載地図より加工・転載)

4. 西夏陶磁の特色

霊武窯の発掘調査以前には、今日、西夏陶磁と見なされている陶磁器群は磁州窯系とみなされてきた。⁽⁶⁾

磁州窯とは現在の河北省で窯址が発掘された観台窯をはじめとする、河北省南部、河南省北部で焼成された陶磁器群を指す。磁州窯系とは山西省の介休県や榆次県で見つかった窯址や、五代から宋代にかけて「北方青磁」と称されるオリーブ・グリーンの青磁を焼成していた陝西省の耀州窯でも類似の様式が見られることから、「10-13世紀の華北における酸化焰焼成された文様が施された陶磁器」とでも言うべき、幅の広い様式である。

西夏陶磁によく見られる酸化鉄を釉薬とする黒釉陶磁や鉄釉で文様を描く「鉄絵」、さらに黒釉陶器の胎土に彫刻して文様を表す「掻き落とし」（剔花）などの技法は宋代の磁州窯系に典型的な技法であるため、窯址が調査される以前においては、墓葬出土の陶磁器や博物館などに所蔵される伝世品が、12世紀以降の金代および元代の陶磁器と考えられていたわけである。



図2. 黒釉剔花経瓶（黒地白掻落とし）
（霊武窯址出土・註(4)文献 p195 より転載）

これらの技法のうち、工程数の多い「掻き落とし」は10世紀-11世紀前半に磁州窯系で盛行した。また、この白と黒のコントラストを生かす手法としては、鉄絵具を釉薬の上から塗り込めた上から鉄絵具を削って

文様を描く「白地黒掻き落とし」などの技法も生まれた。白い陶磁器の表面に鉄絵具で文様を表す「白地鉄絵」は簡便に黒と白の文様を施すことができる。簡単にまとめると、白と黒のコントラストで文様を描く磁州窯系の技法は「掻き落とし」（剔花）→「白地黒掻き落とし」→「白地鉄絵」の順に工程数が少なくなる。手間の数が減るので、「掻き落とし」よりは「白地鉄絵」の方が、量産に適していると言える。磁州窯系の陶磁器は12世紀以降、「白地鉄絵」の技法が多用され、また、その文様もよく言えば洒脱、悪く言えば、通俗的に様式化したものが増え、様式論的に表現すれば、10世紀後半-11世紀の宋代をピークとして、衰退したと考えられている。

ところが霊武窯では第2期の西夏時代において、最も盛んに「掻き落とし」（剔花）や、さらに手間のかかる文様を削り描いた後に、くぼんだ部分に化粧土を充填して、器表面を滑らかにする技法が用いられている。11世紀に河北・河南で盛行した技法が、12世紀以降に寧夏で用いられたことは、西夏が宋代の文化を受容、様式や技法において遅れたと考える「周縁性」と取るべきであろうか。



図3. 白釉剔花鉢（白地白掻き落とし）
（霊武窯址出土・註(4)文献 p198 より転載）

杭天氏によれば、霊武窯の胎土は河北の磁州窯系のそれより、鉄分が少なく、化粧土を胎土全体にかぶせて、焼き上がりをもくする手法を用いていないものが多いという。⁽⁷⁾ ということは、白と黒のコントラストを描くために、わざわざ白化粧土を施していることになる。また、その表現は力強く、衰退しつつあった技法を模倣したものとは考えにくい。契丹国（遼朝）の陶磁器と同じく、西夏文化固有の発展、つまり「西夏陶磁」としての様式を持っていたと考えられる。

霊武窯出土の陶磁器を釉色別に分類すると、白磁が22.02%、青磁（ただし酸化焰焼成なので黄灰色を呈す）が21.18%、鉄釉を用いる褐色磁が37.81%、黒色磁12.93%である。つまりほぼ半分が鉄釉を用いた黒褐色

磁であり、「天目茶碗」を焼成していた宋代の建窯（現在の福建省）と同様、鉄釉に特化した生産を行っていた。



図4. 黒釉剔花鉢（黒釉地を掻き落とし、牡丹文の外縁に白化粧土を詰め込む）
（靈武窯址出土・註(4)文献 p198 より転載）

『宋史』巻186・食貨志・互市舶法の条に「以香藥，瓷漆器，薑桂等物，易蜜蠟，麝臍，毛褐，獐犛角，礪砂，柴胡，蓰蓉，紅花，翎毛，非官市者聽民交易，入貢至京縱其為市。」と宋と西夏の貿易品目を記し，また榷場（国境付近の交易場）での官貿易だけでなく，民間交易も認められていたことがわかる．ここでは西夏国は陶磁器を輸入していたとある．国内で生産される西夏陶磁との関係はどのようになっていたのだろうか．契丹国での事例では，契丹人貴族が輸入陶磁器を好む傾向があったのに対し，漢人の有力者がむしろ契丹国固有の陶磁器を使用していた．⁽⁸⁾

西夏国でも江南の青磁や景德鎮窯産の青白磁（影青）などを高級陶磁として輸入する一方，国内では西夏固有の陶磁器を用いる契丹国と同じような使用状況を想定できるのではないか．その検証のためには王族の陵墓だけでなく，領域内の墓葬や都城遺址の出土陶磁器の調査が必要となるが，窯址出土陶磁器から判明する靈武窯は単に西夏の宮廷用陶磁器を生産するためだけに設けられた陶磁窯ではなく，特色ある「商品」として流通する陶磁器を生産する窯場であったと言える．

5. 西夏陶磁と契丹陶磁

宋という産業経済大国の近隣にあって，西夏の陶磁器は磁州窯系の影響を受けつつも，固有の特色を有していた点で契丹陶磁と同じ環境にあったと言える．

執筆者はかつて契丹陶磁の特色を以下のようにまとめた．⁽⁹⁾

①遊牧民族的感覚．②西アジア（イスラーム文化圏）との関係．③同時代の華北諸窯（定窯，磁州窯など）との関係．④同時代他地域（渤海，五代，北宋など）

の文化的影響．⑤北朝から唐代へと続いた前時代文化が地方文化としての長く残存した可能性．⑥鮮卑など北東アジアの伝統文化との関係性．⑦金，元へと続く非漢民族王朝文化の先駆性．

