

BULLETIN
OF
NIPPON BUNRI UNIVERSITY

VOL. 52 NO. 1 MARCH 2024

日本文理大学紀要

第 52 卷 第 1 号

令和 6 年 3 月

日 本 文 理 大 学

大分市大字一木

日本文理大学紀要

第 52 卷 第 1 号

令和 6 年 3 月

目 次

〔論 文〕

工 学 部

音空間把握に必要な音響伝送特性推定における計測用音源信号の一検討	福 島 学	1
	平 野 智 也	
	徳 富 馨	
	沖 田 和 久	
	梨子木 快 晴	
	河 納 隼 一	
	近 藤 善 隆	
衛星リモートセンシングを利用した機械学習によるボルネオ島の土地利用変化検出	白 石 知 弘	9
	平 木 功 明	
	清 田 雄 二	
	衛 藤 俊 寿	

経営経済学部

Onomatopoeia in a Japanese-to-English Translation of All Out! – a Case Study	Martin TESHOME	17
--	----------------	----

保健医療学部

日本人成人男女の体型を有する人体ファントムの検証		
— 実用的な MIRD ファントムへの修正 —	亀 井 修	27
	衛 藤 路 弘	
折り畳み式筒状管路の設計と流体解析評価に関する研究		
— 折り紙工学を用いた人工呼吸器用ディスポーサブル管路の開発 —	土 肥 裕 司	37
	原 田 敦 史	

〔研究ノート〕

機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告		
— 第三報（3年度活動内容） —	飯 川 晋 作	43
	米 良 弘 樹	
	伊 藤 海	
	山 崎 壱 織	
	渡 邊 良 太	
	清 水 良	
	高 木 怜	
	田 中 佑 典	
	若 林 大 輔	
Long Range Cruise での空気抵抗内訳	中 山 周 一	49
ジェット旅客機の濡れ面積	小 糸 裕 大	51
	中 山 周 一	

情報メディア学科のキャリア科目と産業界で働くことを結ぶ試み	福 島 学	59
	徳 富 響	
	平 野 智 也	
	沖 田 和 久	
	松 永 多 苗 子	
	坂 井 美 穂	
	松 原 か おり	
	星 芝 貴 行	
	足 立 元	

2学期制が教員の働き方に及ぼす影響

— A 市立 B 小学校を対象とする調査から —	清 田 雄 二	67
	衛 藤 俊 寿	
	平 木 功 明	
	赤 星 哲 也	

ICT に強い教員を育てるためのカリキュラムの検討 (2)

— 2 年「初等教育のための ICT 活用 1」における取組 —	清 田 雄 二	75
	衛 藤 俊 寿	
	平 木 功 明	
	赤 星 哲 也	

〔事例報告〕

VBA で作成した文章課題採点プログラムの活用事例報告	坂 井 美 穂	81
	測 上 千 香 子	
往復動圧縮機吸吐弁の状態把握に必要な基本波形先頭位置検出による周期性分析	近 藤 善 隆	87
	沖 田 和 久	
	平 野 智 也	
	徳 富 響	
	福 島 学	

〔論 文〕

音空間把握に必要な音響伝送特性推定における 計測用音源信号の一検討

福島 学*, 平野 智也*, 徳富 響*, 沖田 和久*², 梨子木 快晴*, 河納 隼一*³, 近藤 善隆*⁴

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻

*³株式会社アーネット

*⁴株式会社ジェイテック

A Study on Sound Source Signals for Estimating Sound Transmission Characteristics Necessary for Spatial Awareness

Manabu FUKUSHIMA*, Tomoya HIRANO*, Hibiki TOKUTOMI*,
Kazuhisa OKITA*², Kaisei NASHIKI*, Syun'ichi KAWANO*³,
Yoshitaka KONDO*⁴

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University

*³Artnet Co., Ltd.

*⁴J-TEC Co., Ltd.

Abstract

The importance of understanding acoustic space has become crucial in our daily lives. This understanding is based on the impulse response, prompting us to investigate the sound source signals used for measurements, which significantly influence measurement accuracy. In this study, we employed the DLR-CS method, one of the measurement techniques, and conducted a comparison based on the noise floor and estimation results. The findings revealed that white noise and TRaPS (Time Random Permuted Sinusoidal signal) enable us to 1) conduct measurements and 2) perform two-system measurements with two sources and one observation point. TRaPS offer the advantage of easy creation, unlike the need for a Monte Carlo method to generate an uncorrelated white signal for two-source measurements. Additionally, TRaPS demonstrated a tendency to achieve higher accuracy for estimates with smaller amplitudes and larger power. These results are anticipated to form the foundation for acoustic design and implementation techniques in virtual spaces such as the Metaverse.

キーワード：音空間, 把握, 計測, 音源信号, 伝送特性

Keywords : acoustic space, awareness, measurement, acoustic signal source,
acoustic transmission characteristics

1. はじめに

空間を把握する技術は、建築構造物における設計と施工後の検証である。例えば光学的に確認可能な範囲は目視検査、構造物内部は非破壊検査、が行われている。その中で音響設計が必要となる教室や講堂においては音響物理特性による評価が行われる⁽¹⁾。このため、音空間の計測が必要となっている⁽²⁻³⁾。

これまでは音響計測は音響設計された、または学校等のように規制対象の空間で行われることが中心であり、一般家屋等においては計測されることが少なかった。しかし、新型コロナウイルス感染により屋内に居ることが多くなったこともあり、音環境に対する関心が高くなっている。またメタバースをはじめとする仮想空間におけるリアリティの需要が高くなっている。これは、ゲーム等の特殊用途ではなく、ビジネスモデルに基づく社会的なニーズとしての高まりである。その中で Japan Hearing Vision が提唱され⁽⁴⁻⁵⁾、ますます音空間の計測の必要性が高くなっている。

2. 空間伝送特性計測

2-1 計測の原理

音空間の把握とは、音の伝搬現象を物理的に計測し、その結果を分析し指標化することで行う。音の伝搬現象は、時間領域記述（インパルス応答）と周波数領域記述（伝達関数）の2種類があり、その総称が伝達特性である。音の伝搬現象は、音源信号 $x(t)$ が空間に放射され、観測信号 $y(t)$ に至る現象を

$$y(t) = \int x(t - \tau)h(\tau) d\tau \quad (1)$$

と記述する。ここで $h(t)$ がインパルス応答である。インパルス応答は、音源からマイクまでの直接届く直達音、壁面等に反射してから到来する反射音で構成される。すなわち、音速 $c(\text{m/s})$ により幾何的距離を時間に変換したものがインパルス応答である。音の伝搬は波動伝搬そのものであるため、波動方程式が時間と空間で記述されることを考えると、インパルス応答は、音源と観測点を固定した際の波動方程式の解であることがわかる。

伝達関数はこのインパルス応答の周波数記述であるため、フーリエ変換により得ることができる。伝達関数は、その空間において、共振現象等を知るために使われるものである。

2-2 計測手法

インパルス応答を計測する方法について考える。式(1)をフーリエ変換すると

$$\begin{aligned} Y(f) &= \int y(t)e^{-i\omega t} dt \\ &= \int \int x(t - \tau)h(\tau) d\tau dt \\ &= X(f)H(f) \end{aligned} \quad (2)$$

となる。式(2)において $H(f)$ を求めるには、 $X(f)$ に零点が存在することから $Y(f)$ を $X(f)$ で除算出来ない。このため、

$$H(f) = (X^*(f)Y(f))/X^*(f)X(f) \quad (3)$$

により解くクロススペクトル法が提案されている。これを離散で正しく計算する方法が DLR-CS 法⁽⁶⁻⁹⁾である。

実際の計測においては平均操作を行うため、一定時間内で系が変化しないことを前提としている。DLR-CS 法は、TSP 法のように計測時に予め時間を決める必要がなく、計測後に任意に変更することが可能である。このため、系の変化に対して追従することが可能である⁽¹⁰⁾。さらに、音速により時間と距離を変換できる特性とインパルス応答に反射特性が記述されていることから、マイクを中心点とした距離を計測することが可能である⁽¹¹⁻¹²⁾。さらに分析結果から音環境を改善するための音響素材の開発⁽¹³⁻¹⁶⁾に展開している。

改めて式(3)を考えると、これらの音環境およびそれを改善するための素材の性質を得るために重要なインパルス応答の計測精度において、計測で使用する音源信号が重要であることがわかる。

そこでここでは計測に使用する音信号（音源信号）について、1) 推定精度、2) 推定結果、の2点で検討する。

2-3 音源信号

式(3)で示した通り、音源信号に求められる性質はパワースペクトルが0以外の一定値、すなわち式(1)を行列計算で考えた時の単位行列の係数倍にすることが重要である。この条件を満たす信号は、1) インパルス、2) 無相関信号系列、である。

1) インパルスは理論的に成立するが、実際に使用する際に音響再生装置の出力に制限があることから計測に必要なエネルギーが得られないという問題がある。このため、1) インパルス信号を時間掃引する TSP (Time Stretched Pulse) がある。しかし、TSP は掃引時間という制限があるため、DLR-CS のメリットである分析時の分析区間の柔軟性を損なう。

2) 無相関信号系列、には一様分布ランダム信号（ホ

ワイトノイズ／白色雑音) や M 系列信号がある。この信号は振幅範囲が ± 1 であればその実効値は 0.5 となる。一方で M 系列信号は ± 1 の信号すなわち離散インパルス (符号により 2 種類) が時間方向にランダムにすることで実効値を 1 とした状態で無相関の条件を満足している。

実効値を調整する方法として正弦波 (sin) を使用することを考える。単一周期の正弦波は線スペクトルであるが、M 系列と同様に時間方向にランダムに入れ替えをすることでそのパワースペクトルを全域に一定にすることが出来る。

そこで、ここでは白色雑音と正弦波の時間方向ランダム化信号 (TRaPS: Time Random Permuted Sinusoidal signal) を音源信号として比較する。

一般に音響伝達特性は冒頭で述べた通り 1 音源・1 観測で求める。しかし、メタバースにおける臨場感のように両耳で受聴する音環境の特性計測も必要である。

そこで、白色雑音として無相関な 2 系列と、同様に無相関な TRaPS を考える。TRaPS の元となる正弦波 (sin) は、その直交信号として位相角が $\pi/2$ ずれた余弦波 (cos) が存在する。そこで、両者の瞬時振幅を保持することで 2 つの TRaPS が直交の条件を維持する。

図 1 に互いに無相関な信号系列の冒頭 50 サンプルを示す。このサンプルは相互相関係数が一定値以下となることを確認した信号である。

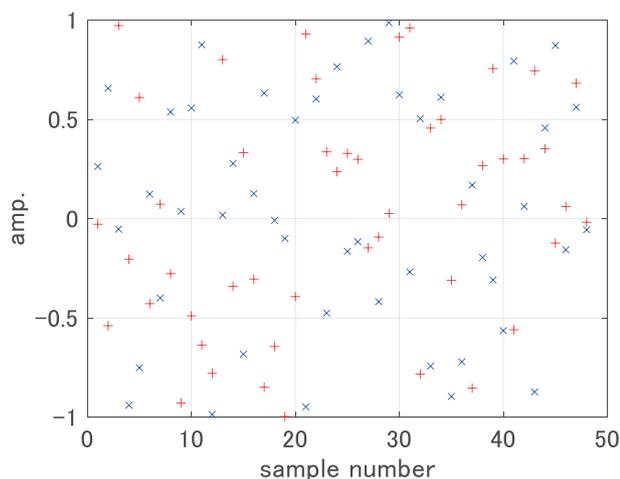


図 1 作成した互いに無相関な 2 系列の白色雑音
青：系統 1，赤：系統 2

次に数学的に直交が保証されている正弦波と余弦波に基づいて TRaPS を作成する。図 2 に元となる波形を示す。図 2 に青で示す系統 1 と赤で示す系統 2 を比較すると、片方が ± 1 の時にもう片方が 0 付近となっており直

交条件を満たしていることが確認できる。

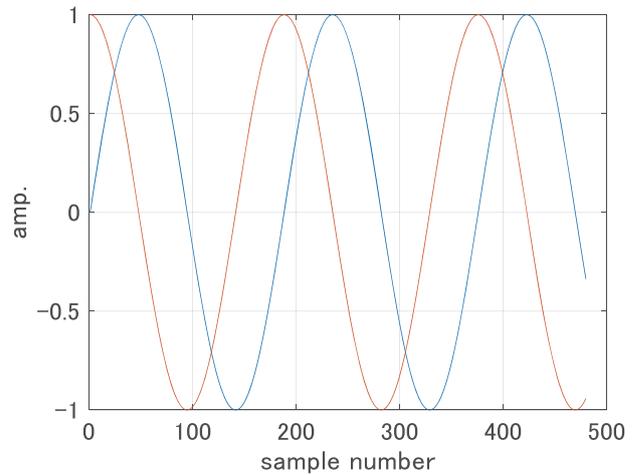


図 2 作成した正弦波 $\sin(\omega t)$ (青) と余弦波 $\sin(\omega t + \pi/2)$ (赤) (レッドノイズ・純音 (Sinusoidal Signal))

図 2 に示した波形を時間方向にランダムに並び替えを行った結果を図 3 に示す。

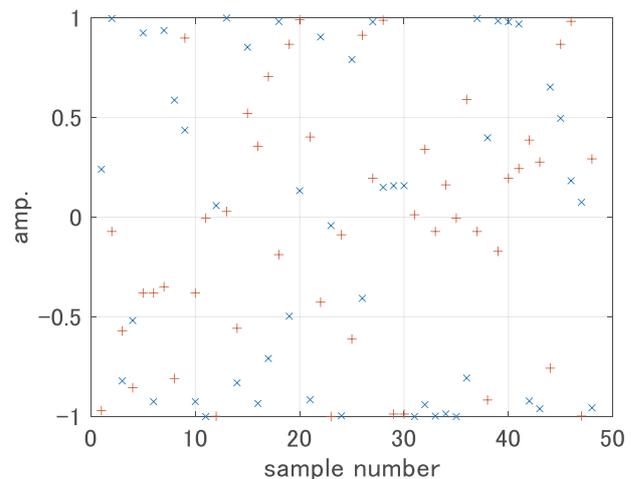


図 3 レッドノイズ／純音を時間入替によりノイズ化した信号 (以下、時間方向ランダム化信号 (TRaPS: Time Random Permuted Sinusoidal signal))

図 1 と比較して図 3 は図 2 と同様に片方が ± 1 の時にもう片方が 0 付近となっており直交条件を満たしていることが確認できる。

図 1 から図 3 に示した信号の、時間波形、パワースペクトルおよび時間波形の振幅ヒストグラムを確認するため、それらを図 4 から図 6 に示す。

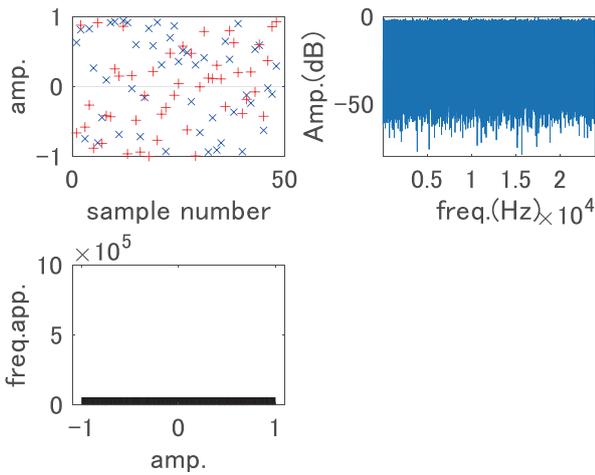


図4 作成した白色雑音の性質
 左上：時間波形 右上：周波数振幅スペクトル
 左下：振幅出現頻度（ヒストグラム）

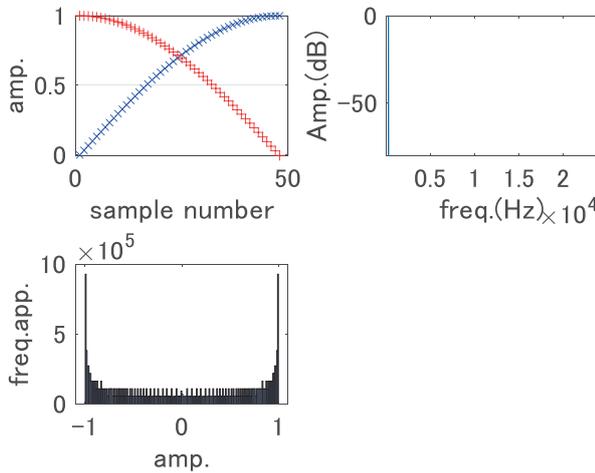


図5 純音の性質
 左上：時間波形 右上：周波数振幅スペクトル
 左下：振幅出現頻度（ヒストグラム）

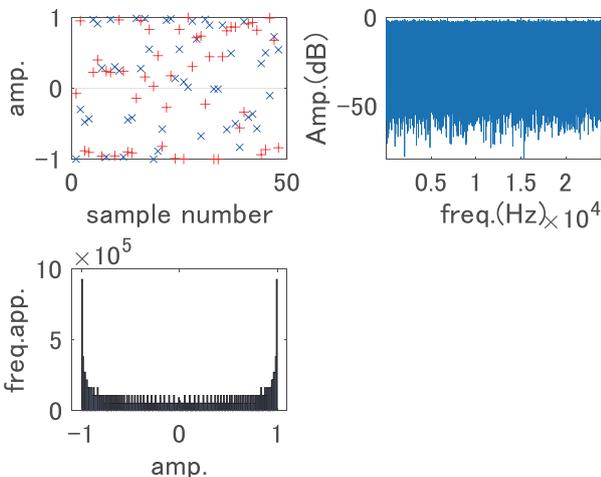


図6 純音時間方向ランダム化信号（TRaPS）の性質
 左上：時間波形 右上：周波数振幅スペクトル
 左下：振幅出現頻度（ヒストグラム）

3. 検証実験

作成した信号によりインパルス応答を推定し、いずれの信号系列が計測用信号に適しているかを評価する。

ここでは観測信号を作成するためインパルス応答を図7に示すものとする。

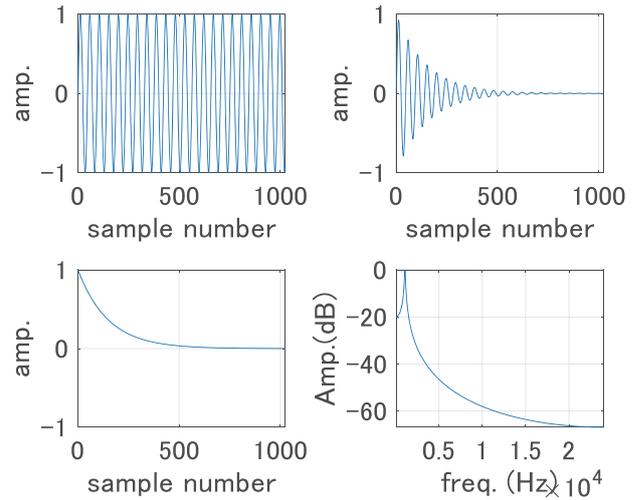


図7 単峰系インパルス応答（IR：Impulse Response）／伝達関数（TF：Transfer Function）の作成
 左上：キャリア（純音） 右上：インパルス応答 IR
 左下：包絡線（ $e^{-\alpha t}$ ） 右下：伝達関数 TF

インパルス応答推定では、 N サンプル区間を推定範囲とし計算する。観測信号は N サンプルよりも大きいため、 gap サンプルだけずらして同じ計算を行い、その平均値から推定値の精度を上げる。 gap サンプルが大きいほど、同じ平均回数で必要とする総サンプル数を多く必要とする。そこで、ここでは、 gap を、1) $N/2$ 、2) $N/4$ 、3) $N/8$ 、4) $N/16$ 、とし、平均操作回数による精度すなわち最小値を示す noise floor のレベルがどう変化するかを調べる。その結果を図8から図10に示す。

計測に適している信号であれば同一平均操作回数で noise floor が小さい値になることが予想され、白色雑音および TRaPS は予想通りの結果となっている。そこで、いずれが平均操作による精度向上率が高いかを比較するため、 $gap = N/2$ の条件で比較する。その結果を図11に示す。

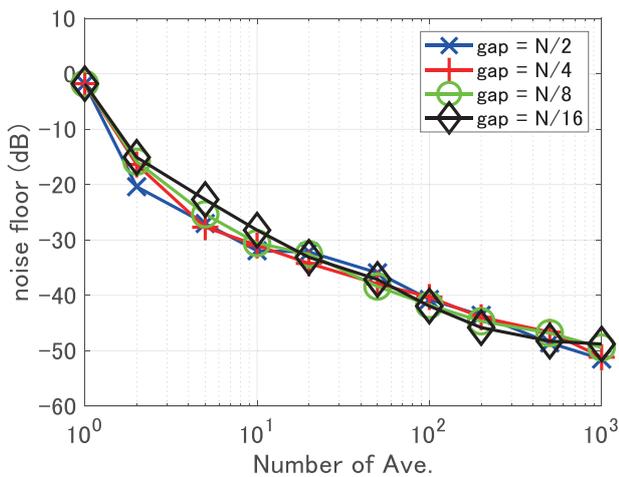


図8 白色雑音を使用した平均操作回数・gap・noise floor の関係

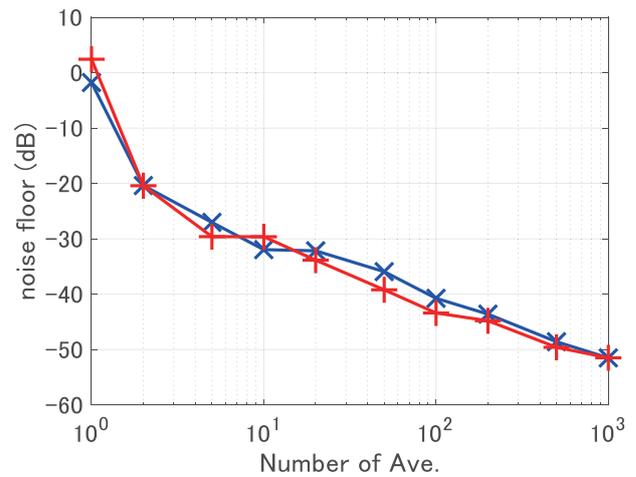


図11 白色雑音とTRaPSの平均操作回数による noise floor 低下の比較 (gap=N/2)

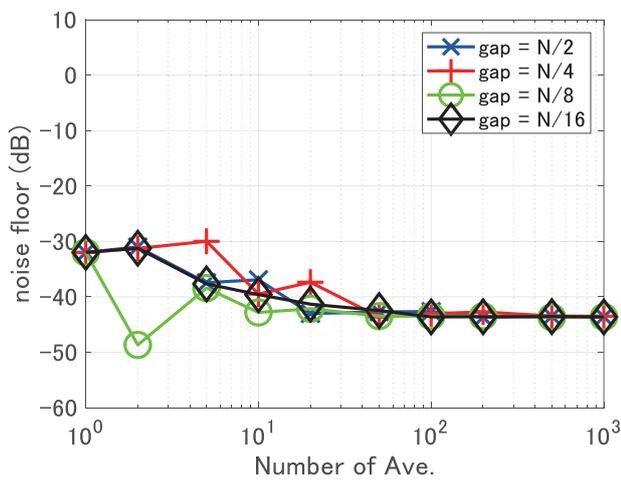


図9 純音を使用した平均操作回数・gap・noise floor の関係

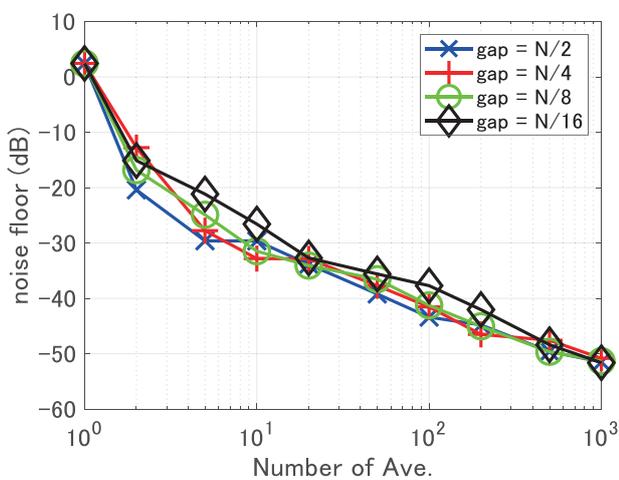


図10 TRaPSを使用した平均操作回数・gap・noise floor の関係

図11は、平均操作回数が10回を超えるとTRaPSの方が若干noise floorが低くなることを示しているが、ほぼ同じであることを示している。

次に、図9に示した純音の場合 noise floor が横ばいになっているが推定インパルス応答が図7となれているかを確認する。その結果を図12から図14に示す。なお、1段目および3段目に示す時間波形は振幅絶対値をdBで示している。

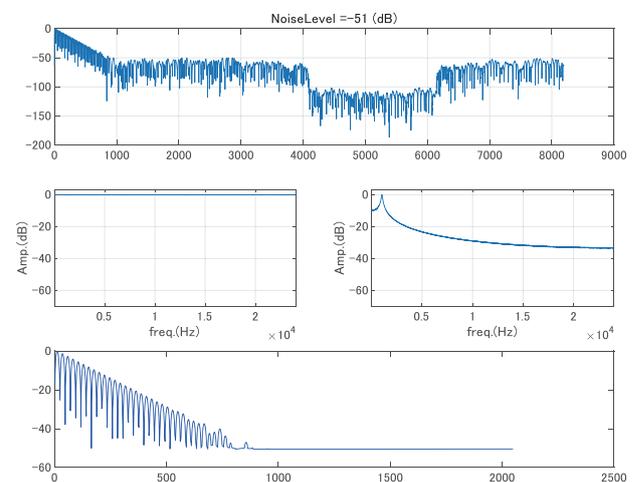


図12 白色雑音を使用して推定した音響伝送特性
1 段目：DLR 推定値 (左1/4が推定インパルス応答)
2 段目：左 音源の振幅スペクトル
右 伝達関数の振幅スペクトル
3 段目：推定インパルス応答

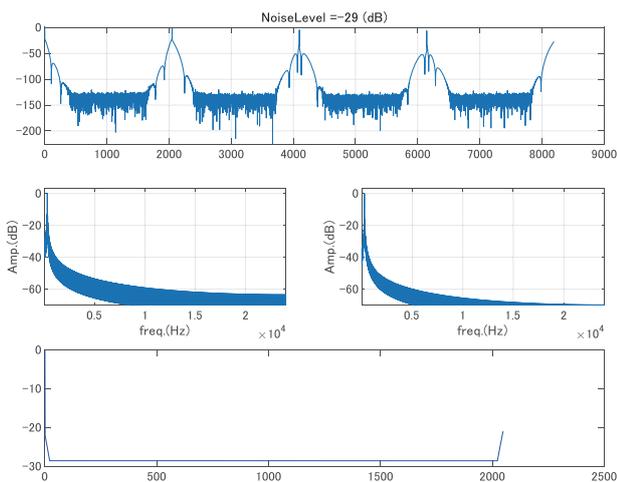


図13 純音を使用して推定した音響伝送特性
 1 段目：DLR 推定値 (左1/4が推定インパルス応答)
 2 段目：左 音源の振幅スペクトル
 右 伝達関数の振幅スペクトル
 3 段目：推定インパルス応答

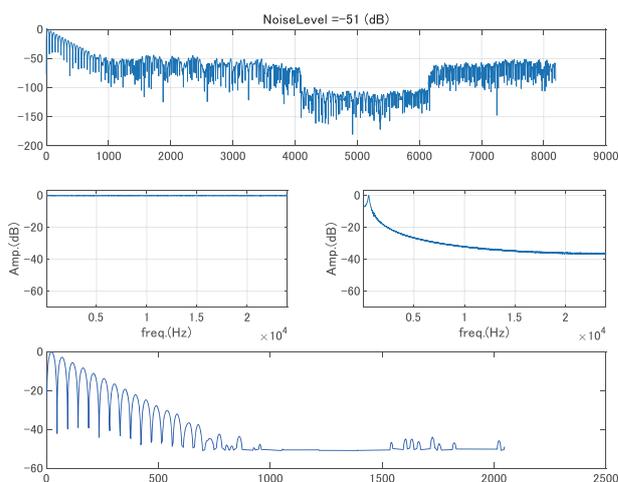


図15 図12で使用した白色雑音と無相関な白色雑音で推定したインパルス応答
 1 段目：DLR 推定値 (左1/4が推定インパルス応答)
 2 段目：左 音源の振幅スペクトル
 右 伝達関数の振幅スペクトル
 3 段目：推定インパルス応答

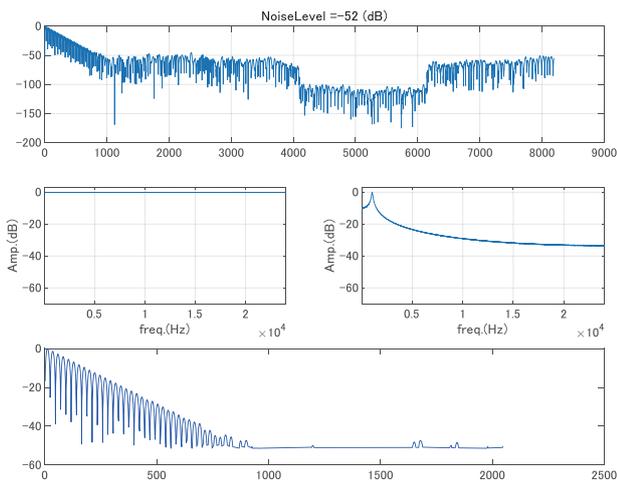


図14 TRaPS を使用して推定した音響伝送特性
 1 段目：DLR 推定値 (左1/4が推定インパルス応答)
 2 段目：左 音源の振幅スペクトル
 右 伝達関数の振幅スペクトル
 3 段目：推定インパルス応答

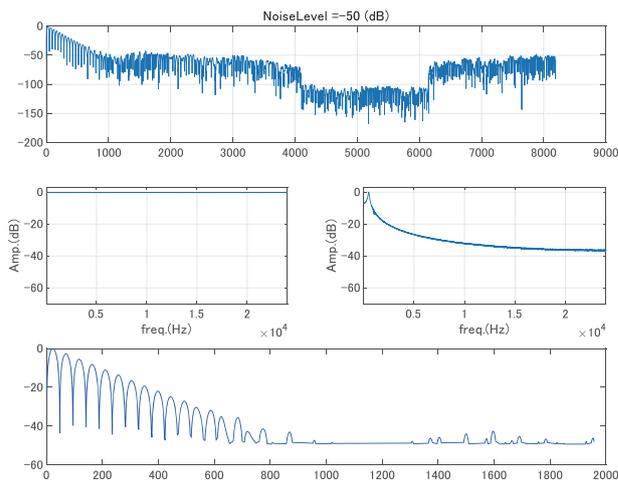


図16 図14で使用した白色雑音と無相関な白色雑音で推定したインパルス応答
 1 段目：DLR 推定値 (左1/4が推定インパルス応答)
 2 段目：左 音源の振幅スペクトル
 右 伝達関数の振幅スペクトル
 3 段目：推定インパルス応答

ここで2系統同時計測が可能であることを確かめる。ここでは2系統のインパルス応答を用意し、それぞれに作成した観測信号を混合して観測信号として使用する。

図15に図12と無相関な白色雑音を用いて推定したインパルス応答を示す。同様に図16に図14と直交となる信号の結果を示す。

図12と図15を比較すると、混合信号から各系統のインパルス応答が求められていることが確認できる。同様に図14と図16も同様に推定出来ていることが確認できる。両者の推定結果を比較する。その結果を図17に示す。図は赤線で白色雑音、青線でTRaPSによる推定結果を示している。

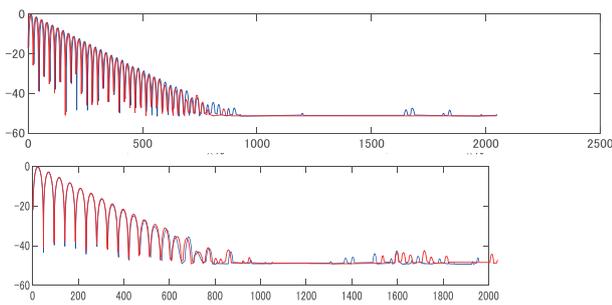


図17 推定インパルス応答の音源信号による比較
上段：系統1，下段：系統2

図17は、いずれの推定値も振幅が -40dB よりも小さい範囲で差を生じ、図7に示した作成したインパルス応答と比較すると TRaPS を用いた方が精度が高い傾向にある。いずれにしても、無相関信号系列を適切に使用することで、2系統のインパルス応答の同時計測が可能であることが確認できた。

4. おわりに

音空間の把握の必要性が日常生活でも重要となっている。把握はインパルス応答に基づいて行われていることに着目し、計測精度に影響する音源信号について検討した。ここでは計測手法の1つである DLR-CS 法を使用し、noise floor および推定結果から比較を行った。

その結果、白色雑音および TRaPS (Time Random Permuted Sinusoidal signal) により、1) 計測が可能であること、2) 2音源1観測点の2系統計測が可能であること、が明らかとなった。2系統計測の無相関白色信号を作成するのはモンテカルロ法を使用する等が必要であるが、TRaPS は容易に作成できるメリットがある。また、振幅が小さい推定値に関してパワーが大きくなる TRaPS が精度が高い傾向であった。

参考文献

- (1) 子安勝, 橘秀樹, “建築物に関する音響規格の動向”, 日本音響学会誌, Vol. 53, No. 6, pp. 483-486, 1997
- (2) 佐藤史明, “室内音響インパルス応答の測定技術”, 音響学会誌, Vol. 58, pp. 669-676, 2002
- (3) 佐藤史明, “はじめてのインパルス応答計測 (やさしい解説)”, 日本音響学会誌, Vol. 67, No. 4, pp. 155-162, 2011
- (4) 厚生労働省, “難聴への対応に関する省内連絡会議”, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000191192_00013.html (2023年10月1日アクセス)
- (5) 自民党・難聴対策推進議連, “Japan Hearing Vision2019年”, <https://www.mhlw.go.jp/content/12200000/001073457.pdf> (2023年10月1日アクセス)
- (6) 福島学, 城戸健一, “クロススペクトル法によるインパルスレスポンス推定における推定誤差の検討”, 日本音響学会誌, pp. 265-274, 55巻, 4号, 1999
- (7) Manabu Fukushima, Takatoshi Okuno, Hirofumi Yanagawa, Ken'iti Kido, “Improvement of the Accuracy in Attenuation Constant Estimation using the Cross-Spectral Technique”, J. IEICE (E), pp. 626-633, Vol. E82-A, No. 4, 1999
- (8) Takatoshi Okuno, Manabu Fukushima, Mikio Toyama, “Adaptive cross-spectral technique for acoustic echo cancellation”, J. IEICE (E), pp. 634-639, Vol. E82-A, No. 4, 1999
- (9) Ken'iti Kido, Hideo Suzuki, Takahiko Ono, Manabu Fukushima, “Deformation of Impulse Response Estimates by Time Window in Cross Spectral Technique”, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), pp. 349-361, Vol. 19, No. 5, 1998
- (10) Kiyooki Terada, Hirofumi Yanagawa, Mitsuharu Takagiwa, Manabu Fukushima, “Discrimination of temporal change in transient interaural cross-correlation coefficient using band-pass-filtered noise burst convolved with simulated impulse responses”, Acoustic Science and Technology, pp. 289-291, vol. 26, no. 3, 2005
- (11) 鈴木和博, 中迫昇, 中山雅人, 篠原寿広, 上保徹志, 福島学, “クロススペクトル法を用いた位相干渉に基づく音響測距法による対象物位置推定”, 電子情報通信学会論文誌, A, Vol. J97-A, No. 4, pp. 343-346, 2014
- (12) Masato Nakayama, Noboru Nakasako, Tetsuji Uebo, and Manabu Fukushima, “Acoustic distance measurement method based on phase interference using the cross-spectral method”, Acoustical Science and Technology, pp. 197-205, vol 34, no3, 2013
- (13) 沖田和久, 近藤善隆, 福島学, 窪田泰也, “音響素材の反射特性と透過特性計測に関する一検討”,

- 日本文理大学紀要, 第51巻, 第1号, pp.73-80, 2023年
- (14) 米井嘉一, 福島学, “快眠研究と製品開発, 社会実装”, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp.497-505, 2022年6月30日
- (15) Manabu Fukushima, Shiori Uenaka, Masayuki Yagi, Wakako Takabe, Yoshikazu Yonei, “Effect of the newly developed articulatory panels (Aural Sonic) : A pilot clinical trial”, Glycative Stress Research 7 (2) : 123-131, 2020 (doi : 10.24659/gsr.7.2_123) (<https://www.toukastre ss.jp/webj/article/2020/GS19-11.pdf>)
- (16) Manabu Fukushima, “Characteristic and function of the newly developed articulatory panels (Aural Sonic)”, Glycative Stress Research 2019 ; 6 (2), 103-112, 2019, (doi : 10.24659/gsr6.2_103) (<http://www.toukastress.jp/webj/article/2019//GS19-05.pdf>)

(2023年11月24日受理)

〔論 文〕

衛星リモートセンシングを利用した機械学習による ボルネオ島の土地利用変化検出

白石 知弘*, 平木 功明*², 清田 雄二*³, 衛藤 俊寿*⁴

*日本文理大学工学部

*²日本文理大学医療専門学校

*³日本文理大学工学部情報メディア学科

*⁴日本文理大学経営経済学部経営経済学科

Detecting Land Use Changes in Borneo Using Machine Learning and Remote Sensing

Tomohiro SHIRAIISHI*, Noriaki HIRAKI*², Yuji KIYOTA*³, Toshihisa ETO*⁴

*School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Clinical Engineering, Nippon Bunri University Medical College

³Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*⁴Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University

Abstract

Many countries agreed that reducing anthropogenic greenhouse gas emissions and improving the carbon uptake of forests are pivotal steps toward limiting increases in the global average temperature in the Paris Agreement in 2015. Understanding land use changes is essential for comprehending the sources of greenhouse gas emissions and implementing countermeasures to reduce them, especially in terrestrial contexts. The severe deforestation in southeast Asia is largely due to its agricultural sector, which has to continuously expand, further encroaching into more natural habitats, to feed an ever-growing human population. In this study, we created annual land use maps using satellite data from 2000 to 2020 throughout Borneo and detected the land use changes by comparing the maps on an annual basis. The accuracy of the created land use maps was $92.5 \pm 1.4\%$ on average (± 1 standard deviation) over the 20 years. Specifically, there was an 8% reduction in land use changes in forests, whereas oil palm plantations expanded by 185%. The resultant maps should not only facilitate accurate carbon budget estimations from terrestrial sources in Borneo, but also act as input data for biomass estimation, atmospheric transport, terrestrial ecosystem, and meteorological models.

