

**日本経営システム学会  
イノベーション指向データ分析研究部会  
2019 年度第 4 回研究会**

**広島工業大学地域連携技術研究協力会  
情報システム研究部会 2019 年度研究会**

**講演論文集**



開催日時： 2020 年 2 月 20 日（木） 13:00～18:35

開催場所： 広島工業大学 五日市キャンパス<sup>(※)</sup>

新 4 号館 418 HIT イノベーションラボ, リーフガーデン  
〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

参加費 : 無料

(※) <http://www.it-hiroshima.ac.jp/about/access/itsukaichi/campus.html>



## 主催

広島工業大学 地域連携技術研究協力会 情報システム研究部会

<http://www.it-hiroshima.ac.jp/research/hit2/>

日本経営システム学会「イノベーション指向データ分析」研究会

<http://matsumotolab.com/~jams/>

## プログラム

### 開催挨拶

13:00-13:05 林孝典 (広島工業大学地域連携技術研究協力会  
情報システム研究部会・部会長)

### 第1部：研究発表会(講演10分, 質疑3分) 座長：松本慎平

13:05-14:00 セッション1 (4件)

14:05-15:00 セッション2 (4件)

### 第2部：基調講演(講演90分, 質疑, デモ含む) 司会：林孝典

15:15-16:45 梅村祥之氏 (広島工業大学情報学部教授)

題目: AI 技術と活用法

### 第3部：ポスターセッション・情報交換会

17:00-18:30

・17:00-17:45 ポスターセッションAグループ

・17:45-18:30 ポスターセッションBグループ

### 閉会挨拶

18:30-18:35 加藤浩介

(広島工業大学地域連携技術研究協力会情報システム研究部会・副部会長,  
日本経営システム学会「イノベーション指向データ分析」研究会幹事)

**第 1 部 : 研究発表会(発表 10 分, 質疑 3 分)**

**HIT イノベーションラボ**

**13:05-14:00 セッション 1**

**座長 : 松本慎平 (広島工業大学情報学部)**

ID: o1 pp. 1-3

題目 : パケット損失と遅延時間の相互作用を考慮した通話品質評価特性の分析

著者 : 岡田樹, 林孝典 (広島工業大学)

ID: o2 pp. 4-6

題目 : アルバイトスケジューリング問題に対する SMT に基づく解法

著者 : 喜花陸斗, 加藤浩介 (広島工業大学)

ID: o3 pp. 7-14 (査読有)

題目 : 組織変革時における信頼の推定と従業員モラル変化の可視化

川勝英史 (尾道市立大学), 山中伸彦 (立教大学), 加藤浩介 (広島工業大学)

2020 年 1 月 30 日受付, 2020 年 2 月 10 日再受付

ID: o4 pp. 15-17

題目 : 360 度映像に対する主観評価時の頭部動作の分析

著者 : 河野太一, 小田原奨, 林孝典 (広島工業大学)

**第 1 部 : 研究発表会(発表 10 分, 質疑 3 分)**

**HIT イノベーションラボ**

**14:05-15:00 セッション 2**

**座長 : 松本慎平 (広島工業大学情報学部)**

ID: o5 pp. 18-19

題目 : カード操作方式に基づくプログラミング学習支援システムの  
学習ログ活用法の検討

著者 : 作田康陽, 森永笑子, 松本慎平 (広島工業大学)

ID: o6 pp. 20-22

題目 : キャンパス体験システムにおける対話操作の案内提示と評価

著者 : 大川和也, 健山智子, 木上飛鳥 (広島工業大学)

ID: o7 pp. 23-25

題目 : 火力発電所ボイラチューブ劣化診断に向けた素材物性の理論的研究

著者 : 川口裕輔, 山岸秀一 (広島工業大学), 杉内栄夫 (中国電力)

ID: o8 pp. 26-29

題目 : 機械学習と画像処理技術を用いた撮影文化財中のひび割れ  
自動修復手法の研究

著者 : 仁城大貴, 山岸秀一 (広島工業大学)

**第2部：基調講演(講演 90分, 質疑, デモ含む)**

**HIT イノベーションラボ**

**15:15-16:45 司会：林孝典（広島工業大学情報学部）**

基調講演

## AI 技術と活用法

梅村祥之

広島工業大学情報学部 教授

近年、画像認識を始めとするパターン認識の分野などに、ディープラーニングが活用され高い性能を発揮している。本講演では、順伝播型で階層型のニューラルネットワークを対象に原理を説明する。まず、1つのニューロンがパターンの検出を行っていることを説明し、次に、多数のニューロンが階層構造になると、部分的な特徴を統合して全体を認識できることを説明する。その際、ネットワーク間の結合重みを、学習データを使って適切な値に調整されている必要がある。その方法であるバックプロパゲーション法について原理を説明する。原理の説明に加え、画像認識、音楽の聴き分けなど、応用例のデモンストレーションを行い、性能をご覧いただく。

**第3部：ポスターセッション・情報交換会 リーフガーデン**  
**17:00-17:45 ポスターセッションAグループ**

ID: p1 pp. 30-33 (査読有)

題目：920MHz 帯小電力無線システムを用いた海上における長距離伝搬特性

著者：河内洸貴, 濱崎利彦 (広島工業大学)

2020年1月30日受付, 2020年2月10日再受付

ID: p2 pp. 34-37 (査読有)

題目：大学生におけるキャリアプランに関するアンケートの尺度および  
信頼性および妥当性の検討

著者：溝淵智哉, 濱崎利彦 (広島工業大学)

2020年1月30日受付, 2020年2月10日再受付

ID: p3 pp. 38-41 (査読有)

題目：内海における風波波形観測ブイの設計

著者：松本亜弓, 砂田朋輝, 濱崎利彦 (広島工業大学)