これらの特性に注目してみると，西夏陶磁と契丹陶磁の間には相違点が多い．

まず，各陶磁窯の時代が異なることによる相違がある．契丹陶磁の代表的な陶磁窯である缸瓦窯（赤峰市松山区），龍泉務窯（北京市門頭溝区）は共に契丹国中期以降に生産が活発になったと考えられるが，12世紀に活動の第1期を持つ靈武窯よりもほぼ1世紀早い．契丹陶磁の「周縁性」の一つには唐代の陶磁器の器種，型式を直接的に継承している点があげられるが，西夏陶磁は北宋および金代の定窯，耀州窯，磁州窯系の影響が濃く見られる．

また技法においても契丹陶磁においては「遼三彩」と呼ばれる低火度鉛釉陶器が大きな存在を占めるのに対し，西夏陶磁にはこの技法は存在しなかったようだ．同時代金代12世紀の磁州窯系には三彩，緑釉，黄釉などの低火度鉛釉陶器が数多く見られ，西夏の靈武窯では磁州窯系からの影響を選択的に取り入れていたことがわかる．

また契丹陶磁の代表的な器種とされる皮囊壺（鶏冠壺）や牛腿瓶（鶏腿瓶）など遊牧文化と関係が深いとされる器種は西夏陶磁には存在しない．西夏の王族，支配層であったタングート族も遊牧民であったことから考えると，なぜ隣接する地域で作られていた契丹陶磁のこれらの器種を受容しなかったのか，その理由は定かではない．推測できることとして，モンゴル統治下に入った13世紀後半以降の華北の磁州窯や華東の龍泉窯および景德鎮窯などでも，このような器種は作られていないことから，遊牧の物質文化にモチーフを得たデザインは12世紀を境にして作られなくなった可能性は指摘できるであろう．

以上のような観点から見れば，契丹陶磁に比べて，西夏陶磁は遊牧文化や北東アジア，西アジアとの関連よりも，隣接する磁州窯系の影響が濃く，その伝世品に与えられてきた「磁州窯系の一地方窯」という従来の評価を首肯できる側面も有していた．

一方，両者には共通する部分も多く存在する．

第一に仏像や仏具などが多く作られていたこと．これらは両国ともに仏教を崇拝，重んじていたことに由来するだろう．

第二には釉色瓦や鬼瓦，鴟尾など建築材料を陶磁器と同じ窯で生産していたことがあげられる．このような例は唐代耀州窯においてはみられたが，宋代以降の磁州窯系や華東や華中の陶磁窯には見られない特色である．

第三には玩具や陶器の笛（埙）など日常生活に用いた陶磁器が共通して見られることがあげられる．⁽¹⁰⁾

硯や水滴など読書人を購買層とする陶磁器だけでなく、庶民の生活の中でこれらは用いられてきたことがわかる。副葬品（明器）として専造されたのではなく、生活の場で使用されたことは、唐宋変革期において、庶民文化が発達、それに伴い物質文化の面でも現れた変化が中央から地方へと徐々に波及したのではなく、地方においても早い段階で浸透していたことを示す資料となる。

第四には両者に共通する器種が後世に継承されたことがあげられる。たとえば唐代の金属器にモチーフを持つ折肩罐（肩が直角に近くすぼまる瓶）や花口瓶（星形や六角形の口縁部を持つ瓶）は契丹陶磁においても、西夏陶磁においても、優品が出土しているが、これらは元代の龍泉窯や景德鎮窯でも作られ、中国陶磁を代表する器種になった。また、先に西夏陶磁では遊牧文化に由来する器種は契丹陶磁に比べて見られないと述べたが、例外としては偏壺（胴体を扁平した円盤、楕円形の壺）は彼らが用いた水筒に由来する器種とされるが、双方でさまざまなヴァリエーションが作られた。これも元代以降、各地で焼造されて、普遍的な器種となった。



図5. 黒釉剔花扁壺（黒釉地を掻き落とし、牡丹文を線彫り、地の部分は露胎）
（靈武窯址出土・註(4)文献 p207 より転載）

両者に共通して見られるが、宋代以降の磁州窯系の陶磁窯ではみられないのが口径 40cm を越えるような盆（洗面器状の深皿）である。西夏陶磁では線彫りや片刃彫りで、契丹陶磁では線彫りに緑釉や黄釉を施したものが多く、一見して印象に残る特徴的な陶磁器で

あるが、後世には継承されなかった。

折肩罐や花口瓶のように前代から継承され、型式を変えながら定着する器種、遊牧文化に由来しながら西夏文化には受容されなかった皮囊壺や牛腿瓶と受容・継承された偏壺、契丹陶磁や西夏陶磁に特徴的な大盆など、器種ごとに受容と断絶を詳細に検討していくことも、契丹陶磁、西夏陶磁の「周縁性」を考える重要な要素となるであろう。

陶磁窯の立地に関して言えば、両者とも産炭地にあり、華北の磁州窯系に共通する特色である。窯炉の構造や生産技法などもよく似ており、これらの陶磁窯間に工人の移動を含む交流が存在したことは確かと思われるが、各陶磁窯の相違点、特に契丹陶磁と西夏陶磁のつながりについては具体的には不明なことが多い。

6. 山西の陶磁

両者の関係について、今後、注目すべきなのが、山西省に立地していた陶磁窯群である。

彭善国氏は西夏陵における耀州窯および旬邑窯など陝西省の陶磁窯の出土例から、装飾技法の上で西夏陶磁が受けた影響を指摘すると共に、黒釉や「掻き落とし」（剔花）の技法の点から山西省の陶磁窯の影響を指摘している。⁽¹¹⁾

今日の山西省北部は、契丹国時代には、いわゆる「燕雲十六州」の一部として、雲州（現在の大同市）には西京大同府が設けられた。同地方は内蒙古自治区オルドス地方をはさみ、黄河湾曲部で寧夏回族自治区と結ばれる。山西省南部には介休、榆次などの磁州窯系陶磁窯があるが、北部の陶磁窯群はそれとは様相を異にしていたようである。

その一つ、大同市南郊の渾源窯について、馮先銘氏は古磁窯、青磁窯、大磁窯の3箇所の窯場址について、古磁窯は唐代、後二者は金・元代に比定している。また青磁窯、大磁窯については、大同市の青瓷窯や懷仁県鷺毛口窯での採集陶磁器とよく類似しているという。⁽¹²⁾