キーワード：土地利用変化, 熱帯泥炭湿地林, オイルパーム農園, 光学データ, ランダムフォレスト

Keywords : land use changes, tropical peat swamp forest, oil palm plantation, optical data, random forest

1. はじめに

2015年にパリ協定で締結された世界の平均気温上昇を抑制する目標を達成するために、人間活動による温室効果ガス放出量の低減と森林による炭素吸収量の増強は喫緊の課題である。森林は大気中の二酸化炭素を吸収し有機物として隔離するため、大気中の二酸化炭素濃度の緩和・生物多様性・水循環・土壌保全・防災など、地球環境と人間活動において重要な役割を担っている⁽¹⁻³⁾。世界の総森林面積は、全陸地の31%に相当する40.6億 ha であり、手付かずの自然として残っている森林は森林全域に対しわずかに28%の11.1億 ha である⁽²⁾。世界の森林の純損失率を1990年から10年単位で見ると、1990年から2000年の年間780万 ha、2000年から2010年の年間520万 ha、2010年から2020年の年間470万 ha と減少傾向ではあるが⁽²⁾、九州の面積（約370万 ha）よりはるかに広大な面積の森林が毎年消失していることになる。森林の分布は熱帯林が全体の45%を占め、南米アマゾンと並び東南アジアは重要な炭素蓄積域である。しかしながら、2000年から2012年にかけて森林損失の増加率が最大である国がインドネシアであることが報告された⁽⁴⁾。森林破壊は農業・インフラ・居住地・鉱業などを目的とした人間活動による影響が大きく、森林破壊と農業拡大には強い相関関係があることが報告されている⁽¹⁾。東南アジアの森林破壊も同様に、広大な自然林は食品産業のために開発されたオイルパーム農園に転換されている⁽¹⁾。特に、インドネシアとマレーシアはパーム油の主要な生産国であり、この2ヶ国で全世界の生産量の80%以上を占める⁽⁵⁾。この生産量を支えるように、森林はマレーシアで1990年から2005年にかけて推定100万 ha 以上が、インドネシアで1990年から2000年にかけて170万から300万 ha がオイルパーム農園に転換した⁽⁶⁾。

東南アジアの泥炭は何千年にもわたって土壌に完全に分解されていない大量の植物炭素を蓄積している。蓄積された炭素量は全世界で479.7Pg とされ、東南アジアの蓄積量は全体の14%に相当する68.5Pg と推定されている⁽⁷⁾。この巨大な炭素貯蔵庫である東南アジアの熱帯泥炭湿地利林が、オイルパーム農園の開発に伴う土地利用変化⁽⁸⁾、排水⁽⁹⁾、火災⁽¹⁰⁾により、バイオマスの損失、泥炭の酸化、燃焼を通じて大気へ大量の二酸化炭素を放出する。東南アジアは豊富な樹木炭素を蓄積する森林や泥炭を有する一方、森林の農地転換や森林火災が頻発する地域であり、地球環境への影響が注目されている地域である。

陸域生態系からの温室効果ガス収支を推定するために、正確な森林域とそのバイオマスを理解することは重要である。広大で人のアクセスが困難である森林域を含めた土地被覆情報を大陸・地球規模で取得するために、定期的に均質なデータを取得できる衛星リモートセンシングは最適解である。衛星による地球観測は1960年4月にアメリカ航空宇宙局（NASA）が打ち上げたTIROS 1号から始まり、1972年に光学センサを搭載したLandsat 1号により本格的な地球観測が始まった。土地被覆図の作成は、衛星データ活用の黎明期から今なお取り組まれている課題であり、土地被覆/土地利用図の自動生成は計算機や分類アルゴリズムの発展と共に高精度化している。

全球規模の土地被覆図はNASAが無償公開しているが、土地被覆種別が全球共通で、東南アジアのオイルパーム農園のように、特定地域の重要な土地利用種別に焦点を当てたデータではない。一方、Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾は、ボルネオ島全域の森林とオイルパーム農園に焦点を当てた土地利用図を作成したが、2016年以降更新されていない。また、Indonesian National Carbon Accounting System (INCAS)⁽¹²⁾はインドネシア全域の土地利用面積とそこからの二酸化炭素収支を公開しているが2012年以降更新されていない。そこで本研究では、衛星光学データを利用して2000年から2020年のボルネオ島全域の土地利用図を年単位で自動生成し、得られた結果から各土地利用種別の面積変化を計測する。分類する土地利用種別は二酸化炭素収支を推定するために重要な5種類（森林、低木/草地、オイルパーム農園、水域、都市）とした。土地利用図の作成は、Shiraishi et al. (2014)⁽¹³⁾による土地利用分類へ機械学習アルゴリズムを適用した比較研究において最も高評価であったランダムフォレストを使用して自動生成する。この結果作成された土地利用図は、ボルネオ島の二酸化炭素収支の推定に必要なデータであるだけでなく、バイオマス推定、陸域生態系モデル、大気輸送モデル、気象モデルなどの重要な入力データである。本稿では、使用したデータセット、土地利用図の自動作成手法を説明した後、2000年から2020年にかけて年単位で作成した土地利用図の結果、各土地利用種別の面積変化について評価する。

2. 手法

2-1 研究領域

研究対象の領域は東南アジアのボルネオ島である（図1）。ボルネオ島は世界で3番目に大きい島（約74.3

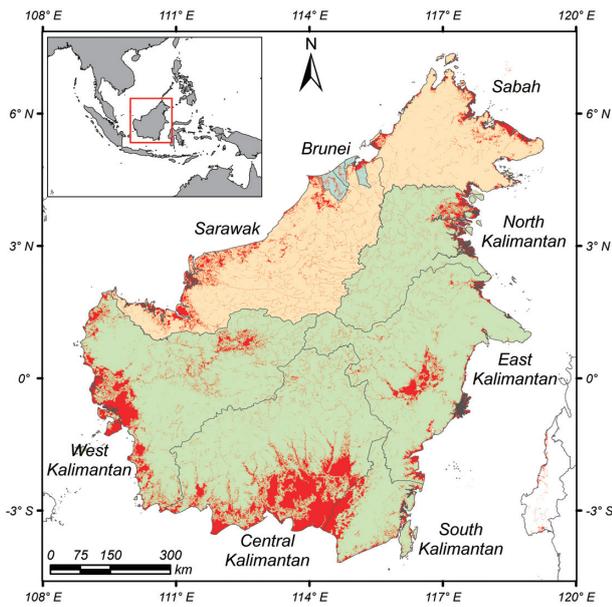


図1. 解析域のボルネオ島 緑色はインドネシア領、橙色はマレーシア領、赤色は泥炭域⁽¹⁴⁾を示す図は Shiraishi et al. (2023)⁽¹⁵⁾から引用した

Mha)で、インドネシア・マレーシア・ブルネイの3ヶ国の領土である。インドネシアは、北・東・西・中央・南カリマンタン州の5州、マレーシアは、サバ州・サラワク州の2州で構成される。島は赤道を挟んで北緯8度から南緯5度、東経108度から120度の間に位置し、ケッペン気候区分の熱帯雨林気候に区分される。季節は、湿った北東モンスーンの影響を受け11月頃から3・4月頃まで雨季、乾燥した南西モンスーンの影響を受ける5月頃から10月頃まで乾季に区別される。

2-2 データ

土地利用図を作成するために、NASAが運用するModerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)MCD43A4 Version 6を使用した。MCD43A4は7バンドの観測データと品質データを有し、日次の観測頻度、約500mの空間分解能である。

機械学習による土地利用分類のための特徴量は総計228種を生成して使用した。MCD43A4の7バンドデータを基に、毎日のデータから、画素ごとに1年間の平均・標準偏差・最大値・最小値・範囲・傾き・歪度・尖度を算出した。また、特定のバンドデータを組み合わせで算出できる13種類の指数を使用した。さらに、画素単位の特徴量とは別に、これら全データのウィンドウサイズ9×9の平均値・標準偏差も算出し使用した(詳細はShiraishi et al. (2023)⁽¹⁵⁾を参照)。

機械学習による土地利用分類において、分類モデルの

訓練と分類結果の検証に使用するトゥルスデータ(訓練と検証データ)は、ボルネオ島全域を対象に2000年と2016年でそれぞれ約6700地点を設定し、各地点の土地利用種別をGoogle Earth Proから目視判読によって設定した。トゥルスデータは各年のデータが同一地点となるように設定した。

2-3 土地利用図の作成と土地利用変化面積の算出

光学衛星データMCD43A4からの土地利用図の作成は、図2の手順により、機械学習を使用して画素単位で土地利用分類を行った。MCD43A4のオリジナルデータは研究領域の部分的なデータであるため、ボルネオ島全域をカバーするように1つの画像データとしてモザイクした。光学データの特徴として、被雲や煙霧などの影響を受け地表面情報が得られないという短所がある。ここでは年単位で土地利用図を作成するため、処理対象年の最新データ(12月31日)を基準に特徴量を算出するが、被雲などの影響で地表面情報が得られない場合は、12月31日以前のより新しく有効なデータを最新データとするコンポジット処理を行った。ただし、1年間を通じて有効なデータがない場合は、該当画素を分類対象から除外し、土地利用図の作成後に周囲画素から最多の土地利用種別に決定した。土地利用分類は、トゥルスデータを5等分し、訓練データと検証データをそれぞれ4対1で分けた5種の組み合わせにより、5回の土地利用分類を行った。つまり、年ごとに5種の土地利用図を作成した。この5種の土地利用図の画素ごとに、最多の土地利用種別を選択することにより年ごとの土地利用図を作成した。最後に後処理として、一度オイルパーム農園と分類された領域(画素)は、その年で降継続してオイルパーム農園とする処理を加えた。また、都市域や水域として分類された領域が、次の年に森林と分類された場合は、低木/草地として修正した。これらの後処理は、現実的に考えにくい土地利用変化が、衛星データのノイズや分類精度の影響などで誤分類されることを防ぐ目的で追加した。

土地利用変化の検出は、最終的に作成された2000年から2020年までの年次土地利用図から、土地利用種別ごとに面積を算出した。

2-4 評価

作成した年次土地利用図は、森林・低木/草地・オイルパーム農園・都市・水域の5種類の土地利用種別を持つ土地利用分類と、森林と低木/草地・オイルパーム農園・都市・水域の4種を非森林としてまとめた2種類の

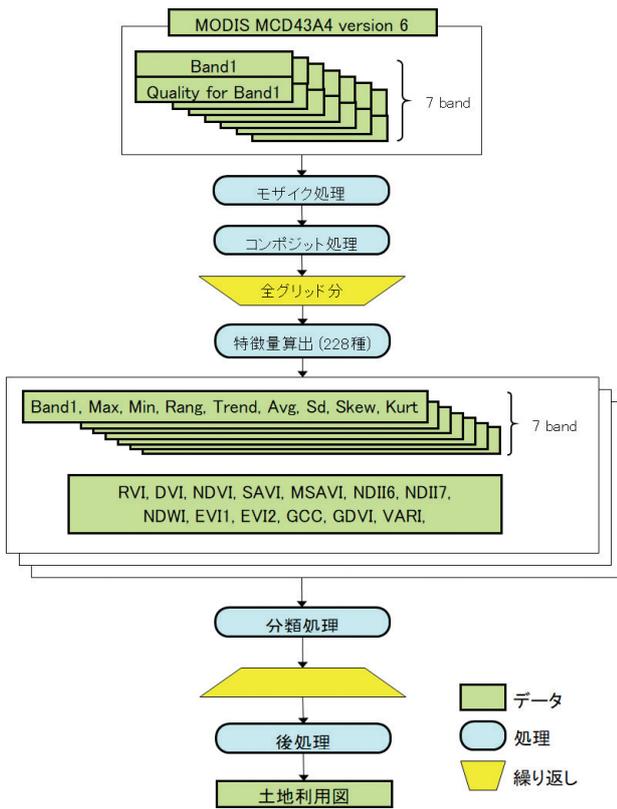


図2. 土地利用図の作成手順

森林／非森林分類とで分類精度を評価した。評価方法は5分割の交差検定を行った。土地利用分類は、5分割されたトゥルスデータを4対1で機械学習モデルの訓練データと分類結果の検証データに分割して行った。従って、組み合わせにより5種の土地利用図が作成されるため、各土地利用図に対応した検証データにより個別に分類精度を算出した。その後、最終的な分類精度は、5種の各評価結果を総計して算出した。

土地利用分類後、後処理により最終的に土地利用図が完成した。そこで、最終的な土地利用図の精度は、土地利用図とトゥルスデータとの一致度を精度とした。森林とオイルパーム農園に関する面積とその年次変化は2000年から2016年までのボルネオ島全域で Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾の研究と比較評価した。

3. 結果

3-1 機械学習による土地利用分類

ランダムフォレストアルゴリズムを使用して2000年から2020年まで年単位で土地利用分類を行った分類精度を図3に示す。図3 (a) の総合精度に注目すると、2000年から20年間の土地利用分類の平均精度は $90.3 \pm 3.4\%$

(± 1 標準偏差), 森林／非森林分類の平均精度は $93.5 \pm 1.9\%$ である。森林／非森林分類に対して土地利用分類の精度が低い結果は、非森林域の4クラスで誤分類が多く発生したことを示唆する。

正しく分類された教師データの割合を示す作成者精度(図3 (b))に注目すると、20年間の平均分類精度は、森林が $93.2 \pm 0.8\%$, 低木／草草が $87.5 \pm 0.8\%$, 都市が $80.2 \pm 2.4\%$, 水域が $88.2 \pm 2.2\%$ という結果に対し、オイルパーム農園は $18.7 \pm 14.7\%$ であり精度が低い。しかし、正しく分類されたデータの割合を示す使用者精度(図3 (c))に注目すると、オイルパーム農園は $96.2 \pm 3.8\%$ と精度が高い。これは、分類モデルがオイルパーム農園であると推定した領域は精度高く分類できたが、トゥルスデータがオイルパーム農園である多くの領域を別の土地利用種別に分類したことを示唆する。

低木／草草の使用精度は5種類の土地利用種別の中で最も低い $77.8 \pm 2.0\%$ であり、作成者精度のオイルパーム農園の精度が2000年から2005年にかけて 58.5% から 6.5% に低下した際に、使用者精度の低木／草草の精度が 81.6% から 75.7% に低下した結果から、多くのオイルパーム農園を低木／草草と誤分類したことが示唆される。

3-2 土地利用図

土地利用分類後の後処理により最終的に得られた土地利用図の精度を図4に、2000年と2020年の土地利用図を図5に示す。図4 (a) の総合精度は土地利用図が $92.5 \pm 1.4\%$, 森林／非森林図が $94.7 \pm 0.8\%$ とどちらの精度も高い。また、土地利用図の各種別に対する作成者精度と使用者精度の平均値はそれぞれ、森林が $93.2 \pm 0.8\%$ と $96.4 \pm 1.8\%$, 低木／草草が $91.7 \pm 2.3\%$ と $88.7 \pm$

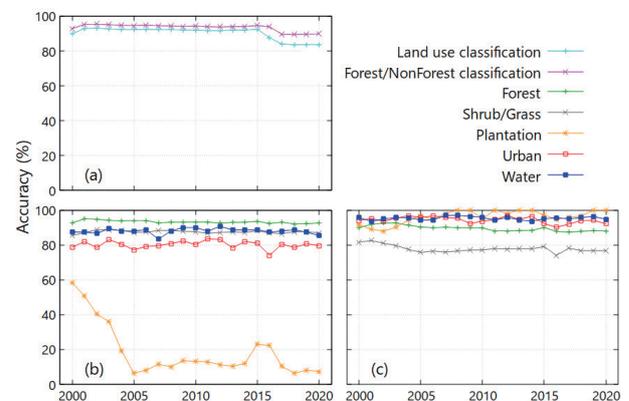


図3. 土地利用分類の精度 (a) は土地利用分類と森林／非森林分類の総合精度, (b) と (c) はそれぞれ土地利用分類の生産者精度と使用者精度を示す

1.6%, オイルパーム農園が $91.6 \pm 7.3\%$ と $85.7 \pm 2.4\%$, 都市が $92.9 \pm 3.3\%$ と $95.8 \pm 1.7\%$, 水域が $94.1 \pm 3.5\%$ と $94.0 \pm 1.4\%$ であった。特に, 機械学習による分類精度が低かったオイルパーム農園が作成者精度と使用者精度共に85%を超え, 作成した土地利用図が精度高くトゥールズデータを反映した結果であることを示した。

3-3 土地利用変化

作成した土地利用図において, 2000年から2020年の土地利用種別ごとの面積の年次推移を図6に示す。ボルネオ島における5種の土地利用種別の中で最も広い面積の

土地利用種別は森林であった。2000年時点では島の約56%を占めていた森林が, $0.7\% \text{year}^{-1}$ の減少率で2020年に約52%まで減少した。森林以外の4種類の土地利用種別は2000年からの20年間で低木/草地は3%, オイルパーム農園は185%, 都市域は26%, 水域は27%面積が拡大した。特に, 北部のマレーシアサバ州と, 南西部のインドネシア中央・南カリマンタン州にオイルパーム農園が拡大していることが視認できる(図5)。東南アジア域における森林域が減少して農地が拡大しているという先行研究と同様の結果が本研究の解析からも示唆された。

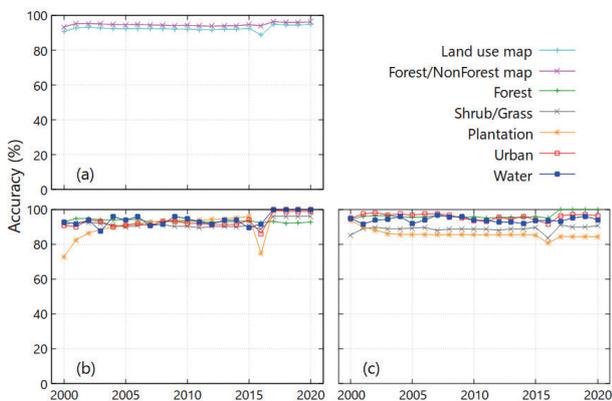


図4. 土地利用図の精度 (a) は土地利用図と森林/非森林図の総合精度, (b) と (c) はそれぞれ土地利用図の生産者精度と使用者精度を示す

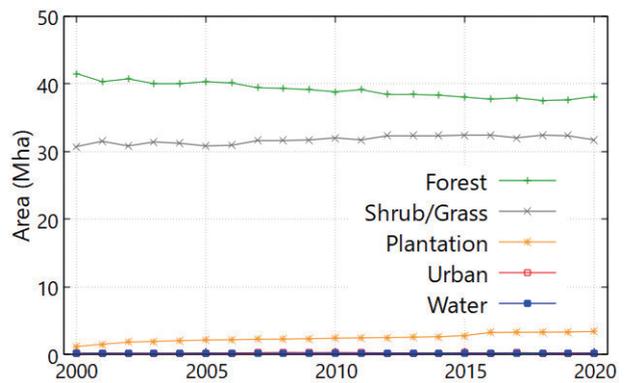


図5. 土地利用種別ごとの年次面積変化 緑色は森林, 灰色は低木/草地, 黄色はオイルパーム農園, 赤色は都市, 青色は水域を示す

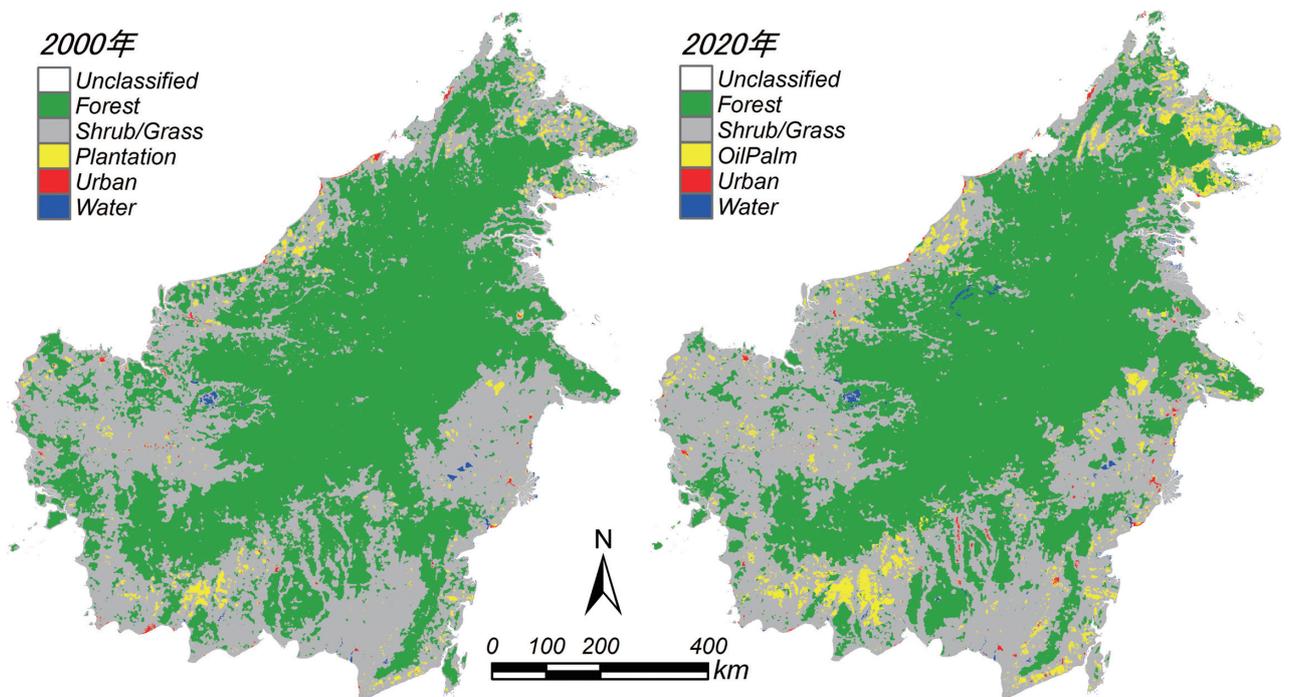


図6. 2000年と2020年の土地利用図 緑色は森林, 灰色は低木/草地, 黄色はオイルパーム農園, 赤色は都市, 青色は水域を示す

4. 考察

森林面積について Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾と比較する。2000年と2015年の森林面積は、本研究がそれぞれ41.5Mhaと38.0Mha、Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾が41.9Mhaと37.3Mhaであった。両者の推定結果による森林面積は、わずか1%程度の相違であり、共に、2000年からの15年間に森林面積が減少したことを示した。同様に、オイルパーム農園面積の2000年と2015年の比較は、本研究がそれぞれ1.2Mhaと2.8Mha、Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾が3.6Mhaと9.2Mhaと推定結果に大きな差が生じた。本研究の土地利用分類の分類精度で示されたように、オイルパーム農園の分類精度は低く、トゥルースデータがオイルパーム農園である地点の多くが他の土地利用種別に分類されていたことがこれらの差が生じた要因である可能性がある。中程度の空間解像度の光学データ (MODIS) において、成熟したオイルパーム農園は低木域や森林域と見分けることは人間による目視判別も含めて非常に困難である。Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾は機械学習による自動分類の後、現地専門家の手作業により土地利用図の更新が施されている。Gaveau et al. (2016)⁽¹¹⁾の土地利用図を Google Earth Pro にて目視確認をしたところ、オイルパーム農園域の中には、裸地・草地・低木域と思われる領域も多くあった。オイルパーム植林前の未開発地を含めて、開発初期の領域をオイルパーム農園として土地利用図を作成している可能性が考えられる。これらの詳細な土地利用情報は機械学習の訓練データとして、また土地利用図の評価データとして非常に重要である。高精度の土地利用図の作成のために正確なトゥルースデータの作成は不可欠であり、Google Earth Pro による目視判読だけでは得られない現地情報の収集のために現地の専門家とのコラボレーションは重要である。

5. おわりに

本研究は衛星光学データに機械学習を適用して2000年から2020年におけるボルネオ島の年次土地利用図を作成した。これらの結果から、ボルネオ島の森林減少とオイルパーム農園の拡大が示唆された。土地利用図の作成は、森林/非森林域において20年間の平均で94%を超える分類精度であったが、オイルパーム農園の分類に課題が残った。土地利用分類の精度向上のために、地上バイオマス計測に有用である合成開口レーダデータ、森林の

鉛直構造が計測可能なライダーデータなど、光学データに加えて異なる特性を持つ衛星データの適用が解決策として考えられる。気候変動の適応と緩和に対する取り組みの1つとして、新たなデータを加えた分類アルゴリズム開発やデータ分析に持続的に取り組む必要がある。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP19H05666の助成を受けたものである。解析に使用したMCD43A4はUSGS EROS センターを通じNASA LP DAAC から入手した。記して感謝の意を表す。

参考文献

- (1) Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). State of the World's Forests 2016. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome.
- (2) Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Global Forest Resources Assessment 2020—Key findings. Rome.
- (3) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers Approved Draft.
- (4) Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342 (6160), 850–853.
- (5) Koh, L.P. and Wilcove, D.S. (2007) Cashing in palm oil for conservation. *Nature*, 448 (7157), 993–994.
- (6) Fitzherbert, E., Struebig, M., Morel, A., Danielsen, F., Bruhl, C., Donald, P., & Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution*, 23 (10), 538–545.
- (7) Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. (2011).

- Global and regional importance of the tropical peatland Carbon Pool. *Global Change Biology*, 17 (2), 798–818.
- (8) Langner, A., Miettinen, J., & Siegert, F. (2007). Land cover change 2002–2005 in Borneo and the role of fire derived from Modis imagery. *Global Change Biology*, 13 (11), 2329–2340.
- (9) Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W. A., Lu, X. X., Idris, A., & Anshari, G. (2012). Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9 (3), 1053–1071.
- (10) Langner, A., & Siegert, F. (2009). Spatiotemporal fire occurrence in borneo over a period of 10 years. *Global Change Biology*, 15 (1), 48–62.
- (11) Gaveau, D. L., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M. A., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P., & Meijaard, E. (2016). Rapid conversions and avoided deforestation: Examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Scientific Reports*, 6 (1).
- (12) Indonesian National Carbon Accounting System (INCAS). (2017, February 27). Retrieved September 22, 2021, from <http://incas.menlhk.go.id/>.
- (13) Shiraishi, T., Motohka, T., Thapa, R. B., Watanabe, M., & Shimada, M. (2014). Comparative assessment of supervised classifiers for land use-land cover classification in a tropical region using time-series palsar mosaic data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7 (4), 1186–1199.
- (14) Gumbrecht, T., Román-Cuesta, R. M., Verchot, L. V., Herold, M., Wittmann, F., Householder, E., Herold, N., & Murdiyarso, D. (2017). Tropical and subtropical wetlands distribution version 2. Bogor City, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- (15) Shiraishi, T., Hirata, R., Hayashi, M., & Hirano, T. (2023). Carbon dioxide emissions through land use change, fire, and oxidative peat decomposition in Borneo. *Scientific Reports*, 13 (1).

〔論 文〕

Onomatopoeia in a Japanese-to-English Translation of *All Out!!* – a Case Study

Martin TESHOME*

*Department of Business and Economics, School of Business and Economics,
Nippon Bunri University

Abstract

There have been various approaches to the connection between signs and their meanings. While some scholars have argued that sounds are entirely arbitrary, there have been arguments that certain sounds are likely connected to certain meanings. This paper considers these two approaches while examining onomatopoeic expressions in a Japanese-to-English translation of the *manga* *All Out!!*. It looks at the original solutions the translator found to deal with onomatopoeia with no English counterparts and evaluates to what extent they relied on either already fixed combinations of sounds or used the phonological properties of English sounds to convey a meaning similar to the original. The examined expressions were found to be on a cline with varying degrees of traceable motivation, i.e., obvious phonological features with a certain communicative function. It appears, however, that none of the novel onomatopoeia were selected entirely arbitrarily unless their meaning was fixed, such as in the use of verbs to translate onomatopoeia.

キーワード：オノマトペ, 恣意性, 記号, 漫画

Keywords : Onomatopoeia, arbitrariness, signs, *manga*

1 Introduction

Signs are essential for interaction, encoding information into elements and giving them a communicative function. To fulfil this function, conventions for their use and meaning are necessary. Signs have been considered either arbitrary or motivated. The latter approach (laid out by social semiotics) suggests that some of their properties make them more suitable for certain uses or to express certain meanings, while the former (proposed by Saussure, 2011) does not see signs this way.

To illustrate the points made in this paper's discus-

sion, onomatopoeia in the translation of a Japanese *manga* will be used. According to Littlemore (2009), Japanese uses a wider range of onomatopoeic expressions than English. When translating *manga* from Japanese into English, the translator needs to deal with the variety in the source text by finding original solutions, as Petersen (2009) points out. To what extent can these expressions qualify as 'fixed' onomatopoeia that the English language reader will be familiar with? To what extent are they idiosyncrasies of the sign producer (or, in the case of this paper, the translator)? Conversely, if they are fixed, to what extent are they decontextualised? If they are idiosyncrasies, what makes an onomatopoeia (or 'SFX' – short for 'sound effects' – in *manga* jargon) suitable to represent the given real-

world sounds or meanings? This paper will use several *manga* SFX to discuss possible answers to these questions in relation to the applicability of Saussure's framework or social semiotics in order to examine to what extent onomatopoeic expressions are fixed. Furthermore, a psycholinguistic perspective will be added.

Section 2 will introduce the general terms used in Saussure's framework and social semiotics to lay out a clear base for discussion. It will also describe these frameworks' approaches to arbitrariness and motivation. Due to its relevance to onomatopoeic expressions, a psycholinguistic view on sound symbolism will also be introduced. Section 3 will introduce and justify the choice of SFX as multimodal signs. The arguments made in this paper will be discussed and illustrated with specific examples in section 4. Section 5 will discuss the overall implications for motivation and arbitrariness in signs. First, I will lay out the terms used in this discussion.

2 Signs, motivation and sound symbolism

There are various perspectives on the use and perception of signs. This section will introduce the frameworks relevant to the paper's discussion.

2.1 Sign and semiotic resource

Saussure is considered the founder of the discipline he named *semiology* or a "science that studies the life of signs within society" (Saussure, 2011, p. 66). His starting point for the examination of signs is language. A linguistic sign, he says, "unites...a concept and a sound image" (2011, p. 66). For example, the sign expressed as 'tree' consists of the concept of a tree (the plant) and the sound image of the word. However, Saussure realises that this definition could restrict semiology and proposes "to retain the word *sign* to designate the whole and to replace *concept* and *sound-image* respectively by *signified* [*signifié*] and *signifier* [*signifiant*]" (2011, p. 66). In the 'tree' example, the sounds made when uttering the word (or its written letters) are the signifier, and the concept of a plant with a stem of wood is the signified. In the case of onomatopoeia in comic books, the signifier is the written expression, and

the signified is the sound or concept it is meant to represent, making 'signifier' and 'signified' more suitable than 'sound image' and 'concept'.

The social semiotics framework builds on this idea. However, with reference to Systemic Functional Grammar, it sees language as a "resource for making meanings" (Halliday, 1978, p. 192). As such, signs are not considered fixed but determined and formed by their use, i.e. they are context-specific. In social semiotics, therefore, the term *resource* is preferred, as Van Leeuwen points out (2005, p. 3), used similarly to *signifier* in Saussure's terms. Resources, in turn, have "semiotic *potential*" or "potential for making meaning" (2005, p. 4).

Another relevant term, *affordance*, is introduced by Gibson (1979). Defined as the potential uses of a given object, it may appear identical to potential. There is, however, a difference in perspective. Van Leeuwen explains that "different observers might notice different affordances, depending on their needs and interests and on the specifics of the situation at hand" (2005, p. 4). Thus, the focus is on the perception of the sign's receiver. He also points out the similarity with "the Hallidayan concept of 'meaning potential', in which linguistic signifiers – words and sentences – have a signifying *potential* rather than specific meanings" (2005, p. 4). For example, an Italian friend of mine was perplexed to see the word 'due' on the signboard at a London bus stop. Its written form is identical to 'two' in his native language. In this case, the English affordance meaning 'coming soon' is relevant, whilst an Italian speaker may observe the affordance meaning a confusingly random Italian number in an otherwise English context.

The difference between the two terms can also be described in the way that potentials are "meanings that have already been introduced into society" while "affordance also brings meanings that have not yet been recognized" (Van Leeuwen, 2005, p. 4). In other words, when an affordance becomes suitable for expressing a certain signified (in Saussure's terms), it becomes potential. Kress describes this process as follows: "[T]he production of signs takes place in a situation of ever-

increasing tension between the meaning of existing signs, which provide the signifiers[...]and the producer's need or wish to produce new signs" (1993, p. 173). This is highly relevant to a situation where a sign maker creates new onomatopoeic expressions in comic books, making use of the affordances of certain sounds and, in some cases, helping to create meaning potential if the expression becomes gradually conventionalised.

Kress also points out that "signs are always *motivated* by the producer's interest and by the characteristics of the object" (1993, p. 173, italics added). It is this type of motivation to which the next subsection turns.

2. 2 Arbitrariness and motivation

How do sign makers choose signifiers or semiotic resources? Saussure says that this choice is entirely arbitrary. He maintains that arbitrariness does not mean randomness, stating that "[t]he term [arbitrary] should not imply that the choice of the signifier is left entirely to the speaker...[but] that it is unmotivated, i. e. arbitrary in that it actually has no natural connection with the signified." (2011, pp. 68–69). This suggests that he sees the choice of signifiers as based purely on convention. 'Tree' means what it means to an English speaker, not because of any inherent properties of the word's sounds but because English speakers have agreed that those sounds (and letters in written language) will be used to express the concept.

However, Saussure does not deny the existence of motivation in language. He believes that, despite the "fundamental principle of the arbitrariness of the sign", it is possible to distinguish "what is radically arbitrary, i.e. unmotivated, and what is only relatively arbitrary" (2011, p. 131). Japanese cardinal numbers above 10 could serve as an example. For instance, *jū-ichi* (eleven) consists of the words for ten (*jū*) and one (*ichi*). This suggests that Saussure sees motivation as a way for the human brain to organize signs.

This concept of motivation differs somewhat from the one used in social semiotics. Kress says that all humans (and not only humans) share "highly general *semi-*

otic principles", most significantly that there is a 'motivated relation' between the form and meaning of the signs that they make (2010, p. 9). It is worth noting that social semiotics sees language merely as one of several modes of communication. Kress (2010) refers to Chomsky (1965) and his concept of 'innate' linguistic competence that humans naturally possess. While he agrees with the noble implications of such a concept, he suggests replacing the term *linguistic competence* with "*social, semiotic communicational principles and dispositions* – which include *linguistic* as one instance" (Kress, 2010, p. 9). This approach would allow the examination of human communication beyond spoken or written language. It also enables the examination of onomatopoeia as multimodal signs rather than as a purely linguistic feature.

Kress goes on to give the three most important examples of "principles shared by all cultures: (1) that *signs are motivated conjunctions of form and meaning*; that conjunction is based on (2) *the interest of the sign-maker*; using (3) *culturally available resources*" (2010, p. 10). These principles imply that sign makers decide what signs to make and how to make them based on their interests and that they use means of expression recognised by the culture they are making these signs in. These principles can also be tied to the relation between affordance and potential, as introduced in subsection 2. 1.

To summarise the differences between the two approaches, Saussure's framework sees the relation between signified and signifier as always arbitrary and never fully motivated. In social semiotics, conversely, all signs are considered motivated by the sign maker's interests and available resources. At this stage, it appears that the concept of motivation used in the social semiotics framework offers a better explanation for the creation of onomatopoeic neologisms in *manga* because it justifies the use of expressions previously unknown to their reader. If these were entirely arbitrary, they would not be likely to fulfil a communicative function. Furthermore, if they truly are the translator's idiosyncrasies, perhaps their components (and the meaning potentials or affordances of those) help the reader identify

the signs' communicative purpose. The next subsection will examine how that may be possible.

2.3 Sound symbolism

Onomatopoeia appear to have a peculiar place in various languages. For example, Aitchison, who agrees with the notion of arbitrary signs, recognises that a few onomatopoeic expressions are not arbitrary (2012, p. 262). She adds that there is variation between languages and that "individual languages may build up idiosyncratic associations between certain sound sequences and particular meanings" (2012, p. 262). I will elaborate on this concept when introducing phonaesthemes later in this subsection.

Aitchison (2012, p. 262) cites Köhler's (1947) experiment in which German subjects were given "two line drawings, one composed of curves, the other of spikes and angles". Their task was to label each of them either 'maluma' or 'takete'. Overwhelmingly, 'maluma' was chosen for the rounded drawing and 'takete' for the spiky one. She adds that the experiment was replicable in other countries (2012, p. 262), suggesting that we may associate sounds with concepts at a deeper level. This idea may be crucial when examining onomatopoeia. However, she warns of drawing hasty conclusions, saying that "this slender thread of sound symbolism [...] appears to exist with respect to forced choices between nonsense words, but largely fades away in actual language use" (2012, p. 262). In other words, this basic connection between sound and concept, or – in semiotic terms - signifier and signified, gets gradually lost once the expression stops being just 'sounds' but becomes a part of a language's vocabulary. For example, it may be hard to trace a connection between the concept and sound image of lexicalised words, such as 'water'. Nevertheless, it appears that, from a psycholinguistic perspective, not all relations are considered arbitrary and onomatopoeic expressions can have a clearer, or motivated, connection between signified and signifier.

Saussure says that onomatopoeia "might be used to prove that the choice of the signifier and signified is

not always arbitrary" (2011, p. 68). However, he challenges this claim by saying that they "are only approximate and more or less conventional imitations of certain sounds" (2011, p. 68). Conversely, using the social semiotic framework, it could be argued that sign makers who use onomatopoeia take the given language's available resources (its phonological repertoire) and create a sign that suits their interest of mimicking a sound or (frequently in the case of Japanese) a concept. How these differ from language to language can partly depend on the extent to which they are 'fixed' in each of them.

From a cognitive linguistic perspective, Littlemore sees onomatopoeia as a type of "sound symbolism' in which form and meaning are related" (2009, p. 150). As such, they would move away from arbitrariness as described by Saussure. Littlemore points out the wide range of onomatopoeia in Japanese but adds that "sound symbolism is also present, albeit to a lesser degree, in English" (2009, p. 151). She sees a connection between a word's meaning and "the residual meaning of sounds, or phonological clusters" (2009, p. 151). These have been termed by Bergen as *phonaesthemes* (2004, p. 290). For instance, English words starting with 'gl' are often connected with brightness (e.g.: 'glitter' or 'glint'), and words starting with 'sn' often have a connection with the nose (e.g. 'sniff' or 'snore') (2004, p. 290). Littlemore explains that this connection can be etymological, e.g.: the Old/Middle English word for 'brightness' being 'glit' (2009, p. 151). There are, however, phonological clusters that do not appear to have such a connection, such as words ending with '-udge', which, according to Shore, imply 'heavy stickiness' (1996). Whatever the origin, it appears that the concept of phonaesthemes may shed light on why some sounds are intuitively perceived as more suitable to express certain meanings. This feature may be important when dealing with novel and unusual onomatopoeic expressions.

3 Onomatopoeia in Japanese *manga* as multimodal signs

Having laid out the basic theoretical framework for

the discussion, I will describe what makes onomatopoeia, specifically when used in *manga*, a type of multimodal sign. Kress says that “all signs are multimodal” (1993, p. 187). In the case of written language, it could be argued that there are already at least two ‘modes’, that of writing and that of the word’s sound image. In the case of comic books, this multimodality is even more pronounced due to the inclusion of visual images. Moreover, SFX are typically placed in the same frame as the image, without the use of word balloons common for dialogue (e.g.: ‘gwrong’ and ‘whomp’ in Figure 1). Van Leeuwen says that frames are an important device used in all kinds of communications, because “connected elements will be read as belonging together” (2005, p. 7). This means that the SFX are meant to evoke a sound being produced simultaneously with the represented event. Also, framing has various *degrees* (Van Leeuwen, 2005, p. 14). In *manga*, for instance, a panel is a frame, whereas word balloons are frames within that frame. This enables various degrees of detachment or connection.

Petersen says that SFX are prominent in *manga* because of a long tradition of storytelling in Japan and characteristic features of the Japanese language (2009, pp. 163–167). He also compares American comics and Japanese *manga*, noting that onomatopoeic expressions are more frequent in the latter. This, he points out, requires translators to find original solutions (2009, pp. 165, 169). He says that *manga* exploits a phenomenon referred to as ‘subvocalization’, which is “a natural habit of readers to imagine the sound through inaudible speech movements of the lips and throat” (2009, p. 164). They can be, therefore, seen not only as a visual means of communication but also as auditory (albeit imaginative).

It appears that SFX have a quasi-auditory nature and are integrated as visual elements in *manga*. This makes them multimodal signs. In the next section, I will examine several specific examples.

4 English SFX in *All Out!!*

To illustrate the points made and examine the fea-

tures discussed so far, I will use several pages from the first volume of *All Out!!* by Shiori Amase (2017). The translator’s name is not published online. It is a sports *manga* about high school students who take up playing rugby. In my experience working for a *manga* publisher, sports *manga* is a dynamic genre with a relatively high frequency of SFX supporting the narrative. Therefore, it offers a wide range of SFX for examination.



Figure 1 “All Out!!” p. 10
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

Figure 1 shows two SFX on page 10 that read ‘gwrong’ and ‘whomp’. An English speaker might find the latter’s inclusion natural. It is an example of *giongo*, which Petersen describes as “words that mimic real sounds” (2009, p. 167). However, the picture including ‘gwrong’ does not suggest any sound production. ‘Gwrong’ expresses the characters’ surprise. Petersen refers to this type of onomatopoeia as *gitaigo* and defines them as “words that mimic psychological states and non-auditory sounds” (2009, p. 167). ‘Whomp’ is, according to the Merriam-Webster dictionary, an existing expression in American English. However, ‘gwrong’ is uncommon in everyday English. Furthermore, *gitaigo* are, as Littlemore points out, absent in English altogether (2009, p. 150). This can raise questions as to what extent its use is motivated. It could also suggest that it is composed of phonaestemes and has affordances or potentials that make it suitable for the context.

There are two SFX on page 11, 'irk' and 'snap'. In these cases, the translator used existing verbs to translate the *gitaigo*.



Figure 2 “All Out!!” p.11
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

The SFX on page 12 read 'grab', 'vwump' and 'loooooom'. The logic behind the use of 'grab' and 'loooooom' is the same as that for 'irk' and 'snap' on the previous page. 'Vwump', conversely, is not a part of English vocabulary (according to the Macmillan, Merriam-Webster and Collins online dictionaries), but it displays phonetic similarities with 'whomp' from page 10. The contexts could imply that '-omp' or '-ump' evoke a quick, possibly violent, movement, similar to '-ack' (as in 'smack' or 'whack').

The first panel on page 13 shows the SFX 'rmb' four times. The original *go* resembles *gu* from the previous page, but there is no correlation in the English translation. Also, the repetition of the SFX in tandem with the context suggests that it does not express movement but either lack thereof or a psychological state, making it another example of *gitaigo*. The SFX in the second panel, 'grrrk' is not an English word either. It appears to illustrate strenuous effort, but more similar examples would be needed to determine to what extent this choice is motivated. The last SFX on this page is a repetition of 'stomp', another verb.



Figure 3 “All Out!!” p. 12
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)



Figure 4 “All Out!!” p.13
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

Moving on to SFX on pages 22 and 23, the first SFX on this double page, ‘wham’, is a more conventional way of representing an impact. In the second panel, a somewhat similar movement is expressed using ‘whump’. While this one may not be as common, it ap-

pears to follow that pattern of the sound combinations ‘o-m’ and ‘u-m’, possibly followed by a ‘p’ (e.g.: ‘thump’) representing abrupt movement or impact. It could be argued that these seemingly arbitrary letter combinations contain phonaesthemes and their use is, therefore, motivated. The remaining SFX on this double page are verbs illustrating represented actions.



Figure 5 “All Out!!” p.22
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

An SFX on page 27 relatively resembles the original. ‘Kssh’ is a translation of the original *gasha* and illustrates the rattling of a chain-link fence.



Figure 7 “All Out!!” p.26
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)



Figure 6 “All Out!!” p.23
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)



Figure 8 “All Out!!” p.27
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

This choice looks straightforward due to the proximity of the real-world sound to the phoneme 'sh' in both languages. Less obvious is the choice of 'fwup' in the second panel. The SFX accompanies an image showing a quick movement of the character turning around. It is not as abrupt and has a smaller range, but it represents speed, similarly to 'vwump' on page 12. This could indicate that the combinations 'fw' or 'vw' evoke a kind of 'airiness' or speed of movement without necessarily being large or violent. This translation could be motivated by how English language readers perceive these sounds, as the originals *gu* and *basa* bear no resemblance. The only SFX on page 27, 'tff', could be similarly motivated to express a rustle or a quick movement of the character's foot. The former could be motivated by the similarity of a rustling sound with the phoneme 'f'.

The reason for this movement becomes clear on the following page, where the character turns to another character.



Figure 9 "All Out!!" p.28
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

Page 29 shows two relatively similar SFX, 'whump' (cf. page 22) and 'fa-whomp'. Both expressions appear to support the assumption about the '-om (p) /um (p)' phonaestheme and its function of representing abrupt movement or impact, with indications of motivation. Furthermore, 'wh' at the beginning of an SFX or syllable seems to be an orthographic means for expressing this type of movement, e.g.: the more common 'wham' or 'whack'.