2020年1月31日受付, 2020年2月9日再受付

ID: p4 pp. 42-44 (査読有)

題目：ワイヤレスセンサネットワーク構築支援ツールに関する研究

著者：織田悦至, 濱崎利彦 (広島工業大学)

2020年1月31日受付, 2020年2月10日再受付

ID: p5 pp.45-46

題目：MR 画像からの膝軟骨領域の組織に対する臨床可視化  
支援システムの開発

著者：福間一輝，健山智子，縄手就矢（広島工業大学）

ID: p6 pp. 47-48

題目：仮想空間上での魚群行動生成と  
広島工業大学 Virtual Aqua Museum(HIT-VAM)

著者：池田光汰，篠原拓登，大川和也，健山智子，松本慎平（広島工業大学）

ID: p7 pp. 49-50

題目：RGB ヒストグラムと機械学習に基づく  
イベント広告画像内からの季節情報抽出とデータベース整備

著者：宮本拓実，健山智子，折本研，本多雅史，松本慎平（広島工業大学）

ID: p8 pp. 51-52

題目：広島工業大学バーチャル体験システムとデモンストレーションの公開

著者：篠原拓登，大川和也，池田光汰，安部貴弘，健山智子（広島工業大学）



**第3部：ポスターセッション・情報交換会 リーフガーデン**  
**17:45-18:30 ポスターセッションBグループ**

ID: p9 pp. 53-54

題目：学習者における講義理解度評価のための学習キーワード解析と可視化

著者：森田博人，折本研，健山智子，松本慎平（広島工業大学）

ID: p10 pp. 55-56

題目：動画学習に対するエージェント利用の提案

著者：村川直希，松本慎平（広島工業大学）

ID: p11 pp. 57-58

題目：プログラミング初学者を対象とした知能処理の基礎を学習するための  
教材開発に関する研究

著者：小田樹，松本慎平（広島工業大学）

ID: p12 pp. 59-60

題目：理数系科目学習のためのプログラミング学習システムの開発

著者：手嶋雄一郎，岩本朋也，大下昌紀，松本慎平（広島工業大学）

ID: p13 pp. 61-62

題目：チャンク単位でのソースコード読解技能の習得を狙いとした  
プログラミング学習支援システムの開発に関する研究

著者：三宝帝斗，大下昌紀，松本慎平（広島工業大学）

ID: p14 pp. 63-66

題目：VR映像観視時のQoE評価と心拍情報の関係分析

著者：渡邊博紀，林孝典（広島工業大学）

ID: p15 pp. 67-69

題目：逆光線追跡法による液体屈折率と液面レベルの同時計測法

著者：山田一稀，大谷幸三（広島工業大学）

## **地域課題解決実習(廿日市市のビジネスアイデア立案) 最終成果発表**

ID: p16, ID:p17, ID:p18 pp. 70-71

題目：2019年度広島工業大学開講科目「地域課題解決実習  
（廿日市市のビジネスアイデア立案）」成果報告

著者：松本慎平，山岸秀一（広島工業大学）

ID: p16

発表題目：色々くるみ（牡蠣だけじゃない廿日市）

発表者：安部貴弘，小川真輝，北川慶治，久保雄大，柳井暢文

ID: p17

発表題目：廿恋をとめないで

発表者：渡辺樹

ID: p18

発表題目：けん玉商店街ゲットだぜ

発表者：渡邊理也，吉岡幹太

# パケット損失と遅延時間の相互作用を考慮した 通話品質評価特性の分析

広島工業大学 情報学部 情報工学科 岡田 樹, 林 孝典

## Analysis on Conversational Quality Assessment Characteristics Considering Interaction between Packet-loss and Delay

Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

Itsuki Okada, Takanori Hayashi

### 1 はじめに

近年, スマートフォンの普及やネットワーク技術の発展に伴い, インターネット技術を用いた音声通話の手段として IP 電話だけでなく, 様々な音声通話アプリケーションを利用する機会が増加している. 電話番号が付与される IP 電話は適切な品質となるようにネットワーク品質が設計・管理されているが, 音声通話アプリケーションに対してはネットワーク品質が保証されていない. そのため, ネットワークが混雑すると会話が困難になるような音声劣化が発生してしまうことがある. 音声通話アプリケーションを快適な品質で実現するためには, ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) の評価特性を解明し, これに基づいてネットワークやアプリケーションを設計・管理・制御していくことが重要である.

本稿では, ネットワークで発生するパケット損失と遅延時間が音声通話における QoE に及ぼす影響を主観品質評価により分析した結果を示す.

### 2 既存研究

QoE を評価する方法は主観品質評価法と客観品質評価法に大別される. 主観品質評価法は評価者が通話品質について主観的に評価する方法であり, その手法は ITU-T 勧告 P.800[1]等で規定されている. 主観品質評価法として最も広く用いられ

る手法は, オピニオン評価法と呼ばれる方法である. 評価者に通話品質を 5 段階で評価してもらい, 全評価者の評点を平均した値を平均オピニオン評点 (MOS: Mean Opinion Score) として定量化する方法である.