写真で見える限り、金代に比定される黒釉線彫りの陶磁器片は寧夏靈武窯の出土品とよく似ている。

一方、馮先銘氏は大同青瓷窯では契丹陶磁の代表的な器種である牛腿瓶（鶏腿瓶）が多く出土しているのに対し、渾源窯の窯場では全く観察されないと報告している。それに従えば、大同青瓷窯は契丹国時代の、渾源の青磁窯、大磁窯は金代以降の陶磁窯となるが、寧夏靈武窯は金元時代の磁州窯系陶磁器とは異なる特徴を有していることはすでに述べた通りである。杭天氏は内蒙古自治区南部に未発見、未調査の西夏陶磁を生産していた陶磁窯が存在していた可能性を示唆するが、現時点では詳細な発掘調査報告が発表されていない山西省北部および中部の汾水流域の陶磁窯についても、西夏陶磁との関連は大きかったことが想定される。

今後、詳細な調査報告を得て、改めて検討する余地があると思われる。

7. むすびにかえて

西夏の陶磁器が注目されたのは靈武窯の発掘調査報告が公開された後、ここ 30 年余のことである。早く 20 世紀初めから知られていた契丹陶磁に比べれば研究史も浅いが、両者の間には共通する部分と共に相違点も多い。特に以下の 2 点については注意を要する。つまり、双方の陶磁窯が契丹国と西夏国という国家形成という背景がなければ、おそらく生産をこれほど活発には行わなかっただろう。と同時に、双方の国家が滅亡した 12 世紀および 13 世紀以降も陶磁器生産を続けていた陶磁窯であったことである。契丹陶磁と西夏陶磁という様式は王朝を越えて存続しており、契丹国と西夏国の断代史の中だけでくくって理解することはできないということである。その性格を理解するためには、器種の受容と変遷など美術史的な研究視点と陶磁窯の構造、燃料などに関する考古学的知見、契丹国と西夏国の時代 10-12 世紀をはさむ前後の時代を含めた両地域社会や経済についての歴史学的研究を総合する必要があるだろう。

そのための差し当たりの課題として、広く磁州窯系の陶磁窯群、未解明の部分が多いながら重要な関連を持つと思われる山西省の古窯址、さらには北東アジアや西アジアをも視野に入れて、おおよそ 8 世紀から 14 世紀までの陶磁器の歴史を考える必要がある。その中で、西夏陶磁はなぜそのような技法を用いたのか、契丹陶磁が選択的に受容、発展させたのは何か、という個別、具体的な課題を解明することが、その「周縁性」の全体像を捉えることにつながると考える。

註

- (1) 小川裕充「遼・西夏の絵画 総論」『世界美術大全集 東洋編 5 五代・北宋・遼・西夏』1998, p.125.
- (2) 町田吉隆「契丹陶磁の「周縁性」に関する検討—唾壺と陶枕を例に」神戸高専紀要(48), 2010, pp.161-166.
町田吉隆「契丹陶磁の「周縁性」に関する検討 (2) 唐代の三彩窯との比較を通して」神戸高専紀要(50) 2012, pp.157-162
町田吉隆「契丹陶磁の「周縁性」に関する検討 (3) 遼代の都城・州県城制度との関連から」神戸高専紀要(51) 2013, pp.161-164
- (3) 馬文寛『寧夏靈武窯』紫禁城出版社, 1988
- (4) 中国社会科学院考古研究所編『寧夏靈武窯発掘報告』中国大百科全書出版社, 1995
- (5) 杭天『西夏瓷器』文物出版社, 2010, p71
- (6) 長谷部楽爾「金代の陶磁」『世界陶磁全集 13 遼・金・元』小学館, 1981, p256.
- (7) 前註 (5) p64.
- (8) 町田吉隆「遼墓出土契丹陶磁に見られる契丹国(遼朝)社会の階層性について」『大谷大学真宗総合研究所研究紀要』31 大谷大学真宗総合研究所 2014, pp. 64-71
- (9) 町田吉隆「契丹国(遼朝)の陶磁窯とその特色」『契丹陶磁—遼代陶磁の資料と研究—』朋友書店 2009. pp.10-11
- (10) 李進興『西夏陶模』寧夏人民出版社, 1998
- (11) 彭善国「西夏制瓷手工業述論」p195
『遼金元陶瓷考古研究』科学出版社, 2013, pp.189-197
- (12) 馮先銘「山西渾源古窯址調査」『中国古代窯址調査発掘報告集』文物出版社, 1984, pp.416-421

カレーの具材が甘さに及ぼす影響について

江副真悠* 細野悠風* 浦島愛世* 内山玄太郎* 中妻果穂* 中岩映梨香*
西山貴偉* 稲本宅哉* 久保昂大* 谷口博** 大多喜重明**

Sweetness Impact of Curry Ingredient

Mayu EZOE* Haruka HOSONO* Naruyo URASHIMA* Gentaro UCHIYAMA*
Kaho NAKATSUMA* Erika NAKAIWA* Takayori NISHIYAMA* Takuya INAMOTO*
Akihiro KUBO* Hiroshi TANIGUCHI** Shigeaki OHTAKI**

ABSTRACT

We examined a sweetness impact of vegetables as curry ingredients. Five comparison experiments of sugar content were performed by changing a combination of vegetables in curry sauce, a method of vegetable preparation, a size of vegetables, a storage period of curry sauce with vegetables, and a method of vegetable preservation. A sugar content of each experiment is evaluated by saccharimeter. The results show that the best combination of vegetables for the most sweetness curry sauce is a set of potato and onion.

Keyword: curry, sweetness

1. はじめに

現在、カレーは日常的に日本の食卓に上る代表的な料理であり、カレーの味に大きく影響を与えるルーは様々な商品が市販されている。しかし、同じルーを使用しても各家庭によってカレーの味が大きく変わるといわれている。そこで本研究では単純に数値に表すことができる甘さに照準を当て、カレーの具材（野菜）や調理方法がルーの糖度に与える影響について調査を行った。

2. 実験方法

実験にて行った操作について以下に記す。

2.1 使用した材料

実験に使用した材料は、カレールー（ハウス食品こくまろ中辛）、ジャガイモ（メークイン）、ニンジン、タマネギ、である。

2.2 使用した器具

実験に使用した器具は、スポイト、ビーカー、ハンディ糖度計（サンコー株式会社）、遠心分離機（久保田製作所 KC-25 BN4180）、メスシリンダー、試験管、四脚板、ガスバーナー、ガスコンロ、包丁、まな板、鍋、フライパン、である。