Finally, I would like to move on to pages 32 and 33. The first SFX, 'rahhh', could be classified as a caption, expressing vocal sounds made by the characters.

On page 33, there is the SFX "vwoosh", which would support the idea about the 'vw' combination used to represent quick movements through air.



Figure10 "All Out!!" p. 29
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)



Figure11 "All Out!!" p.32
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)



Figure12 "All Out!!" p. 33
(Amase, Shiori. 2017. Kodansha)

These examples indicate that English language readers may recognise affordances in certain sound combinations which, in some cases, have gained meaning potential at word level. For example, 'fw' has the affordance to indicate quick, 'airy' movement while a conventionalized SFX such as 'wham' has the meaning potential to illustrate or represent an impact. In the next section, I will discuss the implication this has for a discussion of motivation and arbitrariness.

5 Arbitrariness and motivation in *manga* SFX

Here I revisit the questions raised in the introduction: To what extent do SFX qualify as 'fixed' onomatopoeia that the English language reader is familiar with? The examples discussed in this paper indicate that because English lacks a repertoire of fixed onomatopoeia to match that of Japanese, the translator may compensate for this deficiency by inventing new expressions or using expressions that are not conventionally a part of the English lexicon. They may be fixed to a certain extent, but there is still room for the creative use of the affordances of phonological components and the meaning potentials of existing expressions.

It was difficult to judge to what extent the examined SFX are the translator's idiosyncrasies. For this purpose, it would be useful to create a multimodal and/or bilingual corpus of *manga* similar to that suggested by Andersen for sociolinguistic research (2010). Its use may also shed light on whether there are expressions that, although not found in an English dictionary, have become common and, to some extent, conventionalised in the *manga* genre.

The visual aspect of the *manga* examined in this paper indicated that SFX are not fully decontextualised. Whilst the translator did use several conventional English onomatopoeic expressions and regular English lexical items, such as 'grab' and 'stomp', they had to find original solutions that followed observable patterns. There are indications that if some of the expressions used in this translation are not fixed, it is their components, such as '-omp' or 'vw', that show signs of fixedness and decontextualisation. Decisions on their suit-

ability to represent the given meaning in the source text seem to be arbitrary to some degree but are occasionally motivated by phonological similarity (*gasha* and 'kssh').

Overall, it appears that this *manga* translation illustrates some motivation in signs. Some sound combinations appear to be arbitrary, possibly due to their lexicalisation. The social semiotics model seems to be more applicable in this case than Saussure's framework. The 'interest of the sign-maker' can be identified as an interest to add sound effects and the 'culturally available resources' can be conventionalised onomatopoeic expressions, lexicalised verbs or combinations of sounds with meaning potential.

6 Conclusion

This paper has discussed to what extent signs are motivated or arbitrary using examples from an English version of a Japanese *manga* to illustrate the points made and examine the features discussed. It appears that the social semiotics approach is more relevant to the discussion, as in a situation when onomatopoeic expressions need to be invented, motivation is key for comprehensibility. This motivation is realised within the boundaries of English phonology and the extent to which these new expressions resemble existing onomatopoeic expressions. The latter boundary, however, suggests that there is some 'fixedness' involved in the process. Psycholinguistic research has revealed that humans associate certain sound combinations with certain situations and feelings, suggesting that onomatopoeic expressions, as well as lexicalised expressions, exist on a cline. On one end, their motivation is easily traceable (e.g.: resemblance to real-world sounds). On the other end are lexical items whose motivated origins are harder to trace and can, therefore, be considered more fixed and arbitrary. Whether this fixedness is the result of motivated choices made by past users would be a topic for further research using, for example, multimodal corpora.

References

- Aitchison, J. (2012). *Words in the Mind: An Introduction to the Mental Lexicon*. (4th ed.). Wiley-Blackwell.
- Amase, S. (2017). *All Out!* (Vol. 1) [Online]. Kodansha. <https://kodanshacomics.com/series/all-out>
- Andersen, G. (2010). How to use corpus linguistics in sociolinguistics. In Anne O'Keeffe & Michael J. McCarthy (Eds.). *The Routledge handbook of corpus linguistics*. (pp. 547–562). Routledge.
- Bergen, B. K. (2004). The psychological reality of phonaesthemes. *Language*, 80 (2), 290–311.
- Chomsky, N. A. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin.
- Halliday, M. A.K. (1978). *Language as Social Semiotic*. Arnold.
- Köhler, W. (1947). *Gestalt Psychology*. Liveright.
- Kress, G. R. (1993). Against arbitrariness: the social production of the sign as a foundational issue in critical discourse analysis. *Discourse & Society*, 4 (2), 169–191.
- Kress, G. R. (2010). *Multimodality: a Social Semiotic Approach to Contemporary Communication*. Routledge.
- Littlemore, J. (2009). *Applying Cognitive Linguistics to Second Language Learning and Teaching*. Palgrave Macmillan.
- Petersen, R. S. (2009). The Acoustics of Manga. In Jeet Heer & Kent Worcester (Eds.) *A Comics Studies Reader*. (pp. 163–171). Univ. Press of Mississippi.
- Saussure, F. de (2011). *Course in General Linguistics*. Columbia University Press.
- Shore, B. (1996). *Culture in Mind*. Oxford University Press.
- Van Leeuwen, T. (2005). *Introducing Social Semiotics*. Routledge.
- Online dictionaries:**
- Collins. (n.d.) *Collins dictionary*. Retrieved September 2018 from <https://www.collinsdictionary.com/>
- Merriam-Webster. (n.d.) *Merriam-Webster dictionary*. Retrieved September 2018 from <https://www.merriam-webster.com>
- Macmillan. (n.d.) *Macmillan dictionary*. Retrieved August 2018 from <https://www.macmillandictionary.com>

〔論 文〕

日本人成人男女の体型を有する人体ファントムの検証 — 実用的な MIRD ファントムへの修正 —

亀井 修*, 衛藤 路弘*

*日本文理大学保健医療学部保健医療学科

Verification of a Human Phantom with the Body Shape of Japanese Adult Men and Women — Modifications to the Practical MIRD Phantom —

Osamu KAMEI*, Michihiro ETO*

*Department of Health Sciences, School of Health Sciences, Nippon Bunri University

Abstract

In Japan, since 2020, medical exposure records are required by law. Evaluation of organ doses during computed tomography (CT) examinations can be performed using tools such as WAZA-ARI. The body shapes of Japanese adults (JM-103 and JF-103) used for dosimetry were voxel phantoms created from CT data of the human body. Although voxel phantoms faithfully reproduce the human body, difficulties arise during the construction of dosimetry systems for radiation work involving complex postures. To address this challenge, we created a mathematical phantom (MIRD phantom) using human body phantoms (JM-103 and JF-103), organ size and position data from clinical images, and material data corresponding to each organ for dosimetry. We then confirmed that the MIRD phantom created by this method resulted in no specific practical problems compared to voxel phantoms such as JM-103 and JF-103.

キーワード：JM-103, JF-103, WAZA-ARI, MIRD ファントム, ボクセルファントム

Keywords：JM-103, JF-103, WAZA-ARI, MIRD phantom, Voxel phantom

1. はじめに

1) 日本の医療被ばくの現状

2019年3月の医療法改正に基づき、2020年4月より、放射線診療を受ける者の当該放射線による被ばく線量の管理及び記録、その他の診療用放射線の安全利用を目的とした改善のための方策を講じることが義務付けられた。

その背景として、医療被ばくについては被ばく線量の制限がなく、被ばくの低減については施設ごとの努力目標とされてきた経緯がある。しかし、日本においてはCT装置の保有台数が、人口100万人当たり米国の約45台に対し日本は約116台と世界の中でも特に際立っており (OECD 2023)¹⁾、国民一人当たりの被ばく線量も世界の中でトップレベルに位置付けられていることがその要因となっている。

2000年代に入ってから、CT スキャン装置の性能の進歩は目覚ましく、その検出器数も16, 32, 64, 128列と増加し、現在では320列のマルチスキャナCT装置へと進化している。その結果、CT検査時における被ばくが他の放射線診断による被ばく線量に比して、格段に多いことが医療現場の課題となっている。これに対して各CT装置メーカーは、自社の装置がいかに低線量であり、そして機能的にその配慮を施している旨の記述を行いつつながら他社の装置との差別化を図っているのが現状である。

2004年にイギリスのオックスフォード大学のBerringtonら²⁾は英国および他の14カ国の先進国のX線被ばくによる発がんリスクについて報告した。この論文の中で、BerringtonはX線診断の頻度は日本がもっとも高く、そして発がんの寄与リスクは日本が3.2%でもっとも高く、それは年間7,587の発がん死亡数の増加に相当すると報告した。また、日本以外の国の被ばくの寄与リスクについては2%未満としている。Berringtonはさらに、2009年の米国におけるCT検査件数の推定値を基に、同様な方法で発がんリスクを計算し、2007年の米国内のCT検査によって、将来的に約29,000のがん死亡者数が増加すると推定した。現在日本における医療被ばく線量は、このようなX線CT装置数の増加によって、Berringtonの論文の発表の時に比べて、X線検査数が更に増加していると危惧されている。

2) 医療被ばくの推定ツールについて

さて、医療における被ばく線量の推定値についてはWAZA-ARI³⁾(量子科学技術研究開発機構)はじめ、様々なシミュレーションツール⁴⁾⁵⁾が現在運用されている。その線量推定の際に使用されるファントムとしては、国際的な機関である国際放射線防護委員会(以下ICRP: International Commission on Radiological Protection)をはじめとして、日本においては国立研究法人日本原子力研究開発機構(JAEA)が中心となって作成したファントムを、一般ユーザーが研究のために使用できる体制ができています。しかし、ICRPおよびJAEAが提供するファントムはボクセル(以下voxel)ファントムであり、このファントムをPHITS⁶⁾(Particle and Heavy Ion Transport code System)コードなどのシミュレーションソフトで使用する場合は、体系の構築において一定の知識とデータ変換のツールおよび一定の処理能力を有する計算機が必要とされる。

CT検査時の被ばく量の測定法については、早くから標準化が進められてきた。1984年には、米国食品医薬局

(FDA: Food and Drug Administration)において、円筒形のアクリルファントムを使用した、回転中心の線量評価法(CTDI法 Computed tomography dose index)が提示された。

1996年には、国際原子力機関(IAEA: International Atomic Energy Agency)がBSS9⁷⁾(Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards)電離放射線に対する基本安全基準において、『IAEAガイダンスレベル』が提示された。このときのIAEAの線量評価法は、円筒形のファントムにタブレット状のTLDを挿入し、コンベンショナルCTのマルチスキャンでの回転中心での平均吸収線量で評価を行った。

2002年の国際電気標準会議(IEC: International Electrotechnical Commission)の『CTに対するX線装置の安全に対する特定要求項目』の中で、CTDI_{100c}, CTDI_{100p}, CTDI_w, CTDI_{vol}, DLP(Dose Length Product), などの測定方法が提示された。近年のCT装置では、CT検査の終了後、装置のコンソール上にCTDI_{vol}およびDLPの値を表示できるようになっている。しかし、CTDI法による測定方法は、頭部では16cm、そして腹部では32cm(IAEAは30cm)の円筒形ファントムの線量測定値であり、実際の被験者の被ばく線量を表してはいないという欠点があった。そこで、より人体の各臓器の被ばく線量を詳細に求めるために、モンテカルロ法を利用した、ImPACT法⁸⁾やCT-EXPO法⁹⁾が利用されて来た。この中で、ImPACT法は数学ファントムを、頭から骨盤まで5mmスライス厚の208スラブに分割し、NRPB-SR250¹⁰⁾のデータベースを利用して人体の27の臓器線量を求めることができるツールである。しかし、ImPACT法における線量評価の標準体格は、欧米人の体格を基準とした線量評価であり、体格の小さい日本人の体型では過大評価になることが懸案となっていた。また、欧米人の場合でも測定された被ばく線量は、あくまでも標準的な体型における被ばく線量評価であり、標準と異なる体型の場合は被ばくの推定値が正しい数値を表していないことに注意する必要がある。

2. ファントムの歴史と研究

わが国では日本人の体型にあった正確な線量評価を行うため、日本原子力研究開発機構でJM-103(男性)、JF-103(女性)のボクセルファントムを開発し、臓器の線量評価についてはそれぞれのファントムを使用し、PHITSコードを用いて行っている¹¹⁾。JM-103ファントムは、

身長が171cm, 体重が65kgであり, また JF-103ファントムは身長155cm, 体重52kgである。しかし, 正確な臓器線量を算定するためには, それぞれのファントムと検査を受ける日本人の実際の体型との違いから, 何らかの補正を行う必要がある。著者は, これまで JM-103ファントムおよび JF-103ファントムと, 臨床における被験者の体型との差異に対する補正方法について報告してきた¹²⁾。現在 Web 上で使用できる WAZA-ARI は, JM-103および JF-103を標準体型として, あらかじめ標準体型を「痩せ」および「太らせ」させたファントムを作成し, それらの評価結果のデータベースを構築して, CT 検査の臨床業務で遭遇する日本人の一般的な成人の男女の臓器線量の評価を行っている。

1983年放射線医学総合研究所（現在の量子科学研究機構）においては, Oak Ridge の MIRD (Medical Internal Radiation Dosimetry) ファントム（古典的数学ファントム: A mathematical model of a phantom）を日本人体型への変更を行った¹³⁾。その変更方法として欧米人より小さな日本人に合わせるため, Oak Ridge ファントムを一定の縮小率で再構築した¹⁴⁾。主な臓器の縮小率としては, 20歳の場合で, 体重を0.770倍, Liver 0.836倍, Lung 0.916倍, kidney 0.937倍, Spleen 0.752倍, ただし Pancreas は2.03倍とした。

1994に当時の日本原子力研究所（現在の原子力研究開発機構）の樋口らは, Oak Ridge 型の MIRD ファントムを構築して, モンテカルロシミュレーションによる臓器線量の推定を初めて行った。しかし, ICRP Publication 110¹⁵⁾において, MIRD ファントムではなく, 実際の人体の CT 検査で得られた画像データから構築した Voxel ファントムを使った臓器線量の推定を行うこととした。それらのファントムは男性型が AM, 女性型が AF と呼ばれ, AM は身長176cm, 体重73kg, また AF は身長163cm, 体重60kg, それぞれ欧米人の標準体型を参考に構築された。

日本原子力研究開発機構（JAEA）の斎藤, 佐藤らは AM, AF ファントムを基本体型として, 日本人の標準体型の Voxel ファントムの構築を行った。2001年から日本人男女の標準体型のファントムとして, Otoko¹⁶⁾ (Saito 2001) および Onago¹⁶⁾, JM-60¹⁷⁾ および JF-60¹⁷⁾, そして現在の標準ファントムである JM-103 および JF-103を開発した。このうち成人男性のファントムは, Otoko (身長170cm, 体重65kg), JM-60 (身長171cm, 体重65kg), JM-103 (身長171cm, 体重65kg) と大きな変更はない。しかし, 成人女性ファントムは Onago (身長162cm, 体重57kg), JF-60 (身長152cm, 体重44kg),

JF-103 (身長155cm, 体重52kg) と変化して来ている。WAZA-ARI はこの中で JM-103¹⁸⁾ および JF-103¹⁹⁾ ファントムを標準ファントムとして使用されている。また, 女性データでは, JF-60を一定の割合で (XY 軸方向: 1.0764倍, および Z 軸方向: 1.02倍) 拡大して作成されたのが JF-103であり, したがって両ファントムは相似形となる。現在においては, JAEA で開発された, JF-103ファントムが日本人の標準体型として用いられている。

Voxel ファントムが出現する以前のファントムは, 数学ファントムであり, 一般的に MIRD ファントムとも呼ばれている。数学ファントムは, 各臓器を数式で構築するため, Voxel ファントムに比べて計算機に対する負荷は大幅に少なくなり, シミュレーション時の計算速度の高速化が可能である。しかし, 体内の臓器の位置については, 実際の人体における配置とは異なっている。しかし, 数学ファントムは X 線の照射体系の構築に置いて自由度が高く, 腕や脚および胴体の屈曲や伸展が比較的容易である。したがって, 医療現場のみならず放射線被ばくを伴う様々な場面における体系の構築に柔軟に対応できると考えられる。そこで, 本研究では JM-103, JF-103ファントムおよび日本人成人男女の CT 画像（臨床画像）の分析結果から, その臓器の体積及び位置関係を求め, そのデータを使用して数学ファントムの作成を検討した。

3. 方法

本研究においては前述したように JM-103, JF-103を日本人の標準体型として, それより体重が約-15kg から +20kg 程度の範囲で, 国家公務員共済連合組合会新別府病院（大分県別府市鶴見3998番地）で検査を行った患者の, 匿名化された CT 検査画像から得られた体型データ（男性11人, 女性10人）を用いて分析した。（本研究においては大分県立看護科学大学研究倫理安全委員会の承認を受けた。受付番号: 629 申請日 2011.10.20）

体型の計測方法は, 自作の体型計測機能を有した CT 画像ボクセル変換ソフトの他, ImageJ (National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA.) を用いて行った。いずれも, 最終的に臨床画像データを PHITS コード用 (Ver. 3.24) のデータ形式に変換した。

体型の分類方法として, 身長 (Height), 体重 (Weight), 周囲長 (図1) (Perimeter), BMI, AP 長 (C-AP, A-AP), LAT 長 (C-LAT, A-LAT), 有効直径²⁰⁾ (図2) (Effective diameter: CED, AED) など

の各項目について計測を行った。

更にPHITSコードの体積測定機能を用いて、肺 (Lung)、心臓 (Heart)、肝臓 (Liver)、胆のう (Gall-bladder)、胃 (Stomach)、すい臓 (Pancreas)、腎臓 (Kidney)、脾臓 (Spleen)、膀胱 (Bladder)、子宮 (Uterus) (女性のみ) の臓器体積を測定し、JM-103およびJF-103のデータと比較した。

次に、男性11体、女性4体の臨床画像のスライスごとの臓器面積のデータを使用し、各臓器位置の計測を行った。臓器位置の指標としては、胸部上縁から足側へ、肺、心臓、肝臓、胃、胆のう、脾臓、すい臓、腎臓、子宮、膀胱と、それぞれの臓器の出現する位置から臓器のスタート位置を(S)とし、終了位置をエンド(E)として求めた。

最後に、JM-103の体型データから臓器体積および臓器の位置を反映したMIRDファントムを構築し、PHITSコード(Ver. 3.24)により、JM-103とMIRDファントムそれぞれの胸部(心臓)と腹部(肝臓)に対してシミュレーションによる線量の推定を行った。

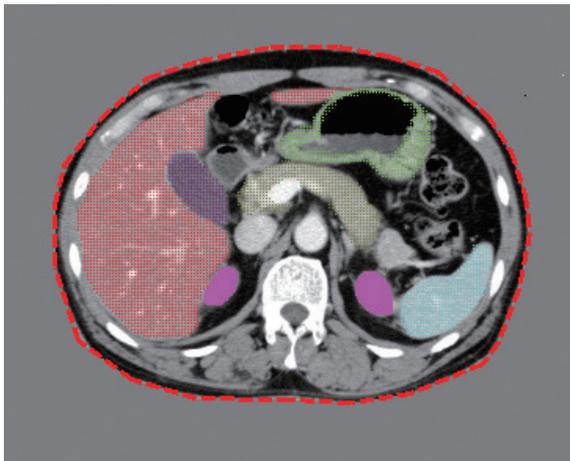


図1 周囲長 (Perimeter) : 赤色の点線の長さ

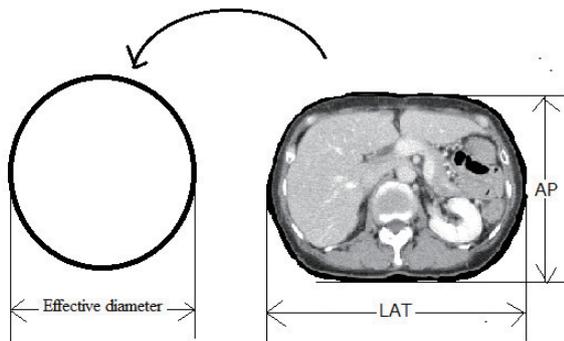


図2 体型の計測の概要 : 有効直径(ED) = $\sqrt{AP \times LAT}$

4. 結果および考察

1) 体型計測結果

JM-103, JF-103ファントムおよび臨床画像から作成したファントムの体型の計測結果は、表1および表2のとおりである。日本人の平均的な体型として作られたJM-103ファントムは、身長が171cm、体重が65kgであり、またJF-103は、身長が155cm、体重が52kgであった。また、使用した臨床画像のデータは身長、体重、年齢および、それぞれ各臓器の体積 (Volume) の計測結果を示している。また、C-AP, C-LAT, C-Perimeter (C-Per), CEDは胸部におけるAP長, LAT長, Perimeter (周囲長), 有効直径 (ED) の計測結果であり、A-AP, A-LAT, A-Perimeter (A-Per), AEDは腹部におけるそれぞれの計測結果である。「Ave: Average」は各項目の平均値を表している。誤差率 (%) は、JM-103およびJF-103の標準値に対する、臨床画像データの各値の誤差を表している。

スライスごとの臓器面積のデータの結果から、男性11名の計測結果を表3、女性4名を表4に示した。胸部上縁の位置を0mmとして、膀胱下縁の位置をBladderのEとして表し、骨盤下端とした。

JM-103, JF-103の両ファントムおよび臨床画像データとも、各スライスの間隔は4mmである。各臓器の始まりを「S」とし、臓器終了の位置を「E」とした(表3, 表4)。その結果JM-103ファントムは、胸部上縁から膀胱下縁までの長さが568mmであることが明らかになった。また同様に、JF-103ファントムでは548mmであった。臨床画像データの平均値は男性が517mmで、女性が445mmであった。また、胸部上縁から骨盤下端(膀胱:E)までの値をL(mm)として、身長(cm)を除いた値(Hight/L)を表の右端に示した。男性はJM-103の3.0に対して臨床画像は 2.9 ± 0.1 であった。また、女性は、JF-103の2.8に対して 3.6 ± 0.1 であった。SDは臨床画像データの標準偏差であり、誤差率 (%) はJM-103およびJF-103の測定値に対する誤差率 (%) を表している。胸部上縁から骨盤下端までの臓器の位置における変化のグラフを図3および図4に示した。

表1 男性ファントムの体型計測結果

		[cm]											Ave	誤差%	
項目	JM103	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪			
Height	171	172	163	170	158	174	160	170	172	172	163	170	168	1.8	
Weight	65	55	55	60	64	66	67	75	78	90	64	80	69	-5.8	
BMI	22.2	18.5	20.7	20.7	25.6	21.7	26.2	25.9	26.3	30.4	24.1	27.7	24	-7.5	
Lung	5240	4894	4838	5032	3839	5480	4291	4858	4848	5058	3382	2441	4451	17.7	
Heart	896	755	823	752	728	659	758	1013	1085	937	1132	718	851	5.3	
Liver	1240	1487	1513	1423	1584	1380	1086	1343	1529	1887	1110	1530	1443	-14.1	
Gallbladder	16	22	20	10	39	19	55	26	10	32	34	19	26	-38.5	
Stomach	118	175	158	65	223	183	172	122	221	191	127	123	160	-26.3	
Pancreas	113	98	57	40	89	64	78	58	99	79	59	41	69	63.8	
Kidney	252	343	351	333	310	320	323	306	313	306	260	369	321	-21.5	
Spleen	132	142	199	128	109	144	109	71	200	121	130	237	145	-9.0	
Bladder	36.9	75	48	40	46	49	58	37	44	66	55	40	51	-27.6	
Chest (cm)	C-AP	22.1	20.2	20.1	20.6	22.1	21.3	23.3	26.2	23.9	26	23	23	22.7	-2.6
	C-LAT	33.3	29.8	32.8	32.3	32.8	33.5	32.2	36.1	35.8	34.9	31.4	34.9	33.3	0
	C-Per	93.7	81	86.8	86.9	89.5	87.6	89.9	101	96.3	98.5	90	93.7	91.0	3.0
	CED	27.1	24.5	25.7	25.8	26.9	26.7	27.4	30.8	29.3	30.1	26.9	28.3	27.5	-1.5
Abdomen (cm)	A-AP	21.5	18.1	20.8	20	22.3	21.2	25.5	26.8	25	26.2	22.8	25.6	23.1	-6.9
	A-LAT	30.7	25.3	31.2	31.2	30.3	30.4	32.1	33.2	34	34.2	31	33	31.4	-2.2
	A-Per	83.8	70.2	84.8	84.4	84.9	82.6	91.6	97.5	96.5	97.7	89.3	92.9	88.4	-5.2
	AED	25.7	21.4	25.5	25	26	25.4	28.6	29.8	29.2	29.9	26.6	29.1	27.0	-4.8

表2 女性ファントムの体型計測結果

		[cm]											Ave	誤差%
項目	JF103	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩			
Height	155	155	155	155	155	158	162	166	152	152	170	158	-1.9	
Weight	52	39	70	70	56	51	51	54	74	75	53	59	-13.5	
BMI	21.6	16.2	29.1	29.1	23.3	20.4	19.4	19.6	32.0	32.5	18.3	24	-11.1	
Lung	4932	3567	3470	2981	3720	3594.6	5106.0	3570.0	4119.0	3636.4	3601.6	3737	24.2	
Heart	725	612	664	708	785.2	726.4	825.0	853.6	704.7	719.1	798.9	740	-2.1	
Liver	1123	1141	1249	1058	1255	1012.3	1240.6	962.7	1136.0	2372.5	1111.0	1254	-11.7	
Gallbladder	6.7	1.7	29	39.8	29.2	16.0	18.2	11.0	29.1	34.4	10.8	22	-228.4	
Stomach	119.4	44.5	105.0	130	141.8	51.0	146.4	132.5	149.6	150.8	100.1	115	3.7	
Pancreas	106.8	25.5	15.2	42.7	50.5	38.2	49.6	36.8	58.4	61.7	39.7	42	60.7	
Kidney	237.8	258	283.4	344	305	277.0	251.0	243.0	338.6	487.2	241.5	303	-27.4	
Spleen	61.6	41.6	85.5	141.7	81.1	43.5	91.0	129.7	157.0	298.2	83.1	115	-86.7	
Bladder	22.2	38.7	42.9	55.4	88.9	49.6	40.5	65.1	72.5	32.7	25.7	51	-129.7	
Uterus	52.2	50.2	53.1	72.1	38.1	46.5	65.1	101.8	71.9	157.3	46.6	70	-34.1	
Chest	C-AP	22	18.5	24.2	23.9	21.2	20.9	19.9	18.8	26.3	27.1	18.1	21.89	0.5
	C-LAT	29.9	24	34	35.6	31.6	32.7	31.3	31.9	33	37.4	30.3	32.18	-7.6
	C-Per	91.1	71.1	94.3	98.9	86.7	88.5	87	84.2	96.4	107	79.8	89.39	1.9
	CED	25.7	21.1	28.7	29.2	25.9	26.1	25	24.5	29.5	31.8	23.4	26.52	-3.2
Abdomen	A-AP	18.7	15.3	25.5	25.3	20.8	20.1	18.3	19.3	26.4	27.9	17.8	21.67	-15.9
	A-LAT	25.2	24.5	32.8	32.6	30.2	29	30	27	33.9	33	26.6	29.96	-18.9
	A-Per	73.4	66.3	93.5	96.2	82.9	84.4	81.6	76.7	96	98.6	72.8	84.9	-16.7
	AED	21.8	19.7	28.9	29.1	25	24.1	23.4	22.8	29.9	30.3	21.8	25.5	-17.0

表3 JM103および臨床画像データの臓器位置の計測結果

	Organ position																				Height/L
	Height	Lung		Heart		Liver		Stomach		Gallbladder		Spleen		Pancreas		Kidney		Bladder			
	cm	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E		
JM	171	4	288	52	228	212	372	244	380	288	316	256	340	280	364	280	392	528	568	3.0	
1	172	5	290	100	245	230	400	255	355	315	380	250	325	300	385	280	425	550	625	2.8	
2	163	10	265	90	240	220	375	240	340	255	305	240	330	285	305	275	390	515	555	2.9	
3	170	5	275	110	245	225	385	245	315	290	305	240	285	270	335	280	405	545	565	3.0	
4	158	5	255	90	200	195	345	215	280	260	310	220	290	255	305	275	375	505	540	2.9	
5	174	10	285	90	240	225	385	250	335	315	345	255	310	285	335	305	405	550	595	2.9	
6	160	5	270	80	210	185	320	220	260	250	305	240	305	255	300	265	370	500	530	3.0	
7	170	10	265	85	210	190	335	220	275	250	265	210	260	250	300	250	365	510	545	3.1	
8	172	5	255	80	235	195	325	235	280	265	300	240	330	285	320	300	390	530	565	3.0	
9	172	5	285	100	235	205	365	250	315	280	320	250	320	295	325	290	415	535	590	2.9	
10	163	5	250	80	210	160	285	210	250	215	245	210	285	250	280	275	365	515	550	3.0	
11	170	5	230	75	185	160	335	200	270	240	260	200	285	250	280	250	370	555	585	2.9	
Avg	168	6.4	266	89	223	199	350	231	298	267	304	232	302	271	315	277	389	528	517	2.9	
SD	5.6	2.3	18.2	14.8	19.9	23.9	33.6	18.2	41.4	30.0	36.7	19.3	24.4	18.9	31.7	16.8	20.4	19.1	145.7	0.1	
誤差%	2.0	-59.1	7.7	-71.3	2.1	6.1	5.8	5.4	21.7	7.4	3.9	9.3	11.1	3.2	13.3	1.1	0.9	0	9.1		

「S」は臓器位置のスタート。「E」は臓器位置の終了を示す。

表4 JF103および臨床画像データの臓器位置の計測結果

	Organ position																				Height/L	
	Height	Lung		Heart		Liver		Stomach		Gallbladder		Spleen		Pancreas		Kidney		Uterus		Bladder		
		S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S		E
JF	155	4	276	40	228	216	372	236	444	312	336	260	320	300	384	268	372	504	572	508	548	2.8
1	158	4	196	56	156	132	240	168	196	192	204	188	240	204	240	188	284	376	416	416	432	3.7
2	152	4	200	64	156	148	256	168	240	216	248	164	228	196	232	200	300	368	428	384	428	3.6
3	162	4	224	60	196	184	300	200	288	268	296	200	232	228	272	228	316	396	452	436	456	3.6
4	166	4	216	60	184	172	280	184	264	236	252	180	236	212	252	200	312	408	452	420	464	3.6
Avg	160	4	209	60	173	159	269	180	247	228	250	183	234	210	249	204	303	387	437	414	445	3.6
ST	6.0	0	13.2	3.3	20.2	23.4	26.4	15.3	39.2	32.2	37.6	15.1	5.2	13.7	17.4	17	14.4	18.3	18	21.8	17.7	0.1
誤差%	-2.9	0	24.3	-50.0	24.1	26.4	27.7	23.7	44.4	26.9	25.6	29.6	26.9	30.0	35.2	23.9	18.5	23.2	23.6	18.5	18.8	

「S」は臓器位置のスタート。「E」は臓器位置の終了を示す。

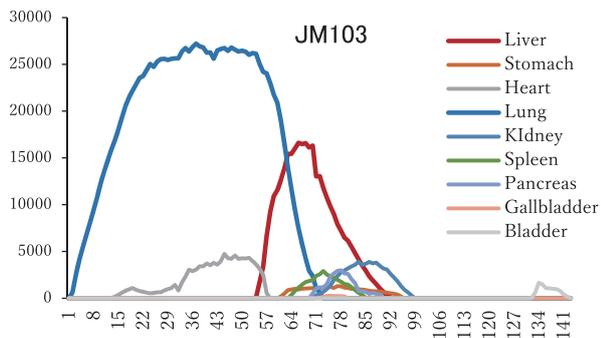


図3 JM-103の臓器位置グラフ

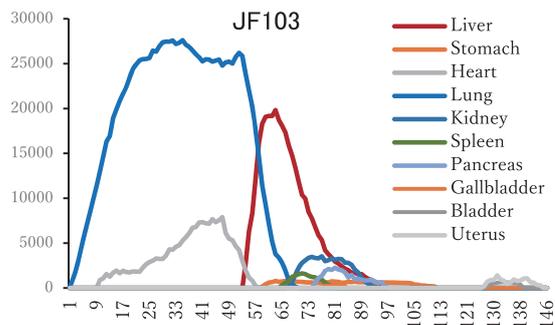


図4 JF-103の臓器位置グラフ

2) 体型の分析

日本人男性標準体型のファントムである JM-103 は身長が 171cm 体重が 65kg である。それに対して、今回計測した男性の臨床画像データ 11 体の男性の身長 の平均値が 168cm 体重が 68kg であった。また女性の標準体型である JF-103 の身長 155cm 体重 52kg に対して、女性の臨床画像データ 10 体の平均値は身長が 158cm 体重が 59kg であった。

男性の身長は 150cm から 170cm の間で分布し、体重は 55kg から最大 90kg と 35kg の差があった。また、BMI は最小値が 18 として最大値が 30 であった。また女性の場合は、身長は、152cm から 170cm まで分布し、体重は 38kg から 70kg まで 32kg の差があった。女性の BMI は最小値が 16.2、最大値が 32.5 であった。

臓器の体積の標準体型との誤差率は、男性は最小が 5.3% (心臓) で最大は 63.8% (脾臓) であった。全体として、肺 (17.7%)、心臓 (5.3%)、すい臓 (63.8%) 以外の臓器は臨床画像データが大きかった。また、女性の場合の誤差率は最小が 2.1% (心臓) で最大が 228.4% (胆のう) であった。全体として、肺 (24.2%)、すい臓 (60.7%)、胃 (3.7%) 以外の臓器は臨床画像データが大きかった。

胸部 (Chest) および腹部 (Abdomen) の AP 長、LAT 長、Perimeter (周囲長)、有効直径 (ED) の誤差について、男性の胸部領域の誤差率は $\pm 3.0\%$ 以下であった。また腹部領域ではすべての項目において、臨床画像データが大きくなり、誤差率は -7% 以下であった。女性の胸部領域の誤差は C-LAT が -7.6% で、他は $\pm 4.0\%$ 以下であった。しかし、腹部領域ではすべての項目において臨床画像データが大きくなり、誤差率も -15% から -19% の範囲であった。

胸部上縁から、膀胱下縁までの長さに対する身長 の比率について、男性の場合は JM-103 の 3.0 に対して臨床画像データの平均値は 2.9 であり、それほど大きな差はなかった。しかし、女性の場合は JF-103 の 2.8 に比べて臨床画像データの身長との比率の平均値が 3.6 ± 0.1 と、0.7 と大きな差があった。

これらの結果から、JM-103 ファントムは臓器位置や体積は、日本人男性の臨床画像データとの差は許容範囲であると考えられた。しかし、JF-103 ファントムは臓器位置においてサンプル数が 4 体の平均値ではあるが、日本人女性の平均値とは大きく異なっていた。また、腹部内臓器の体積および腹部領域の AP 長や LAT 長、そして周囲長も同様に約 20% 程度小さくなっていた。

3) 日本人の体型への MIRD ファントムの修正

1994年に樋口らが考案した、古典的数学ファントム (以下 MIRD ファントム) を図 5 に示した。MIRD ファントムは、欧米人の標準体型の身長 174cm 体重 70kg の体型である。図 6 のファントムは、日本人の標準体型の JM-103 ファントムに近似したファントムで、上腕を除去し、肺の容積および各臓器の物質 (material) データを参考に構築した。

また、JM-103 および JF-103 の体型を PHITS コードにより描出した画像を図 7、図 8 に示した。MIRD ファントムは身長が 174cm で上半身の長さは 70cm で男性、女性兼用のファントムで、欧米人に近い体型を有している。このファントムを日本人男性の標準体型に近づけるために、臓器の体積、および胸・腹部の LAT 長を 40cm から 30cm に変更した。さらに肺の体積および、各臓器の物質データを JM-103 の肺、心臓、肝臓の値に変更した。肺の体積は MIRD ファントムの $3,364\text{cm}^3$ から $4,571\text{cm}^3$ へ変更した。また、心臓のおよび肝臓の体積を 790cm^3 、肝臓の体積を $1,250\text{cm}^3$ に変更した。変更したファントムを図 6 に示した。このファントムを以下 JM-MIRD ファントムと呼称することとする。

4) 線量シミュレーション結果

JM-103 と JM-MIRD の体型に近似した MIRD ファントムを構築して PHITS コードにより線量シミュレーションを行った。図 9 は JM-MIRD ファントムの胸部・心臓に照射したときの線量分布図である。また、図 10 は同じく腹部 (肝臓) に照射したときの線量分布図である。図 11 及び図 12 は JM-103 の胸部および腹部に照射したときのそれぞれ線量分布図である。表 5 に JM-103 ファントムと JM-MIRD ファントムの線量照射シミュレーションの結果を示した。

MIRD ファントムが考案された時の臓器の物質データは、肺 (Lung) と軟部組織 (Soft tissue) および骨格 (Skeleton) の三つであった。それぞれ密度 (g/cm^3) は、0.296 (肺)、1.04 (軟部組織)、1.4 (骨格) であった。それに対して、JM-103 はすべての臓器の組成が物質データ (material) として用意してあり、コードを使用する際はプログラム上に記載して使用する。本研究では表 5 の肺 (0.26)、心臓 (1.05)、肝臓 (1.05) のように、JM-103 の物質データを JM-MIRD に利用した。JM-MIRD ファントムの臓器体積は、可能な限り JM-103 ファントムの体型に近似するように構築した。PHITS コードによる線量シミュレーション結果は、それぞれの心臓の中心部と肝臓の中心部に 1 回照射したときの線量である。

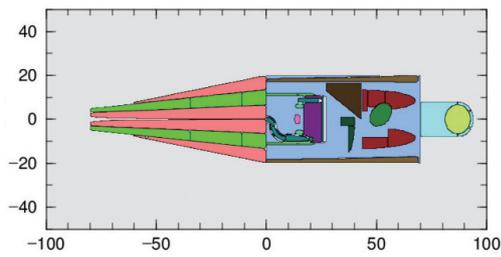


図5 MIRD ファントム

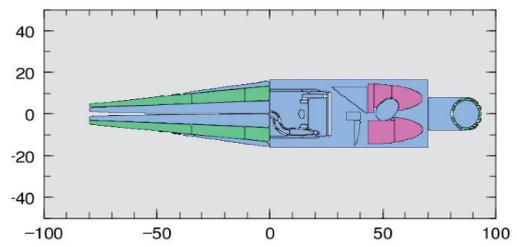


図6 JM-MIRD ファントム

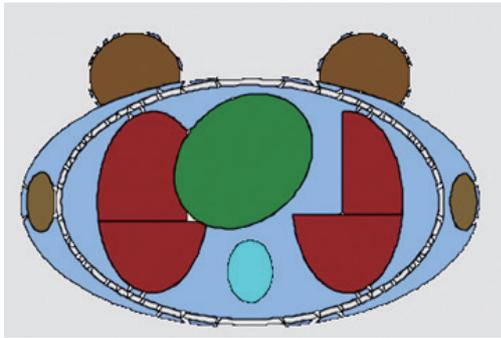


図7 JM-103の胸腹部の臓器

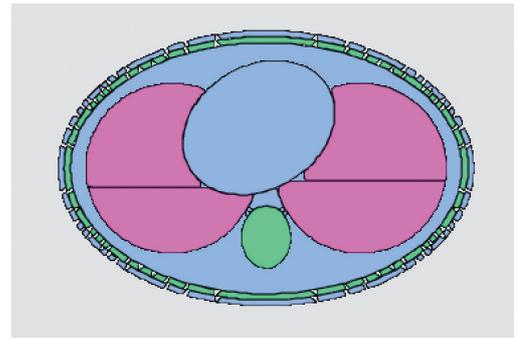


図8 JF-103の胸腹部の臓器

結果は、肝臓の線量は同等の線量となったが、肺と心臓の線量は誤差が大きかった。これは、JM-103に比べてJM-MIRDの肺の体積の影響か、他の影響に起因するものかを検証したい。

5. 結論

日本人の標準体型としてJM-103およびJF-103のファントムがJAEAにより制作された。このうちJM-103ファントムは臨床画像データと比較した結果、臓器の体積および臓器の位置がほぼ等しいことを確認した。しか

し、JF-103ファントムは腹部領域のサイズが、成人女性の臨床画像データの平均と比較して結果、やや小さいことが明らかになった。また、臓器の位置についても若干異なっていた。これについては、調査対象の臨床画像データのサンプル数を増やして、臓器位置の検証を続けたい。

Voxel ファントムは高精細で臓器における被ばくの影響を検証する場合は有効であり、今後利用する機会が増加してくることは明らかである。しかし、放射線治療や撮影業務における術者の放射線防護などに使用する場合は、体系中にファントムを配置する場合に困難な場合が

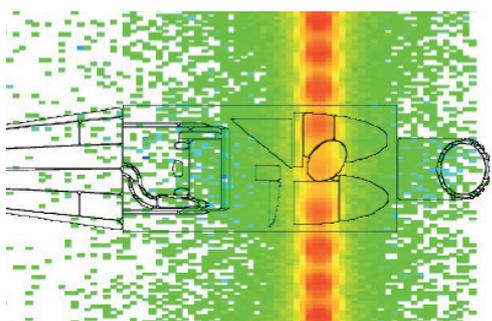


図9 MIDR ファントムにおける胸部照射の線量分布

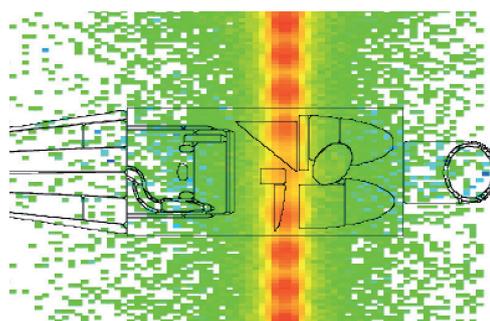


図10 MIDR ファントムにおける腹部照射の線量分布

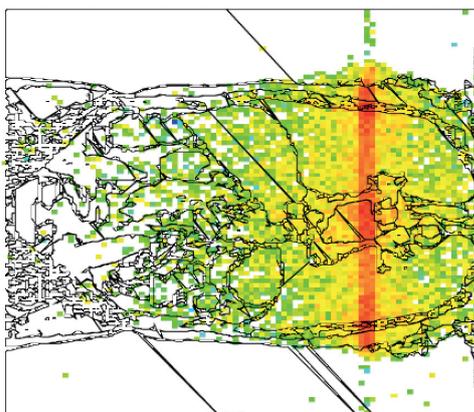


図11 JM-103ファントムにおける胸部照射の線量分布

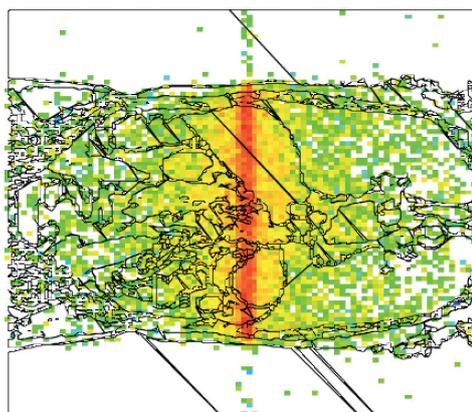


図12 JM-103ファントムにおける腹部照射の線量分布

表5 JM-103およびJM-MIRDの線量シミュレーション結果

臓器	JM-103 ファントム			JM-MIRD ファントム		線量の誤差率%
	臓器密度 g/cm ³	臓器体積 cm ³	臓器線量 μGy/mAS	臓器体積 cm ³	臓器線量 μGy/mAS	
肺(Lungs)	0.260	4,205	13.7	4,571	10.2	25.5
心臓(Heart)	1.05	753	13.9	790	19.2	-38.1
肝臓(Liver)	1.05	1,385	15.1	1,250	14.6	3.3

ある。

本研究では、JM-MIRDのような数学ファントムは感受性臓器の体積や臓器の位置の変更、いわゆる体型の変更が比較的容易に構築できることが明らかになった。また、被ばく線量の推定もVoxelファントムと比較して、大きな差がないことを確認することができた。

参考文献

- 1) OECD INDICATORS; Health at a Glance ; 2023
- 2) Berrington de Goncez A, Darby S. (2004) Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for UK and 14 other countries. Lancet ; 363 : 345-51.
- 3) Takahashi F, Endo A, Sato K, Hasegawa T, Katsunuma Y, Ono K, Yoshitake T, Ban N, Kai M. Analysis of organ doses from computed tomography (CT) examination by the radiation transport calculation to develop the dosimetry system, WAZA-ARI. nol. ucl. Sci. Technol. 1, 517-520, 2011.
- 4) Jones D G, Shrimpton P C. Survey of CT practice in UL-Part III Normalized organ doses calculated using Monte Carlo techniques-, NRPB-R250, National Radiological Protection Board (NRPB), 1991.
- 5) Waters L, MCNPX version 2.5. C, Los Alamos National Laboratory Report No. LA-UR-03-2202, 2003.