主観品質評価法は, 正確な評価値を得るために多くの評価者を必要とするなど, 多大な時間とコストが必要となる. そのため, 主観品質評価で得られる評価値を推定する客観品質評価法がある. 代表的な音声通話推定モデルとして ITU-T 勧告 G.107[2]で規定されている “E-model” がある. E-model は, 端末要因・ネットワーク要因・環境要因等に関する 23 個の入力パラメータから, MOS と相関がある R 値を算出する. E-model では, まず雑音感 (Ro), 音量感 (Is), 遅延・エコー感 (Id), 歪み・途切れ感 (Ie,eff), 及び利便性要因 (A) といった劣化要因を心理間隔尺度上で表し, 式 (1) のように単純な加減算で R 値を算出している. しかし, 実際には, 相互作用により異なる結果を返すことが報告されている[3].

$$R = Ro - Is - Id - Ie,eff + A \quad (1)$$

### 3 実験方法

主観品質評価実験のために構築した実験環境を図 1 に示す. 音声通話アプリケーションとして TeamSpeak3 を使用し, 2 台の PC 間で音声通話

を行える環境を構築した。音声符号化方式は広帯域音声符号化方式である OPUS (7.7kbit/s) を使用し、評価者は片耳ヘッドセットを用いて防音室内で音声通話を行えるようにした。通信経路上に設置した Network Emulator (NE) により、パケット損失率と片道遅延時間を制御した。

本検討では、パケット損失と遅延時間の相互作用を明らかにするために3つの主観品質評価実験を行った。実験1では、パケット損失による品質への影響を明らかにするために片道遅延時間を185msで固定し、パケット損失率を0, 5, 10, 15, 20 [%]で変化させた。実験2では、遅延時間による品質への影響を明らかにするためにパケット損失率を0%で固定し、片道遅延時間を185, 350, 500, 750, 1000 [ms]で変化させた。実験3では、パケット損失と遅延時間の劣化の度合いによる品質への影響を明らかにするためにパケット損失率を0, 10, 20 [%]で変化させ、片道遅延時間を185, 500, 1000 [ms]で変化させた。

評価実験での会話は、名前推測タスク[4]を使用した。名前推測タスクとは、出題者が思い浮かべる日用品などの名前を質疑応答によって当てるタスクである。評価方法は絶対範疇尺度 (ACR: Absolute Category Rating) 法[1]を用い、評価者は1分間の会話後に表1に示す5段階品質尺度を用いて評価してもらった。評価者は非専門家(学生)とし、3つの実験で各16名、計48名とした。

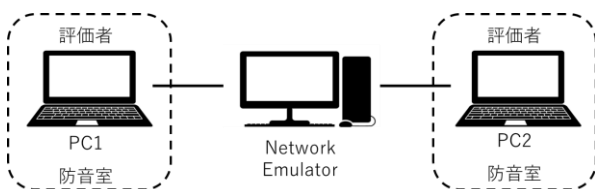


図1 実験環境の構築

表1 5段階品質尺度

評点	評定語
5	非常に良い
4	良い
3	普通
2	悪い
1	非常に悪い

## 4 結果と考察

実験1のパケット損失率とMOSの関係、実験2の片道遅延時間とMOSの関係、実験3におけるパケット損失率・片道遅延時間とMOSの関係を図2～図4に示す。各MOSの95%信頼区間をエラーバーで示している。図2, 図3より、パケット損失率や片道遅延時間といった品質劣化の度合いが強くなるとMOSが低下することが分かる。また、MOSの低下量は今回の実験の範囲では、遅延時間よりパケット損失による影響が強いことが分かる。図2, 図3と図4の結果を比較すると、実験1, 実験2のように単一の品質劣化要因のみを一つの評価実験において変化させた場合よりも実験3のように複数の品質劣化要因を一つの評価実験で変化させた場合では、単体の品質劣化要因の変化によるMOSの変化量は小さくなることが分かる。これは、複数の劣化に評価者の意識が分散し、それぞれの品質劣化要因に対する影響が小さくなったためと考えられる。

図2のMOSを目的変数  $MOS_l$  とし、パケット損失率 ( $PI$ : Packet-loss) を説明変数として多項式近似を行った。図3のMOSを目的変数  $MOS_d$  とし、片道遅延時間 ( $D$ : Delay) を説明変数として多項式近似を行った。式(2)を用いてパケット損失率から導出した  $MOS_l$  と式(3)を用いて片道遅延時間から導出した  $MOS_d$  を説明変数とし、図4のMOSを目的変数  $MOS_{all}$  として交互作用を考慮しない式(4)の形と交互作用を考慮する式(5)の形に重回帰分析を行った。式(2)～式(5)における  $a_1 \sim a_{13}$  は定数である。式(4)と式(5)による推定したMOSと実験3において得られたMOSとの相関関係を図5に示す。式(4)における相関は0.920, 式(5)における相関は0.928であった。式(4)における相関と式(5)における相関に対して有意水準5%で有意差判定を行った結果、統計的に有意な差はなかった。これは、実験2における片道遅延時間の増加に対するMOSの低下量が小さく、実験3において更に片道遅延時間に対す

る影響が小さくなりパケット損失の影響が支配的になったためと考えられる。

$$MOS_l = a_1Pl^2 + a_2Pl + a_3 \quad (2)$$

$$MOS_d = a_4D^2 + a_5D + a_6 \quad (3)$$

$$MOS_{all} = a_7MOS_l + a_8MOS_d + a_9 \quad (4)$$

$$MOS_{all} = a_{10}MOS_l + a_{11}MOS_d + a_{12}MOS_l \cdot MOS_d + a_{13} \quad (5)$$