2.3 実験の流れ

カレーに使用するルーのものは市販されている商品を使用し、すべての実験で同じものを用いた。また、カレーの調理方法も定め、対照実験が行えるようにし

* 本校 自然科学部 部員

** 一般科准教授（自然科学部顧問）

*** 一般科教授（自然科学部顧問）

た．以下に記す実験を順番に行い，それぞれ最もカレーの糖度が高かった実験結果を次の実験条件へ採用し次の実験に使用していくことで最も糖度の高くなるカレーの作り方を求めた．カレーの糖度は調理後，遠心分離機にかけ油と分離(図 1)(図 2)し，カレーのルーに含まれる糖度を糖度計を用いて(図 3)比較を行った．検討項目は(1)野菜の組み合わせ，(2)野菜の下処理，(3)野菜の大きさ，(4)完成後のカレーの保存期間，(5)野菜の調理前の下処理，とし 5 項目の研究を行った．



図 1. 遠心分離機をかける前

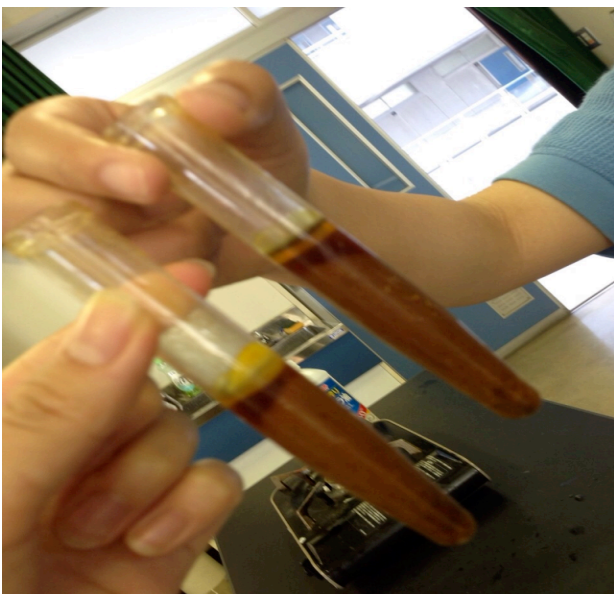


図 2. 油を分離後

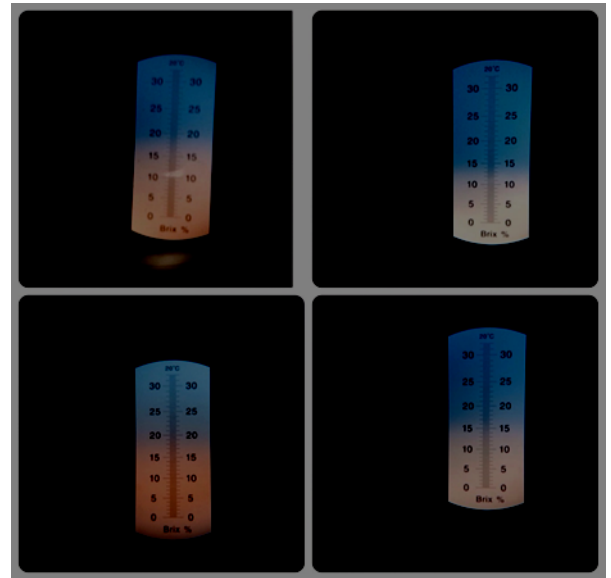


図 3. 糖度計での測定例

2.4 調理手順

調理方法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カレーの調理方法を参考に予備実験を複数回行い，野菜を炒める時間や投入する量，カレールーの煮込み時間を決定した．本研究でのカレーの調理手順は以下のとおりである．

1. ガスバーナーで水を95度まで熱した．
2. 野菜を入れて12分煮込んだ．
3. ルーをいれて3分熱した．
4. 火を止めて，カレーを60度まで冷ました．
5. 試験管に入れ，遠心分離機で2分回した(回転数調節メモリを3とした．回転数は不明)．

最後に糖度計で糖度を測定した．

2.5 比較実験

実験を行う前にカレールーのみでカレーを作った後次の比較実験を行った．最初にカレーを甘くする条件を調べるために野菜の組み合わせ，調理手順(投入時間，野菜の下ごしらえ)を考えた．野菜の組み合わせでは野菜の成分，組み合わせることによって起こる甘さの変化を検討した．野菜は市販されているジャガイモ，タマネギ，ニンジン，の3つの食材を用いた．ジャガイモ，ニンジン，タマネギの各質量の比率は，一般的なカレー具材の比率(カレールーのパッケージに記載さ

れている)に合わせた場合と均一になるようにした場合の2通りを用いた。即ち、ジャガイモ：ニンジン：タマネギ：水＝3：2：4：10の比率の場合と、ジャガイモ：ニンジン：タマネギ＝3：3：3：10の比率の場合の2通りを用いた。それぞれの野菜は一口サイズ(二センチメートル程)に切り、上記の操作を基に野菜の組み合わせだけを変えて実験を行った。

第二に、野菜の下処理方法(炒める場合と煮る場合の2通り)が糖度に与える影響について検討した。(1)の結果より最も糖度の高くなった食材の組み合わせを用いてそれらを焼いてカレーを作ったとき、煮てカレーを作ったとき、焼いてかつ煮たあとカレーを作ったときにカレーの糖度がどうなったのかを調べた。

第三に、野菜の大きさを検討した。そのままの大きさ、一口サイズ、細胞を全て破壊するようにすりおろしサイズ、の各大きさを調理し、野菜の細胞変化、カレーにどれだけなじむか、それによってカレーの甘さがどのように変化するのかを比較した。

第四に、カレーの保存期間を検討した。カレーを置いておくことで野菜の甘味の成分が出てくるのではと考えた。カレーの保存期間は、カレーを調理し終わった後、カレーを1日寝かせた場合、2日寝かせた場合、3日寝かせた場合の4種類でそれぞれカレーの糖度を比較した。

最後に、野菜の調理前の下処理について検討した。タマネギは水にさらすことで辛さが抜け甘味に大きく影響を与えると考えたためである。カレーに使用する野菜は常温(冷蔵)のまま保存したもの、水につけて常温(冷蔵)で保存したもの、冷凍保存したもの、水につけて冷凍保存したものに分け比較をおこなった。尚保存は各一日行った。