- 6) Tatsuhiko Sato a, Koji Niita b, Norihiro Matsuda ; (2013) Particle and Heavy Ion Transport code System, PHITS, version 2.52 : Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 50, No. 9, 913-923.
- 7) BBS9 : (https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/004/shiryu/021201e.htm)
- 8) ImPACT. Imaging Performance Assessment of CT scanners (ImPACT). 2006. Available at www.impactscan.org/ctdosimetry.htm. Accessed.
- 9) Galanski M, Nagel HD, Stamm G. (2001) Expositionsdosis bei CT-Untersuchungen: Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage. Fortschr. Roentgenstr. ; 172 : M164-M168, table 1.
- 10) Jones D G, Shrimpton P C, (1991) Survey of CT practice in UL-Part III Normalized organ doses calculated using Monte Carlo techniques-, NRPB-R 250, National Radiological Protection Board (NRPB) ; NRPBR250.
- 11) Iwase H, Niita K, Nakamura T, (2002) "Development of general purpose particle and heavy ion transport Monte Carlo code," J. Nucl. Sci. Technol., 39 : 1142.
- 12) Kamei, O; Ojima, M; Yoshitake, T; Kai, M. Calculating patient-specific organ doses from adult body CT scans by Monte Carlo analysis using male-individual voxel phantoms. Health Phys. 108 (1), 44-52, 2015.
- 13) Yamaguchi H, Nishizawa K, et al. A Computer Program to Calculate MIRD Table for Japanese Physiques. 保健物理, 18, 43-48 ; 1983
- 14) Higuchi K, Yamaguchi Y, ; (1994) 複雑な幾何形状によって表現された体型における MCNP コードの適用性に関する検討 ; JAERI-M report are issued irregularly.
- 15) Maria Zankl. (2010) Adult Male and Female Reference Computational Phantoms; jpn. J.Health Physic ; 48 (4), 357-369.
- 16) Saito K, Wittmann A, Koga S, et al. (2001) Construction of a computed tomographic phantom for a Japanese male adult and dose calculation system. Radiat Environ Biophysics. ; 40 (1) : 69-67.
- 17) Sato K, Noguchi H, Emoto Y, et al., (2007) "Japanese adult male voxel phantom constructed on the basis of CT images," Radiat. Prot. Dosim., 123 (3) : 337 ; 344.
- 18) Sato K, Koga S, Ida Y, et al. (2008) Construction of a voxel phantom based on CT data for a Japanese female and its use for calculation of organ dose s from external electron. Jpn J Health Phys ; 43 (3) : 337-344.
- 19) Sato K, Noguchi H, Emoto Y, et al. (2009) Development of a Japanese adult female voxel phantom. J Nucl Sci Technol ; 46 (9) : 907-913.
- 20) American Association of Physicists in Medicine, (2011) Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT Examinations. New York: AAPM; Report No. 204.

〔論 文〕

折り畳み式筒状管路の設計と流体解析評価に関する研究 — 折り紙工学を用いた人工呼吸器用 Disposable 管路の開発 —

土肥 裕司*, 原田 敦史*²

*日本文理大学保健医療学部保健医療学科

*²日本文理大学工学部機械電気工学科

Research on Design and Fluid Analysis Evaluation of Foldable Tubular Pipes — Development of Disposable Tube for Ventilator Using Origami Engineering —

Hiroshi DOHI*, Atsushi HARADA*²

*Department of Health Sciences, School of Health Sciences, Nippon Bunri University

*²Department of Mechanical and Electrical Engineering,

School of Engineering, Nippon Bunri University

Abstract

During the onset of the novel coronavirus pandemic in 2020, there was a surge in the use of disposable medical devices. This led to an increased demand for disposable tubing, particularly in the context of ventilator utilization. Given that there was no readily storable disposable tubing available, we turned to origami engineering to create a foldable design, anticipating future needs. To ensure the tubing would not become blocked due to twisting when folded, we designed it with a flat layout that incorporated two isosceles triangles for the folds. We experimented with three different folding angles based on the bottom angle of the triangles: $45^\circ/20^\circ$, $35^\circ/15^\circ$, and $30^\circ/12^\circ$. Subsequent testing focused on the foldability of these designs and the efficiency of the flow channel, which we evaluated using computational fluid dynamics (CFD). Our findings revealed that the tubing designed with the $35^\circ/15^\circ$ folding angles provided an optimal balance between foldability and flow channel performance.

キーワード：人工呼吸器, 折り紙工学, 流体工学, CFD (Computational Fluid Dynamics)

Keywords : ventilator, origami engineering, Fluid engineering,
CFD (Computational Fluid Dynamics)

1. はじめに

2019年12月、中国湖北省武漢市で原因不明の肺炎が多発し、同31日、44人の感染がWHO（World Health Organization, 世界保健機関）から報告された。これらの患者の多くが生きた動物や魚介類を扱う市場（華南海鮮市場）と接点があったことから、何らかの動物からの感染が疑われ、2020年1月1日、この市場は閉鎖された。同7日には中国の研究者により、本感染症の病原体が新型コロナウイルスであることが報告され、12日にはウイルスの全遺伝子配列も公開、“2019-nCoV”と呼称された。武漢市政府は23日、市外に出る航空便や鉄道等公共交通機関の運行を停止する措置を開始したが、患者数の増加は止まらず、同30日、WHOは本件が「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態」(Public Health Emergency of International Concern : PHEIC)に該当すると宣言した。2月11日、WHOは本疾病を“COVID-19”と命名した⁽¹⁾。日本では2020年3月上旬に、主に都市部において集団発生が報告され、感染者数は急増し、4月初旬をピークとした大きな流行となった。

このようにわずか数カ月ほどの間に、新型コロナウイルスによる感染症が世界的に流行し、国内においても感染に伴う重症肺炎の患者が増加していった。重篤肺炎患者の治療に対して、人工呼吸器やネーザルハイフロー（鼻腔内に高流量30-60L/minの酸素空気混合ガスを投与する）などの医療機器が人体の酸素化を改善するため、積極的に使用されることになった。この人工呼吸器を使用する場合、患者一人に1台が割り当てられ、呼吸回路と呼ばれる管路を介して生体にガスが送り込まれている。通常、呼吸回路は熱可塑性プラスチックで作られており、約1-2週間程度の装着後は消毒して再利用するものが多い。本研究のきっかけとなった、感染力の強いウイルスである新型コロナウイルスに感染した患者に対して使用される配管は、医療機器を介した感染を防止する観点から、単回使用（ディスポーザブル）が原則である。また使用される配管の長さは、病床において決まった配置等が無い場合、さまざまな場面で使用できるよう可変的な設計が求められていた。単回使用の観点から、使用前のコンパクトに折り畳んで収納が可能なものが今後、求められる一方で、このようなものは現在、活用されていない。可変的な設計で折り畳めるものということに注目した場合、医療分野では、ステントやステントグラフトなどに限られている。伸縮可能な配管は、収納性の向上が期待されることから、人工呼吸器と患者を

繋ぐ配管に留まらず、小さな隙間から挿入し、内部で立体展開する管路への応用が期待される。

2. 研究目的

本研究では、「伸縮可能」と「折り畳む」という観点から、日本の古来より伝わる伝統的折り紙に注目し、この技術を構造設計のアイデアとして利用することを提案する。本研究の目的は、伸縮可能な配管（以下、折り紙管路）を設計し、流路として実用性の高い管路を製作することである。今回は人工呼吸器で使用することを想定し、折り畳める上に、流路として圧力損失の少ない、折り紙管路を製作する（図1）。流路としての管路内流れの評価は数値流体力学（CFD）を用いて行い、管路の形状は、折り畳まれた状態ではなく展開した状態を評価している。

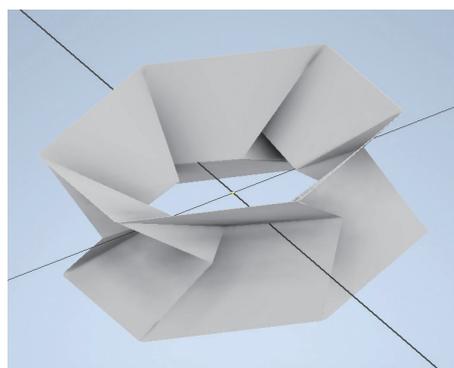


図1. 折り畳み式筒状管路の設計

3. 実験装置

3-1 立体折り紙の幾何

日本で誕生した折り紙は、1枚の紙を折って目的の対象物を創造するものである。芸術的観点の高い折り紙ではあるが、今やその折り紙は数学と結びつき、折り紙工学へと発展し、構造設計のアイデアとして1995年にJAXAが打ち上げたミウラ折り型太陽電池パネルの展開や飲料缶のダイヤパターンなどで実用化されている。

立体的な形を1枚の紙を折り曲げて作る場合、展開図が考察のスタートであり、対象とする立体の面上のある点に注目した場合、その点の周りの角度の和が 360° より小さい場合や大きい場合、展開図上に隙間や重なりが生じてしまう。そのため、1枚の紙で作られる形状は、その表面のあらゆる点で、周りの角度の和が 360° である必要がある。このような条件を満たし、伸縮なく平面に展開可能な曲面は可展面と呼ばれる。可展面は直線要素の

集合で定義される繊維面の1つで、どの点においてもガウス曲率がゼロであるという特徴がある⁽²⁾。

3-2 折り畳み式筒状管路の二次元展開図

配管と言えば、ジャバラであり、一見妥当な折り畳み変形をしているように見えるが、剛体折りは不可能である。よく観察すると折り畳みの途中で折り線の位置が移動して、材料がしごかれるように変形している。それゆえジャバラはカドの部分柔軟材料で作られ、機構に追従するカバーとしては用いられても、それ自身を駆動させるようなメカニズムとしては、使用することができない⁽³⁾。また、折り紙技術を用いた配管には、「螺旋型円筒折り紙構造」とよばれる上から圧力をかけると回転しながら折り畳まれる展開構造物が存在している。しかし、この展開構造物は折り畳まれると、内腔が狭くなり閉塞気味になることが問題であり、人工呼吸器などの医療用配管としては使用できない。

そこで本研究で用いる平面展開図は、三谷⁽⁴⁾が開発した伸縮カプセルを参考に折り畳みやすさを考慮した図2と図3に示す構築線から2つの底角を持つ二等辺三角形を組み合わせた展開図を作成した。

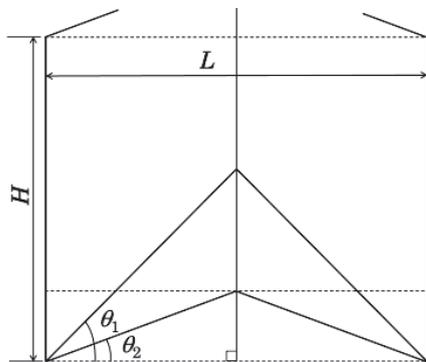


図2. 二次元展開図 (折り目単体)

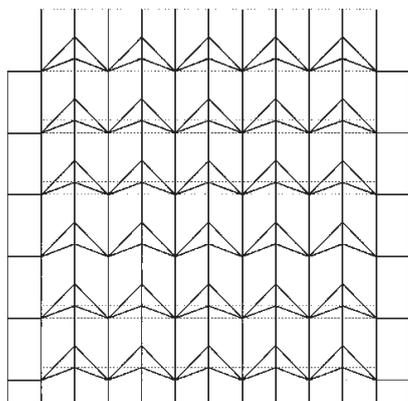
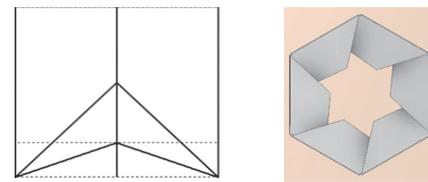
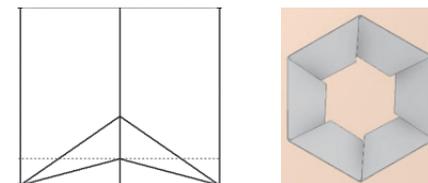


図3. 二次元展開図 (タイプ1)

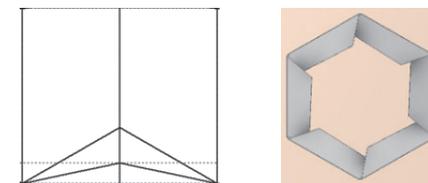
これらは、寸法調整や断面形状変更を容易に行えるよう、CADソフトを用いて作成した。断面形状においては、試作を繰り返す中で、「折り畳みやすさ」と「管路の曲がりやすさ」を考慮して、六角形とした。図4 (a)に示す寸法、幅 $L=30\text{mm}$ 、高さ $H=27\text{mm}$ 、角度 $\theta_1=45\text{deg}$ 、 $\theta_2=20\text{deg}$ から成るタイプ1折り紙管路とし、その他の長さは同一とした上で角度を変化させた、角度 $\theta_1=35\text{deg}$ 、 $\theta_2=15\text{deg}$ (図 (b))、角度 $\theta_1=30\text{deg}$ 、 $\theta_2=12\text{deg}$ (図 (c))の三種類の管路を製作して性能を比較した。



(a) タイプ1 管路 (45deg・20deg)



(b) タイプ2 管路 (35deg・15deg)



(c) タイプ3 管路 (30deg・12deg)

図4. 管路形状

3-3 折り紙管路の製作

3-2節で作成した展開図を、しわが入りにくい上質紙を用いて折り紙管路を製作した。剛体折り紙を実際の材料で工学的に応用するためには、厚みを処理する必要がある。筒状管路の材料として使用する上質紙の紙厚を、一般コピー紙の0.08mmから、0.18mmへ変更したことにより、紙にしわが入りにくくなった。その一方で、紙の厚みが増したことにより、鉄筆を用いたクセ付けでは精度の高い折り目が作成できないことが判明した。厚みが増した紙を折るために、カッティングマシンをスジ付け機として用い、機械に折り目を作らせることで、折り目精度の高い管路の製作を行っている。クセ付けの方法は、紙に切り込みを入れることで折り目を作り、紙の折り目線に0.1mmの深さで溝入れ加工した。

これにより正確に折り畳むことが可能となり、折り紙を傷めることなく、図5のように折り畳むことに成功した。

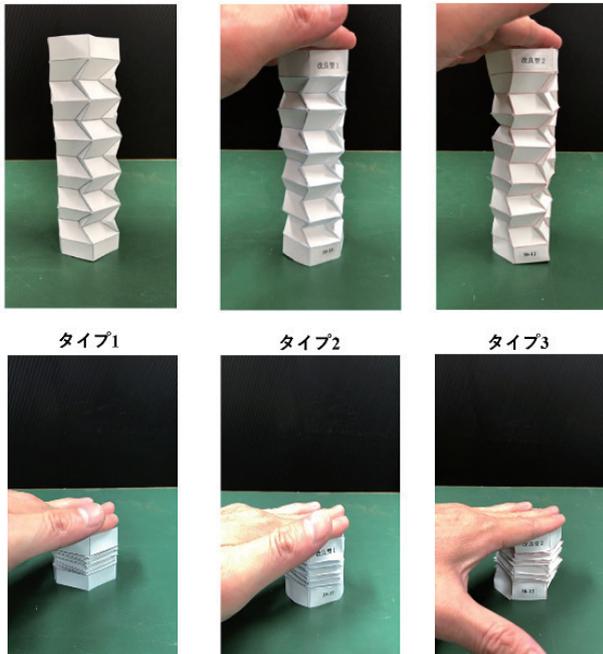


図5. 折り畳みの検証

表1. 折り畳みの検証結果

折り紙管路	折り畳み	収納性	管路断面積
タイプ1	良好	1/10	433 mm ²
タイプ2	良好	1/9	452 mm ²
タイプ3	劣る	1/7	915 mm ²

折り畳みの検証について表1のようにまとめた。タイプ1とタイプ2は折り畳みやすさと収納性に優れており、タイプ3は折り目に沿って折り畳めていないため収納性が低下した。この折り畳み性能低下の原因は、折り目の二等辺三角形の底角が三種類の折り紙管路の中で最も小さくなったことで管路断面積を大きくできたが、折り目同士が接近しすぎたことにより、折り目の重なる箇所で厚みが増し、収納性が悪化したと考えられる。

4. 数値流体力学を用いた管内流れの観察結果

本研究において注目した折り紙管路における基本的な特性の確認および、管路内流れの諸性質を知るために、シミュレーションによる解析を実施した。解析ソフト

は、MSC Software社のCradle CFDを用いた。解析は、非定常3次元解析を用いており、乱流モデルはRANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations: レイノルズ平均モデル) 型のSST $k-\omega$ モデルを用いた。このモデルは、自由流れと乱流モデル化に強い $k-\epsilon$ モデルと圧力の逆勾配や剥離を伴う境界層流れのモデル化に強い $k-\omega$ モデルの長所を合わせもつモデルであり、本解析は低レイノルズ数領域を扱うことから、この乱流モデルを用いた。また解析条件となる作動流体は非圧縮性乾燥空気とし、非定常流れとした。解析する形状や計算に必要なメッシュは、30万のポリヘドラルメッシュ (図6) を作成し、サンプリング間隔0.01秒で1000サイクル計算した。解析の様子を図7に示す。

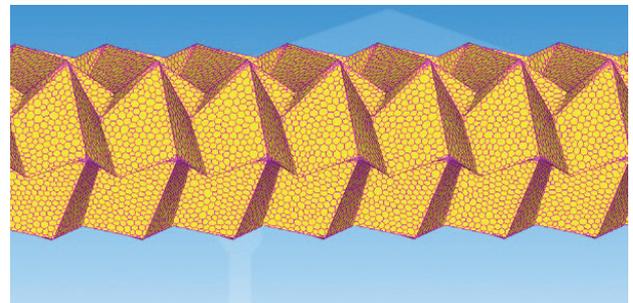


図6. ポリヘドラルメッシュ

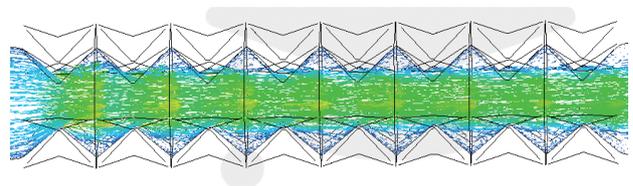


図7. Cradle CFD を用いた解析の様子

三種類の折り紙管路と段差の付いていない直管路を比較した解析を行った。管路の長さは450mm、直径は製作のしやすさから47mmとした。またCFDを実測 (風洞実験) に近い精度で行うために、折り紙管路前後の流入部と流出部を、境界条件が結果に対して直接作用することを防ぐよう延長した後に解析を実行した⁽⁵⁾。

本研究では、流速0.2m/s、0.5m/s、0.8m/sの空気を流入させ、管路両端の圧力差を解析した。その結果を表2と図8に示す。

表2. 数値流体力学 (CFD) による管路両端の圧力差

	比較用 円筒管	タイプ1 45deg・20deg ($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)	タイプ2 35deg・15deg ($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)	タイプ3 30deg・12deg ($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)
流速 m/s	($d=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)	($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)	($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)	($d_i=47\text{mm}$, $L=450\text{mm}$)
0.2	0.10 Pa (Re=630)	0.70 Pa (Re=300)	0.41 Pa (Re=330)	0.28 Pa (Re=400)
0.5	0.35 Pa (Re=1600)	4.60 Pa (Re=760)	2.00 Pa (Re=830)	1.32 Pa (Re=1000)
0.8	0.67 Pa (Re=2500)	10.20 Pa (Re=1230)	5.40 Pa (Re=1330)	3.50 Pa (Re=1600)

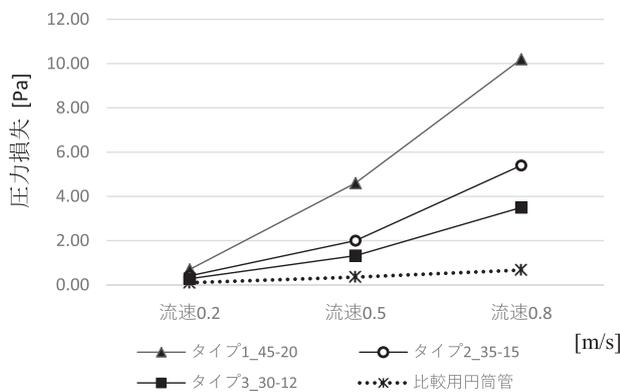


図8. 折り紙管路と比較用円筒管の圧力差比較

5. 折り畳み式筒状管路の流路としての評価

比較用円筒管路の圧力損失は、CFDの解析結果から0.10Pa (0.2m/s), 0.35Pa (0.5m/s), 0.67Pa (0.8m/s)であった。この値は一般的な圧力損失の実験式から予想される値とほぼ同一である。

小児に人工呼吸器を用いる場合の流速0.2m/sにおける比較用円筒管と折り紙管路三種類の圧力損失を比較した場合、比較用円筒管の圧力損失0.1Paに対して、タイプ1の圧力損失は0.7Paであり、比較用円筒管の7倍の圧力損失であった。タイプ2の圧力損失は0.41Paとなり、比較用円筒管の4倍の圧力損失であった。タイプ3は0.28Paとなり、比較用円筒管の3倍の圧力損失であった。

成人に人工呼吸器を用いる場合の流速0.5m/sにおける比較用円筒管と折り紙管路三種類の圧力損失を比較した場合、比較用円筒管の圧力損失0.35Paに対して、タイプ1の圧力損失は4.6Paであり、比較用円筒管の13倍

の圧力損失であった。タイプ2は2.0Paで比較用円筒管の6倍の圧力損失であった。タイプ3は1.32Paで比較用円筒管の4倍の圧力損失であった。

人工呼吸器を用いた治療において、高流量換気を実施する場合の流速0.8m/sにおける比較用円筒管と折り紙管路三種類の圧力損失を比較した場合、比較用円筒管の圧力損失0.67Paに対して、タイプ1の圧力損失は10.2Paであり、比較用円筒管の15倍の圧力損失であった。タイプ2は5.4Paで比較用円筒管の8倍の圧力損失であった。タイプ3は3.5Paで比較用円筒管の5倍の圧力損失であった。

管路へ流す流速を0.2m/sから0.5m/s, 0.8m/sへ増加させるほど、圧力損失は大きくなるのがわかる。これはDarcy-Weisbachの式より、流速の2乗に比例して圧力損失が拡大することに一致している。

人工呼吸器の一般的な流量0.5m/sの条件下にて、折り紙管路の圧力損失を比較した場合、タイプ1の圧力損失は4.6Paであるのに対して、タイプ2では圧力損失が2.0Paとなりタイプ1に比べて半減した。またタイプ3では1.32Paまでさらに圧力損失が低下した。比較用円筒管の圧力損失が0.35Paであることを考えるとタイプ3は、タイプ1に比べて大きく改善していることがわかった。

全般的に、折り畳み式筒状管路三種類の圧力損失は、比較用円筒管の3倍から15倍程度の大きな値である。管路において、この値が大きいことは性能が低下することを意味している。

これら圧力損失の原因は、主に折り畳みを実現するために犠牲にする管路断面積の減少と、折り目によって生じる凹凸の間に生じる渦による損失が原因と考えられる。

6. まとめ

数値流体力学 (CFD) の結果より、タイプ3 (30deg・12deg, 管路断面積915mm²) が、折り紙管路三種類中、最も圧力差が小さくなり、流路性能が優れていることが証明された。しかしその一方で、タイプ3は折り目同士が接近しすぎており、厚みができることで収納性が悪化した。タイプ1やタイプ2の折り畳み性能は良好で、畳んだ際の収納性も高い。

よって結果から導く結論として、折り紙管路タイプ1 (45deg・20deg, 管路断面積433mm²) は、圧力損失が大きく、流路として使いにくい。折り紙管路タイプ2 (35deg・15deg, 管路断面積452mm²) は、収納性が高

く、圧力損失はタイプ1より半減することから流路性能が改善している。そのため収納性と流路性能の観点から、バランスの優れた折り畳み式筒状管路（配管）であるといえる。

本研究では、折り紙工学を利用した折り畳み式ディスプレイ管路の実用化に向けた管路の性能を数値によって示した。得られた折り紙管路の性能は、まだ改善の余地があるが、今後も2次元展開図や紙（シート材）の改良によって、さらに圧力損失の少ない折り畳み式筒状管路の実現が可能になることが期待できる。

参考文献

- (1) 川名明彦, 三笠桂一, 泉川公一 2020「新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)」日本内科学会雑誌, 109巻
- (2) 野島武敏, 萩原一郎 2018「折り紙の数理とその応用」共立出版株式会社
- (3) 舘知宏 2016「剛体折紙メカニズム」Vol. 34 No. 3, pp. 184-191
- (4) 三谷純 2015「立体折り紙アート」日本評論社
- (5) 戸田和之 2008「境界条件の基礎と決定法」日本機械学会, [No. 07-131] 講習会教材, 39-50

(2023年11月7日受理)

〔研究ノート〕

機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告 — 第三報（3年度活動内容） —

飯川 晋作*, 米良 弘樹*, 伊藤 海*, 山崎 壱織*, 渡邊 良太*,
清水 良*, 高木 怜*, 田中 佑典*, 若林 大輔*

*日本文理大学工学部機械電気工学科

Progress Report on Mechanical and Electrical Fusion Project “Electric Vehicle (Cart) Production” — Third Report (Activities in the Third Year) —

Shinsaku IIKAWA*, Kouki MERA*, Kai ITO*, Iori YAMASAKI*, Ryota WATANABE*,
Ryo SHIMIZU*, Rei TAKAKI*, Yusuke TANAKA*, Daisuke WAKABAYASHI*

*Department of Mechanical and Electrical Engineering, School of Engineering,
Nippon Bunri University

1. はじめに

2020年4月より世界的に感染拡大した新型コロナウイルス感染症 COVID-19により、大学ではオンラインによる講義が行われた一方で、対面による活動は行えない状況が続いた。そのような状況が1年続いた中、機械電気工学科において2021年度より学科内プロジェクトとして「電気自動車（カート）製作プロジェクト」を発足させた。講義外の時間を使用し、電気自動車製作を一つの目標とし、講義で得られた知識を実際の物を使用して更に深め実践する。何より学生間及び学生と教員が共に活動する場の提供が当時としては重要な状況であったと考える。

2021年度の活動初年度は、1年生から3年生の有志学生7名と教職員2名の計9名で活動を開始した。市販の電気自動車（一号機と呼称）の組立、構造理解及び寸法計測、3DCADによる設計、モータ・インバータの組立、走行試験等を行い、またグループ内での意思疎通により学生の知識・技能・コミュニケーション力を養い、活動の定着化を図った。この間に、学生による資金獲得

プレゼンテーション（NBUものづくりコンテストチャレンジ2021, 2021年7月1日, 日本文理大学内）やオープンキャンパス等のイベントに参加し、技術力だけでなく外部へ発信する力も身に付けようとする学生の態度も見られた。

2022年度は、新1年生及び教員の参加もあり計13名で活動を行った。一号機の知見から同様な車体（二号機）を設計し、学内の設備（切断機や旋盤、ボール盤、溶接等）を用いて学生らの手で二号機を製作した。



図1. 参加メンバー（2023年5月12日撮影）

これまでの活動は学科ブログ (<https://mechanical-electrical.nbu.ac.jp/>) や日本文理大学紀要⁽¹⁻²⁾で公開しており、学内のFD研修会(教育・研究改革推進事業)でも報告した。

本プロジェクトの立ち上げから3年目にあたる2023年度では、4年生2名、3年生2名、2年生3名、1年生2名、教員4名の計13名で活動を行っている。図1は1~3年生の参加メンバーを示す。初年度は教員主導で活動を行ってきたが、2年度より少しずつ学生が自ら考えて実施する活動に移行させてきた。活動3年度では、完全に学生主導で行っている。学生間のコミュニケーションや活動運営が上手いいかないこともあるだろうが、その壁を乗り越え、活動メンバー間で建設的且つ息の長い活動にしてもらいたい意図がある。

参加メンバーも増え、それぞれが行いたい内容も明確化してきたことから、大きく2つのグループに分かれて活動することにした。そのため週に1度は全員集合のミーティングを行い、それぞれの活動進捗を報告する機会を設けた。グループは、機械加工を主とした電動キックボード製作グループ、電気制御を主としたCQEVミニカート・レース大会出場グループである。

本研究ノートでは、本プロジェクト3年目の活動を記し報告する。

2. 電動キックボードの製作

図2は昨年度に製作した二号機の試走風景を示す。初年度で組み立てた一号機(CQEVミニカート)を基に、学生自ら学内にある工作機械を駆使し、素材の加工から製作したものである。強度計算も行いながらフレームやハンドル等ほぼ全ての車体部分を自作している。予め技術習得のための練習を行ってはいるが、実践となると技術や経験、知識不足等により製作が思うように進まないことが多かった。比較的車体が大きくなったことにより作業工程が多くなったことも要因となった。そのような中でも、試走を繰り返すことで不具合の発見や調整を経て、車体は完成した。

2年目の反省も含め、3年目では構造が比較的簡単な電動キックボードの製作を目標とし機械設計の知識・技術の向上を図ることとした。本章では、電動キックボードの設計及び現状での作成モデルの簡易的な解析について報告する。図3は電動キックボード製作グループの議論している様子を示す。



図2. 二号機の試走(2023年2月21日撮影)

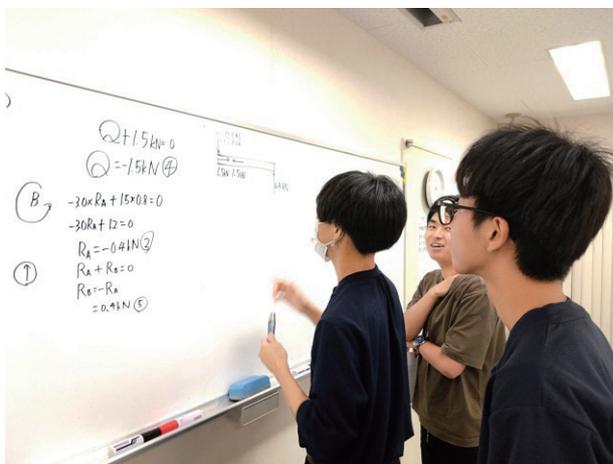


図3. 電動キックボード班の活動の様子

2-1 電動キックボードの設計

図4に電動キックボード設計図を示す。足場(実際に乗る場所)からハンドルまでの高さを1096mmとした。この長さはメンバーの身長から操作しやすい適切な高さ

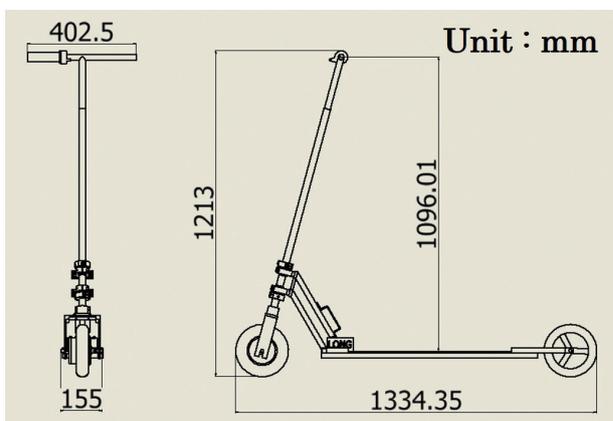


図4. 電動キックボード設計図

として選定した。バッテリーやコントローラはスプロケットやモータの配線を考慮し、足場の前に設けている。実際の作製時にはバッテリー、コントローラはベルト等で固定する。

2-2 作成したモデルの解析結果

本解析では構造解析コードとして Inventor2024 を用いた。解析では、前後輪をピン拘束し、人が乗る場所に 1000N の荷重を負荷した。これは、体重 100kg の乗員を想定している。部品の材料は ABS プラスチック及び鋳鉄に設定した。これは、鋳鉄は金属の中ではもろく衝撃に弱い材料であるため、鋳鉄での解析で十分な安全率が確保できれば、実際に製造するとき材料の選定の幅を広げることができるからである。図 5 にミーゼス応力 σ_{eq} の分布を示す。図 5 に示すように、後輪接続部（鋳鉄）に大きいミーゼス応力が生じていることがわかる。最大ミーゼス応力は約 471MPa であった。鋳鉄の引張強さ σ_B は $\sigma_B = 883\text{MPa}$ であり、安全率 $S_F = \sigma_{eq} / \sigma_B$ は最小で $S_F = 1.61$ であった。本解析で対象とした電動キックボードでは、低速での走行及び路面の凹凸が小さい舗装路での走行を想定している。そのため、大きな衝撃が車体に加わらないことを仮定し、 $S_F > 2.0$ を満たせば、通常走行では問題ないと考えられる。現時点では、その目標を達成しておらず、特に後輪接続部の設計の見直しが必要であると考えられる。

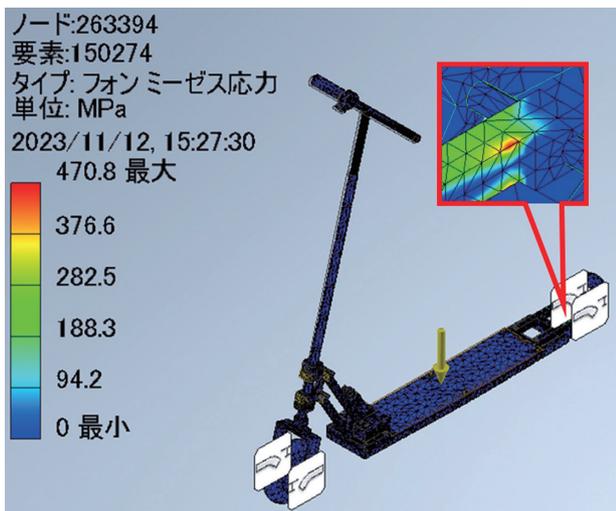


図 5. 作成モデルの解析結果

2-3 まとめと今後の展望

電動キックボードの作製にあたり、設計及び応力解析を行った。設計においては、ハンドルの高さに注目し適切な高さを選定した。構造解析から、後輪接続部に大き

いミーゼス応力が発生し、安全率が 1.61 であった。今後は、まず 2-2 において設定した、 $S_F > 2.0$ を満たすため、後輪接続部の改善を進める。また、セットカラーなどの部品接続部に生じる応力については、その部分におけるメッシュを正確に生成する必要があるため、現時点では厳密な解析が行えていない。そこで、セットカラー等に注目した解析も今後行う必要がある。

3. CQEV ミニカート・レース大会に向けて

もう一方のグループでは、日本電気自動車レース協会（JEVRA）（運営：CQ 出版社）が主催する CQEV ミニカート・レース大会への出場を目指す。CQEV ミニカート・レースは 2014 年から始まり、2023 年は筑波サーキット「コース 2000」で開催された⁽³⁾。EV 時代を見越し、レースはモータ制御の技術に焦点を当て、モータ駆動回路とマイコンによるモータ制御技術を競うことを目的とし、実際のレースでは「ほぼ同性能の鉛電池または、リチウムイオン電池で 30 分走行し、周回数を競う」。初年度に組み立てた一号機である CQ 出版社の CQEV ミニカートを使用することができる。しかし、何も実績がなく大分からの出場を考えると旅費の面で出場が困難であった。そのような中、2023 年 2 月に大分県日田市にあるオートポリスレイクサイドコースにて EV ミニカート・レース九州大会が開催された⁽⁴⁾。福岡工業大学等計 9 チームが出場しており、この大会であれば出場可能であり、尚且つ九州内の大学との技術交流を行える機会となることから、この九州大会への出場を目標とした。本グループはモータの巻線に着目し、以下の検討を行った。

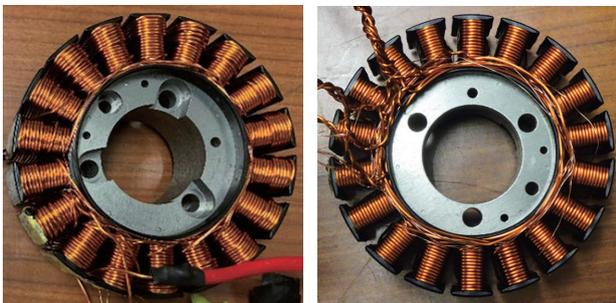
CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたって、運転速度の向上が必須であった。なぜなら、今年度の CQEV ミニカート・レース筑波大会での優勝者の平均時速が 36km/h で走行していたのに対し、現状私たちは乗車した際の最高時速が約 18km/h で、2 倍ほど速度に差があるからである。ここで、モータ回転数の向上に着目した。モータの回転数はコイルの巻数を減らすことでコイルの抵抗（インピーダンス）を減らし、回転数の向上が可能である⁽⁵⁾。そのため、巻線の巻数を減らし検討を行った。本章では、巻数を減らした際の「巻線の電気的特性」、「磁場分布」、「速度変化」及び「温度変化」について報告する。図 6 は CQEV ミニカート・レース大会出場グループの実験を行っている様子を示す。



図6. 大会出場班の活動の様子

3-1 モータの巻線の電気的特性について

モータに使用するステータコアは板厚0.5mmの電磁鋼板を使用しており、外径は直径94.7mm、内径33mmである。巻き線はφ1mmの銅線を使用し、3直2並で巻いた。巻数はそれぞれ20巻(図7(a)), 14巻(図7(b))とした。なお、以後20巻の鉄心を“コア1”, 14巻の鉄心を“コア2”と記述する。コイルの特性についてはLCRメータ(HIOKI IM3523)を用いて測定を行った。



(a) コア1 (N=20) (b) コア2 (N=14)

図7. コイルを巻いた鉄心

図8にコイルの抵抗 ($R_s[\Omega]$), 図9にインダクタンス ($L_s[H]$) を示す。U, V, W相, それぞれ周波数に対する特性 (R_s 及び L_s) の変化は同様で大きな違いはない。しかし、コア2の R_s と L_s はそれぞれ、コア1と比較して24.9%, 39.7%程度低くなった。この結果より、コア2は巻数を減らしたことによりコイルの抵抗及びインダクタンスの減少を確認した。

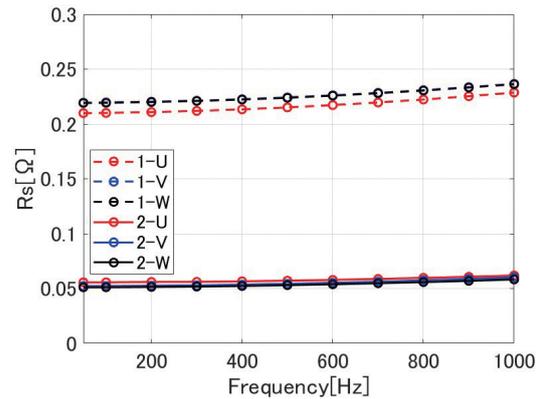


図8. モータコイルの R_s 比較

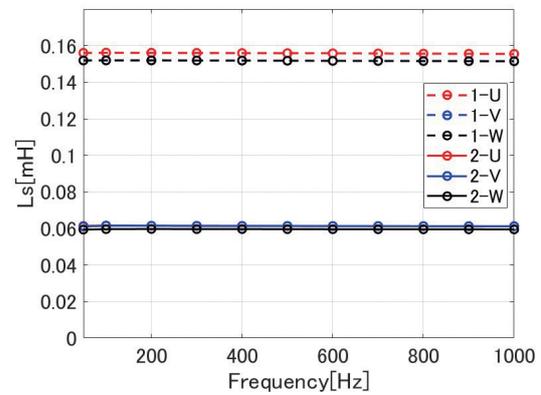


図9. モータコイルの L_s 比較

3-2 磁場分布測定結果

次にステータ部の磁極で生じる磁場の大きさを評価する。磁場分布測定にはテスラメータ(東陽テクニカ5180型)を使用した。図10にコア2の磁場分布測定結果を示す。U相, V相, W相それぞれに直流12V, 1A励磁