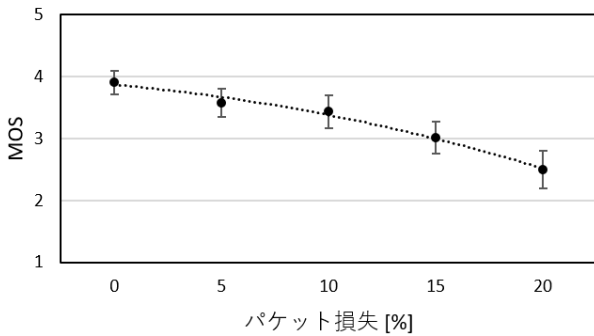


図2 パケット損失と MOS の関係

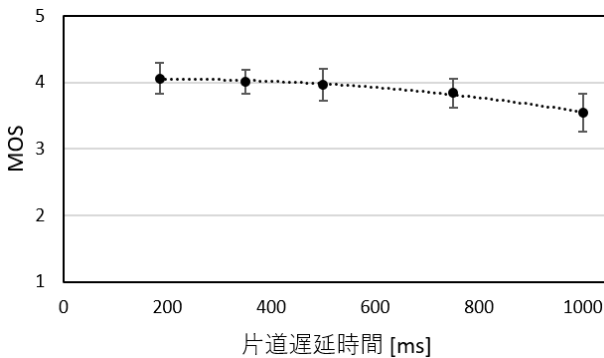


図3 片道遅延時間と MOS の関係

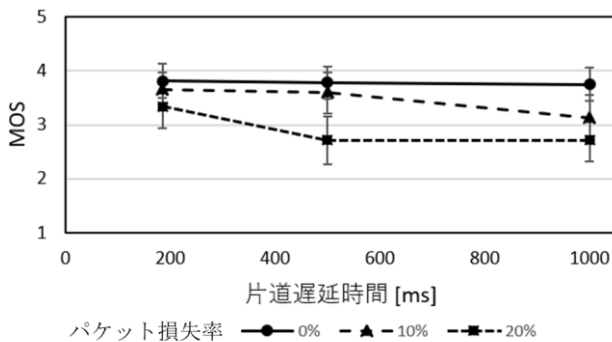


図4 パケット損失・遅延時間と MOS の関係

## 5 まとめ

本稿では、通話品質におけるパケット損失と遅延時間の相互作用を明らかにすることを目的とし、パ

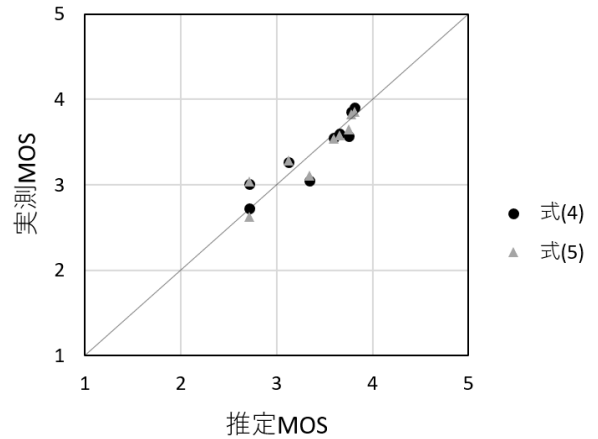


図5 推定 MOS と主観品質評価値の相関関係

ケット損失率と片道遅延時間を変化させ、主観品質評価実験を行った。その結果、主観品質評価における通話品質は、単一の品質劣化要因の劣化度合いを変化させた場合よりも、複数の品質劣化要因の劣化度合いを変化させた方が通話品質の変化が緩やかになることが確認できた。また、交互作用に関しては、遅延時間の増加に対して通話品質の低下が緩やかになっているため、交互作用を考慮しない場合と考慮する場合に関して統計的に有意な差はなかった。

今後は、本特性を加味した客観評価モデルの作成を行う必要がある。

## 参考文献

- [1] ITU-T Recommendation P.800, "Methods for subjective determination of transmission quality," August 1996.
- [2] ITU-T Recommendation G.107, "The E-model: a computational model for use in transmission planning," June 2015.
- [3] A. Takahashi, A. Kurashima, and H. Yoshino, "Objective Assessment Methodology for Estimating Conversational Quality in VoIP," IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, vol.14, no.6, pp.1984-1993, November 2006.
- [4] ITU-T Recommendation P.920, "Interactive test methods for audiovisual communications," May 2000.

# アルバイトスケジューリング問題に対する SMT に基づく解法

広島工業大学情報学部 喜花陸斗, 加藤浩介

## A Solution Method Based on SMT for Part-time Workers Scheduling Problems

Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

Rikuto Kihana, Kosuke Kato

### 1 はじめに

近年, ファストフード店あるいはコンビニエンスストアなどアルバイトが主戦力となっている職場が多くなってきている. アルバイトは常勤でないため, 個別の勤務可能時間を考慮して, 勤務日時を決定する必要がある.

現在, 現場において, アルバイトスケジューリングは職場のマネージャーや店長などが手作業で行っている場合が多い. アルバイトの人数が少なければ手作業でも問題はないが, 人数が多くなるとスケジューリングのための労力及びかかる時間は大きくなるとともにアルバイトの急な変更への対応のためにマネージャーが休日に出勤して再スケジューリングしなければならない場合もある. 矢川[1]はファストフード店のアルバイトスケジューリング問題に対象として, 各アルバイトが提出した一週間分の希望シフト(勤務可能時刻)に基づく店舗のアルバイトスケジューリング作成を支援するソフトウェアを開発し, 従来, スケジューリング作成に手作業で2~3日かかっていたものを10分程度で作成できるようにした. しかし, 矢川のソフトウェアは完全自動ではなく, スケジューリングの完成のために一部ユーザの手入力による修正が必要であった.

本研究では, 矢川と同じスケジューリング問題に対して, 問題を Satisfiability Modulo Theories (SMT) に基づいて定式化するとともに, ソルバ[2]により求解することによってアルバイトスケジューリング作成の自動化を目指す.

### 2 アルバイトスケジューリング問題<sup>[1]</sup>

文献[1]におけるスケジューリング問題について説明する. 対象は24時間営業のファストフード店の店舗である. この店舗では3種類のアルバイトが存在する: CP(接客担当), OP(製造担当), TRAINER(接客と製造のどちらでも担当可能). 各アルバイトの希望シフト(勤務可能時刻)および各時刻における接客担当と製造担当の必要人員数は既定である. また, アルバイトの勤務条件は下記の4つである.