これら五要因によるカレーの甘さへの検討するために五つの実験を行うことにした。以下ではこれらの比較実験の詳細について記述する。

3. 実験結果

(1) 野菜の組み合わせの結果

野菜の組み合わせを変えて実験を行ったカレーの糖度を糖度計で測定した結果、最も糖度の高いものは

「ジャガイモ＋タマネギ」の組み合わせであることが分かった。そのほかの組み合わせで糖度が高かったのは順に「ジャガイモ＋ニンジン」、「ニンジン単品」という結果になった。三つの野菜をすべて入れた「ジャガイモ＋ニンジン＋タマネギ」の組み合わせは、一番糖度が低い結果になった。

次に、ジャガイモ：ニンジン：タマネギ：水の質量を3:3:3:10に揃えた結果を表1に示す。表1の結果は、「ジャガイモ＋タマネギ」の組み合わせがカレールの糖度を最も高くする組み合わせであることを示している。以上二つの結果から、以降の実験では、野菜の質量の比は一般的なカレー調理の際の比率(ジャガイモ：ニンジン：タマネギ)＝(3：2：4)を用いることにする

表 1. 野菜の組み合わせ(ジャガイモ：ニンジン：タマネギ：水＝3：2：4：10)

測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	誤差
全て	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0
ジャガイモ＋ニンジン	12.0	11.5	12.5	12.0	12.0	0.2
ニンジン＋タマネギ	7.5	8.5	8.5	8.5	8.3	0.2
ジャガイモ＋タマネギ	12.5	12.5	12.0		12.3	0.1
ジャガイモ	9.0	10.0	11.0	11.5	10.4	0.4
ニンジン	13.0	14.0	14.0	14.0	13.8	0.2
タマネギ	14.0	13.0	13.5	14.0	13.6	0.2

(2) 野菜の下処理方法

野菜の下処理方法(炒める、煮る)を変えて実験を行ったカレーの糖度を糖度計で測定した結果を表2に示す。表2より、最も糖度の高い調理方法は、野菜を「炒めてから煮る」であった。逆に野菜を「炒めず煮ない」場合が、一番糖度が低かった。

以上の結果より以降の実験では「炒めてから煮る」を用いる。

表2. 野菜の下処理

測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	誤差
炒める →煮る	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	0.0
炒める →煮ない	10.0	9.0	9.0	9.0	9.2	0.2
炒めない →煮ない	7.0	7.8	7.2	7.0	7.3	0.2

(3) 野菜の大きさ

野菜の大きさを変えて実験を行ったカレーの糖度を糖度計で測定した結果を表3に示す。表3より最も糖度の高いものは、すりおろしになった。次に丸ごとになり、次に一口サイズが一番糖度が低くなった。

以上の結果より以降の実験ではすりおろしを用いる

表3. 野菜の大きさ

測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	誤差
一口	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	0.0
すりおろし	12.0	13.0	13.0	14.0	13.0	0.3
丸ごと	9.8	9.0	9.0	9.0	9.2	0.2

(4) 保存期間

カレーの保存期間を変えて実験を行ったカレーの糖度を糖度計で測定した結果を表4に示す。表4より最も糖度が高いものは三日後、次に二日後と当日、次に翌日という結果になった

以上の結果より以降の実験では三日後を用いる。

表4. カレーの保存期間

測定回数	1回目	2回目	平均値	誤差
作った直後	11.0	11.0	11.0	0.0
一日後	9.5	9.5	9.5	0.0
二日	11.0	11.0	11.0	0.0
三日後	12.0	12.5	12.3	0.3

(5) 野菜の調理前の下処理

野菜の調理前の下処理を変えて実験を行ったカレーの糖度を糖度計で測定した結果を表5に示す。表5より、水につけて冷凍保存したものの糖度が一番高くなり、その次に冷凍保存、その次に常温になっている。そして常温+水が一番低くなった。

表5. 野菜の調理前の下処理

測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	誤差
常温	12.0	13.0	13.0	14.0	13.0	0.3
常温+水	13.0	13.0	12.1	12.5	12.7	0.2
冷凍+水	17.0	18.0	17.0	16.0	17.0	0.3
冷凍	15.5	16.0	17.0	16.0	16.1	0.2

4. まとめと考察

本実験結果から、ジャガイモとタマネギの組み合わせを水につけて冷凍保存し、すりおろしにし、焼いて、煮てからルーを作り三日置くと一番糖度の高いカレーができることが分かった。タマネギ本来の糖度は非常に高いことが知られている。しかしカレールーを作る場合には、単品のタマネギは、単品のジャガイモやニンジンより糖度が低くなっていた。また、野菜の組み合わせでは、「ジャガイモ+タマネギ」の組み合わせが最も糖度が高くなり、野菜の組み合わせがカレールーの糖度に大きな影響を与えることが分かった。ジャガイモは、焼く、煮る、という調理により、ジャガイモ自身に含まれる甘味の酵素 β アミラーゼやペクチンメチルエステラーゼが活発に働くという性質がある。本実験の結果は、ジャガイモ本来の甘味を引き出す調理方法と整合的である。一方、タマネギには硫化アリルという辛さのもととなる成分が含まれている。タマネギを「すりおろし」の状態にすることで細胞を破壊し、辛さの成分をカレールーから適度に除去出来たのかもしれない。

野菜の大きさについては、一口サイズより丸ごと調理した方が糖度が高い結果となった。丸ごと煮ることで野菜中の苦み成分がカレールーに少量しか溶け出さなかった可能性がある。一方、野菜本来の糖度がどの程度カレールーに溶け出しているかは本実験からは分からない。これについては今後の検討課題である。ニンジンも本来糖度の高い野菜である。しかしながら、本実験の結果は、他の野菜と組み合わせると糖度が落ちてしまう可能性を示唆している。これについても今後の検討課題としたい。

参考文献

- (1) ジャガイモ β
<http://president.jp/articles/-/10573>
- (2) タマネギを炒めることによる甘さ
<http://matome.naver.jp/m/>
- (3) あめ色タマネギがカレーをおいしくする理由と10分で作る方法
<http://matome.naver.jp/odai/2133152270535718301>
- (4) おいしいねっと
<http://o-e-c.net/syokuzai/tamanegi>
- (5) タマネギを炒めることによる甘さ
<http://plaza.rakuten.co.jp/ecorp/25022/>
- (6) 一晩寝かせたカレー
<http://kumanoteblog.com/gurume/caree-hitoban-nekasu20140504/>
- (7) 一晩寝かせたカレー
<https://www.tsukuba.ac.jp/community/kagakunome/pdf/13/hg/hgs1.pdf>

石鹼による精油の滅菌作用に関する調査

梅原航輔* 山崎敬太郎* 中村啓太郎* 山添智暉* 西脇郁弥* 阿部佑貴* 茨木溪太*
大塩愛子** 谷口博*** 大多喜重明****

A Study on the Sterilizing Activity of Pure Botanical Essential Oil Soaps

Kousuke UMEHARA* Keitarou YAMASAKI* Keitarou NAKAMURA* Tomoaki
YAMAZOE* Humiya NISHIWAKI* Yuuki ABE* Keita IBARAKI*
Aiko OSHIO** Hiroshi TANIGUCHI*** Shigeaki OTAKI****

ABSTRACT

We examined a sterilizing activity of an essential oil. One comparative experiment was performed by using our own composition soaps with or without the essential oil extracted by steam distillation method. After hand-wash by their soaps, we made the remaining bacteria in hands growing on the agar mediums for 72-hours. We checked the number of colony of bacteria. The results show that some essential oils can include a disinfection effect against bacteria.