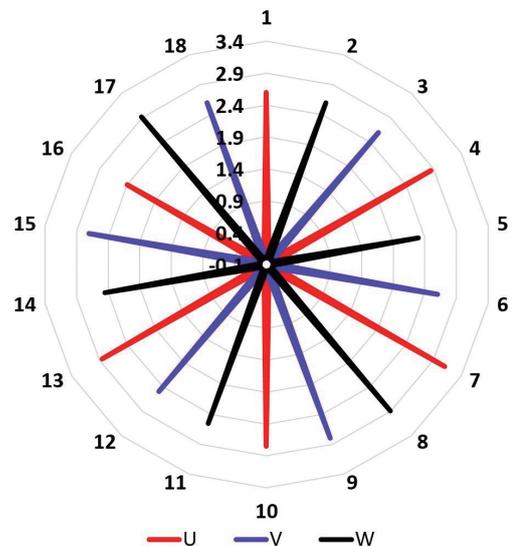


図10. コア2の磁場分布測定結果 ([mT])

した場合、各スロットの平均磁場は2.65mT程度であった。また、分布図から各ティース部に生じる磁場の大きさはほぼ等しい値であることが分かった。コア2の鉄心について安定した回転が可能になるために必要な各ティース部の磁場が均等に生じることを確認した。

3-3 時間に対する速度変化

図11に40分間無負荷回転した際の速度変化を示す。CQEV ミニカート・レース大会は時間が30分間の走行になる。そのため、実際に30分間駆動可能かを判断するため、余裕を持ち40分間駆動させた。結果より40分間での速度変化は殆どなく一定であった。この際バッテリーの電圧は約2V程度しか下がっていないことを確認した。ここで、50km/h回転時には振動が大きくなり運転することは危険であると考えたため、最大でも40km/hでの走行試験が現実的である。いずれにしても速度が一定且つ連続で30分間問題なく駆動することが確認できた。

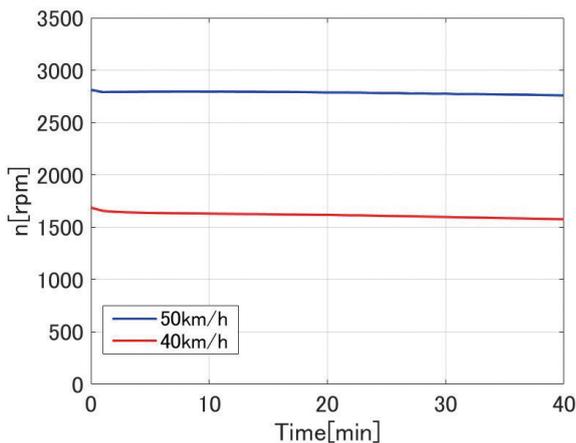


図11. 時間に対する速度変化（無負荷時）

3-4 時間に対する温度変化

図12にモータの無負荷試験状態でのモータ周辺部の熱画像を示す。最大90℃近くの発熱を計測し、その発生箇所はコイル部である。図13は前節と同様の条件下のコイルの温度変化を示す。前節でも記述したように50km/hでは振動が大きいが、温度変化をみると最大で90℃程度でありコイルが焼損することがない範囲であることを確認した。同様に、40km/hで回転させた場合の最大温度は約78℃であるため焼損することはなく安全であることが確認できた。実際の走行では外気温やモータ周りの空気の流れもあるため、実験結果よりも温度が低くなると考える。

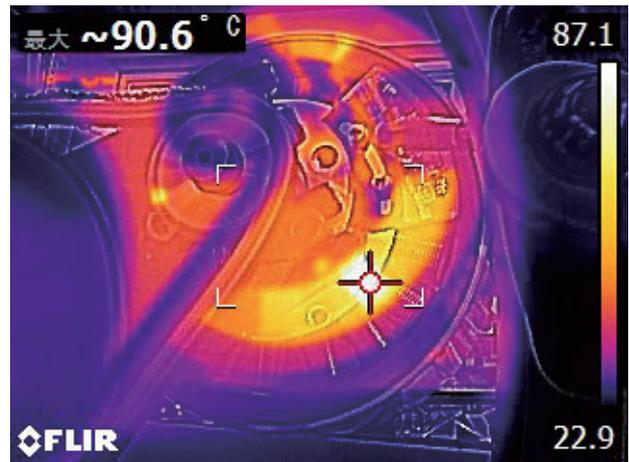


図12. モータの無負荷試験状態の熱画像（無負荷時）

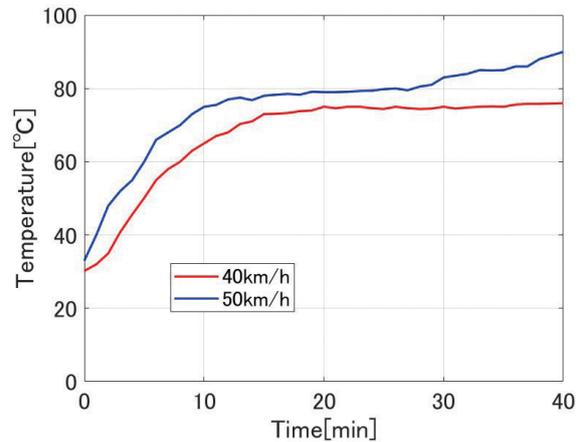


図13. 時間に対する温度変化（無負荷時）

3-5 まとめと今後の展望

CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたり、運転速度の向上が必須であり、モータの回転数の向上に着目した。コイルの巻数を20巻から14巻に減らし、その際の巻線の電気的特性及び磁場分布、速度変化、温度変化を確認した。

電気的特性及び磁場分布では、周波数に対する特性の変化はなく、等磁場分布であることが確認できた。また、速度変化及び温度変化では回転速度を向上させることができ、40分間走行を行っても速度は変化せず、コイルの安全性は温度測定により確認できた。今後の展望としては、現状、スロットルを最大に捻ると約70km/hで回転し危険であるので、インバータ基盤の理解及びこれを制御しているマイコンのプログラムの理解を深め、速度調整を図る。また、負荷がかかった状態での速度、温度変化も調査する。

4. おわりに

三年目を終えようとしている本プロジェクトにおいて、初年度から参加してくれた1年生が今やプロジェクトリーダーとしてグループをまとめている。活動の中でしか得られない事柄に加え、活動を行う責任感、物事をやり遂げる力を身に付けようと、また更なる技術向上を目指し行動する学生が現れ始めている。

図14は2023年6月28日に行われた日本文理大学NBUものづくりコンテストチャレンジの審査会の様子である。CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたり、カートの整備や性能向上等のための消耗品や参加費等が必要となるが、必要経費を学生自らがプレゼンテーションを行い、見事に希望額に近い支援を獲得した。



図14. NBU ものづくりコンテスト2023審査会の様子
(2023年6月28日撮影)

次号では、それぞれのグループの成果（電動キックボード班は製作したキックボードの試走や改良等、大会出場班は2024年2月15日に開催予定の2024年CQEV ミニカート・レース九州大会出場）を報告する予定である。

謝辞

本プロジェクトに参加し推進してくれた機械電気工学科の田村優汰君、豊東侑樹君、井上一翔君、平木大士君に感謝の意を表します。

また本プロジェクトの一部は令和5年度日本文理大学「教育・研究改革推進事業（教育研究改革予算）」の支援により実施された。

また本プロジェクトの一部はNBUものづくりコンテストチャレンジ2023の支援により実施された。

参考文献

- (1) 若林大輔, 田中佑典, 機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告～第一報（初年度活動内容）～, 日本文理大学紀要, Vol. 50, No. 1, pp. 53-59, 2022
- (2) 飯川晋作, 田村優汰, 原田恒迪, 豊東侑樹他, 機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告～第二報（2年度活動内容）～, 日本文理大学紀要, Vol. 51, No. 1, pp. 63-71, 2023
- (3) CQEV ミニカート・レース大会, URL: <https://it.cqpub.co.jp/tse/202310EV/>, 最終閲覧日: 2023年11月14日
- (4) 2023CQEV ミニカート・レース九州大会結果報告, URL: <https://interface.cqpub.co.jp/202302cqev/>, 最終閲覧日: 2023年11月14日
- (5) 内山英和, EV時代のブラシレス・モータ研究－第10回モータの特性を引き出す2…コイルの巻き数や巻線の径を変えてみる－, Interface, 2022年6月号, URL: https://interface.cqpub.co.jp/wp-content/uploads/if2206_156.pdf

(2023年11月14日受理)

〔研究ノート〕

Long Range Cruise での空気抵抗内訳

中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Aerodynamic Drag Breakdown at Long Range Cruise

Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. 概要

空気抵抗（以下、抗力）が最小となる飛行条件では、揚力に起因する誘導抗力とそれ以外の非誘導抗力の内訳（以下、抗力内訳）は50：50で、航続距離が最大になる飛行条件では25：75と説明されることが多い（以下、通説）⁽¹⁾。一方、ボーイング・エアバス社が「typical」と称する抗力の内訳^(2,3)は、図1に示すように抗力内訳50：50より若干非誘導抗力が大きくなっている。通説は推力当たりのエンジン燃料消費率一定を前提としているが、仕事率当たりの燃料消費率一定を想定すると航続距離最大MRC（Max Range Cruise）は、抗力最小となり抗力内訳は50：50となる⁽⁴⁾。

本技術ノートは、MRCに対し抗力が1/0.99倍となる高速側の条件であるLRC（Long Range Cruise）⁽⁵⁾の抗力内訳は43：57になることを示す。本結果は、ボーイング・エアバスの提示値にほぼ一致する。

2. 理論検討

水平飛行時の抗力 D は次式で表され、飛行速度 V の2乗に反比例する第1項が誘導抗力、 V の2乗に比例する第2項が非誘導抗力である。

$$D = \left[\frac{W^2}{2\rho e S_{af}} \right] \frac{1}{V^2} + \left[\frac{1}{2} \rho c_f S_{wet} \right] V^2$$

ここで、 W は機体重量であり揚力に等しく、第1項の誘導抗力は揚力に依存することを表す。 S_{af} は主翼幅 b により $S_{af} = \pi(b/2)^2$ で表される主翼が捉える空気のマスフロー断面積、 ρ は空気密度、 e はオズワルド係数、 S_{wet} は機体濡れ面積（空気に接する表面積）、 c_f は空気の摩擦係数である。

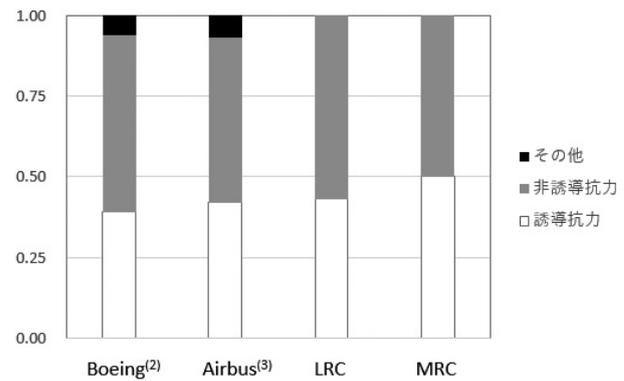


図1 巡航時の抗力内訳

上式に、MRCでの速度⁽⁴⁾

$$V_{MRC}^2 = \frac{1}{\rho} \frac{W}{\sqrt{c_f S_{wet} e S_{af}}}$$

を代入すると

$$\begin{aligned}
D_{MRC} &= \left[\frac{W^2}{2\rho e S_{af}} \right] \frac{1}{V_{MRC}^2} + \left[\frac{1}{2} \rho c_f S_{wet} \right] V_{MRC}^2 \\
&= \frac{W}{2} \sqrt{\frac{c_f S_{wet}}{e S_{af}}} + \frac{W}{2} \sqrt{\frac{c_f S_{wet}}{e S_{af}}} \\
&= W \sqrt{\frac{c_f S_{wet}}{e S_{af}}}
\end{aligned}$$

となり、MRCでは誘導抗力と非誘導抗力が等しくなることが確認できる。前節に述べたLRCの定義から、次のように表すことができ、

$$\begin{cases} D_{LRC} = D_{MRC}/\alpha \quad (\alpha = 0.99) \\ V_{LRC} = x V_{MRC} \quad (x > 1.0) \end{cases}$$

これにより、LRCでの抗力 D_{LRC} は次となる。

$$\begin{aligned}
D_{LRC} &= \left[\frac{W^2}{2\rho e S_{af}} \right] \frac{1}{V_{LRC}^2} + \left[\frac{1}{2} \rho c_f S_{wet} \right] V_{LRC}^2 \\
&= \left[\frac{W^2}{2\rho e S_{af}} \right] \frac{1}{x^2 V_{MRC}^2} + \left[\frac{1}{2} \rho c_f S_{wet} \right] x^2 V_{MRC}^2 \\
&= \left[\frac{D_{MRC}}{2} \right] \frac{1}{x^2} + \left[\frac{D_{MRC}}{2} \right] x^2 = \frac{D_{MRC}}{\alpha}
\end{aligned}$$

本式から x^2 についての2次方程式を導出すると、

$$\frac{D_{MRC}}{2} x^4 - \frac{D_{MRC}}{\alpha} x^2 + \frac{D_{MRC}}{2} = 0$$

となり、その解は $x > 1.0$ から次となる。

$$\begin{aligned}
x^2 &= \frac{1}{D_{MRC}} \left[\frac{D_{MRC}}{\alpha} + \sqrt{\frac{D_{MRC}^2}{\alpha^2} - 4 \left(\frac{D_{MRC}}{2} \right)^2} \right] \\
&= \frac{1}{\alpha} + \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - 1} = \frac{(1 + \sqrt{1 - \alpha^2})}{\alpha}
\end{aligned}$$

よって、LRCの抗力は、

$$D_{LRC} = \left[\frac{D_{MRC}}{2} \right] \frac{\alpha}{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}} + \left[\frac{D_{MRC}}{2} \right] \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{\alpha}$$

となり、その内訳割合は次のようになる。

$$\begin{cases} \frac{\frac{\alpha}{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}}{\left[\frac{\alpha}{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}} + \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{\alpha} \right]} = \frac{\alpha^2}{2(1 + \sqrt{1 - \alpha^2})} \\ \frac{\frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{\alpha}}{\left[\frac{\alpha}{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}} + \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{\alpha} \right]} = \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{2} \end{cases}$$

これに $\alpha = 0.99$ を代入すると以下となる。

$$\begin{cases} \frac{\alpha^2}{2(1 + \sqrt{1 - \alpha^2})} = 0.429 \\ \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{2} = 0.571 \end{cases}$$

以上のように、LRCでの誘導抗力と非誘導抗力の内訳は43 : 57となる。

参考文献

- (1) John Anderson, Introduction to Flight 4th edition, McGraw-Hill, 1999, pp. 400-413等
- (2) Mark Goldhammer, The Next Decade in Commercial Aircraft Aerodynamics - A Boeing Perspective, Proc. Aerodays 2011
- (3) David Hill: The Airbus Challenge: EADS Engineering Europe, Budapest 9-10th May 2008
- (4) 中山周一, 小糸裕大, 中野慎介, ジェット旅客機基本空力設計の要諦, 日本航空宇宙学会論文集, 71巻6号 (2023), pp. 241-248
- (5) William Roberson, Robert Root, Dell Adams: Fuel Conservation Strategies: Cruise Flight, Boeing AERO, QTR_042007

〔研究ノート〕

ジェット旅客機の濡れ面積

小糸 裕大*, 中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Wetted Area Estimation of Passengers Transport Jet Airplanes

Yudai KOITO*, Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

航空工学, 特に航空機設計では外気に接する機体の表面積を濡れ面積 (Wetted Area) と呼ぶ⁽¹⁾。航空機の空気抵抗は揚力に起因する誘導抗力とそれ以外の非誘導抗力に分けられるところ, 非誘導抗力は基本的に濡れ面積に比例するため, 航空機設計では濡れ面積が重要なパラメータとなる。

Boeing 787-8 (以下 B787-8 と略し, 他のボーイング機種についても同様) 等のボーイング機種の濡れ面積推算結果を表 1 に示す。表 1 に示す濡れ面積 (計) を元に航続性能について検討し, ボーイング社が公開している

ペイロード/レンジ図と比較検証したところ, 航続性能の実機値との差は 5% 以下であった⁽²⁾。本稿では, 濡れ面積の内訳とその推算方法を報告する。

2. 濡れ面積推算

ボーイング社が公開している Airport Planning Manual⁽³⁾ に掲載されている三面図から機体寸法を測り取って濡れ面積を推算した。各機種の三面図を図 3~7 に示す。表 1 に記載されている機種で, 図 3~7 に三面図がない機種については, 三面図を測り取った同系列機に対して胴体長または翼面積の違いを反映して濡れ面積の推算値とした。

表 1 濡れ面積の推算結果 (単位, 最右列を除き [ft²])

	主翼	胴体	垂直尾翼	水平尾翼	エンジン	濡れ面積(計)	濡れ面積(計)[m ²]
B787-8	6490	9253	982	1394	1210	19329	1796
B787-9	↑	10459	↑	↑	↑	20535	1908
B787-10	↑	11545	↑	↑	↑	21621	2009
B777-200	7505	11161	1193	1819	1416	23094	2146
B777-300	↑	13285	↑	↑	↑	25218	2343
B777-200LR	7699	11161	↑	↑	↑	23288	2164
B777-300ER	↑	13285	↑	↑	↑	25412	2361
B767-400ER	5180	9160	969	1319	650	17278	1605
B747-8	10162	15276	1685	2477	2384	31985	2972
B777-9	9482	13736	1368	1889	1869	28344	2633

主翼濡れ面積は、主翼を複数の台形に分割し、台形面積の合算により推算する。その際、検証として数値が公開されている主翼面積との比較検証を行う。主翼面積は胴体を貫通する部分の面積を含む⁽¹⁾のに対し、胴体を貫通する部分は外気には触れないので濡れ面積の対象外となる。主翼根元部の台形を図1のように4分割すると、それぞれの面積は次式で表される。

$$\begin{cases} S_1 = c_1 b_0 \\ S_2 = c_1 (b_1 - b_0) \\ S_3 + S_4 = \frac{1}{2} (c_0 - c_1) b_1 \\ S_4 = \frac{1}{2} \left\{ (c_0 - c_1) \frac{b_1 - b_0}{b_1} \right\} (b_1 - b_0) \end{cases}$$

濡れ面積の対象外となる面積は、次式で表される。 b_0 は、胴体幅の半分とした。

$$S_1 + S_3 = c_1 b_0 + \frac{1}{2} (c_0 - c_1) \left[b_1 - \frac{(b_1 - b_0)^2}{b_1} \right]$$

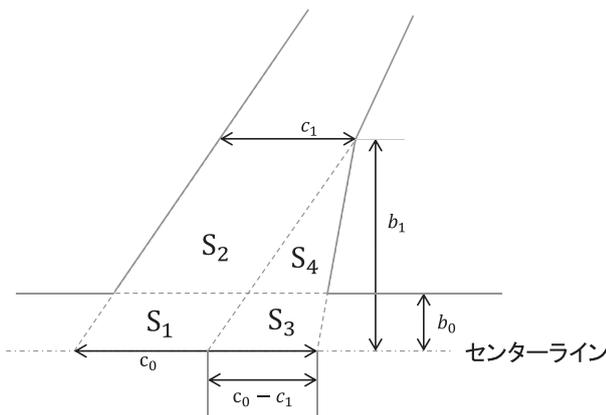


図1 主翼の胴体貫通部

同じ主翼を持つシリーズ毎に、主翼面積の Wikipedia 等の公開情報値と本推算結果の比較を表2に示す。三面図からの測り取りでも、良い精度で主翼面積が推算できることが確かめられた。

表2 主翼面積検証結果 [ft²]

	本稿	公開情報 ⁽⁴⁾	比率
B787-8/9/10	4039	4058	0.995
B777-200/300	4693	4605	1.02
B767-400ER	3169	3130	1.01
B747-8	6158	5960	1.03

水平尾翼および垂直尾翼も主翼と同様に台形または三角形に分割して、その推算値を合算した。ただし、胴体貫通部の面積は検討していない。

胴体は、ノーズ部、テール部、一定断面となっている中胴部の3つに分けて推算する。一部が2階席となっているB747-8では、中胴部を2つに分割する。中胴部は、中胴部長さを l_{mf} 、高さ方向の半径を r_h 、幅方向の半径を r_w としたとき、次式とする。

$$S_{mf} = \pi(r_w + r_h)l_{mf}$$

ノーズ部は、楕円体を2分割した半楕円体として推算する。ノーズ部長さを l_n としたとき、次式とする。

$$S_n = 2\pi \left(\frac{l_n^p r_w^p + l_n^p r_h^p + r_h^p r_w^p}{3} \right)^{\frac{1}{p}}, p = 1.6075$$

テール部は円錐として推算する。テール部が接続している胴体部の断面半径 r_f を、テール部の長さを l_t とすると、円錐を切り開いた時の扇型の半径は $r_t = \sqrt{l_t^2 + r_f^2}$ 、中心角は (r_f / r_t) で表されるので、扇型の面積、すなわちテール部の表面積は、次式となる。

$$S_{tail} = \pi r_t^2 \left(\frac{r_f}{r_t} \right) = \pi r_f \sqrt{l_t^2 + r_f^2}$$

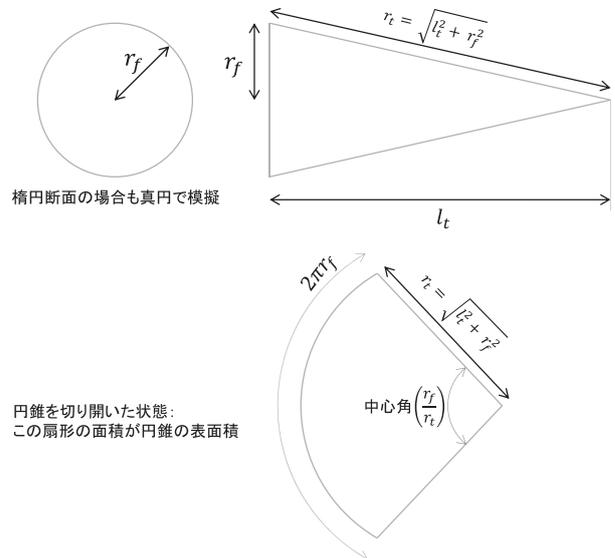


図2 テール部

エンジンはカウリングを円柱で模擬し円柱側面積とした。

同じ主翼および尾翼となっているB787-8/9/10は、B787-8の読み取り値に対して、B787-9/10での胴体ストレッチ長さから、ストレッチ分の円柱側面積を追加した。B787-8の胴体長183ft5inとの差分をとり次のように濡れ面積増加量を推算した。

$$B787-9 (203\text{ft}5\text{in}-183\text{ft}5\text{in}=20\text{ft}) +1206\text{ft}^2$$

$$B787-10(221\text{ft}5\text{in}-183\text{ft}5\text{in}=38\text{ft}) +2292\text{ft}^2$$

胴体断面の長径と短径 (19ft6in, 18ft11in) から平均直径19.2ftを用いた。

B777-300は、胴体以外はB777-200と同じなので同様に胴体ストレッチ (239ft9in-206ft6in=33.25ft) による円柱側面積 (胴体断面は直径20ft4in=20.33ftの真円) として+2124ft²。

B777-200LR/300ERは、B777-200/300と翼以外は同じであるので、翼面積の差を公開情報⁽⁴⁾から (4702-4605=97ft²) の倍 (表裏) の+194ft²加算した。本稿には収録していないが、B777-200LRの主翼の濡れ面積を同様の方法で測り取ったところ+192ft²と近い値が得られている。

3. まとめ

濡れ面積の推算と聞けば、CATIA等を使って3次元データを起こしソフトウェアで表面積を計算する手法が

想起されるだろう。この観点からは、本論文が使った台形や三角形、円柱、円錐、楕円体等に当てはめる推算は粗く精度が悪いとの印象を受けるかもしれない。ただし、このような推算方法で求められた濡れ面積 (計) を使って航続性能を推算し実機値と比較した結果の誤差は、最大5%であり⁽²⁾、十分実用的である。

参考文献

- (1) Daniel Raymer, Aircraft Design - Conceptual Approach 2nd edition, AIAA, 1992, pp.19-22, p. 48
- (2) 中山周一, 小糸裕大, 中野慎介, ジェット旅客機基本空力設計の要諦, 日本航空宇宙学会論文集, 71巻6号 (2023), pp.241-248
- (3) Boeing, Airport Planning Manual, 787. pdf等 https://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.page
- (4) Wikipedia 他

(2023年11月6日受理)

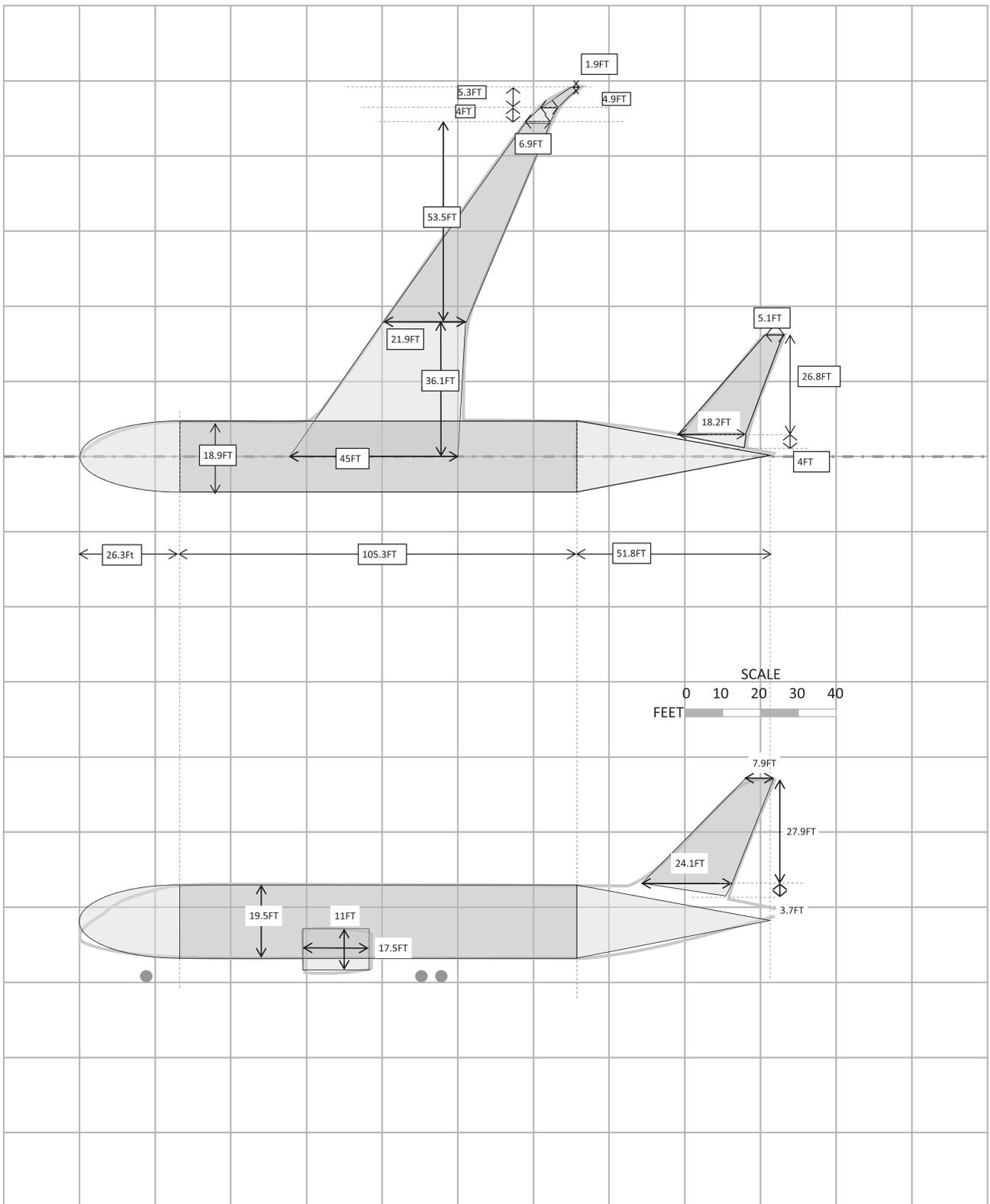


图 3 Boeing 787-8

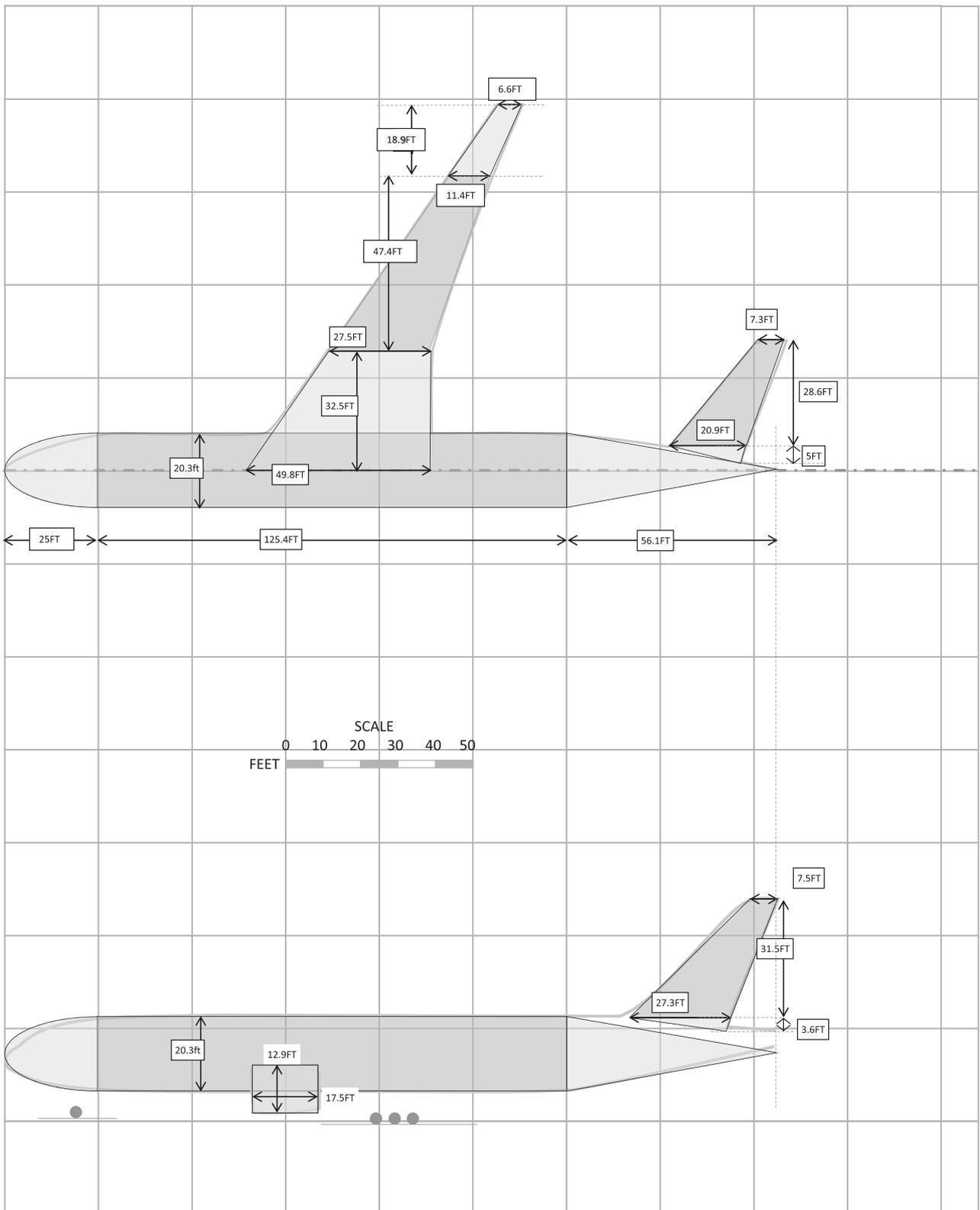


図 4 Boeing 777-200

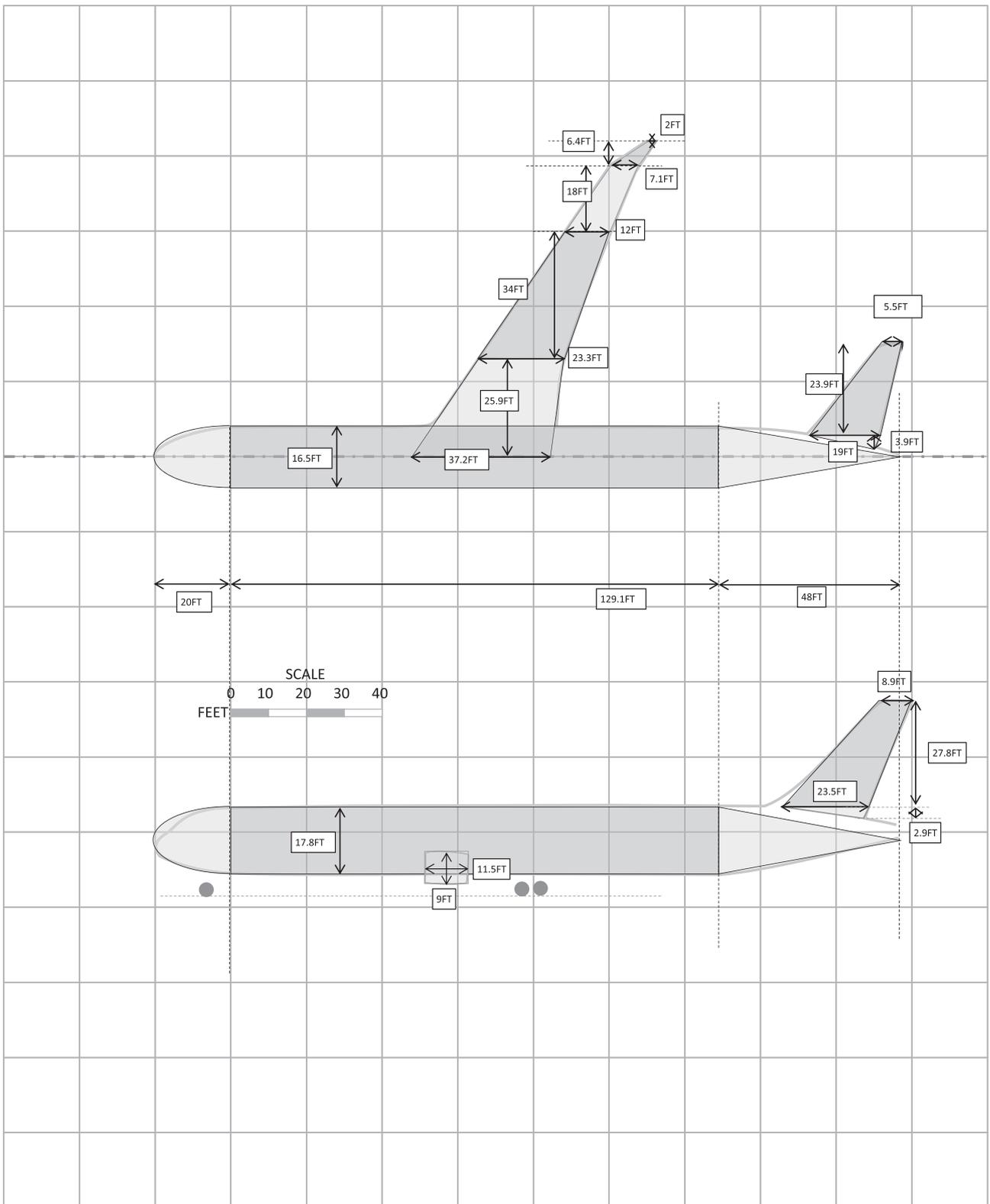


图 5 Boeing 767-400ER

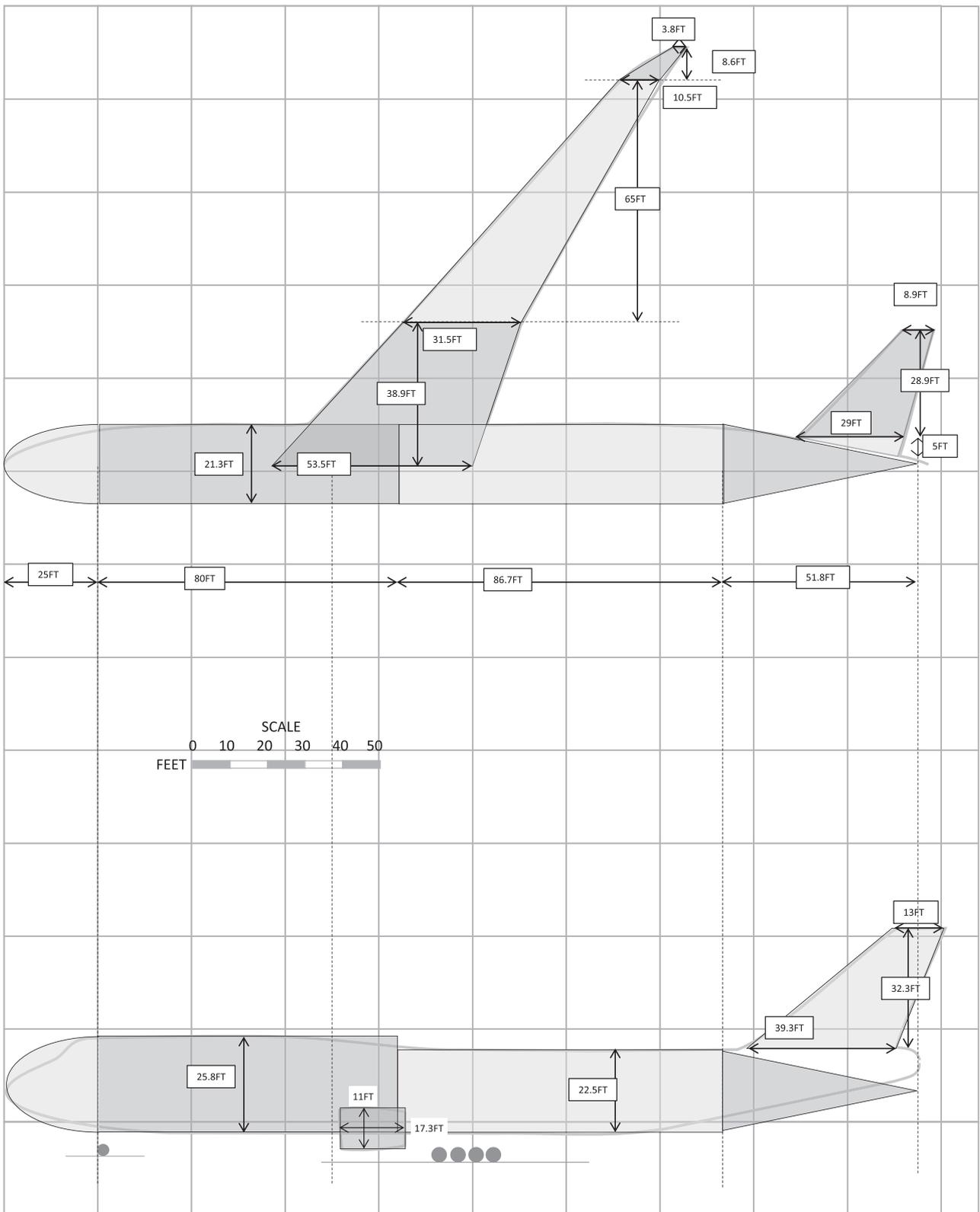


図6 Boeing 747-8

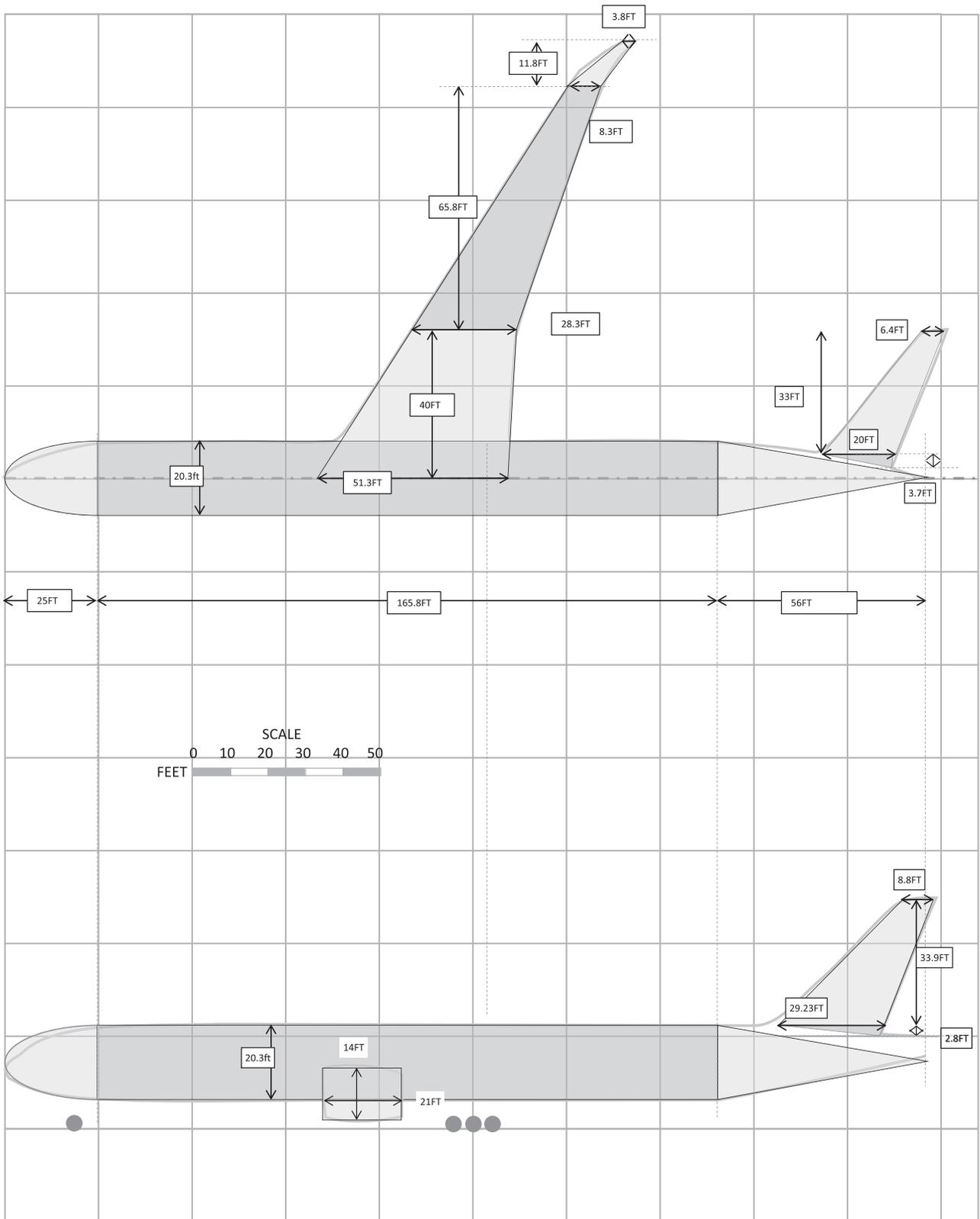


图 7 Boeing 777-9

〔研究ノート〕

情報メディア学科のキャリア科目と 産業界で働くことを結ぶ試み

福島 学*, 徳富 響*, 平野 智也*, 沖田 和久*², 松永 多苗子*,
坂井 美穂*, 松原 かおり*, 星芝 貴行*, 足立 元*

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻

An Attempt to Link Academic Career Courses with Working in Industry in the Career Courses of the Department of Media Technologies