- ①各アルバイトは勤務可能時刻のみで勤務可能
- ②勤務は連続した2, 3, 4, 5, 6, 7時間のいずれか
- ③勤務終了から次の勤務までの間隔は12時間以上
- ④全時刻において, 接客担当の必要人員数及び製造業務の必要人員数を満たさなければならない

従来, アルバイトが提出した1週間分の希望シフト(勤務可能時刻)に基づき, スケジューリング作成者は, 各時刻のCP/OPの必要人員数が満たされるように手作業で1週間分のスケジューリングを作成していた(作成に2~3日費やしていた). 矢川[1]はスケジューリング作成支援ソフトウェアを開発し, 10分程度でスケジューリングの作成が可能となった. このソフトウェアにより, 労力と作成時間の削減が可能となったが, スケジューリング作成のために一部手作業が必要であった. そこで, 本研究では, 手作業が不要なスケジューリング作成の自動化を目指す. そのために, 問題を制約充足問題として定式化した後, ソルバなどにより求解し, すべての制約を(厳密に)満たすスケジューリングを得ることを考える. スケジューリング問題に対し, 佐々木<sup>[2]</sup>

は定式化における柔軟性・拡張性を考慮して SMT に基づく定式化を行うとともに SMT ソルバ Yices<sup>[3]</sup>による求解を行っている. 本研究でも SMT に基づく定式化を試みるとともに Yices による求解を試みる.

### 3 SMT に基づく定式化 (本研究)

アルバイトスケジューリングを行う際, 次のパラメータ値があらかじめ与えられるものとする.

- $E$ : スケジュールする総時間数 ( $t = 1, 2, \dots, E$ )
  - $n_C$ : 業務 CP に従事可能な人員の総数 (人員の集合を  $SC = \{i | i = 1, 2, \dots, n_C\}$  とする)
  - $n_O$ : 業務 OP に従事可能な人員の総数 (人員の集合を  $SO = \{j | j = 1, 2, \dots, n_O\}$  とする)
  - $n_T$ : CP と OP の両方に従事可能な人員の総数 (人員の集合を  $ST = \{k | k = 1, 2, \dots, n_T\}$  とする)
  - $dC_t$ : 各時刻での CP の必要人員数,  $t = 1, 2, \dots, E$
  - $dO_t$ : 各時刻での OP の必要人員数,  $t = 1, 2, \dots, E$
  - $p_{it}$ : 人員  $i \in SC$  が時刻  $t$  に勤務希望かどうか (1 or 0) を表す,  $i = 1, 2, \dots, n_C, t = 1, 2, \dots, E$
  - $q_{jt}$ : 人員  $j \in SO$  が時刻  $t$  に勤務希望かどうか (1 or 0) を表す,  $j = 1, 2, \dots, n_O, t = 1, 2, \dots, E$
  - $r_{kt}$ : 人員  $k \in ST$  が時刻  $t$  に勤務希望かどうか (1 or 0) を表す,  $k = 1, 2, \dots, n_T, t = 1, 2, \dots, E$
- ここで,  $p_{it}, q_{jt}, r_{kt}$  の例を図 1 に示す.

		1	2	...	24	25	...	$t$	...	$E$
SC	1	1	1	...	1	1	...	1	...	1
	2	1	1	...	1	0	...	1	...	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$i$	0	0	...	0	1	...	1	...	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$n_C$	1	1	...	1	1	...	1	...	0
SO	1	1	1	...	1	0	...	1	...	0
	2	1	0	...	1	1	...	1	...	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$j$	1	1	...	1	1	...	1	...	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$n_O$	0	0	...	0	1	...	1	...	0
ST	1	1	1	...	1	0	...	1	...	0
	2	0	0	...	0	1	...	0	...	0
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$k$	0	0	...	1	1	...	1	...	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$n_T$	1	1	...	1	1	...	1	...	1
$fC_t$	8	5	...	9	7	...	11	...	5	
$fO_t$	10	6	...	10	8	...	6	...	5	

図 1 希望シフト (勤務希望時刻)

また, 本問題の決定変数は以下に示す通りである.

- $x_{it}$ : 人員  $i \in SC$  が時刻  $t$  に勤務するかどうか (1 or 0) を表す決定変数,  $i = 1, 2, \dots, n_C, t = 1, 2, \dots, E$
- $y_{jt}$ : 人員  $j \in SO$  が時刻  $t$  に勤務するかどうか (1 or 0) を表す決定変数,  $j = 1, 2, \dots, n_O, t = 1, 2, \dots, E$
- $z_{kts}$ : 人員  $k \in ST$  が時刻  $t$  に CP ( $s = 1$ ) もしくは OP ( $s = 2$ ) として勤務するかどうか (1 or 0) を表す決定変数,  $k = 1, 2, \dots, n_T, t = 1, 2, \dots, E$

2 節で述べた勤務条件①と④はこれらのパラメータ及び決定変数を用いて以下の式(1)~(5)のように表現される.

[条件①]

$$x_{it} \leq p_{it}, i = 1, 2, \dots, n_C, t = 1, 2, \dots, E \quad (1)$$

$$y_{jt} \leq q_{jt}, j = 1, 2, \dots, n_O, t = 1, 2, \dots, E \quad (2)$$

$$z_{kt1} + z_{kt2} \leq r_{kt}, k = 1, 2, \dots, n_T, t = 1, 2, \dots, E \quad (3)$$

[条件④]

$$\sum_{i=1}^{n_C} x_{it} + \sum_{k=1}^{n_T} z_{kt1} \geq dC_t, t = 1, 2, \dots, E \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n_O} y_{jt} + \sum_{k=1}^{n_T} z_{kt2} \geq dO_t, t = 1, 2, \dots, E \quad (5)$$

次に, 勤務条件②と③を表現するために, 下記の変数を追加する.