Keywords : essential oil, soap, bacterial colony, antibacterial properties

1. はじめに

精油は、単品で香りを楽しむほかに、それ自体が抗菌作用を持つことから、ろうそく、入浴剤、石鹼などの日用品に混ぜて使われる⁽¹⁾。そこで我々は、抗菌作用のあるヒノキの精油を用いて石鹼を作成し、ヒノキの精油の抗菌作用を確かめることにした。はじめに、精油を混ぜた石鹼と混ぜていない石鹼を作った。それらで手を洗い、生き残った菌を24時間かけて寒天培地上で繁殖させ、寒天培地上に形成された細菌コロニーの数を数え、そこからさらに48時間かけて繁殖させ、コロニーの数を再び数えた。精油を混ぜた石鹼で手を洗った際のコロニー数と、そうでない石鹼で手を洗った際のコロニー数の増加量を比較することで、ヒノキの精油を混ぜた石鹼の抗菌作用を確かめた。

2. 実験方法

2.1. 実験概要

水蒸気蒸留法によりヒノキの精油を抽出し、それを混ぜた石鹼と混ぜていない石鹼で手を洗い、に残った菌を寒天培地上で24時間かけて繁殖させ、細菌コロニーの数を数えた。そこからさらに48時間かけて繁殖させ、コロニーの数を再び数えた。

2.2. 使用器具、機器

枝付丸底フラスコ、温度計、ゴム栓、スタンド、ガラス管、丸底フラスコ、リービッヒ冷却器、ゴム管、ゴム管コネクター、アダプター、アルミホイル、脱脂綿、三角フラスコ、30,50,100,200,300 mL ビーカー、ガラス棒、電子天秤、薬さじ、プラスチックカップ、アルミカップ、マイクロピペット、駒込ピペット、シャーレ、チップ、コンラージ棒、綿棒、ペーパータオル、輪ゴム、オートクレーブ、孵卵器、クリーンベンチ

2.3. 使用した試薬、材料

ヒノキの木屑、水酸化ナトリウム(個体)、オリーブオイル、塩化ナトリウム、エタノール、純水、寒天培地(酵母エキス、ブドウ糖、カゼイン製ペプトン、カンテン、栄研化学株式会社製)、砂

2.4. 実験操作法

* 本校 自然科学部 部員

** 一般科助教

*** 一般科准教授(自然科学部顧問)

**** 一般科教授(自然科学部顧問)

2.4.1. 精油の抽出

枝付丸底フラスコに純水、沸騰石、丸底フラスコに、ヒノキの木屑を入れ、それらと、温度計、ゴム栓、スタンド、ガラス管、リービッヒ冷却器、ゴム管、ゴム管コネクター、アダプター、アルミホイル、脱脂綿を、図 1 のように組み立て、水蒸気蒸留法によりヒノキの精油を抽出した。



図 1.装置の組み立て.

2.4.2. 石鹸の作成

(a)精油を加えていない石鹸

純水 15 mL に水酸化ナトリウム(個体)7 g を溶解させ、そこに 40 °C まで湯煎した 25 mL のオリーブオイルを少しずつ加え、液の分離がなくなるまでガラス棒でかき混ぜた⁽²⁾。エタノールを 1 mL 加えてさらにかき混ぜ、プラスチックカップに移して風通しの良い日陰に約一か月放置した。

(b)精油を加えた石鹸

精油 15 mL に水酸化ナトリウム(個体)7 g を溶解させ、そこに 40 °C まで湯煎した 25 mL のオリーブオイルを少しずつ加え、液の分離がなくなるまでガラス棒でかき混ぜた。エタノールを 1 mL 加えてさらにかき混ぜ、プラスチックカップに移して風通しの良い日陰に約一か月放置した。

2.4.3. 細菌の繁殖

- ① 寒天培地粉末 3.8 g を三角フラスコに入れて精製水 160 mL を加え、アルミホイルでふたをし、ペーパータオル、綿棒とともにオートクレーブに入れて滅菌した。
- ② ガスバーナーを音が鳴るくらいまで強くした(こうすると、ガスバーナー周辺は無菌状態となる。)。そのガスバーナーで、滅菌した①の三角フラスコの口を加熱して水滴を除いてから、ガスバーナー周辺でフラスコ内の液をシャーレに注ぎ、固まるまでその場に放置した。
- ③ 30,50,100 mL ビーカーにアルミホイルでふたをし、純水とともにオートクレーブに入れて滅菌

した。

- ④ 手をエタノールで消毒してから菌を付着させるために砂を付け、まずは水で手を洗った。
- ⑤ 滅菌した綿棒を、滅菌したビーカーに入れた生理食塩水(0.9 %食塩水)1 mL に浸した。その綿棒で左手中指の第二関節を 9 回こすり、3 回こするたびに生理食塩水に浸してビーカーの壁にこすり付けた⁽³⁾。
- ⑥ ⑤の操作をした生理食塩水の 20 μ L をマイクロピペットでチップにとり、素早くチップのふたを閉じた。再び手に砂を付け、今度は作成した石鹸で手を洗い、同じことを繰り返した。6 人が④~⑥の操作をした。
- ⑦ ⑥の操作をしたチップすべてに、マイクロピペットを用いて 180 μ L の滅菌した純水を加え、その溶液の 20 μ L をマイクロピペットでとり、固まった②の寒天培地上に滴下しコンラージ棒で全体に伸ばした。
- ⑧ シャーレを 37 °C に保った孵卵器に入れ、24 時間放置した。ガスバーナーを②と同じくらいまで強くし、その周辺でコロニー数を数えた。そこからさらに 48 時間放置し、同じようにしてコロニー数を再び数えた。
- ⑨ 基本①~⑧を繰り返したが、2 回目は、②で液をシャーレに注ぐ操作をクリーンベンチ内で行い、④で手に付ける砂を小袋ごとに分け(一つの袋に入れた砂をみんなが使うと、菌が減少してしまうと考えられるため。)、人数を 8 人にした。

3. 結果

表 1 は、1 回目の実験で 24 時間放置した時のコロニー数とその平均ある。この数が、48 時間後には表 2 のように変化していた。表 2 では、コロニー数とその平均のほかに、表 1 からのコロニー数の平均値の増加量も示した。表中の(a), (b)は 2.4.2 石鹸の作成に対応する。これ以後の表についても同様である。

表 1. シャーレのコロニー数とその平均
(1 回目、24 時間後).