Manabu FUKUSHIMA*, Hibiki TOKUTOMI*, Tomoya HIRANO*,
Kazuhisa OKITA*², Taeko MATSUNAGA*, Miho SAKAI*,
Kaori MATSUBARA*, Takayuki HOSHISHIBA*, Hajimu ADACHI*

*Department of Architecture, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症は情報メディアへのかかわり方を大きく変化させた。集団教育の象徴である教室での対面講義が遠隔講義、プリント（静止）がメディア資料、手渡し配布が配信、がその一例である⁽¹⁻⁴⁾。これに伴い、インターネットを中心とする情報メディアに対する要求が高くなっている。一方で、経済的疲弊のためかコストは効率化が求められている⁽⁵⁾。

情報メディア学科では、昨年度より学科キャリア科目である、情報技術と職業入門（1年生後期科目）において自らの進む路を見つけることを目的に、学科コース紹介および曼荼羅（現状の自分を知り、目標を立て、段階的にステップアップするための設計図）の作成を始めている。これまで学科教員による専門分野の紹介は情報メディア入門で行っていたが、2年進級時のコース選択との整合性を高めるとともに、学生が大学生活の中で学び

の道を歩む道しるべを自ら作成することにより「自分事」と実感してもらうことを目指したものである。

本年度はこれを発展させるため、入門に続く演習（2年生通年科目）および実践（3年生通年科目）を連携することで、下級生は上級生の歩みを見て今後の歩み方の身近な参考に、上級生は自分自身だけでなく下級生の取組み成果を見て振り返りできるようにすることを目指している。

本稿では、それらの取組みの進捗について報告する。

2. 学科コース紹介

2-1 コース紹介の狙い

現在新入生に対して情報メディア入門（1年生・前期科目）にて学科教員の専門分野に関して紹介を行っている。ここでは、図1に示すようにGoogle Classroomを使用し次の分野を各先生方がオムニバス形式で講義を行っている。



図1 情報メディア入門の Google Classroom (本年度版)

各分野と御担当の先生は次の通りである。なお、分野の番号は本年度（2023年度）の開講順となっている。

- 第1分野) 情報教育 (清田先生)
- 第2分野) サウンドデザイン (星芝先生)
- 第3分野) 映像デザイン (小島先生)
- 第4分野) グラフィックデザイン・CG (足立先生)
- 第5分野) ネットワーク (福島先生)
- 第6分野) データベース (濱田先生)
- 第7分野) 情報社会論 (高先生)
- 第8分野) LSI 設計 (松永先生)
- 第9分野) Web デザイン (足立先生)
- 第10分野) 画像処理 (吉森先生)
- 第11分野) データ解析 (坂井先生)
- 第12分野) 組込み (濱田先生)
- 第13分野) 自然言語処理 (赤星先生)

各回で御担当の先生が工夫を凝らし学生にその分野の魅力等を伝えられている。学生にとって大変有意義な科目であるが、例えば学科アドミッションポリシーからカリキュラムポリシーを経てディプロマポリシーに至る歩みがわかりやすいとは言いがたい。講義アーカイブにより以前FD活動で行われた「授業参観」と同様に取組みをしたところ、分野で活躍する人材となるための「学びのキャリア形成」という観点からの説明が十分とは言いがたい点を感じた。しかし、この科目の目的は「各分野の魅力を知る」であることと講義回数の関係および開講時期からここにキャリア的要素を詰め込むことは難しいと考えられる。

そこで、1年生後期からはじまる学科キャリア科目で前期に聞いた内容の振り返りおよび2年進級時のコース選択の側面から、昨年度（2022年度）よりコース毎に紹介していただくこととした。

2-2 情報工学コース

情報工学コースは図2に示すように、プログラミング分野、メディア処理分野、システム開発分野、組込み分野、の4分野について紹介がなされた。ここでは図3の通り、コース必須とコース共通必須科目についても触れての説明がなされた。コース内の分野に関して、担当教員から紹介された。

コースの特色 (情報工学コース)

ICT 産業界の技術スペシャリストとして人材ニーズの高い「ソフトウェア開発者 (システムエンジニア、プログラマー)」を育成するコース

産業界から我々の私生活に関わる身近なところまで様々な場面で**必要とされるシステム・ソフトウェア・アプリケーションを提案・設計・開発**できる人材を育成する

コース必修科目 (情報工学) (計26単位)

科目名	単位数	科目名	単位数
C言語プログラミング	2	データ解析及び演習	3
Javaプログラミング	2	ソフトウェア開発入門	2
アルゴリズム	2	Webシステム構築	2
信号処理及び演習	3	情報システム回路入門	2
画像処理及び演習	3	組込み演習	2
自然言語処理及び演習	3		

- プログラミング分野
- メディア処理分野
- システム開発分野
- 組込み分野

図2 情報工学コース紹介で使用されたスライド例

科目連携表 (学生便覧p. 92 - 93)

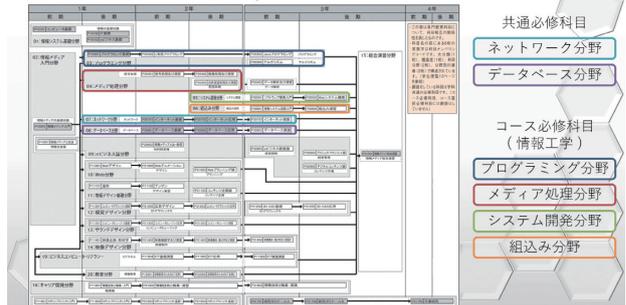
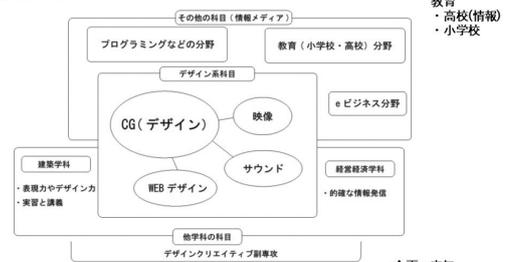


図3 必須科目 (コース・共通) の関係紹介

2-3 メディアデザインコース

メディアデザインコースは図4に示すように、他のコースとの相対的な位置もわかりつつ、コースで取り扱う分野の関係性がわかるように工夫されて説明された。

専門性と卒業後の進路



デザイナー・クリエイター
・グラフィック・Webデザイン/サウンドデザイン/映像制作
教育 (小学校・高校) 分野
eビジネス分野
経営経済学科
・的確な情報発信
企業・宣伝
・印刷/広告/営業/事務

図4 メディアデザインコース紹介で使用されたスライド例

コース内の分野に関して、主担当の先生が全員ご参加可能であったため、各先生から紹介がなされた。

2-4 情報コミュニケーションコース

情報コミュニケーションコースは図5に示すように、他のコースとの相対的な位置関係に基づいて紹介がなされた。

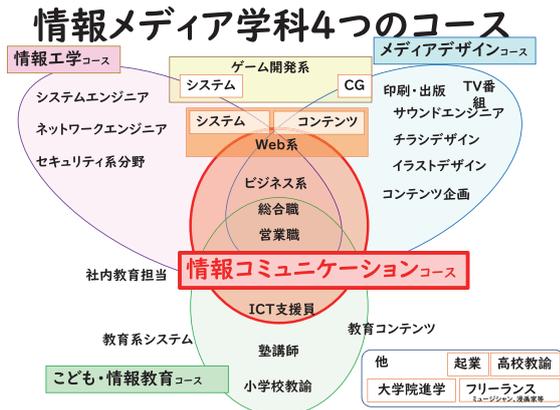


図5 情報コミュニケーションコース紹介で使用されたスライド例

コース内の分野に関して、参加可能教員により紹介がなされた。特に、コース変更に関して条件が厳しいコースであるため、注意事項が詳しく説明された。

2-5 こども・情報教育コース

4コースの中で、こども・情報教育コースは、入学時にコース選択しているため、2年進級時のコース選択で選べないが、同じ情報メディア学科のコースとして、どのようなコースであるかが図6に示すように工学部・情報メディア学科にあることの意義を含めて紹介された。

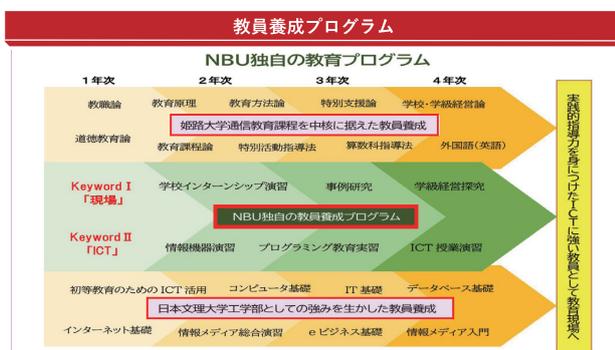


図6 こども・情報教育コース紹介で使用されたスライド例

2-6 コース紹介の効果

コース紹介は1年生前期科目である情報メディア入門をコースという単位で要点をまとめたものとなっている。このため受講生としては前期に受講時に学んだ内容を後期に改めて振り返りを行う機会となった。

一方、教員としてはコースで連携を取っているものの情報メディア入門では独立したものであったが、改めて4コースにおける位置付けおよびコース内における位置付けを再確認する機会となった。これは、学科としてのコース単位での共通認識を持つ機会となれたものと推察される。

著者らは講義担当者として全コースの紹介を聞くことができたため、学科としての共通項目や、コース間で連携することでより効果的教育につながりそうなものが散見されることに気付くことができた。これは、学科ディプロマポリシーを考える上で有益であるとともに、それを実現するためのカリキュラムをブラッシュアップする上でも有益ではないかと考えている。そこで、このコース紹介は学科教員でデータを共有するために使用しているMicrosoft Teamsに講義記録として記載し共有することを考えている。

3. 情報技術と職業における学年間のつながり

入門(1年生科目)は月曜日、演習(2年生科目)と実践(3年生科目)は木曜日、と開講曜日が異なるため、1年生は入門用Google Classroomの他に図7に示す全学年に向けたGoogle Classroomにも登録して受講する。4年生は対応する科目は無いが、学科キャリア支援としてGoogle Classroomへの登録とオンラインでの受講を可能としている。



図7 情報技術と職業(全学年)のGoogle Classroom(本年度版)

Google Classroom は講義支援サービスであるため、学生同士の情報共有や共同作業には向いていない点がある。そこで、この科目では図8に示すように Microsoft Teams も利用している。なお、Teams は単年度で閉じず「これまでの取組」を適時確認することができるようにしている。

情報技術と職業	1年生	2年以上	1年生	2年生	3年生	4年?
1	10月2日	10月5日	ガイダンス	ガイダンス	ガイダンス	
2	10月9日	10月12日	一般常識	一般常識	一般常識	
3	10月16日	10月19日	VRT/曼茶羅準備	曼茶羅振り返り	曼茶羅振り返り	
4	10月23日	10月26日	コース紹介 工学コース	産業と会社	志望企業と産業	
5	10月30日	11月2日	コース紹介 デザインコース	質問準備 産業の情報を聞き出すために企業に質問する →産業と企業の関係のイメージ	企業のつながり 興味を持てる会社がどの産業とどういふかかわりを持つべきか	御来校かじゃの?

図8 情報技術と職業の Microsoft Teams (本年度版)

図8でわかるように、各講義で何をするかについて全学年でわかるようになっており、縦に見れば講義シラバスに相当し、横に見れば翌年/前年に何をしていたのか関連がわかるようになっている。

なお、各学年での取組みは次のように設定している。

1年生（働くことのイメージが学びの対象です。一般常識試験、VRT、GATB）

学科コース紹介を通して各コースがどのような人材育成を目指しているかを知る。

2年生（1年生最後に作成した曼茶羅に基づき歩みを踏み出すことが学びの対象です。曼茶羅はどのスキルをどう伸ばし何になろうとするかを記載するものです）

全学キャリア科目の「産業/業界」を学ぶことに関して、1年次の検査結果に基づき、学科およびコースの特性と合わせて「自らを活かす」ことについて学びます。

同じ方向性を持つ学生でチームを組み、企業の方への質問を通して「目指す産業」について情報を聞き出し「自分達で想像しているもの」と比較します。

ゼミ配属を通して「情報収集と分析」の実践に挑戦します。

3年生（説明会・見学会で自分で考えた自分の魅力を伝えられるようになることが目的です）

配属ゼミでの活動を通して「収集・分析した情報の評価」を行います。実際の就職活動準備（説明会や見学会）で自らの取組みの方向性を確認し、就職実践（インターンシップや採用試験）に臨むための作り込みに挑戦します。

4年生（自己評価に基づく進路の確定）

就職活動として、内定取得活動だけでなく「職/組織における役割」に就くことを視野に入れ、具体的な行動を「それまでの自らの足」に基づいて評価・判断しつつ、自らが歩む先を見定めることに挑戦します。

「どの産業」で「何の職」を通して「どんな社会的価値」を提供したいと思っているのかを具体化します。その中で、今のスキルレベルで挑戦する「就職」と、具体的にどのスキルをどのレベルにどうアップさせるかを計画的に行う「大学院進学」を決めていきます。

なお、自分自身を知るための数値化として次のサービスを利用している。

- ・一般常識試験（社会人としての教養的能力を知る）
- ・VRT（自身の興味分野を知る）

6つの興味領域（現実的、研究的、芸術的、社会的、企業的、慣習的）に対する興味の程度と自信度を数値化

- ・GATB（自身の能力を知る）

職業適性のうちの能力（適性能）を測定する検査

4. 全学キャリア科目との科目間連携の試み

全学キャリア科目として社会参画系科目があり、1年生前期・後期、2年生前期・後期に開講されている。特に2年生後期に開催されている社会参画実習2では、新型コロナウイルス感染症が蔓延する前は企業訪問として実施されており、現在は大分県商工観光労働部・雇用労働政策課・若年就業支援班の御協力により企業の方に御来校いただく形式で実施している。

御来校される企業は本年度4企業であり、4コースの多様な分野に直結する可能性は低い。しかし、1企業は複数の産業界とつながりをもって社会活動をしている。

そこで本学科では、御来校企業から自分達が調べたい産業の情報を聞き出すことを目的としている。上手く聞き出すためには、御来校企業が力を入れている取組みと成果を調べる必要があり、結果的に御来校企業が多様な産業とつながっている事実を学んでいる。

本年度の御来校企業の方々が御講演くださった内容⁽⁵⁻⁶⁾には、各コース・各御担当者の想定する産業／就職先に関する情報があり、受講生（2年生）もそれらについて質問している。しかし、企業が話された内容は受講生（2年生）および2年生担当教員（足立先生、清田先生、坂井先生、福島先生、星芝先生、松永先生）のみが聴いている状況となっている。そこで、この御講演内容を情報技術と職業と連携し、さらに先生方で先のコース紹介記録ビデオと同様に学科 Teams 経由で共有することで、本学の教育理念である「産学一致」を取り入れつつ、大分県内企業が御来校されていることから「地域・社会貢献」につなぐ人材育成の実践ができるのでは

ないかと考えている。

本年度御講演の中で主要なシーンを図9-15に示す。図9は情報工学コースで分野紹介された画像処理および



図11 医工連携の一例として紹介されたスライド例⁽⁵⁾

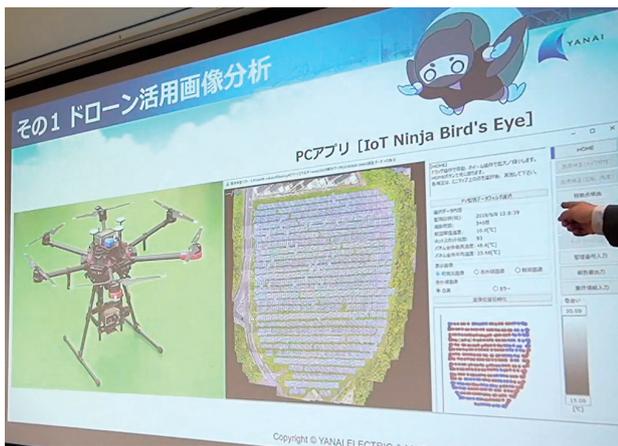


図9 画像解析と組込み分野について紹介されていたスライド例⁽⁵⁾

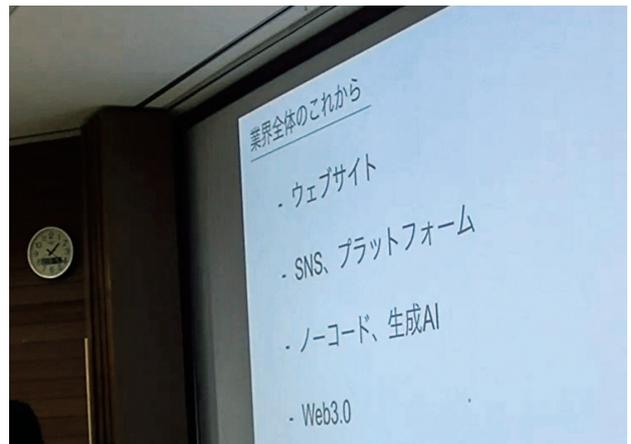


図12 業界としてポスト・ウェブサイトの状況を紹介されたスライド例⁽⁶⁾



図10 メタバースと教育について紹介されていたスライド例⁽⁵⁾



図13 広告業界におけるICT技術との関係を紹介されたスライド例⁽⁶⁾



図14 広告業界と組み込み産業等の情報工学分野との関係を紹介された際のスライド例⁽⁶⁾

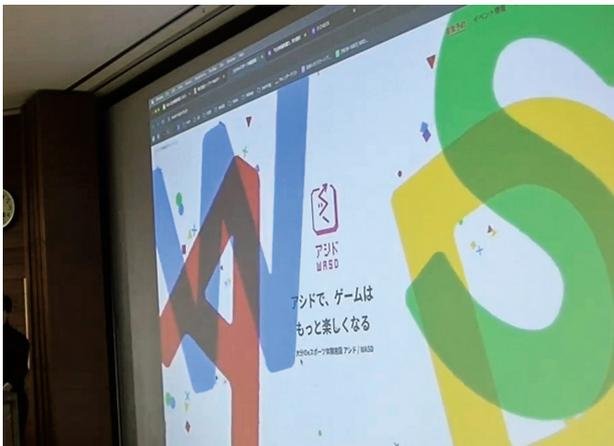


図15 Web制作会社が手掛ける大分初 e-sports が紹介された際のスライド例⁽⁶⁾

び組み込み技術についてである。プログラミングに関しては、図10, 11, 12で紹介されており、特に図12にあるようにノーコードに関して学生参加型でのデモンストレーションが行われた。組み込み産業に関しては、学科内で大分県 LSI クラスター形成推進会議の会員企業との共同研究が進められており、組み込みデバイスと Web サイトによるシステム構築が進められている。

図10はこども・情報教育コースで説明された「ICTに強い教員育成」が社会的ニーズと一致していることと、情報工学コースのプログラミング、メディア処理、コミュニケーションコースの価値創造、と関係することが示されている。図13, 14は、広告がデザインの側面だけでなく、報工学的な側面と深くかかわっており、従来工学コースの学生が志望している企業が手掛けていた産業

に進んできている実情が紹介された。

このように、コース紹介で感じた情報メディアのコース間連携や学科共通技術が大分県内企業の実例として紹介されていた。受講生は、1回の講義において講義内で約30分、講義終了後に約1時間に渡り御来校企業に質問させていただいている。講義内での質問は全受講生が質問も回答も聞いているが、講義後はその限りではない。しかし、ここで何った内容は社会参画実習2の発表資料にまとめられ、互いにプレゼン資料を見ることも可能となっている。ここでは、この取り組みを学科キャリア科目と連携することで、1年生が翌年への目標、3年生が就活本番に備えるための振返り、2年生も社会参画実習2で十分な調査に基づく質問を行うための時間として利用することができ、結果的に全学キャリア科目としての学びの質を向上できると考えている。

5. おわりに

情報メディア学科で開講しているキャリア科目である情報技術と職業において、入門（1年生・後期開講科目）、演習（2年生・通年科目）、実践（3年生・通年科目）および4年生（課外・オンデマンド）において、できるだけ学年によらず実施する試みについてその途中経過をまとめた。1年生は年度末にどのようなコースを選ぶことでどういう出口につながるのかの見通しを良くすることが目的である。2年生の全学キャリア科目である社会参画応用・実習2で取り組む内容と学科キャリア科目の整合性を取ることで、相乗効果を狙っている。3年生は夏季休暇のインターンシップ等をはじめとする就活スタートに備えるために、それまでの取り組み成果を振り返ることで、結果に基づく自己分析を行い「できた」という事実に基づく「どうする」を考えることができるようになることを目標としている。4年生は内定取得を目指す活動およびその後の入社に向けた準備をスムーズに進ませることを目標としている。

これまでの結果として、社会参画実習2で御来校された企業の方々から「積極的に質問いただけて頼もしい人材が育成されている」「質問されて改めて日頃の業務で取り組んでいる内容に向き合えた」等の好印象のお言葉をいただくことができた。また御担当の大分県商工観光労働部雇用労働政策課若年者就業支援班の方から「学生の質問する姿勢を見て良い人材が育っている」とのご評価を得た。これは、情報技術と職業・演習（2年生科目）が実践（3年生科目）と連携することで前年度のフィードバックがあっただけでなく、質問に向けた取り組みを講

義内で1コマ多く取れたことによる相乗効果であると判断している。

今後、就職率、インターンシップ先の評価、GPA等の推移を見なければ取組みの評価はできないが、本学科のアドミッションポリシーからディプロマポリシーに至る人材育成を形成することで、産業界および大学進学を目指す方に本学科の魅力をアピールでき、在校生の満足感向上を図れるものと考えている。

参考文献

- (1) 坪倉篤志, 福島学, “オンライン授業におけるオンデマンド配信とライブ配信の実施と, 学習者の印象調査”, 日本文理大学紀要, 第48巻, 第2号, pp. 35-43, 2020年
- (2) 福島学, 山下涼介, 大里一矢, 野見山翔五, 比嘉祐揮, 温水啓介, “遠隔講義用ツールの伝送特性調査”, 日本文理大学紀要, 第48巻, 第2号, pp. 25-33, 2020年
- (3) 福島学, 松永多苗子, 稲川直裕, 伊藤順次, 有吉雄哉, 岡崎覚万, 藤田造輝, 室園昌彦, 杉山雄記, 野見山翔五, 山下涼介, 大里一矢, 鶴野瑞穂, “ロボットプロジェクト関連科目における遠隔講義実践事例報告”, 日本文理大学紀要, 第48巻, 第2号, pp. 85-94, 2020年
- (4) 坂井美穂, 足立元, 鈴木秀男, 福島学, 松永多苗子, “情報メディア学科における社会参画応用の取組み”, 日本文理大学紀要, 第48巻, 第2号, pp. 95-99, 2020年
- (5) 足立元, 坂井美穂, 星芝貴行, 清田雄二, 松永多苗子, 福島学, “企業御講演・社会参画実習2”, 2023年11月2日 <https://youtu.be/PSRPgvoO9sI> (大学アカウントでログインが必要です)
- (6) 足立元, 坂井美穂, 星芝貴行, 清田雄二, 松永多苗子, 福島学, “企業御講演・社会参画実習2”, 2023年11月16日 <https://youtu.be/P8Fuw6Kndq0> (大学アカウントでログインが必要です)

(2023年11月24日受理)

〔研究ノート〕

2学期制が教員の働き方に及ぼす影響 — A市立B小学校を対象とする調査から —

清田 雄二*, 衛藤 俊寿*², 平木 功明*³, 赤星 哲也*

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学経営経済学部経営経済学科*³日本文理大学医療専門学校臨床工学科

Impact of the Two-semester System on Teacher's Work Styles — From a Survey Targeting B Elementary School in City A —

Yuji KIYOTA*, Toshihisa ETO*², Noriaki HIRAKI*³, Tetsuya AKAHOSHI*

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University*³Department of Clinical Engineering, Nippon Bunri University Medical College

1. はじめに

近年、教員採用試験の倍率は低下傾向が続いている。小学校では、新年度が始まっても学級担任が足りず、教頭等が担任を兼務している事例もあり、教員のなり手不足は深刻な状況である。

2022年度に実施された教員勤務実態調査の速報値⁽¹⁾においては、教師の在校時間は前回調査と比較するとやや改善傾向にあるものの、依然として長時間勤務の教員も多いという実態が明らかにされた。

こうした状況を受け、中央教育審議会特別部会は、2023年8月、「教師を取り巻く環境整備について緊急的に取り組むべき施策（提言）」⁽²⁾をまとめた。この中では、教員を取り巻く環境は我が国の未来を左右しかねない危機的な状況にあるとし、より持続可能な学校の指導・運営体制を構築していくためには、教育に関わる全ての者の総力を結集して取り組む必要があるとした。教員のなり手不足を解消するため、教師のこれまでの働き方を見直し、長時間勤務の是正を図ること等、教員を取

り巻く環境改善は急務である。

一方、教師を取り巻く厳しい状況を少しでも改善しようと自律的な学校運営を行い努力している学校もある。学校行事の在り方や指導体制を見直すとともに、2学期制を導入し、働き方改革の実効性を高めようと学校改善に着手している。

日本では、お盆や正月等の伝統行事、真夏や真冬における健康保持のための長期休業等が国民性に合致し3学期制が継続されてきた。しかし、2002年度の学校週5日制の完全実施以降、授業時数を確保することを主なねらいとし2学期制を導入する自治体が増えた⁽³⁾。

ただ、文部科学省の調査⁽⁴⁾によると、2学期制の実施率は、小学校においては、2004年度9.4%、2005年度14.0%、2007年度20.2%とある一定の広がりを見せたものの、それ以降は、2013年度20.9%、2018年度19.4%、2022年度22.3%と微増微減を繰り返している。

そこで本研究では、校長のリーダーシップのもと、教員の働き方改革の一環として本年度から2学期制を取り入れた学校の取り組みに焦点を当てる。本稿では、2学期制が教員の働き方にどのような影響を及ぼしたのかを

明らかにする。

2. 研究方法

2-1 調査対象と調査時期

調査対象は、C県にあるA市立B小学校の教職員21名とした。調査は2023年10月6日に実施した。

2-2 調査内容

本研究において実施した質問紙は、教員の業務負担を増やさないように、学校が定期的実施する学校評価（教員の自己評価アンケート）の質問項目に入れ込んだ形で作成した。2学期制に関する質問項目は以下の4項目である。

(1) 教育活動の充実について

「2学期制により、1つの学期が長くなり、余裕をもって落ち着いた学習指導や生徒指導ができたと思う」

(2) 子どもと向き合う時間の確保について

「2学期制により、ゆとりのある教育活動が展開され、子どもと向き合う時間の確保ができたと思う」

(3) 業務改善について

「2学期制により、業務改善が行われ、働き方改革が推進されたと思う」

(4) 今後の展望について

「2学期制のよさを感じたので、今後も2学期制がよいと思う」

いずれの項目も、「5非常にそう思う」「4そう思う」「3どちらとも言えない」「2そう思わない」「1全くそう思わない」から1つを選択し、その理由を具体的に記述してもらうようにした（自由記述）。

3. 結果と考察

ここでは、調査結果についてその特徴を考察する。さらに、各回答の理由について自由記述してもらった内容から2学期制の教員の働き方に対する影響を評価する。

なお、これ以降の分析・考察では、回答者の選択を「5非常にそう思う」「4そう思う」は「肯定」、「3どちらとも言えない」は「中立」、「2そう思わない」「1全くそう思わない」は「否定」と位置づけていく。

3-1 全体的な特徴

(1) 教育活動の充実について

「2学期制により、1つの学期が長くなり、余裕をもって落ち着いた学習指導や生徒指導ができたと思う」

と尋ねた結果を図1に示す。「非常にそう思う」が71.4%、「そう思う」が23.8%で、合わせると95.2%の教職員が、2学期制は教育活動の充実につながったと肯定的に捉えている。「どちらとも言えない」と中立の立場は4.8%であり、否定的な意見はなかった。

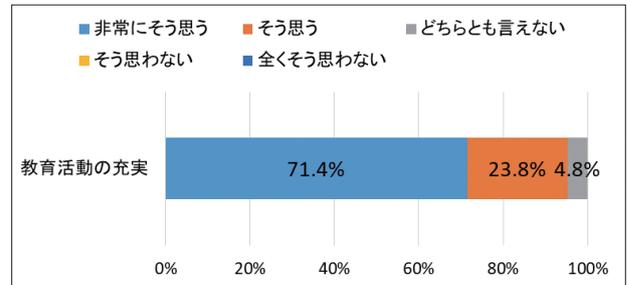


図1. 教育活動の充実に関する結果

(2) 子どもと向き合う時間の確保について

「2学期制により、ゆとりのある教育活動が展開され、子どもと向き合う時間の確保ができたと思う」と尋ねた結果を図2に示す。「非常にそう思う」が47.4%、「そう思う」が52.6%で、全員が2学期制は子どもと向き合う時間の確保につながったと答えている。

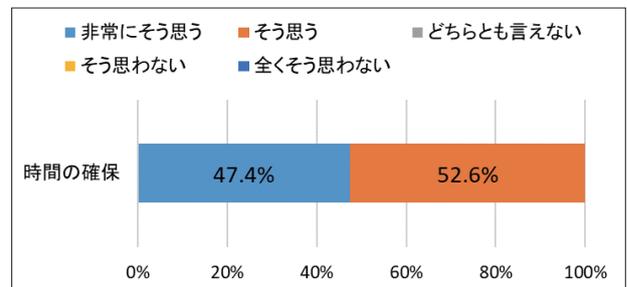


図2. 子どもと向き合う時間の確保に関する結果

(3) 業務改善について

「2学期制により、業務改善が行われ、働き方改革が推進されたと思う」と尋ねた結果を図3に示す。「非常にそう思う」が30.0%、「そう思う」が35.0%で、合わせると65.0%の教職員が2学期制は業務改善につながったと肯定的に捉えているものの、「どちらとも言えない」と中立の立場が25.0%、「そう思わない」と否定的な立場が10.0%と教職員の意見が分かれた。

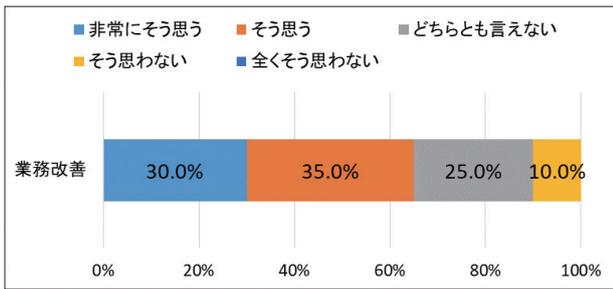


図3. 業務改善に関する結果

(4) 今後の展望について

「2学期制のよさを感じたので、今後も2学期制がよいと思う」と尋ねた結果を図4に示す。「非常にそう思う」が76.2%、「そう思う」が19.0%で、合わせると95.2%の教職員が、2学期制を継続してほしいと肯定的に捉えている。「どちらとも言えない」と中立の立場は4.8%であり、否定的な意見はなかった。

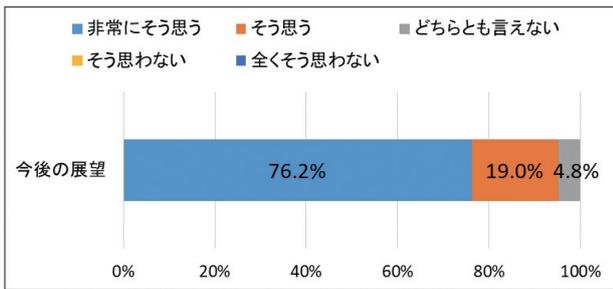


図4. 今後の展望に関する結果

3-2 理由づけ(自由記述)の分析

理由づけの分析にあたっては、KH Coder 3による計量テキスト分析を行った⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

まず、前処理をして抽出語を確認した。「学期制」「子どもたち」「夏休み前」「7月」「成績処理」「在校時間」「業務改善」「校長先生」「秋休み」の抽出語が分離されていたので、これらを強制抽出されるように設定した。

文書の単純集計結果は、次の通りである。

(1) 教育活動の充実については、20の段落、33の文が確認された。分析対象となる総抽出語数は750語、異なり語数は223語であった。

(2) 子どもと向き合う時間の確保については、21の段落、28の文が確認された。分析対象となる総抽出語数は544語、異なり語数は179語であった。

(3) 業務改善については、21の段落、30の文が確認された。分析対象となる総抽出語数は575語、異なり語数は184語であった。

(4) 今後の展望については、24の段落、29の文が確認された。分析対象となる総抽出語数は552語、異なり語数は201語であった。

これらの中から抽出された語のうち、それぞれの質問項目において出現回数の多かった上位25語は表1の通りである。(1)-(4)の質問項目に対して、4項目すべての中から抽出された語は、時間(25回)、思う(24回)、夏休み(13回)、あゆみ<注(1)>(12回)であった。また、3項目の中から抽出された語は、子どもたち(24回)、学期制(22回)、余裕(18回)、学習(13回)、感じる(12回)、

表1. 教育活動の充実、子どもと向き合う時間、業務改善、今後の展望に関する自由記述における頻出語(上位25位)

順位	(1)教育活動の充実について		(2)子どもと向き合う時間の確保について		(3)業務改善について		(4)今後の展望について	
	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
1	評価	12	子どもたち	12	時間	8	学期制	10
2	学期制	8	思う	7	夏休み	6	思う	6
3	子どもたち	8	時間	7	感じる	6	減る	5
4	余裕	7	余裕	6	思う	6	時間	5
5	学習	6	7月	5	在校時間	5	余裕	5
6	思う	5	夏休み前	5	改善	4	あゆみ	4
7	時間	5	学習	4	学期制	4	感じる	4
8	月	4	あゆみ	3	減る	4	子どもたち	4
9	作成	4	活動	3	行う	4	成績処理	4
10	先生	4	向き合う	3	成績処理	4	夏休み前	3
11	長い	4	心	3	放課後	4	学習	3
12	あゆみ	3	成績処理	3	業務	3	秋休み	3
13	スパン	3	一人ひとり	2	仕事	3	メリット	2
14	夏休み	3	夏休み	2	あゆみ	2	夏休み	2
15	夏休み前	3	過ごす	2	回数	2	回数	2
16	指導	3	確保	2	学年	2	向き合う	2
17	単元	3	感じる	2	活用	2	参観	2
18	変容	3	頑張る	2	業務改善	2	思える	2
19	課題	2	期間	2	月	2	授業	2
20	学期	2	週間	2	考える	2	先生	2
21	学級	2	接する	2	作成	2	大きい	2
22	学力	2	相談	2	使う	2	長い	2
23	活動	2	増える	2	自身	2	日程	2
24	基礎	2	多い	2	早い	2	負担	2
25	計画(他11語)	2	昼休み(他5語)	2	働く	2	意識(他88語)	1

成績処理 (11回), 夏休み前 (11回) であった。これらの語は, 『「学期制」を変更することによって, 「時間」や「余裕」という時間に関すること, 「あゆみ」や「成績処理」という評価に関すること, 「夏休み」や「夏休み前」という時期に関することに対して, 教師は思い (「思う」), 感じている (「感じる」)』とつなぎ合わせることができる。さらに, (1)の質問項目の1位の抽出語は, 評価 (12回) である。あゆみ作成に関連する業務の抽出語「評価」「あゆみ」「成績処理」の3語の合計出現回数は35回となる。あゆみ作成は, 教師にとって大きな負担となっており, 2学期制に伴いあゆみ作成の回数を減らすことは, 教員の負担軽減につながると考えられる。

3-3 階層的クラスター分析

(1)-(4)のそれぞれについて, 出現傾向の似通った語の組み合わせにどのようなものがあつたのかを探索するために階層的クラスター分析を行い, デンドログラム (樹形図) を作成した。また, KWICコンコーダンス (抽出語の前後の文脈を確認できる機能) を用いて, これらの語が文章中でどのように使われていたのか, その文脈を確認していった。

(1) 教育活動の充実について

「2学期制により, 1つの学期が長くなり, 余裕をもって落ち着いた学習指導や生徒指導ができたと思う」についての理由に関する階層的クラスター分析の結果を図5に示す。9のクラスターに分類された。

第1のクラスターは, 「見る」「スパン」「児童」「変容」「長い」であった。「2学期制はゆとりがあり, 長いスパンで児童の変容を見ていくことができる」(肯定), 「特別支援学級の子どもたちの実態を考えると, 長いスパンの方が子どもたちの変容を評価しやすかった」(肯定), 「100日のスパンで学習計画や主題研究ができる」(肯定)等, 1つの学期が長くなることにより, 児童の変容の見取りや評価がしやすくなるだけでなく, 教員研修も充実した様子が窺える。

第2のクラスターは, 「定着」「学力」「基礎」であった。2学期制が基礎学力にどのような影響を及ぼしたかについての記述があつた。「基礎学力の定着の時間の確保ができた」(肯定) という声がある一方, 「余裕をもつことはできたが基礎学力の定着につながったか分からない」(肯定) との声もあつた。

第3のクラスターは, 「夏休み」「作成」「あゆみ」であった。「あゆみの作成が2回になることで, その分の時間を教育活動にあてることができた」(肯定), 「あゆ

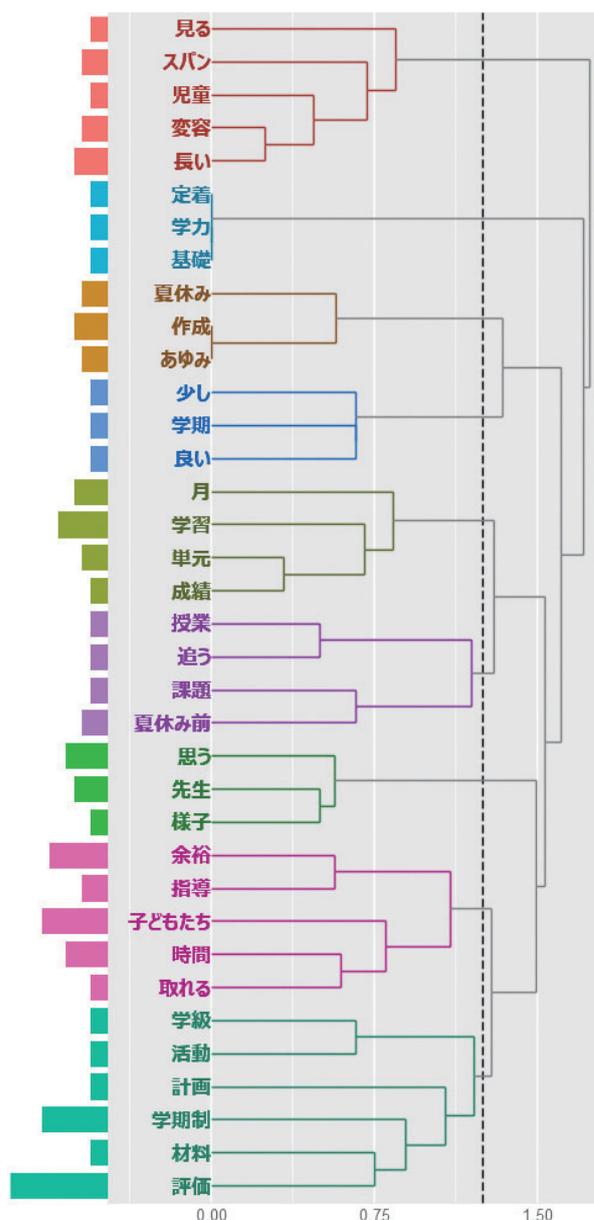


図5. 教育活動の充実についての階層的クラスター分析

みの作成は, 夏休み中にあらかじめしておくことにより, 9月中の負担を減らすことができた」(肯定)等, あゆみの作成回数と作成時期の変更により負担が軽減され教育活動が充実したと推察される。

第4のクラスターは, 「少し」「学期」「良い」であった。「(今までは) 1学期末に, 評価のために少し急いで学習をしてしまったような場面を今回はしっかりと学習することにより子どもたちに力をつけられた」(肯定)と, 学期末に時間的なゆとりが生じることにより学習指導が充実できたとの満足感が確認された。