- $u_{it}$ : 人員  $i \in SC$  の時刻  $t$  から連続した 7 時間分の勤務時間の合計を表す,  $i = 1, 2, \dots, n_C, t = 1, 2, \dots, E-6$
- $v_{jt}$ : 人員  $j \in SO$  の時刻  $t$  から連続した 7 時間分の勤務時間の合計を表す,  $j = 1, 2, \dots, n_O, t = 1, 2, \dots, E-6$
- $w_{kt}$ : 人員  $k \in ST$  の時刻  $t$  から連続した 7 時間分の勤務時間の合計を表す,  $k = 1, 2, \dots, n_T, t = 1, 2, \dots, E-6$
- $uu_{it}$ : 人員  $i \in SC$  の時刻  $t$  から連続した 12 時間分の勤務時間の合計を表す,  $i = 1, 2, \dots, n_C, t = 1, 2, \dots, E-11$
- $vv_{jt}$ : 人員  $j \in SO$  の時刻  $t$  から連続した 12 時間分の勤務時間の合計を表す,  $j = 1, 2, \dots, n_O, t = 1, 2, \dots, E-11$
- $ww_{kt}$ : 人員  $k \in ST$  の時刻  $t$  から連続した 12 時間分の勤務時間の合計を表す,  $k = 1, 2, \dots, n_T, t = 1, 2, \dots, E-11$

これらの変数を用いると、勤務条件②と③は以下の式(6), (7), (8)により定式化される。

[条件②と③]

$$\begin{aligned}
 & ((x_{i(t-1)} = 0) \wedge (x_{it} = 1) \wedge (x_{i(t+1)} = 1) \wedge (u_{it} \leq 7)) \\
 & \vee ((x_{i(t-1)} = 1) \wedge (x_{it} = 0) \wedge (u_{it} = 0)) \\
 & \vee ((x_{i(t-1)} = 0) \wedge (x_{it} = 0)) \\
 & \vee ((x_{i(t-1)} = 1) \wedge (x_{it} = 1)) \wedge (u_{it} \leq 6) \\
 & \qquad t = 1, 2, \dots, E-11 \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & ((y_{j(t-1)} = 0) \wedge (y_{jt} = 1) \wedge (y_{j(t+1)} = 1) \wedge (v_{jt} \leq 7)) \\
 & \vee ((y_{j(t-1)} = 1) \wedge (y_{jt} = 0) \wedge (v_{jt} = 0)) \\
 & \vee ((y_{j(t-1)} = 0) \wedge (y_{jt} = 0)) \\
 & \vee ((y_{j(t-1)} = 1) \wedge (y_{jt} = 1)) \wedge (v_{jt} \leq 6) \\
 & \qquad t = 1, 2, \dots, E-11 \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & ((z_{k(t-1)1} + z_{k(t-1)2} = 0) \wedge (z_{kt1} + z_{kt2} = 1) \\
 & \quad \wedge (z_{k(t+1)1} + z_{k(t+1)2} = 1) \wedge (w_{kt} \leq 7)) \\
 & \vee ((z_{k(t-1)1} + z_{k(t-1)2} = 1) \wedge (z_{kt1} + z_{kt2} = 0) \wedge (w_{kt} = 0)) \\
 & \vee ((z_{k(t-1)1} + z_{k(t-1)2} = 0) \wedge (z_{kt1} + z_{kt2} = 0)) \\
 & \vee ((z_{k(t-1)1} + z_{k(t-1)2} = 1) \wedge (z_{kt1} + z_{kt2} = 1)) \\
 & \quad \wedge (w_{kt} \leq 6)) \\
 & \qquad t = 1, 2, \dots, E-11 \quad (8)
 \end{aligned}$$

勤務条件①～④を SMT に基づいて定式化した条件式(1)～(8)を満たす決定変数  $(x, y, z)$  の組を求めるために、本研究では SMT ソルバを用いることとし、Yices2.6.1<sup>[3]</sup>を利用する。様々な規模の自作のテスト問題に対し、Yices を適用した結果、得られたスケジュールの一例を図2に示す。

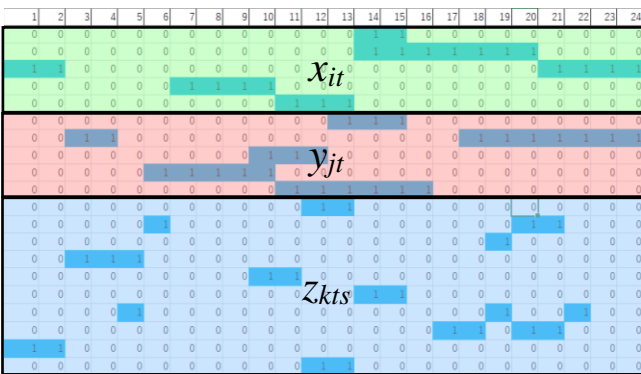


図2 求解結果(得られたスケジュールの例)  
 提案手法で得られたすべてのスケジュールが勤務条件①～④を満たすことが確認されたため、手作業での修正は不要であり、提案手法によりスケジュール作成の自動化が可能となることが示された。

また、計算時間を表1に示す。

表1 計算時間(単位:秒)

人数	3日間	5日間	7日間	14日間
15人	3.7	9.1	30.8	120.8
24人	6.3	11.4	32.4	145.5
30人	9.4	29.9	62.7	242.3
70人			218.4	960.0

これらの規模では計算時間が急激に増加するということではなく、現実規模に近い30名、14日間の問題で4分程度であった。さらに、矢川<sup>[1]</sup>と同等の規模(70名)の問題への適用結果においても、14日間の問題で16分程度であった。これらから、現実規模の問題に対しても実用的な時間内で求解が可能であることがわかる。