	水洗い	精油なし(a)	精油あり(b)
班員 1	0	0	0
班員 2	0	0	0
班員 3	0	0	0
班員 4	0	8	0
班員 5	15	2	1
班員 6	0	0	3
平均	2.5	1.7	0.67

表 2. シャーレのコロニー数とその平均
(1 回目、24+48 時間後).

	水洗い	精油なし(a)	精油あり(b)
班員 1	0	1	0
班員 2	0	0	0
班員 3	0	1	0
班員 4	0	9(図 2 右)	0
班員 5	32(図 2 左)	2	2(図 3)
班員 6	2	0	8
平均	5.7	2.2	1.7
増加量	3.2	0.50	1.0

1 回目の実験の⑧で、24+48 時間、つまり合計 72 時間放置したとき、図 2, 3 のように特徴的な細菌コロニーを持つシャーレがあった。

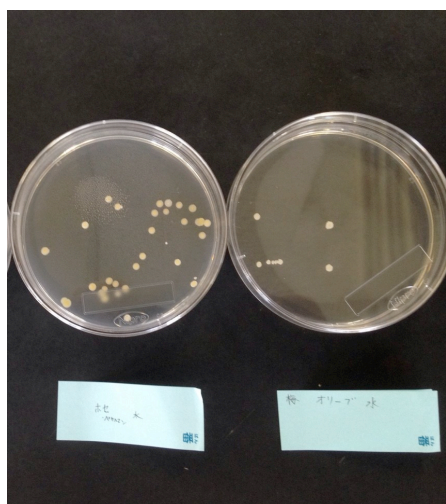


図 2. 特徴のある細菌コロニー
(その 1、1 回目、24+48 時間後).



図 3. 特徴のある細菌コロニー
(その 2、1 回目、24+48 時間後).

表 3. シャーレのコロニー数とその平均
(2 回目、24 時間後).

	水洗い	精油なし(a)	精油あり(b)
班員 1	0	0	0
班員 2	0	1	0
班員 3	5	0	1(図 5 中央)
班員 4	0	1	0
班員 5	1	0	1
班員 6	2(図 5 右)	66(図 5 左)	0
班員 7	0	0	2
班員 8	0	0	1
平均	1.0	0.29 *	0.63

表 4. シャーレのコロニー数とその平均
(2 回目、24+48 時間後).

	水洗い	精油なし(a)	精油あり(b)
班員 1	0	0	1
班員 2	0	1	2
班員 3	6	0	1
班員 4	1	1	0
班員 5	1	0	0
班員 6	2	62	0
班員 7	0	1	4
班員 8	0	2	1
平均	1.3	0.71*	1.1
増加量	0.30	0.42	0.47

表 3 は、2 回目の実験で 24 時間放置した時のコロニー数とその平均である。この数が、48 時間後には表 4 のように変化していた。表 4 では、コロニー数とその平均のほか、表 3 からのコロニー数の平均値の増加量も示した。

図 4 は、2 回目の実験の⑧で 24 時間放置した寒天培地である。この時のシャーレの細菌コロニーの様子は、図 5 のようになった。図 5 の左のシャーレは、細菌コロニーの数が一番多かった。図 5 の中央と右のシャーレは、コロニー数が 1 個のシャーレであるが、このようなシャーレが一番多く見られた。

4. まとめと考察

今回のような、効果を比較検証する実験では、被験者の数が多くなければ統計を取って正確な比較は出来ない。しかし、部活動として行うには人員及び物品に限界があり、今回は 8 人という少人数での検

* コロニー数が 60 以上の場合、それは相対的に異常とみなし、平均を取る際は除いている。

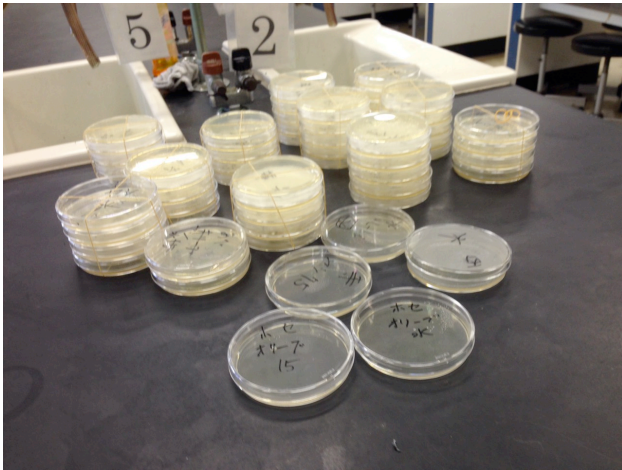


図 4.⑧での寒天培地
(2 回目、24 時間後).

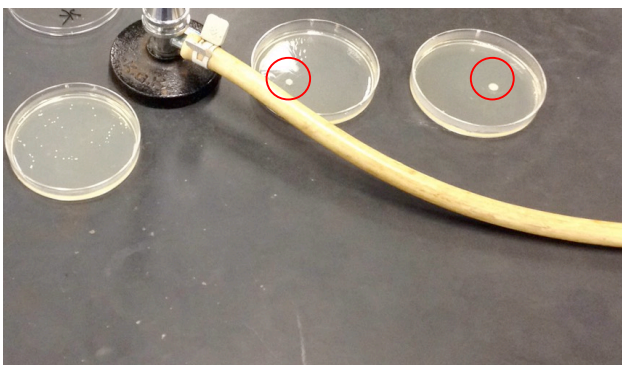


図 5.コロニーが確認できたシャーレの一部
(2 回目、24 時間後).