第5のクラスターは, 「月」「学習」「単元」「成績」であった。「2学期制になって7月の最後までしっかり学

習ができた」(肯定)、「成績の締め追われて単元が端折られることが少なく、夏休み前の学習がしっかりと進められた」(肯定)等、7月の学習指導が充実した様子が読み取れる。

第6のクラスターは、「授業」「追う」「課題」「夏休み前」であった。「授業時数や進度に追われることなく、授業に取り組むことができた」(肯定)、「夏休み前に(児童の)課題を保護者に伝えることで、後半への課題克服につながった」(肯定)等、夏休み前に保護者と連携することで、夏休みの生活が充実し、夏休み後の子どもの成長につながることを示唆された。

第7のクラスターは、「思う」「先生」「様子」であった。「3学期制の学校の様子とは比べ、先生方の多忙感の違いは大きいと思う」(肯定)、「夏休み前に先生たちの余裕があり、とてもよいと思う」(肯定)、「先生たちの様子を見てゆとりがあると思いました」(肯定)等、3学期制の頃とは違う先生方の様子が窺える。

第8のクラスターは、「余裕」「指導」「子どもたち」「時間」「取れる」であった。「教師に余裕が生まれたため、子どもたちに寄り添う落ち着いた指導や教職員の情報共有の時間も取れた」(肯定)、「余裕をもって指導ができたので評価がしやすかった」(肯定)、「2学期制になり、そのばたつきがなく余裕をもって学習指導にあたることができた」(肯定)等、時間的なゆとりが子どもたちへの充実した教育活動につながっていったと考えられる。しかし、「子どもたちの理解として、長い休みを区切りとした3学期制の方がじっくり来やすいようで説明が難しかった」(中立)と、子どもの立場から見た2学期制のよさは何であり、それを子どもたちにどのように伝えていくのかという課題も浮かび上がってきた。

第9のクラスターは、「学級」「活動」「計画」「学期制」「材料」「評価」であった。「2学期制になり評価の材料が増えたので、様々な視点から評価ができた」(肯定)、「評価をする材料が十分に集められた」(肯定)、「余裕をもって指導ができたので評価がしやすかった」(肯定)等、教師の時間的なゆとりが子どもたちの細やかな見取りと評価につながっていったようである。

(2) 子どもと向き合う時間の確保について

「2学期制により、ゆとりのある教育活動が展開され、子どもと向き合う時間の確保ができたと思う」についての理由に関する階層的クラスター分析の結果を図6に示す。6のクラスターに分類された。

第1のクラスターは、「増える」「心」「相談」「一人ひとり」「週間」であった。「心の相談日週間を生かして、

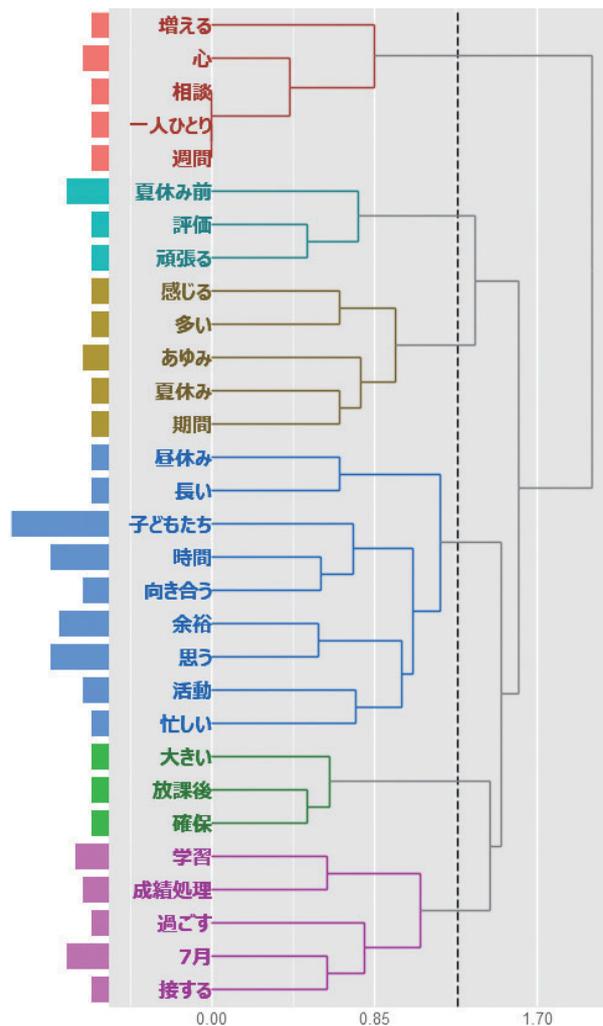


図6. 子どもと向き合う時間の確保についての階層的クラスター分析

一人ひとり面談を行うことができた」(肯定)、「ゆとりをもって、子どもたち一人ひとりとの対話が増えた」(肯定)等、教師が心の余裕を持つことで子どもたちと向き合う時間が増えていったことが窺える。

第2のクラスターは、「夏休み前」「評価」「頑張る」であった。「夏休み前のあわただしさ、殺伐とした空気がなかった」(肯定)、「毎年7月をばたばたと過ごしていたが、夏休み前までゆったりと子どもたちに接することができた」(肯定)等のゆとりある教育活動だけでなく、「夏休み前に保護者にここを頑張ってもらいたいと伝えた内容を(その子が)その後頑張ったことを評価したい」(肯定)というような効果的な教育活動も展開されたようである。

第3のクラスターは、「感じる」「多い」「あゆみ」「夏休み」「期間」であった。「あゆみの作成についても夏休みに取り組まれている先生方も多かった」(肯定)、「評

価を夏休み期間中にゆっくりと見ることができた」(肯定)等, あゆみ作成時期の移動について肯定的な意見が述べられていた一方で、「あゆみの期間と参観の日が重なってしまい少し大変だった」との意見もあった。学校行事の時期見直しの検討が必要かもしれない。

第4のクラスターは、「昼休み」「長い」「子どもたち」「時間」「向き合う」「余裕」「思う」「活動」「忙しい」であった。「子どもたちに寄り添う時間をいつもより確保できたと思う」(肯定), 「子どもたちとより深くかかわることができたように感じる」(肯定), 「時間的にはとても余裕があり, 子どもたちとゆったりと過ごすことができたと思う」(肯定)等, 子どもたちにしっかりと向き合った教師たちの確かな手応えと満足感が記されていた。

第5のクラスターは、「大きい」「放課後」「確保」であった。「2学期制もあるが, 放課後学習がなくなったことによる放課後の時間確保が大きい」(肯定)との意見もあった。

第6のクラスターは、「学習」「成績処理」「過ごす」「7月」「接する」であった。「7月中に落ち着いて学習活動を行えた」(肯定), 「子どもたちと関わりにくくなる7月でも余裕をもって関わる事ができた」(肯定), 「7月に成績処理等がなかったため, ゆとりをもって子どもたちと接することができた」(肯定)等, 2学期制に伴う7月の業務内容の変化が, 教育活動の質の向上へと連動していったことが推察される。

(3) 業務改善について

「2学期制により, 業務改善が行われ, 働き方改革が推進されたと思う」についての理由に関する階層的クラスター分析の結果を図7に示す。6のクラスターに分類された。

第1のクラスターは、「感じる」「回数」「減る」であった。「あゆみを見る回数が減ったことは間違いなく業務改善を担っている」(肯定)という声がある一方, 「結局1学期に行っていた仕事を夏休みに行ったという点では仕事の量は減っていないと感じた」(肯定), 「夏休みに成績のことを感じながら過ごしたのはとてもストレスであった」(肯定), 「成績処理の回数は減ったが, それ以外に関しては, あまり大きな変化は感じていない」(中立), 「残業等を考えると仕事量が減ったとはあまり思わない」(否定)等, 肯定的・中立的な立場の教職員からも, 2学期制が業務改善につながっていないという声が多く記されていた。

第2のクラスターは、「学期制」「業務」「業務改善」

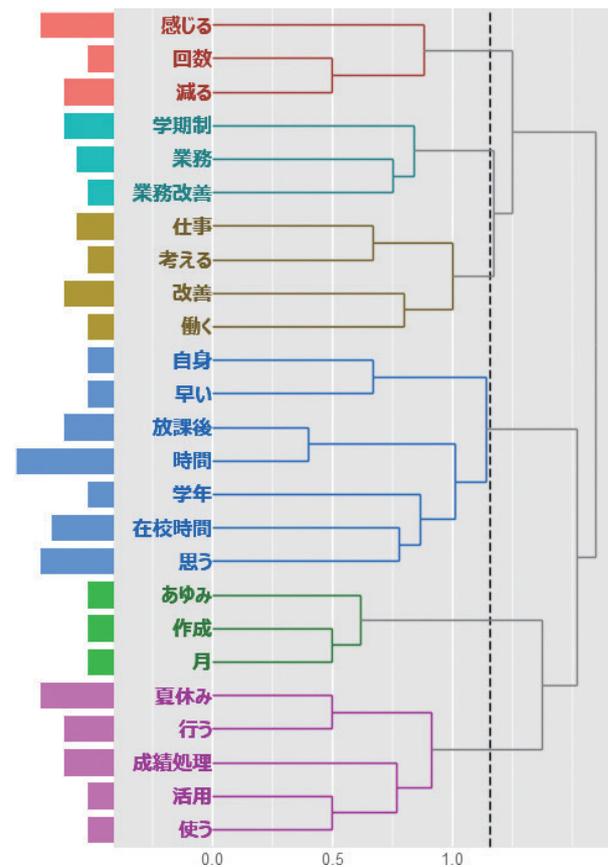


図7. 業務改善についての階層的クラスター分析

であった。ここでも, 「働き方改革をするためにも2学期制は有効だ」(肯定), 「成績処理関係の業務を夏休みに入れることにより, その後の負担を減らすことができた」(肯定)という考えがある一方で, 「2学期制になってあゆみは2回になったが, その他の業務がたくさんあるので業務改善ができていくかは分からない」(中立), 「2学期制によるかの判断が難しい」(中立)等の考えも示された。2学期制により, 成績処理等の業務を行う時期がずれ, 業務が分散されたことによる負担軽減は効果があったと思われるが, 業務量自体は大きく変わっていないとも解釈できる。

第3のクラスターは, 「仕事」「考える」「改善」「働く」であった。ここでは, 第1クラスターと同様の意見がある一方, 「私たちが働きやすいように考えてくださっている」(肯定), 「自身の在校時間については改善の余地が大きい」(肯定)等, 職場全体で環境改善に努めようとする雰囲気が感じられた。

第4のクラスターは, 「自身」「早い」「放課後」「時間」「学年」「在校時間」「思う」であった。「夏休みの時間を活用して成績処理を進めることができた」(肯定), 「放課後の時間を上手く使うことができた」(肯定),

「あゆみ作成を6月や7月に残ってすることがなかったので在校時間の短縮につながった」(肯定)等、2学期制により時間の有効活用ができたようである。

第5のクラスターは、「あゆみ」「作成」「月」であった。「あゆみ作成を夏休みに行うことができた」(肯定)、「所見の作成等、成績処理関係の業務を夏休みに入れることにより負担を減らすことができた」(肯定)等、あゆみ作成の時期をずらすことで業務が分散されたようである。

第6のクラスターは、「夏休み」「行う」「成績処理」「活用」「使う」であった。「夏休みの時間を活用して成績処理を進めることができたため、放課後の時間を上手く使うことができた」(肯定)等、夏休みに成績処理を行える利点があるとの意見もあった。

(4) 今後の展望について

「2学期制のよさを感じたので、今後も2学期制がよいと思う」についての理由に関する階層的クラスター分析の結果を図8に示す。6のクラスターに分類された。

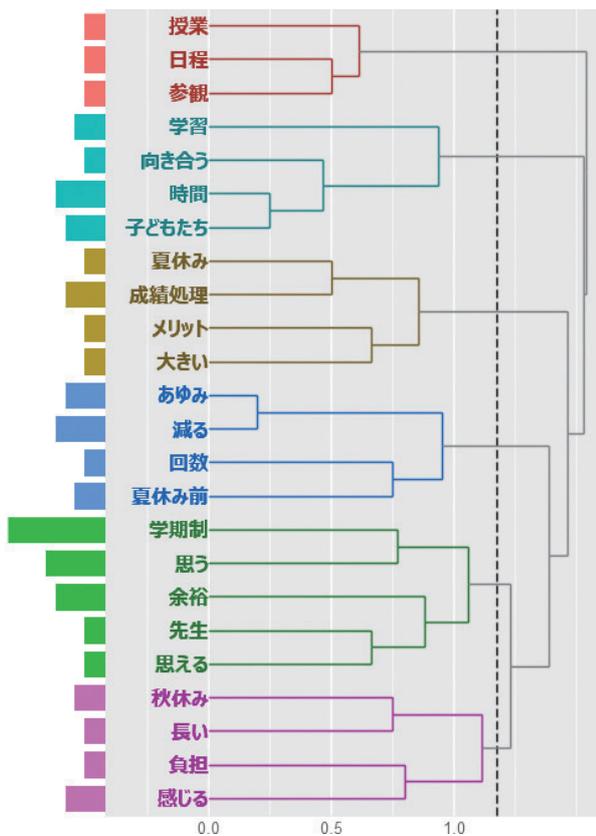


図8. 今後の展望についての階層的クラスター分析

第1のクラスターは、「授業」「日程」「参観」であった。「人権授業参観やスポーツデイ、自然教室の日程等

が考慮できるとよりよい」(肯定)、「学習参観の時期をできればずらしたい」(肯定)等、2学期制を効果的にするための学校行事の時期についての案が示されていた。

第2のクラスターは、「学習」「向き合う」「時間」「子どもたち」であった。「夏休み前のバタバタ感がなくなり、子どもたちへ向き合う時間や学習時間をしっかり確保できていた」(肯定)、「長い目で子どもたちの成長が見れる」(肯定)等、時間的にゆとりができ、その時間が子どもたちのために活用されていったことが窺える。

第3のクラスターは、「夏休み」「成績処理」「メリット」「大きい」であった。「成績処理が年2回で済むのはありがたい」(肯定)、「成績処理の業務を夏休み中にある程度完了できるメリットは大きい」(肯定)等、教員にとって成績処理をする回数や時期は、業務に関する負担軽減の大きな要素であることが分かる。

第4のクラスターは、「あゆみ」「減る」「回数」「夏休み前」であった。「あゆみが2回になったことで、かなり仕事への負担が減った」(肯定)、「あゆみの回数が減ったことと夏休み前の時間を効果的に使えたことがよかった」(肯定)等、教員にとってあゆみ作成の回数が2回に減ったことは、かなりの負担軽減になったと思われる。

第5のクラスターは、「学期制」「思う」「余裕」「先生」「思える」であった。「心と体に余裕が持てたので絶対に2学期制がいい」(肯定)、「2学期制のゆとりを実感したので他校にも広げたい」(肯定)等、余裕をもって教育活動に取り組むことのできる2学期制を継続したいとする声が多数ある一方、「2学期制の説明の仕方にはまだ検討すべき部分がある」(中立)との声もあった。

「なぜ2学期制なのか」を子どもや保護者に丁寧に説明しながら教育効果をさらに高めていく工夫が求められている。

第6のクラスターは、「秋休み」「長い」「負担」「感じる」であった。「秋休みの存在も、教師・子ども双方にとってメリットがあると感じる」(肯定)、「(旧)長い2学期を乗り切る上で、秋休みは一つの節目になる」(肯定)等、秋休みについての考えも示された。

4. おわりに

本稿では、校長のリーダーシップのもと、教員の働き方改革の一環として取り入れた2学期制が教員の働き方にどのような影響を及ぼしたのかを明らかにすべく、教職員への質問紙調査をKH Coderによるテキストマイ

ニング分析を行い考察した。

その結果、①2学期制は、1つの学期が長くなるので児童の見取りや評価がしやすくなる、②あゆみ作成の回数が減るので業務の負担軽減につながる、③あゆみ作成の時期が夏休みにずれ込み業務時期が分散されるので7月に時間的なゆとりが生まれる、④7月に時間的なゆとりが生まれることで学習指導が充実したり子どもと向き合う時間が確保できたりする、⑤夏休み前に保護者と連携することで夏休みの生活が充実し夏休み後の成長が期待できる等、教員の働き方を改善し、教育活動を充実させていく可能性をもった取り組みであることが分かった。

その一方で、3学期制に慣れた子どもや保護者にその良さや効果をどのように伝えていくのか、あゆみの回数が1回減っただけで本当に業務量が減ったと言えるのか等が課題として挙げられた。

A市立B小学校では、95.2%の教職員が、本年度開始した2学期制の取り組みを今後も継続してほしいと願っている。業務を軽減し、業務を分散させていった校長のリーダーシップがこの状況を生み出したと言える。

教員がゆとりを持ち、生き生きと働くことは、そのまま子どもたちへの教育活動の質向上につながっていく。教員を取り巻く環境改善が急務であるだけに、まだ始まったばかりではあるが、この2学期制の取り組みの改善・充実に期待したい。と同時に、教員の働き方改革を支援する意味でも、B小学校での2学期制の取り組みを継続観察できればと考えている。

A市においては、働き方改革としての2学期制の取り組みが少しずつ広がりつつあるという。B小学校1校だけでなく、A市の2学期制の取り組み全体にフィールドを広げることは本研究の課題でもある。

〈注〉

(1) あゆみとは、学期の終わりに学校(担任)から渡される通知表のことである。法的に規定されている表簿ではないため、「通信簿」「通知票」「あゆみ」等呼び方も学校によって異なる。また、形式や内容も学校ごとに

相違が見られる。一般的に、児童の成績や学校での様子について記されることが多い。

参考文献

- (1) 文部科学省(2023) 初等中等教育局「教員勤務実態調査(令和4年度)の集計(速報値)について」
https://www.mext.go.jp/content/20230428-mxt_zaimu01-000029160_2.pdf
(2023年10月18日閲覧)
- (2) 文部科学省(2023) 中央教育審議会初等中等教育分科会「教師を取り巻く環境整備について緊急的に取り組むべき施策(提言)」
https://www.mext.go.jp/content/230828-mext_zaimu-000031605_1.pdf
(2023年10月18日閲覧)
- (3) 藤原幸男(2007)「2学期制導入の現状と課題」
琉球大学教育学部紀要, 67, 119-128.
- (4) 文部科学省「教育課程の編成・実施状況調査」
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1263169.htm
(2023年10月18日閲覧)
- (5) 樋口耕一(2020)「社会調査のための計量テキスト分析[第2版]-内容分析の継承と発展を目指して-」ナカニシヤ出版
- (6) 樋口耕一・中村康則・周景龍(2022)「動かして学ぶ! はじめてのテキストマイニング-フリー・ソフトウェアを用いた自由記述の計量テキスト分析-」ナカニシヤ出版
- (7) 越中康治・目久田純一(2017)「道徳の教科化に対する教師・保育者及び学生の認識(2)-テキストマイニングを用いた分析-」宮城教育大学紀要, 51, 167-176.
- (8) 高丘有季乃・湯地宏樹(2022)「保育者のドキュメンテーションに対する考えに関するインタビュー調査-テキストマイニング分析を通して-」
鳴門教育大学学校教育研究紀要, 36, 129-136.

〔研究ノート〕

ICTに強い教員を育てるためのカリキュラムの検討（2） — 2年「初等教育のためのICT活用1」における取組 —

清田 雄二*, 衛藤 俊寿*², 平木 功明*³, 赤星 哲也*

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学経営経済学部経営経済学科*³日本文理大学医療専門学校臨床工学科

Examination of Curriculum for Developing Teachers Familiar with ICT (2) — Examples of Efforts in Year 2 “ICT Utilization for Primary Education 1” —

Yuji KIYOTA*, Toshihisa ETO*², Noriaki HIRAKI*³, Tetsuya AKAHOSHI*

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²Department of Business and Economics, School of Business and Economics, Nippon Bunri University*³Department of Clinical Engineering, Nippon Bunri University Medical College

1. はじめに

日本文理大学工学部情報メディア学科こども・情報教育コース（以下「本コース」と称する）では、ICTに関する専門的な知識の上に、ICTを教育現場で効果的かつ効率的に活用できるICTスキルを備えた小学校教員の養成を目指しており⁽¹⁾、清田他（2023）⁽²⁾では、2022年度後期の1年教職セミナーにおけるカリキュラムデザインの試行とその成果および検討結果について報告した。

具体的には、1年後期における教職セミナーの主目標を「ICTを活用しながら、教科（国語・社会・算数・理科）についての理解を深める」と設定し、学生が主体的になるような授業展開を組み込んだカリキュラムを開発し、13回にわたる授業実践を試行した。終了後には、受講学生5名がどのような学びを体験したのかを検討するために、「セミナー全体を振り返っての自分の考え」を1,000字程度でまとめた自由記述について計量テキスト分析を行った。

その結果、学生はICTを活用しながら教科についての理解を深めていった。また、ICTを手立てとして使いながら説明や発表をするようになった。そして、1コマの授業におけるゴール（到達度）を明確にし、ICTを活用しながら発表・演習・制作等の活動を重視した授業を展開することで、学生は授業を自分事として捉え、主体的に学びを深めていったことが示唆された。

本コースでは2年前期・後期に「初等教育のためのICT活用1・2」がコース必修科目として設定されている。1年教職セミナーでの学修を継続すべく、主目標を「ICTを活用しながら教科指導についての理解を深め、授業実践を積み重ねる」とし、昨年度の授業内容を修正しながら前期の授業実践を終えた。本稿では、2023年度前期の2年コース必修科目「初等教育のためのICT活用1」におけるカリキュラムデザインの試行とその成果および検討結果を報告する。

2. 研究の方法

2-1 調査時期と調査対象

2023年前期に開講されたコース必修科目「初等教育のためのICT活用1」(2単位)を受講した本コース2年生5名を対象とした。調査時期は、2023年前期(4月-9月)である。

2-2 カリキュラムデザイン

本コースの学生は、姫路大学教育学部こども未来学科通信教育課程の科目履修生として必要な単位を修得することで小学校教諭一種免許状を取得していく。通信教育課程のカリキュラムには、「国語」「算数」や「社会科指導法」「理科指導法」等の教科及び教科の指導法に関する科目が位置づけられている。これらの内容を基盤とし、本コースの教員養成を強化し、工学部出身でICTに強い教員として学校現場に輩出していくために、より実践的・体験的な要素を取り入れた表1に示すカリキュラムデザインを構成した。

表1. カリキュラムデザイン

回	内容
1	ガイダンス、教育現場におけるICT環境の変化
2	教師に求められるICT活用指導力
3	学習の基盤となる資質・能力としての情報活用能力
4	情報活用能力を育むカリキュラム・マネジメント
5	教科指導におけるICT活用の実際①知識・技能
6	教科指導におけるICT活用の実際②思考・表現
7	教科指導におけるICT活用の実際③個別最適な学び
8	教科指導におけるICT活用の実際④協働的な学び
9	初等教育における遠隔教育
10	デジタルコンテンツの役割
11	小学校におけるプログラミング教育
12	小学校におけるプログラミング教育の実際①
13	小学校におけるプログラミング教育の実際②
14	初等教育における情報モラル
15	特別支援教育におけるICT活用

このカリキュラムデザインは、1年後期における教職セミナーとの接続(表2)を重視したものであり、ICT

活用指導力のある教員を養成するための中核として位置付けている。本年度は、教育現場で求められるICT活用指導力が育成されるよう、昨年度までの授業内容を大きく修正した上で実践した。

表2. カリキュラムの接続

【1年・後期】教職セミナー
ICTを活用しながら「教科」についての理解を深める (どのような教科の内容があるのか)
【2年・前期】初等教育のためのICT活用1
ICTを活用しながら「教科指導」についての理解を深め、授業実践を積み重ねる (どのように教科の内容を教えるのか)

2-3 調査内容

毎回の授業後に提出するリフレクションペーパーをデータとして使用した。授業後の振り返りを自分の言葉でまとめた自由記述14週分(第1回を除く)を集計した。途中で授業欠席者が2名いたため、合計68個のリフレクションペーパーを用いた。リフレクションペーパーの記述は500字程度とし、授業における内容面・方法面の学びから、自分が理解したこと、新たに気づいたこと、自覚したこと、更に広げたり深めたりしたいこと等を書くよう指示した。

3. 研究の結果・検討

15回にわたる「初等教育のためのICT活用1」の授業終了後、受講者である本コース学生5名がどのような学びを体験したのかを検討するために、KH Coder3による計量テキスト分析を行った⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

3-1 抽出語の出現回数

前処理をして抽出語を確認した。「ICT活用指導力」「情報活用能力」「遠隔教育」「遠隔授業」「A小学校」「B小学校」「カリキュラム・マネジメント」「プログラミング教育」「情報モラル」「特別支援」「特別支援教育」「指導の個別化」「学習の個性化」「個別最適な学び」「協働的な学び」「シンキングツール」「模擬授業」「場面限定授業」「接続方法」「NHK for School」「他の人」の抽出語が分離されていたので、これらを強制抽出されるように設定した。また、出現回数が多いが分析の対象とならない「今回」「今日」を使用しない語として指定

表3. 自由記述における頻出語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
授業	244	活動	30	それぞれ	20	遠隔授業	15
思う	167	教師	30	他の人	20	学校	15
考える	129	小学校	30	意識	19	現場	15
自分	129	難しい	29	今	19	言う	15
行う	97	必要	29	作る	19	構想	15
発表	97	ロイロノート	28	準備	19	思考	15
使う	94	実際	28	場面	19	次	15
ICT	84	情報	28	他	19	重要	15
活用	73	情報活用能力	28	予習	19	友達	15
感じる	63	分かる	27	改めて	18	プログラミング教育	14
内容	60	利用	26	教科	18	遠隔教育	14
学習	58	多い	24	指導	18	深める	14
課題	55	用いる	24	身	18	力	14
教育	47	出来る	23	ネット	17	NHK for School	13
動画	47	知る	23	作業	17	共有	13
児童	45	聞く	23	少し	17	子ども	13
作成	40	Scratch	22	場面限定授業	17	指導の個別化	13
アプリ	39	スライド	22	知識	17	初め	13
プログラミング	39	見る	22	問題	17	上手い	13
調べる	39	実感	22	理解	17	特別支援	13
時間	36	能力	22	違う	16	部分	13
先生	35	良い	22	交流	16	変わる	13
模擬授業	32	シンキングツール	21	説明	16	テーマ	12
人	31	環境	21	大切	16	プレゼン	12
学ぶ	30	生徒	21	方法	16	小学生(他9語)	12

し除外した。

文書の単純集計結果は、69の段落、762の文が確認された。また、分析対象となる総抽出語数は19,987語、異なり語数は1,620語であった。これら抽出語のうち上位100語とその出現回数は表3の通りである。

3-2 共起ネットワーク

表3に示した抽出語同士の関係を分析するために、共起ネットワーク（文章中に出現する語と語がどのようにつながっているのかを図にしたもの）を作成して概観を捉えた（図1）。

分析に当たっては、集計単位を文とし、出現数による語の取捨選択に関しては最小出現数を20、文書数による語の取捨選択に関しては最小文書数を1、描画する共起関係の選択に関しては上位60に設定した。また、品詞による語の取捨選択はデフォルト（「名詞」「動詞」「形容詞」等）のままとした。図1では、出現数の多い語ほど大きい円で、強い共起関係ほど太い線で描画されている。

その結果、9つのサブグラフ（Subgraph）が出力されたが、授業内容や演習の課題、模擬授業の内容等から近接するサブグラフを6つのグループに分けた。それぞれのグループに含まれる語群を見ながら内容を解釈するとともに、主な共起語を選定し、KWIC コンコーダンス（抽出語の前後の文脈を確認できる機能）で抽出語が自由記述の文脈でどのように使われているかを確認し

た。下線を記しているのはグループ内に表れている語である。そして、共起ネットワーク上の各グループの内容を解釈しながら、「G1：授業づくりに関する多様な学び」、「G2：授業づくりについて考える」、「G3：発表の内容・方法・時間・仕方」、「G4：小学校現場におけるロイロノート⁽⁷⁾」、「G5：ICTの活用」、「G6：Scratchを使ったプログラミング」と各グループの名前をつけていった。

G1は、「内容」「学習」「課題」「動画」「アプリ」「調べる」「学ぶ」「情報」「情報活用能力」「利用」「知る」「能力」「環境」の語が出現している。

KWIC コンコーダンスからは、「ICT活用における協働的な学びについて学んだ」「情報活用能力の育成の仕方について、カリキュラム・マネジメントを学びながら学習を進めた」「学習指導要領でどう示されているかについて学んだ」等の授業づくりに関する内容面や、「ロイロノートのシンキングツールについて学んだ」「どのようにICTを活用していけばよいのかを学んだ」「（手こずってしまうなど思ったので）機器同士の接続や共有機能の使い方を学んでいきたい」等の授業づくりに関する方法面についての記述が出力された。授業づくりに関して多様な学びをしていることが示唆される。

また、「楽しく学習できるアプリを利用することはとても良い案」「授業の流れに沿って動画を利用できていた」「動画の視聴やアプリの利用など実現しやすい案を考えた」「全員が積極的にICTを利用し、使い方に慣れ

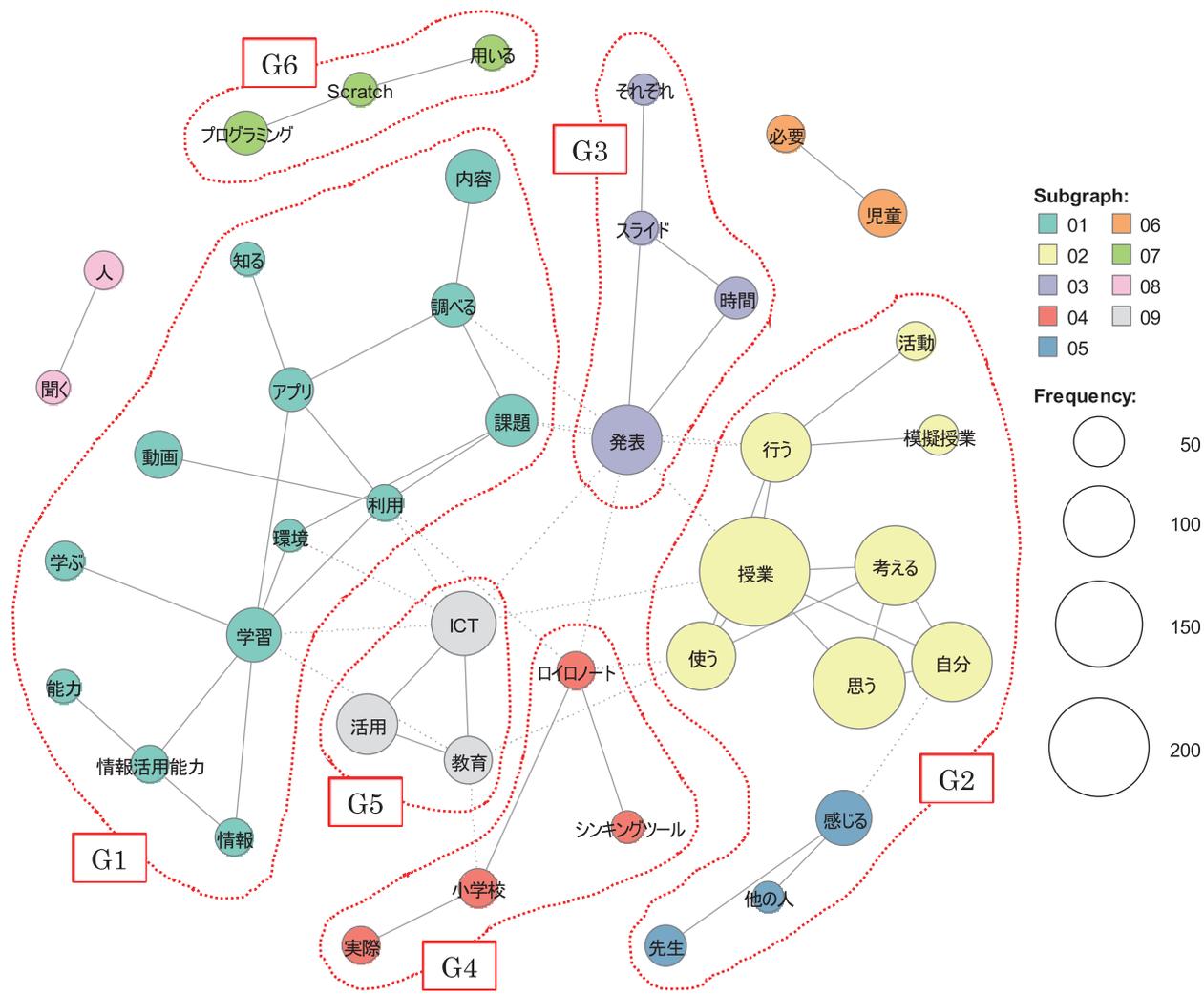


図1. 共起ネットワーク

ていく必要がある」等の記述もあり、動画やアプリ等を効果的に利用し、授業づくりを充実させていこうとする意欲が窺える。

さらには、「調べる」という語を中心に、「内容—21調べる」「アプリ—21調べる」「課題—21調べる」と語が結びついている。グループ外ではあるが、「調べる」「課題」と「発表」も結びついている。KWICコンコダンスからは、「情報活用能力の内容についてそれぞれが調べる」「無料アプリについて調べていた」「課題でプログラミング教育について調べた」等の記述が出力されており、授業づくりに関する多様な予習課題を自ら調べ、整理しまとめ、それらを常に発表するという授業形態がとられていることが推察される。

G2は、抽出語の出現回数1位の「授業」、2位の「思う」、3位の「考える」、4位の「自分」、5位の「行う」、7位の「使う」、「模擬授業」「活動」が結びついている。

また、「感じる」「先生」「他の人」ともつながっている。

KWICコンコダンスからは、「情報活用能力を育てる授業構成を考えた」「ロイロノートを使って、教科書を見て自分なりに授業内容を考える取組を行った」「シンキングツールを用いて授業を考えることはかなり難しいと感じた」「考えるのは難しいが、どんな授業にするか考えるのは楽しかった」等が出力されており、ICTを活用しながらの授業についてしっかり考えている様子が窺える。また、「自分が先生になった時このようなツールを活用していきたいと思った」「模擬授業をする時は、自分の中のねらいを明確にして授業を行えるようにしたい」「現場でどのような授業が展開されているのか等をもっと知りたいと思った。自分でもそれに関して調べていきたい」等、授業を自分事として捉えている様子が窺える。

一方、「教師は児童に寄り添い、一人ひとりにどう

いった指導をしていくかを常に考えていかなければならない」「指導の際は児童によって差が生まれないように配慮して行うべきだと考える」等、少数ではあるが、授業の構成要素の一つである児童に着目した記述も見られた。教師が授業をする対象は児童であり、授業づくりをする上で欠かせない視点に気づいたと思われる。

G3は、「発表」「時間」「スライド」「それぞれ」の語が結びついている。

KWIC コンコダンスからは、「ICTの学習環境について調べた内容を発表し合った」「予習課題の発表を行った」「シンキングツールの特徴についてそれぞれ発表した」等の発表内容に関すること、「ロイロノートに提出したスライドを前の液晶画面に映し出して発表を行った」「Google スライドで URL をページに貼り付けて発表した」「web ページをロイロノートに貼り付けて発表した」等の発表方法に関すること、「3分間という時間を意識して発表をすることができた」「発表をする際、時間を意識することは大切だ」等の発表時間に関すること、「電子黒板での発表時の立ち位置」「発表では早口にならないよう」「聞き手が聞き取りやすい声で話す」等の発表の仕方に関すること等が出力された。

人前で自分の思いや考えを的確に話す力は教師になるための基礎力であり、15回にわたる授業の中で必ず発表する機会を設定したことは効果的であったと考える。「自分の一つひとつの言動が児童に影響を及ぼすので、発表の際に恥ずかしがるのではなく堂々とした立ち振る舞いをしたい」と意欲を示す学生もいた。

G4は、「小学校」「ロイロノート」「実際」「シンキングツール」の語が結びついている。

KWIC コンコダンスからは、「ロイロノートは現在小学校で実際に利用されている ICT 教育である」「小学校訪問の際に、小学生がロイロノートを使用するのを見た」「ロイロノートを使うだけで発表までの時間をかなり短縮することができる」「シンキングツールを使うことで授業の幅が広がる」「シンキングツールは児童の思考を助け授業を深める」等、小学校現場で利用されているロイロノートのシンキングツールは、学習指導を豊かにしていくツールであることに気づいたようである。

G5は、「ICT」「活用」「教育」の語が結びついている。

KWIC コンコダンスからは、「教育現場における ICT 環境の変化と教師に求められる ICT 活用指導力について学習した」「この先、ICT を活用した授業をやっ

ていかなければならないことが多くなる」等、ICT を活用した教育が求められていることに気づいたことがわかる。また、「ただ ICT を使うだけでなく、授業でうまく活用して子どもたちに分かりやすい授業ができるように精進していく」「ICT を活用する場面とアナログでいく場面をうまく組み合わせることで上手な授業を作り出せる」等、ICT を活用する目的について考える学生もいた。さらには、「協働的な学びにおける ICT の活用について考えた」「コミュニケーションにおける困難さ等に合わせて ICT を活用していく」等、ICT 活用における具体的な場面について考える学生もいた。

今回、「ICT」「活用」と「授業」が別のグループに分かれた。語としての結びつきはあるものの、その共起は弱い。2年前期は、主目標の中でも「ICT を活用しながら教科指導についての理解を深める」ことに中心をおき、調べたり発表したりすることに重きを置いた授業展開となった。その結果、授業実践が限定的・部分的になり、語のグループが分かれたのかもしれない。後期は模擬授業を中心に実践を積み重ねるので、「ICT を活用した授業実践」の部分強化していきたい。

G6は、「プログラミング」「用いる」「Scratch」の語が結びついている。

KWIC コンコダンスからは、「プログラミングのねらいとして、プログラミング言語を覚えたり、プログラミングの技能を習得したりすることを目的としているわけではない」と小学校におけるプログラミング教育の意義や目的に関すること、「Scratch を使い角度の勉強をした」「図形の作図をプログラミングを使って行った」「外角の発想は Scratch を用いると考えやすい」等の学習指導に関すること等が出力された。また、「今回 Scratch を授業でやってみて、これを授業で扱うにはかなりの準備が必要だ」「自分自身が Scratch に触れて慣れていくことから始めていこうと思う」等、技能面での課題も浮かび上がった。

4. おわりに

本稿では、ICT に強い教員を育てるためにどうすればよいのか、4年間のカリキュラム構成を視野に入れながら、2年コース必修科目「初等教育のための ICT 活用 1」における取り組みを報告した。

学生への調査結果から、今回の授業の主なねらいである「教科指導についての理解を深め、授業実践を積み重ねる」は、概ね達成したものと判断する。ただ、授業実践については、回数も少なく部分的・限定的なものにとどまっているので、後期の授業で模擬授業を本格的に実施していきたい。

現在、本コースでは、ICT に強い教員を育てるため

に、2年前・後期に開講されコース必修科目である「初等教育のためのICT活用1・2」、卒業要件単位の科目とは別に、1年後期から4年前期までを中心に実施する「教職セミナー」、大学で学ぶ理論と学校現場での実践を結びつけ、現場における対応力と実践的指導力を育成する「学校インターンシップ」「学校ICT支援」、そして、3・4年での「ゼミ活動」「卒業研究」を通して実践研究を積み重ねる等のカリキュラムが作成され、取り組みが充実しつつある。

本稿を作成するにあたって分析した学生の記述の中には、小学校現場についての記述、授業づくりにおける多様性に満ちた記述、授業を自分事として捉えている記述、児童に視点を当てて授業づくりをする記述等、今回調査対象にしたコース必修科目「初等教育のためのICT活用1」だけでは学べないような内容も記述されていた。4年間を見通したカリキュラムに基づく取り組みの成果の一端だと考える。

今後も、カリキュラムの全体構成や各カリキュラム間の接続に留意し、より充実したカリキュラムを検討・改善しつつ、ICTに強い教員を一人でも多く学校現場に輩出していきたい。

参考文献

(1) 日本文理大学 (2023)「令和5 (2023) 年度日本

文理大学学生便覧」P88・P89-91・P136

- (2) 清田雄二・衛藤俊寿・平木功明・赤星哲也(2023)「ICTに強い教員を育てるためのカリキュラムの検討(1) - 1年教職セミナーにおける取組 -」日本文理大学紀要, 51(2), 85-91.
- (3) 樋口耕一(2020)「社会調査のための計量テキスト分析 [第2版] - 内容分析の継承と発展を目指して -」ナカニシヤ出版
- (4) 樋口耕一・中村康則・周景龍(2022)「動かして学ぶ! はじめてのテキストマイニング - フリー・ソフトウェアを用いた自由記述の計量テキスト分析 -」ナカニシヤ出版
- (5) 川野司・植田啓嗣・大家さとみ(2021)「教職課程科目におけるテキストマイニングを用いた授業評価分析 - 西九州大学「道徳教育指導論」を事例として -」西九州大学健康福祉学部紀要, 50, 33-40.
- (6) 越中康治・高田淑子・木下英俊・安藤明伸・高橋潔・田幡憲一・岡正明・石澤公明(2015)「テキストマイニングによる授業評価アンケートの分析 - 共起ネットワークによる自由記述の可視化の試み -」宮城教育大学情報処理センター研究紀要, 22, 67-74.
- (7) 和田誠(2022)「ロイロノートのICT“超かんたん”スキル」時事通信社

(2023年11月7日受理)

〔事例報告〕

VBA で作成した文章課題採点プログラムの活用事例報告

坂井 美穂*, 測上 千香子*²

*日本文理大学工学部情報メディア学科

*²日本文理大学工学部

A Case Study Report on the Use of a VBA Program to Grade Writing Assignments

Miho SAKAI*, Chikako FUCHIGAMI*²

*Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

*²School of Engineering, Nippon Bunri University

Abstract

Currently, rubric evaluation is used to grade writing expression courses at Nippon Bunri University, wherein one teacher scores all learners on qualitative aspects, such as “readability” and “presence of NG (Not Good) expressions.” Given that more than 200 students get enrolled in the first year of the writing expression course annually, teachers have to apply significant efforts in marking the 15 lectures and the final examinations. With the objective of resolving this, we used Microsoft Excel VBA (Visual Basic for Applications) to automate the process and use macros for grading. While a natural language processing language, Python, can be employed for more advanced scoring and evaluation; however, this involves certain drawbacks, such as the need to set up a programming environment. Therefore, a simple program, using VBA to grade writing assignments, was created, so that teachers who have access to Microsoft Excel, but are unable to program, can also grade the assignments. The program application and its results are reported in this study.