#### 4 おわりに

本研究では、アルバイトスケジューリング問題に焦点をあてた。特に、文献[1]で扱われている問題に対して、スケジューリングの自動化を目指して、SMTに基づく定式化を行った。さらに、さまざまな規模の問題に対し、SMT ソルバによる求解を行い、すべての制約を満たすスケジュールが実用的な時間内で得られることが確認されたため、本提案手法の有用性が示された。

#### 参考文献

[1] 矢川陽一朗：ファストフードA店におけるアルバイトのシフトスケジューリング作成支援ソフトの試作, [http://www.numaf.net/Z9/Z9a/html/THESIS/H22/abst\\_yagawa.pdf](http://www.numaf.net/Z9/Z9a/html/THESIS/H22/abst_yagawa.pdf) (2011)

[2] 佐々木直人, 加藤浩介, 松本慎平, 垣内洋介, 山岸秀一：Satisfiability Modulo Theories (SMT) に基づくソフトウェア開発を想定したビジネススケジューリング, イノベーション指向データ分析研究部会2016年度第1回研究会, pp. 15-16, February 24, 2017.

[3] The Yices SMT Solver, <http://yices.csl.sri.com/>



# 組織変革時における信頼の推定と従業員モラル変化の可視化

尾道市立大学 川勝 英史

立教大学 山中 伸彦

広島工業大学 加藤 浩介

## Estimation of Trust and Visualization of Change in Employee Morale during Organizational Innovation

Onomichi City University

Hidefumi Kawakatsu

Rikkyo University

Nobuhiko Yamanaka

Hiroshima Institute of Technology

Kosuke Kato

### 1 はじめに

近年、多くの企業は、激しく変化する経営環境に適応するため、組織デザインの再考を余儀なくされている。今日の経営課題の一つが差別化可能な付加価値を創出し得るイノベーションあるいはイノベーションを実現する組織の創造的能力の発揮にあるとすれば、今日の企業にとって、こうしたイノベーションや創造的能力の発揮を効果的に促進する組織デザインへの変革が課題となる[1]。しかしながら組織変革を妨げる主な要因の一つとして、次のような「モラル問題」があげられる([1], [2])。

組織変革の過程における「モラル問題」は、「抵抗」, 「混乱」, 「対立」による従業員や管理者の労働意欲, 協調的態度, モラルの低下として定義される。このモラル問題への対処は、組織変革の成否にかかわる「経営社会関連」の課題であり、このため経営者は、組織の「デザイナー」[2]として、重大な役割と責任を負うことになる。

人間相互の関係において他者の適切な意図および行為の確保に伴うリスクが存在し、利害の実現がそうした他者に依存する場合、信頼が必要となる[3]。なお Rousseau et al. [3]は、信頼を「他者の意図や行動に対する積極的期待に基づき無防備さを受容する意図から構成される心理的状態」と定義している。尾高[4]は、職場の管理者や監督者に対してだけでなく、仕事仲間に対する「信頼」

が組織のモラルの構成要素であると指摘しているものの、組織変革に伴うモラル問題への対処においては、組織や経営者に対する「信頼」が重要となる[1]。

組織変革は、成否に不確実性を伴うことから高いリスクを内在しており、またこの影響は組織全体に及ぶ。このリスクの存在は、組織内に不安と混乱を招き、モラル問題を助長する。したがって、組織変革においては、経営者のリーダーシップが要求されるが[2]、このリーダーシップの有効性は、組織や経営者に対する「信頼」の大きさに依存すると考えられる。イノベーションの実現や創造的能力を発揮しうる組織デザインの実現においても、組織における信頼関係の形成が必要とされる[5]。

以上の議論は、組織や経営者に対する「信頼」が大きくなると、経営者のリーダーシップの有効性が高まり、また、これにより変革に伴う従業員モラルの低下を回避しうることを示唆している。

山中[1]は、主成分回帰分析により、組織変革時における、従業員の経営者に対する「信頼」を予測するためのモデルを提案している。しかしながら、組織変革時における従業員モラルが変化する様子を定量的に示した研究は、筆者の知る限り見当たらない。

本研究では、文献[1]と同様にして、主成分回帰

分析により「信頼」に関する推定値を求める。この上で、従業員の(心理的な)状態は、次の2つの要因から構成される場合を考え、組織変革時の従業員モラルの変化を可視化するためのシミュレーションモデルを構築する。(1) 命令に対する(表面上の)同意の程度(信頼に依存)。(2) 仕事に対するモチベーションの大きさ(信頼とは独立)。

さらに、シミュレーション実験により、従業員の経営者や組織に対する信頼が、従業員が命令に同意するまでに要する時間や従業員モラルに与える影響について分析する。また、組織変革時における、従業員の心理的状态の変化についても考察する。

## 2 記号の定義および仮定

本研究では、議論を単純にするために、次のような枠組みを考える。

- 組織は3つの階層を有する(経営者、管理職、非管理職)。
- 経営者は管理職に対して組織変革に関する命令を伝達し、管理職は一般従業員(非管理職)にこの命令を伝える。