討となった。

表 1、2 を見ると、一人だけ水洗いのときの細菌コロニーの数が多い人がいる。これはおそらく、この人が最初に手を洗った、つまり、一番菌が多い状態の砂を触ってから手を洗ったからだと考えられる。図 5 の巨大な細菌コロニーは、操作⑦で溶液を完全に伸ばし切れていなかったからだと考えられる。

表 4 を見ると、班員 6 の精油なし(a)での値は、表 3 のときに比べて減っているが、コロニーが消えることはない。これはおそらく、コロニーの数が多すぎることにより計測に誤差が含まれることや、48 時間の間にコロニーが成長して合体したことが原因だと考えられる。表 3 と表 4 の増加量のところを見ると、精油なし(a)の方が、精油あり(b)より増加量は少ない。表 4 に至っては、精油あり(b)の増加量が一番多い。ヒノキの精油を混ぜた石鹸に抗菌作用があるなら、精油あり(b)の方が増加量は少なくなるはずである。よって今回の実験結果から、ヒノキの精油を混ぜた石鹸には抗菌作用があるとは言えない。

今回の実験では、コロニーが合体したことで、コ

ロニーの増加だけでヒノキの精油を混ぜた石鹸の抗菌作用を比較することができなかった。これは、実験に使用した手洗い後の菌液の濃度が高かったからだと考えられる。生物実験では、こういったことを防ぐために、どのくらいの濃度の菌液が一番適しているかを定める予備実験を行うのだが、今回の実験ではしていない。これは、先のような結論に至った原因の一つだと考えられる。

補遺

図 6 は、水蒸気蒸留法により精油を抽出する際に、脱脂綿とアルミホイルによる保温があるときと、ないときの温度上昇を表すグラフである。保温をしたときのほうが、断熱効率が良いことがわかる。

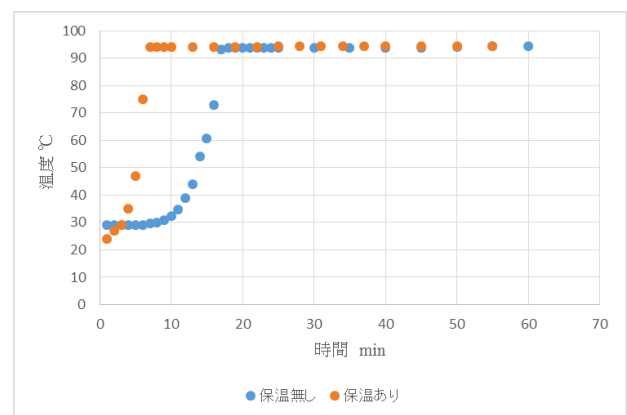


図 6. 水蒸気蒸留法による精油の抽出において、脱脂綿とアルミホイルによる保温が有る場合と無い場合による温度上昇の違い。水色とオレンジ色の点はそれぞれ、保温が無い場合と保温がある場合の結果を示している。

謝辞

本実験を行うにあたり、下村憲司朗准教授、佐藤洋俊准教授には実験器具や試薬、実験場所の提供をしていただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。査読者の方には有益なコメントを頂きました。お礼申し上げます。

参考文献

- (1) アロマセラピーのすべてがわかる事典、グリーンプラス監修、ナツメ出版企画株式会社、2009 年 7 月 13 日発行、pp21-22、p60
- (2) 最新化学工業体系第 13 巻、三雲次郎/桑田勉著者、誠文堂新光社出版、昭和 29 年 4 月 1 日発行、p53
- (3) 示指細菌数の測定と手洗い効果判定について、竹久洋子、前田環、中田裕二、藍野学院紀要(2007): 21, 17-22, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007126688>

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、図表が十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25mm、下24mm、左右各16mm、段間8mm

(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, <u>6 ページ</u> 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)

(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)

Form at for M em oirs of K obe C ity C ollege of T echnology (14 pt)

(1行空ける)

Taro K O B E* Jiro K O S E N ** (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。十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 : form at, 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、

<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10pt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。

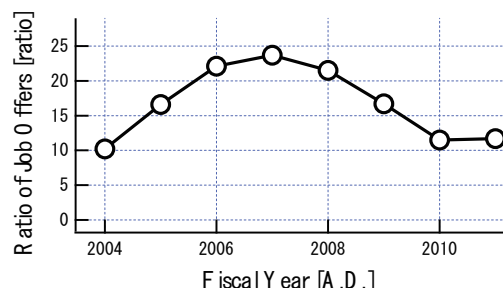


図1 神戸高専本科の求人倍率の推移。

(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) 特例(英)	1段, 48字×46行 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

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 数値と単位の間には空白を入れ、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 $d = 16 \text{ mm}$ 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、図表が十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。

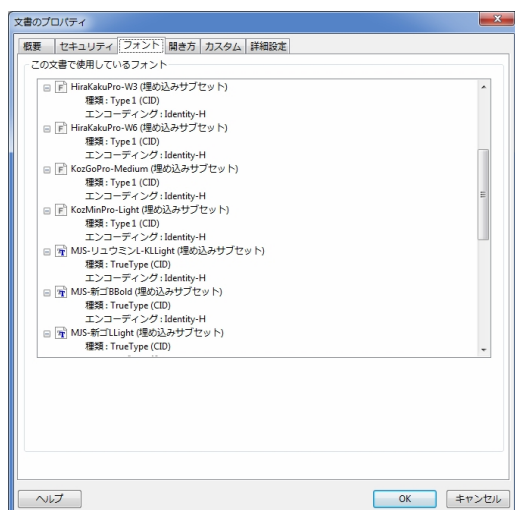


図2 フォント埋め込みの確認。

（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

本研究の一部は〇〇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.

神戸高専研究紀要第 53 号 編集委員

児玉 宏児（総合情報センター長）	南 政孝（副センター長）	戸崎 哲也（副センター長）
柿木 哲哉（副センター長）	横山 卓司（副センター長）	清水 俊彦（機械工学科）
西村 征也（電気工学科）	尾山 匡浩（電子工学科）	九鬼 導隆（応用化学科）
高田 知紀（都市工学科）	谷口 博（一般科）	山本 元紀（学生係）
杉岡 節昌（総合情報センター）	萩庭 恵美（図書館）	児玉 紫乃（図書館）

研 究 紀 要 第 53 号 （非売品）

発 行 日 平成 27 年 3 月 13 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 26 年度 第 323 号 （広報印刷物規格 A-6 類）