キーワード：VBA program, 文章表現, 評価, 文章課題採点プログラム

Keywords : VBA program, writing expression, evaluation, writing assignment grading program

1. はじめに

文章表現講座の採点にはこれまでルーブリック評価を用い、「読みやすさ」や「NG表現の有無」などの質的な部分の評価について、教員一人が学習者全員分の採点

を行ってきた。初年次に受講する文章表現講座の人数は毎年200人を超えている。そのため、15回分の講義の採点、および、期末試験での採点では、一人の教員が質的部分をすべて採点するため、その労力は多大なものであった。また、再履修クラスを含め、工学部4学科が火曜日5限、水曜日1限、金曜日2限と講義日が異なるため、

ループリック評価表を用いても、評価のズレが評価教員個人の中で前半と後半で起こりやすくなるため、2度、3度と課題文を読み直す必要があった¹⁾⁻⁴⁾。

2. 文章課題採点自動化プログラムについて

ループリック評価の中で量的評価部分はこれまでもMicrosoft Excelの関数を使用し、文字数換算関数(=LEN(セル)-LEN(SUBSTITUTE(セル,“,”,””)))を使用するなど自動化を行ってきた。NG(Not Good)表現についても、一部は文字数換算関数((=LEN(セル)-LEN(SUBSTITUTE(セル,“NG表現”,“”)))/LEN(“NG表現”))を使用し、学生がよく使用するNG表現を5個取りあげて自動化していたが、他のNG表現は採点する教員が目視で判断するしかなかった。

また、個別評価表における学生への評価も「指導の必要あり」「意見文である」「論理的な意見文である」のみでは、どこを変更すればよいか、学生は自律的に判断し、構成することが難しいものになっていた。そのため、コメント欄を設けなくなってからは学習ワークにつけたものであっても「個人表を見ていない」という学生が3%存在した。

一方個人評価表を紙にプリントアウトし、配布していた年度には、一人一人に教員が目視で確認した「NG表現」をコメント欄につけていたため、改善点が学生にも理解しやすく、教員側にとっても指導しやすいものであった。

そこで、そのコメント付きの採点を自動化できるようにMicrosoft ExcelのVBA(Visual Basic for Applications)を使用し、マクロによる採点を行うように変更し、コメント欄にNG表現が出力できるようにした。

自然言語処理言語であるPythonを使用したほうがより高度な採点評価が行えるが、採点者側がプログラム環境を整える必要があり、プログラム経験が少ない教員にとっては環境構築を行うことが難しいという欠点があげられる。このような初心者でもExcelのマクロであれば、直感的に操作することが可能である。そこで、課題文を指定した場所にコピー&ペーストで貼り付ければ、文字数、句点、読点のそれぞれの数、NG表現の数、種類、一文の長さ、指定文字数不足・超過の判断等、一括で量的部分の採点ができるように簡易的な文章課題採点プログラム⁵⁾⁻⁹⁾をVBAで作成した。

このプログラムを作成する際工夫した点は、別のシートにNG表現の一覧表を作るところである。これにより、一覧表がユーザー辞書の役割を果たし、回数が増え

るごとにNG表現の集約もできる。またプログラム初心者でも操作できる点にも利点がある。ExcelのA2列以降に学籍番号を、B2列以降に課題文を、C2列以降に個別のNG表現を含む個別コメントをすべてまとめて出力できるように工夫した。さらに、マクロで出力した結果と、評価欄、NG表現などのコメントの個数のみ、文字数換算関数(=LEN(セル)-LEN(SUBSTITUTE(セル,“,”,””)))を入れ、教員評価用には別シートを作成した。

課題評価判定プログラムの一部を表1に、ユーザー辞書として追加可能な表現チェックシートを図1に、出力結果を図2に示す。

表1. 課題評価判定プログラム(一部)

```
Sub 意見文添削マクロ()
Dim ws As Worksheet
Dim checkWs As Worksheet
Dim lastRow As Long, checkLastRow As Long
Dim inputData As String, feedback As String
Dim colloquialisms() As String
Dim i As Long, j As Long, k As Long
Dim longSentenceCount As Long
Dim commaCount As Long, periodCount As Long

'アクティブなワークシートと表現チェックシートをセット
Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1")
Set checkWs = ThisWorkbook.Sheets("表現チェックシート")

'最後のデータ行とチェックシートの最後の行を取得
lastRow = ws.Cells(ws.Rows.Count, "B").End(xlUp).Row
checkLastRow = checkWs.Cells(checkWs.Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

'表現チェックシートから表現リストを配列に取り込み
ReDim colloquialisms(1 To checkLastRow)
For k = 1 To checkLastRow
    colloquialisms(k) = checkWs.Cells(k, 1).Value
Next k

'B2セルから始めて最後のデータ行までループ
For i = 2 To lastRow
    inputData = ws.Cells(i, 2).Value
    feedback = ""
    longSentenceCount = 0

    '読点と句点のカウント
    commaCount = Len(inputData) - Len(Replace(inputData, ",", ""))
    periodCount = Len(inputData) - Len(Replace(inputData, ".", ""))

    '文字数が380文字未満または400文字超のチェック
    If Len(inputData) < 380 Then
        feedback = "指定文字数不足。"
    ElseIf Len(inputData) > 400 Then
        feedback = "指定文字数超過。"
    End If

    '一文が70文字以上かをチェック
    Dim sentences() As String
    sentences = Split(inputData, ".")
    For j = LBound(sentences) To UBound(sentences)
        If Len(Trim(sentences(j))) >= 70 Then
            longSentenceCount = longSentenceCount + 1
        End If
    Next j
    If longSentenceCount > 0 And feedback = "" Then feedback = feedback & "70文字超えの文あり。"

    '文体の混在をチェック
    If InStr(inputData, "です") > 0 And InStr(inputData, "だ") > 0 Then
        feedback = feedback & "文体が混在しています。"
    End If

    '話し言葉とあいまい表現の使用をチェック
    For j = LBound(colloquialisms) To UBound(colloquialisms)
        If InStr(inputData, colloquialisms(j)) > 0 Then
            feedback = feedback & "[" & colloquialisms(j) & "]" という表現が使用されています。"
        End If
    Next j

    If feedback = "" Then feedback = "問題なし"

    'C列にフィードバックを書き込み
    ws.Cells(i, 3).Value = feedback
    'E列に読点の数を書き込み
    ws.Cells(i, 5).Value = commaCount
    'F列に句点の数を書き込み
    ws.Cells(i, 6).Value = periodCount
    'G列に評価を書き込み
    If ws.Cells(i, 3).Value = "問題なし" Then
        ws.Cells(i, 7).Value = "評価対象"
    Else
        ws.Cells(i, 7).Value = "指導対象"
    End If
Next i
End Sub
```

	A	B
1	実際に	
2	自分	
3	自分自身	
4	逆に	
5	なのだ。	
6	多くの	
7	だいたい	
8	なんで	
9	読み取ったかというと	
10	読み取った	
11	資料より	
12	資料では	
13	思った	
14	思う	
15	感じた	
16	感じる	
17	まず	
18	思っている	
19	感じている	
20	読みづらい	
21	為	

図1. 表現チェックシート（一部）

これまで繰り返し指導してきたNG表現をA列にあらかじめ入力しておき、課題文をマクロで採点した。さらにあらたに学生の課題文で出現するNG表現を毎回A列へ追加して行っている（図2）。

A	B	C	D	E	F	G
学籍番号	課題文	チェック結果	文字数	読点「、」の数	句点「。」の数	指導評価有無
1						
2		「実際に」という表現が使用され	383	3	10	指導対象
3		指定文字数超過。「読み取った」	410	18	9	指導対象
4		70文字超えの文あり。「思った」	391	8	6	指導対象
5		「自分」という表現が使用されて	382	13	10	指導対象
6		70文字超えの文あり。「自分」と	386	4	9	指導対象
7		「逆に」という表現が使用されて	395	18	9	指導対象
8		指定文字数不足。「実際に」とい	367	9	8	指導対象
9		70文字超えの文あり。「逆に」と	394	7	6	指導対象
10		指定文字数不足。文体が誤在して	379	12	6	指導対象
11		70文字超えの文あり。「思う」と	395	8	7	指導対象
12		70文字超えの文あり。「思う」と	381	2	10	指導対象
13		70文字超えの文あり。「まず。」	388	5	9	指導対象
14		70文字超えの文あり。「読み取っ	391	11	6	指導対象
15		「読み取る」という表現が使用さ	383	9	9	指導対象
16		「逆に」という表現が使用されて	399	9	10	指導対象
17		「逆に」という表現が使用されて	396	18	8	指導対象
18		「自分」という表現が使用されて	397	12	11	指導対象
19		70文字超えの文あり。「自分」と	397	9	6	指導対象
20		「まず」という表現が使用されて	399	12	13	指導対象
21		70文字超えの文あり。	398	17	9	指導対象

図2. マクロの出力結果

3. 教員評価とコメント数との対比

試作した課題判定プログラムのコメント数と教員評価を比較した結果を図3に示す。

第2回目の講義ワークは文章校正を行う講義内容であったため、受講生のうち、課題提出をした223名のうち、162名がコメント数2個以下の学生であった。教員評価は「読みやすいかどうか」のみの判定であるが、コメント数と教員評価に関連性が示唆された。

そこで、読みやすさの評価を表2のように追加したプログラムを作成した。

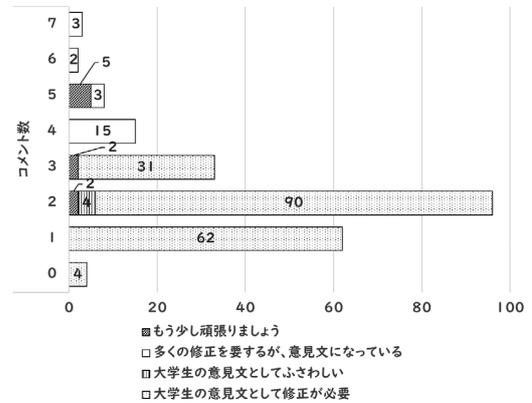


図3. 教員評価とコメント数との対比

表2. 追記した読みやすさ評価プログラム

```
Function CalculateJapaneseReadabilityScore(text As String) As Double
Dim score As Double
Dim i As Integer
Dim kanjiCount As Integer
Dim jukugoCount As Integer
Dim conjCount As Integer
```

```
' 文の長さが70文字未満ならスコアに+1
If Len(text) < 70 Then
score = score + 1
End If
```

```
' 使用されている漢字の数と熟語の数を計算
For i = 1 To Len(text) - 1
Dim currentChar As String
Dim nextChar As String
```

```
currentChar = Mid(text, i, 1)
nextChar = Mid(text, i + 1, 1)
```

```
' 漢字をチェック
If IsKanji(currentChar) Then
kanjiCount = kanjiCount + 1
```

```
' 熟語をチェック
If IsKanji(nextChar) Then
jukugoCount = jukugoCount + 1
End If
End If
```

```
Next i
```

```
' 接続詞の数を計算
conjCount = conjCount + UBound(Split(text, "そして"), 1)
conjCount = conjCount + UBound(Split(text, "しかし"), 1)
conjCount = conjCount + UBound(Split(text, "それに"), 1)
conjCount = conjCount + UBound(Split(text, "そのため"), 1)
' 他の接続詞も追加可能
```

```
' 漢字、熟語、接続詞の数に応じてスコアを減算
score = score - kanjiCount - jukugoCount - conjCount
```

```
CalculateJapaneseReadabilityScore = score
End Function
```

```
Function IsKanji(character As String) As Boolean
' 漢字のUnicode範囲を基に判定
Dim charCode As Long
charCode = AscW(character)
IsKanji = (charCode >= &H4E00 And charCode <= &H9FFF) Or
(charCode >= &H3400 And charCode <= &H4DBF)
End Function
```

限られた接続詞と漢字、2字以上漢字がつながっている場合を熟語と判定するようにし、読みやすいかどうかを判定するようにした。スコアが大きいと読みにくく、スコアが小さいと読みやすいと判定するようにしている。

すなわち、一文の長さが70文字未満と短く、句読点のバランスは句点の数より読点の数が少なく、単語の平均長が5文字以下の場合、スコアが小さくなるように出力するようにしている。この結果と教員の評価結果を比較したところ、スコアが小さくなるほど「もう少し頑張りましょう」の評価が減少していた(図4)。

そこで、 χ^2 検定(独立検定)を有意水準5%で行ったところ、読みやすさスコアとコメント数に独立性があった。この結果より、読みやすさの程度はコメント数に影響をおよぼさないことが示唆された。同様に、句読点に関しても、個々に読みやすさスコアとの関連性について、 χ^2 検定(独立検定)を有意水準5%で行った。その結果は、読みやすさスコアとコメント数と同様、独立であった。一方、教員評価における読みやすさスコア間の χ^2 検定(適合度検定)を有意水準5%で行った。「大学生の意見文としてふさわしい(評価1)」、「大学生の意見文として修正が必要(評価2)」、「多くの修正を有するが、意見文になっている(評価3)」、「もう少し頑張りましょう(評価4)」の期待値比率を昨年度のSABC評価の割合に合わせ、2:3:2:1として、検定を行った(表3)。

その結果、教員評価と人数については、評価1と評価3、評価4は期待値より少なく、評価2のみ期待値より多いことが示唆され、有意水準5%において、有意な差が認められた。評価4の評価人数の期待値が少ないのは良いことであるが、今後、指導方法を考えていくうえで、評価1が期待値もしくは期待値より多くの人数になるような学習方略を考える必要がある。

4. おわりに

今回、簡易的な課題評価判定プログラムをExcel VBAを使用し、作成を行った。自然言語処理プログラムではないため、示唆されたのは教員が評価する際の参考にてできる可能性である。

文章表現講座の採点用に試作したプログラムであるが、他の科目にも使用の可能性について、生物リテラシーの課題についてもコメント数と読みやすさ評価の関連性について評価を行った。有意水準5%で χ^2 検定の独立検定を行ったところ、文章表現講座と同様の結果が得られた。このことから、教員が評価する際の参考にて

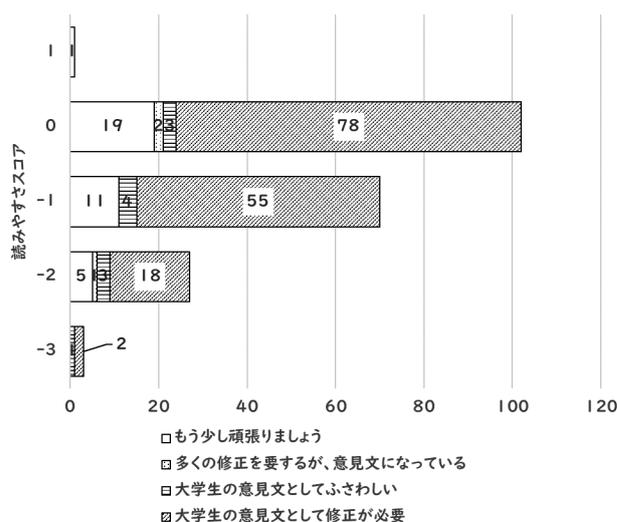


図4. 教員評価と読みやすさとの対比
(第4回講義 N=203)

表3 教員評価と人数の実測値と期待値

(N=203)

	評価1	評価2	評価3	評価4
実測値	11人	153人	3人	36人
期待値	51人	76人	51人	25人

きる可能性が示唆された。

ChatGPTのような生成AIと連携させ、マクロを作成すれば、課題添削ができるかもしれない。しかし、添削指導ではなく、学生自ら校正・推敲できる能力を育成するためには、修正するポイントを指摘できるプログラムが必要だと考えている。その点では今回試作した課題評価判定プログラムは、表現チェックシート用語集をさらに増やしていくことの方が重要であると考えている。

謝辞

本課題は、令和5年度教育・研究改革推進事業の助成を受けたものです。

本研究を推進するにあたり、ご協力いただいた学生の皆さんおよび推進事業に参画していただいた工学部 東寺祐亮准教授、経営経済学科 衛藤恵理香助教、工学部 建築学科 吉村充功教授、ならびに令和5年度文章表現講座に携わった情報メディア学科 赤星哲也教授、建築学科 濱永康仁教授に深謝いたします。

参考文献

- (1) 坂井美穂, 瀧上千香子, 東寺祐亮. (2022). 事例報告 工学部 文章表現基礎講座における学習教材について. 日本文理大学紀要, 51 (1), 87-91.
- (2) 坂井美穂, 瀧上千香子, 東寺祐亮. (2022). 文章表現基礎講座における自己体験を意見文に反映させるための事例報告, 日本リメディアル教育学会, 第14回九州・沖縄支部大会 発表予稿集, 9-10.
- (3) 瀧上千香子, 東寺祐亮, 赤星哲也, 太田清子, 安田幸夫, 吉村充功, 坂井美穂. (2020). 日本語ライティング科目における学習者の自律的学習の促進. 日本文理大学紀要, 48 (2), 55-59.
- (4) 瀧上千香子, 坂井美穂, 東寺祐亮, 吉村充功. (2022). 自律的学習を促す日本語ライティング教育の実践. 日本リメディアル教育第17回全国大会 発表予稿集, 82-83.
- (5) 寺澤信洋 2020 「4時間のエクセル仕事は20秒で終わる」ダイヤモンド社
- (6) 井上香織里2015『Excel 関数 プロ技セレクション [決定版]』技術評論社
- (7) 国本温子2019『Excel マクロ&VBA [実戦ビジネス入門講座 完全版] SBクリエイティブ株式会社
- (8) 土屋和人2016『Excel マクロ&VBA プロ技BEST セレクション』技術評論社
- (9) 大村あつし, 古川順平 2021『Excel VBA k オードレシピア集』技術評論社
- (10) クジラ飛行机2021『プログラマーの本気がExcelを覚醒させる超絶 Excel VBA』ソシム株式会社

(2023年11月8日受理)

〔事例報告〕

往復動圧縮機吸吐弁の状態把握に必要な 基本波形先頭位置検出による周期性分析

近藤 善隆*, 沖田 和久*², 平野 智也*³, 徳富 響*³, 福島 学*³

*株式会社ジェイテック

*²日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻*³日本文理大学工学部情報メディア学科

Periodicity Analysis by Detecting the Basic Waveform Leading Position for Condition Monitoring of Reciprocating Compressor Intake and Discharge Valves

Yoshitaka KONDO*, Kazuhisa OKITA*², Tomoya HIRANO*³,
Hibiki TOKUTOMI*³, Manabu FUKUSHIMA*³

*J-TEC Co., Ltd.

*²Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering, Nippon Bunri University*³Department of Media Technologies, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

化学プラントにおいて原材料となる気体を効率よく供給するためには、圧縮して伝搬することが一般的である。気体を圧縮するために使用される圧縮機の中でも、往復動圧縮機は古くから使用され、現在でも多く使用されている。原材料をプラント内に供給することを目的として使用するため、生産的にも品質的にも最重要機器であり、法令に基づき定期修繕が義務付けられているが、装置への環境を含めた負荷により、定期修繕前に不具合が発生する場合や、定期修繕で改善しきれずに劣化が累積している場合がある。そのため、定期的なモニタリングにより機器の状態を把握し、適切なタイミングでメンテナンスを行うことが必要である（CBM: Condition Based Maintenance）。

往復動圧縮機を構成する部品の中でも比較的劣化しやすく、修繕の際には消耗品の扱いとなっている部品の中

に吸吐弁がある。劣化の原因は長時間稼働による機械的な摩耗がほとんどであるが、定期修繕時にはまだ使用可能な状態のものも多く、CBMにより交換のタイミングを延ばすことにより修繕にかかるコストを最適化することが望まれている。

著者らはこれまでに、振動診断で用いられるアタッチメントの特性⁽¹⁾の調査、劣化診断に向けた劣化進行状況把握の検討⁽²⁾に取り組んできた。これは、周波数振幅包絡に着目した微振動計測⁽³⁾、振動センサによる計測⁽⁴⁾による計測技術の検討に基づいた計測技術に基づきデータ化されている。計測データの分析に関して、目的データを正しく抽出する手法⁽⁵⁾の検討を経て、短時間事象の分析⁽⁶⁾によりデータ解析手法の検討を進めてきた。これらの基礎技術に基づき、状態把握のための周期性計測⁽⁷⁾を行い、定期修繕において累積される劣化改善が計測データにどう計測されるのか⁽⁸⁾を明らかとした。また、定期修繕前後の違いについてPLATE分析を用いて行っている⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾。

機器の振動について周期分析を行う際、分析区間内に機器が駆動している1周期分の振動波形が入っていないと、分析結果に大きな変化が出るのが分かった。PLATE分析では分析区間の後ろ部分については自動検出しているが先頭部分については手動で調整する必要がある、自動化することが人為的なミスを防ぐ上で必要となる。

そのため本報では、波形先頭位置の自動検出に向けて検討している帯域分割による方法について、計測事例を記す。

2. 波形先頭位置検出

往復動圧縮機の吸吐弁部にて測定した加速度時間波形は図1⁽⁹⁾に示すような波形となる。図1は横軸に時間(s)、縦軸に振幅で示している。図1から吸吐弁の動作は、弁の閉動作から始まり、圧縮工程、開動作、圧縮した気体の吐出を経て、次の閉動作となることがわかる。ここでの1周期は閉動作から吐出までの約2(s)であることがわかる。

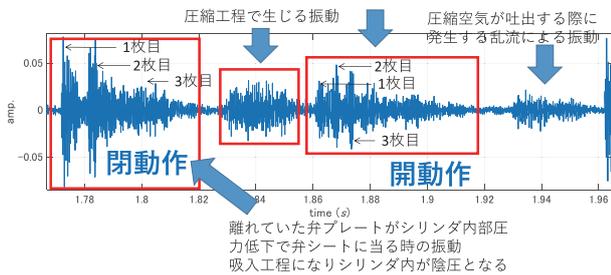


図1 吸吐弁の加速度時間波形例⁽⁹⁾

また弁の閉動作の振幅が大きく、周期性が見つけやすいことから、これを周期の開始位置とする。この1周期を観測データから抽出することが求められる。1動作周期を観測信号から抽出し、その周期の乱れが図2に示すように劣化累積および定期修繕による改善の数値化が必要とされている⁽⁸⁾。

図2に示したように各月に測定した時間波形から周期の先頭位置である弁の閉動作を見つけることは、これまで手動で行っていた。しかし前述したように人為的ミスを防ぐためには、適切な自動化が必要である。

3. 計測事例

往復動圧縮機は圧縮に必要なピストンを駆動するため、駆動部がつながっている側（以下、駆動側）と、そ

の反対側（以降、反駆動側）が存在する。

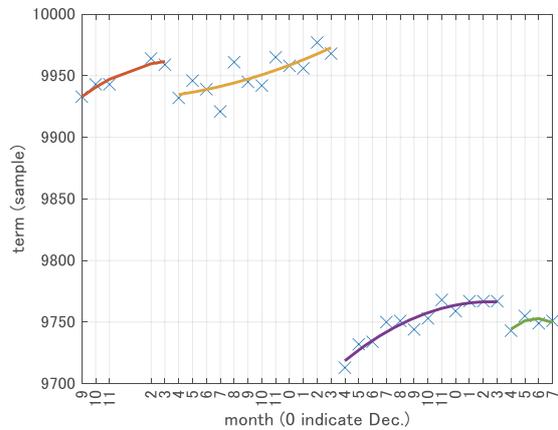


図2 劣化の累積と定期修繕による改善の様子⁽⁸⁾

また、ピストン中心から遠い場所をTOP、ピストン中心に近い場所をBOTTOMと呼んでいる。さらに、圧縮すべき気体を往復動圧縮機に取り入れる「吸入弁 (suction valve)」と、圧縮された気体を吐出する「吐出弁 (delivery valve)」があり、便宜上それぞれの弁は、

S1	TOP	反駆動側	吸入弁
S2	BOTTOM	反駆動側	吸入弁
S3	TOP	駆動側	吸入弁
S4	BOTTOM	駆動側	吸入弁
D1	TOP	反駆動側	吐出弁
D2	BOTTOM	反駆動側	吐出弁
D3	TOP	駆動側	吐出弁
D4	BOTTOM	駆動側	吐出弁

とする。

これまでの計測実績から、比較的振幅が大きく閉動作が見つけやすい吐出弁D3、D3の対となる吸入弁S3の2つの弁を対象とする。また図2から定期修繕前後であり、傾向の変化が顕著である3月と4月を検討対象とする。

一例として図3に2017年9月に計測した結果を示す。図の上段は時間波形であり、横軸に時間 (s)、縦軸に振幅で示している。下段は全帯域の時間変化であり、横軸に時間 (s)、縦軸に帯域番号、で示している。

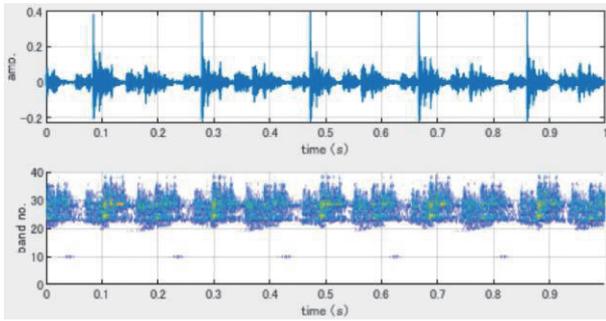


図3 2017年9月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割)

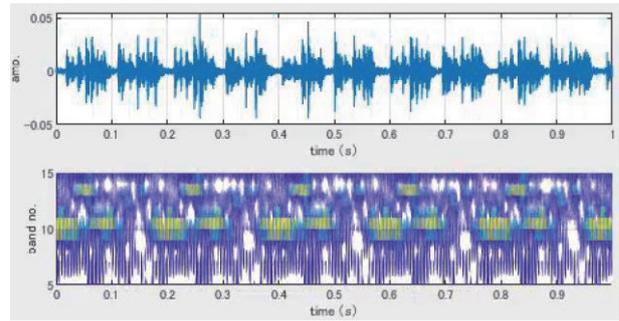


図4 2018年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割 (5から15))

図3から帯域番号10に、閉動作の位置から若干ずれているものの、周期的に信号が出ていることがわかる。そのため、帯域番号5から15の位置を拡大表示した、各年の3月4月の計測データを示す。

図4に2018年3月に計測したS3を示す。

図5に2018年4月に計測したS3を示す。

図6に2019年3月に計測したS3を示す。

図7に2019年4月に計測したS3を示す。

図8に2020年3月に計測したS3を示す。

図9に2020年4月に計測したS3を示す。

図10に2018年3月に計測したD3を示す。

図11に2018年4月に計測したD3を示す。

図12に2019年3月に計測したD3を示す。

図13に2019年4月に計測したD3を示す。

図14に2020年3月に計測したD3を示す。

図15に2020年4月に計測したD3を示す。

各図の上下段、縦軸と横軸は図3と同様で示す。

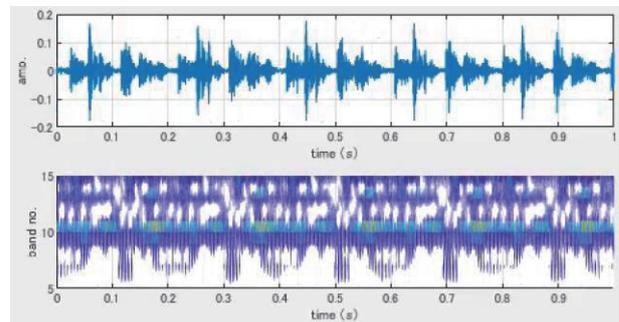


図5 2018年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割 (5から15))

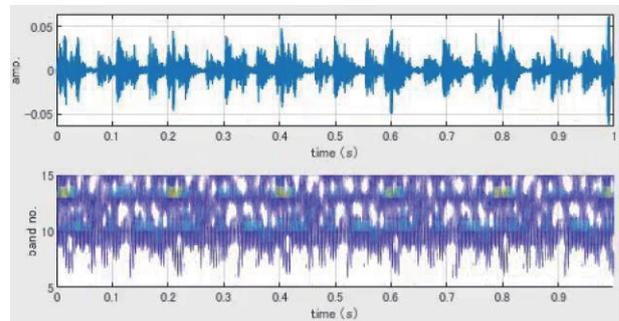


図6 2019年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割 (5から15))

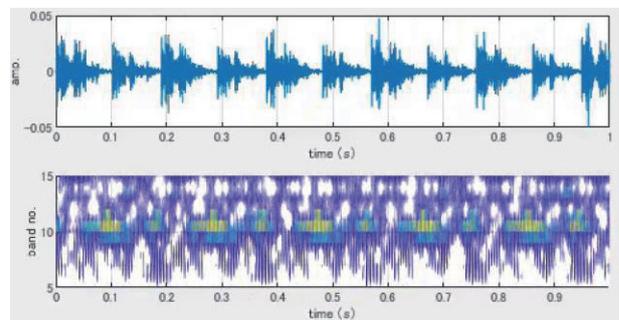


図7 2019年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割 (5から15))

4. おわりに

本研究は、化学プラントにおいて生産的にも品質的にも最重要機器である往復動圧縮機の部品の中でも、比較的劣化しやすく、修繕の際には消耗品の扱いとなっている吸吐弁に着目している。定期的なモニタリングにより機器の状態を把握し、適切なタイミングでメンテナンスを行うCBMを目的とし、これまでに圧縮工程開始から次の工程開始までの周期のばらつきが累積劣化に関係があることを明らかにした。これの社会実装にはさらなる検討が必要である。また、人為的なミスを減らすための自動化が必要となる。

そこで本稿では、帯域分割した時間変化から波形の先頭位置の検出について検討できるように事例報告として取りまとめた。

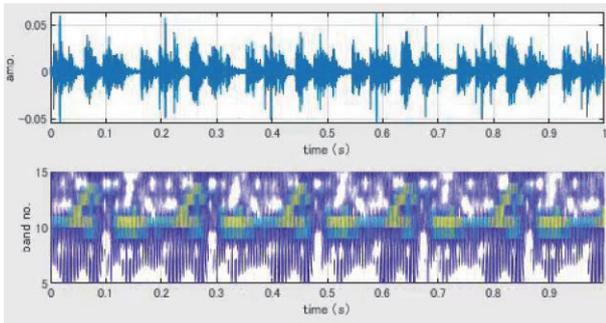


図8 2020年3月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

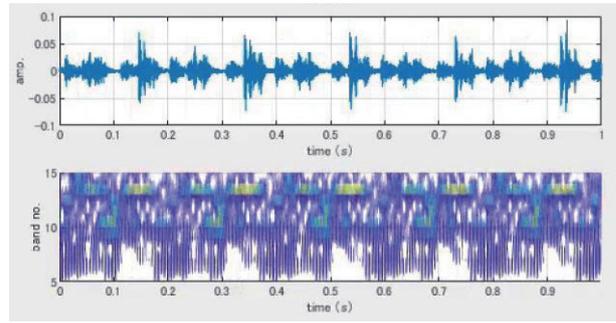


図12 2019年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

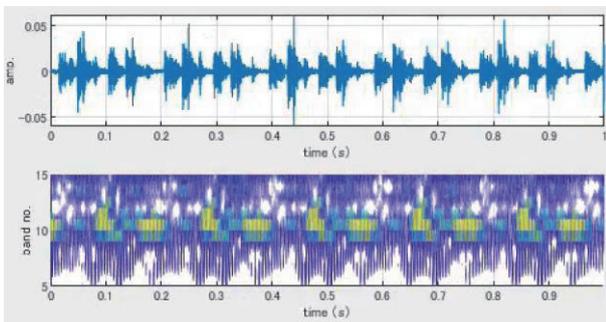


図9 2020年4月に計測した S3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

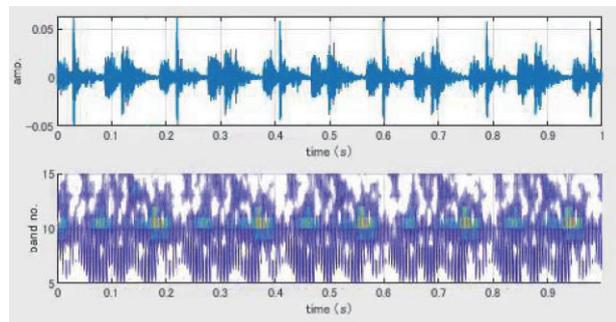


図13 2019年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

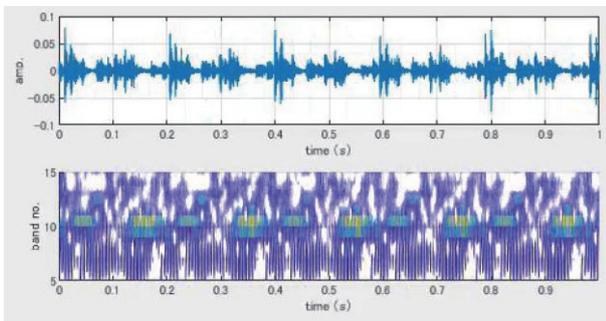


図10 2018年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

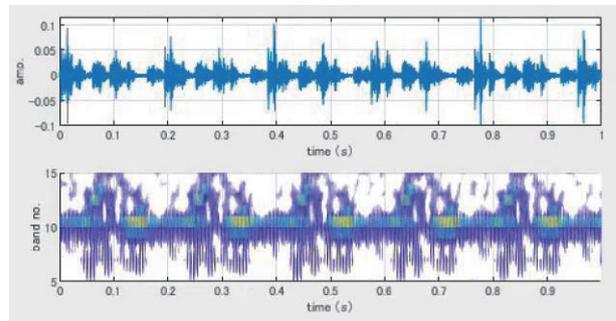


図14 2020年3月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

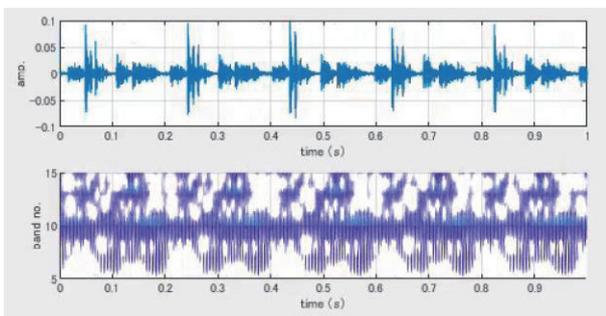


図11 2018年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

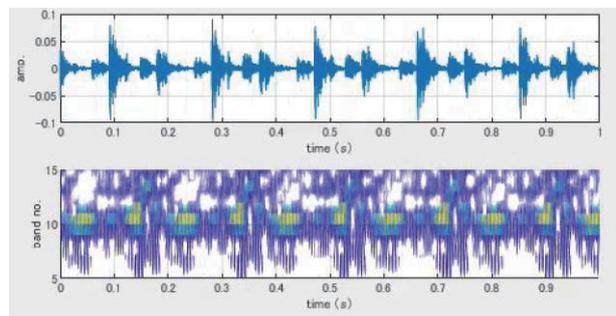


図15 2020年4月に計測した D3
(上段：時間波形，下段：帯域分割（5から15）)

参考文献

- (1) 福島学, 鶴飼拓也, 近藤善隆, 手島祐二, “現場機材による回転機械振動診断で用いるアタッチメントの簡易特性調査”, 日本文理大学, 第44巻, 第2号, pp. 45-54, 2016
- (2) 福島学, 近藤善隆, 山下涼介, 大里一矢, 山上洋志, “振動信号による圧縮機吸吐弁劣化診断に向けた定期計測データに基づく劣化進行状況把握の検討”, 日本文理大学紀要, 第47巻, 第2号, pp. 7-16, 2019年
- (3) 福島学, 黒岩和治, 近藤善隆, “伝送路特性の周波数振幅包絡に生じる変調分析による距離推定手法を用いた微振動計測の研究”, 日本文理大学紀要, 第40巻, 第1号, pp37-44, 2012
- (4) 福島学, 武村泰範, 星芝貴行, 川崎敏之, 近藤善隆, 安鍾賢, 重黒木啓介, “振動センサおよび光学センサによる計測に関する一検討—ロボットプロジェクトにおける取り組み事例報告—”, 日本文理大学紀要, 第40巻, 第1号, pp84-92, 2012
- (5) 福島学, 近藤善隆, 河納隼一, 平居宏康, “計測信号から目的データを正しく抽出するための手法について”, 日本文理大学紀要, 第41巻, 第1号, pp. 75-86, 2013
- (6) 福島学, 岩村直樹, 松井庸佑, 三角健太, 河納隼一, 平居宏康, 近藤善隆, “無歪周期分析法の時間追従への拡張”, 日本文理大学紀要, 第41巻, 第2号, pp. 33-41, 2013
- (7) 福島学, 鶴飼拓也, 篠原康平, 河納隼一, 近藤善隆, 窪田泰也, “短時間事象の時間周波数分析手法の一検討”, 日本文理大学紀要, 第43巻, 第2号, pp. 77-84, 2015
- (8) 福島学, 伊藤毅登, 沖田和久, 林友哉, 近藤善隆, 手島祐二, “往復動圧縮機における状態把握のための周期性計測”, 日本文理大学紀要, 第50巻, 2号, 2022年
- (9) 近藤善隆, 沖田和久, 林友哉, 福島学, 手島祐二, “往復動圧縮機における状態把握に向けた定期修繕前後の計測事例”, 日本文理大学紀要, 第51巻, 第1号, pp. 93-102, 2023年
- (10) 福島学, 大里一矢, 大塚柊, 河合修平, 上原正志, 河納隼一, 近藤善隆, 手島祐二, 柳川博文, “回転機械稼働状況把握への PLATE 法適用の一検討”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年秋季研究発表会講演論文集, 1-P-44, 2018
- (11) 大里一矢, 大塚柊, 市田秀樹, 福島学, 河合修平, 上原正志, 樋口幸, 森竹隆広, 柳川博文, “筋音計測データの PLATE 法による時間・周波数分析に関する一検討”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年秋季研究発表会講演論文集, 1-P-42, 2018
- (12) 長瀬翔斗, 大塚柊, 大里一矢, 高橋瑞希, 舟橋宏樹, 河納隼一, 近藤善隆, 福島学, 松本光雄, 風間道子, 手島祐二, 柳川博文, “位相情報に着目した高解像度周波数分析法 (PLATE) の提案”, 日本音響学会, 日本音響学会2018年春季研究発表会講演論文集, 1-P-40, 2018

(2023年11月24日受理)

日本文理大学紀要

第52巻 第1号

令和6年3月25日 発行

編集 日本文理大学紀要編集委員会

発行 日本文理大学

大分市大字一木1727-162

TEL (097) 524-2711(図書館)

FAX (097) 593-5166

印刷 株式会社 佐伯コミュニケーションズ

大分市広瀬町2丁目3番21号

TEL (097) 543-1211(代表)

[Study Notes]

Progress Report on Mechanical and Electrical Fusion Project “Electric Vehicle (Cart) Production”	
— Third Report (Activities in the Third Year) —	
Shinsaku IIKAWA, Kouki MERA, Kai ITO, Iori YAMASAKI, Ryota WATANABE, Ryo SHIMIZU, Rei TAKAKI, Yusuke TANAKA, Daisuke WAKABAYASHI	43
Aerodynamic Drag Breakdown at Long Range Cruise	
Shuichi NAKAYAMA	49
Wetted Area Estimation of Passengers Transport Jet Airplanes	
Yudai KOITO, Shuichi NAKAYAMA	51
An Attempt to Link Academic Career Courses with Working in Industry in the Career	
Courses of the Department of Media Technologies	
Manabu FUKUSHIMA, Hibiki TOKUTOMI, Tomoya HIRANO, Kazuhisa OKITA, Taeko MATSUNAGA, Miho SAKAI, Kaori MATSUBARA, Takayuki HOSHISHIBA, Hajimu ADACHI	59
Impact of the Two-semester System on Teacher’s Work Styles	
— From a Survey Targeting B Elementary School in City A —	
Yuji KIYOTA, Toshihisa ETO, Noriaki HIRAKI, Tetsuya AKAHOSHI	67
Examination of Curriculum for Developing Teachers Familiar with ICT (2)	
— Examples of Efforts in Year 2 “ICT Utilization for Primary Education 1” —	
Yuji KIYOTA, Toshihisa ETO, Noriaki HIRAKI, Tetsuya AKAHOSHI	75

[Case Reports]

A Case Study Report on the Use of a VBA Program to Grade Writing Assignments	
Miho SAKAI, Chikako FUCHIGAMI	81
Periodicity Analysis by Detecting the Basic Waveform Leading Position for	
Condition Monitoring of Reciprocating Compressor Intake and Discharge Valves	
Yoshitaka KONDO, Kazuhisa OKITA, Tomoya HIRANO, Hibiki TOKUTOMI, Manabu FUKUSHIMA	87

CONTENTS

[Papers]

School of Engineering

A Study on Sound Source Signals for Estimating Sound Transmission Characteristics

Necessary for Spatial Awareness

Manabu FUKUSHIMA, Tomoya HIRANO, Hibiki TOKUTOMI, Kazuhisa OKITA,

Kaisei NASHIKI, Syun'ichi KAWANO, Yoshitaka KONDO 1

Detecting Land Use Changes in Borneo Using Machine Learning and Remote Sensing

Tomohiro SHIRAISHI, Noriaki HIRAKI, Yuji KIYOTA, Toshihisa ETO 9

School of Business and Economics

Onomatopoeia in a Japanese-to-English Translation of All Out! – a Case Study

Martin TESHOME 17

School of Health Sciences

Verification of a Human Phantom with the Body Shape of Japanese Adult Men and Women

— Modifications to the Practical MIRD Phantom —

Osamu KAMEI, Michihiro ETO 27

Research on Design and Fluid Analysis Evaluation of Foldable Tubular Pipes

— Development of Disposable Tube for Ventilator Using Origami Engineering —

Hiroshi DOHI, Atsushi HARADA 37