本研究で使用する主な記号は以下の通りである。

$A$	管理職(経営者を除く)の添字集合
$B$	非管理職の添字集合
$\mathbf{u}_0$	経営者の状態を表すベクトル
$\mathbf{a}_i$	管理職 $i$ の状態を表すベクトル( $i \in A$ )
$\mathbf{b}_k$	非管理職 $k$ の状態を表すベクトル( $k \in B$ )
$\theta_m$	ベクトル $\mathbf{u}_0$ とベクトル $\mathbf{a}_i$ ( $i \in A$ )または $\mathbf{u}_0$ と $\mathbf{b}_k$ ( $k \in B$ )のなす角( $0 \leq \theta_m \leq \pi, m \in A \cup B$ )。従業員 $m$ の命令への不同意の程度を表す。つまり、従業員 $m$ は経営者の命令の内容に対して、 $\theta_m = 0$ のとき、完全に同意しており、 $\theta_m = \pi$ のとき、まったく同意していない。
$\theta_{m,n}$	2つのベクトルのなす角( $\theta_{m,n} =  \theta_m - \theta_n , 0 \leq \theta_{m,n} \leq \pi, m, n \in A \cup B$ )
$r_m$	ベクトルの大きさ。従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )の仕事に対するモチベーションの大きさを表す( $0 \leq r_m \leq 1$ )。
$\varphi_m$	従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )の経営者や組織に対する「信頼」の大きさ( $0 \leq \varphi_m \leq 5$ )

$p_m(\varphi_m)$	従業員 $m$ の命令に対する従順さの程度( $p'_m(\varphi_m) \geq 0, 0 \leq p_m(\varphi_m) \leq 1$ )
$\alpha_m$	従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )が、同じ職位の同僚の考えや意見から影響を受ける程度(ここでは、感受性と呼ぶ)( $0 \leq \alpha_m \leq 1$ )
$\gamma_m$	従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )のモチベーションの増加率( $0 < \gamma_m < 1$ )
$\eta_m$	従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )のモチベーションの減少率( $0 < \eta_m < 1$ )

また、本研究では以下の(i)から(v)を仮定する。

- (i) 従業員 $m$ ( $m \in A \cup B$ )の状態は、次2つの要因から成る。(1) 命令に対する不同意度 $\theta_m$ (信頼 $\varphi_m$ に依存)、(2) 仕事に対するモチベーション $r_m$ (信頼 $\varphi_m$ と独立)。

なお、経営者に関しては、 $(r_0, \theta_0) = (1, 0)$

( $\mathbf{u}_0 = (r_0 \cos \theta_0, r_0 \sin \theta_0) = (1, 0)$ )とする。

つまり、経営者のモチベーションは最大であり、経営者は、自身の提案に完全に同意しているとする。また、 $\mathbf{a}_i$ ( $i \in A$ )および $\mathbf{b}_k$ ( $k \in B$ )は、それぞれ、 $\mathbf{a}_i = (r_i \cos \theta_i, r_i \sin \theta_i)$ 、 $\mathbf{b}_k = (r_k \cos \theta_k, r_k \sin \theta_k)$ のように表される。

- (ii) 管理職 $i$ ( $i \in A$ )が経営者から命令を受けたとき、この命令への不同意度 $\theta_i$ は、 $p_i(\varphi_i)$ に依存して $\theta_0(=0)$ に近づく(つまり、同意に近づく)。非管理職 $k$ ( $k \in B$ )が管理職 $i$ ( $i \in A$ )から命令を受けたとき、 $\theta_k$ は $p_k(\varphi_k)$ に依存して $\theta_i$ に近づく。
- (iii) 管理職 $i$ ( $i \in A$ ) (または、非管理職 $k$ ( $k \in B$ ))が、同僚から影響を受けた場合には、 $\theta_{i,j}$ ( $i, j \in A, i \neq j$ ) (または、 $\theta_{k,l}$ ( $k, l \in B, k \neq l$ ))は次のようにして変化する。(a)  $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_j > 0$  (または、 $\mathbf{b}_k \cdot \mathbf{b}_l > 0$ ) のとき、 $\theta_{i,j}$  (または、 $\theta_{k,l}$ ) は、感受性 $\alpha_i$ と $\alpha_j$  (または、 $\alpha_k$ と $\alpha_l$ ) に依存して減少する。このとき、両者の状態が互いに近づく。(b)  $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_j \leq 0$  (または、 $\mathbf{b}_k \cdot \mathbf{b}_l \leq 0$ ) のとき、 $\theta_{i,j}$  (または、 $\theta_{k,l}$ ) は、 $\alpha_i$ と $\alpha_j$  (または、 $\alpha_k$ と $\alpha_l$ ) に依存して増加する。つまり、両者の状態は離れる。
- (iv) 従業員 $m$ が上司から命令を受けたとき、従業員 $m$ のモチベーション $r_m$ は率 $\eta_m$ で減少する。従業員 $m$ が(同じ職位の)同僚から影響を受けて、命令に従うかどうかを自身で決定した場合には、この従業員のモチベーション $r_m$ は、

率 $\gamma_m$ で増加する.

- (v) 管理職 (非管理職) のモラールは, 管理職 (非管理職) と経営者のベクトルとの内積により, つまり,  $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{u}_0$  ( $\mathbf{b}_k \cdot \mathbf{u}_0$ ) により求められる.

### 3 信頼の推定

#### 3. 1 使用データ

山中[1]は, 経営者および組織に対する信頼を評価するにあたり, 立道[6]および宮本[7]において採用された尺度項目を使用し, 我が国の民間事業会社に勤務する一般従業員および管理職を対象にインターネットを通じてアンケート調査を実施している. 調査された内容は, 表 1 の最左列に示したような 9 種類の組織化変数, ならびに, 次のような企業の業種, 規模, 所属部門, 職位, 性別などに関する 28 種類のカテゴリ変数に変換されている. つまり, 農林漁業, 建設業, 電気ガス熱供給水道業, 運輸業, 通信業, 卸売小売飲食店, 金融保険業, 不動産業, 個人サービス, 情報サービス調査広告サービス, その他のサービス業, その他産業, 300 人以下, 301~1000 人, 1001~3000 人, 総務広報管理部門, 商品開発マーケティング部門, 人事労務部門, 経理会計財務部門, 情報処理情報システム部門, 研究開発設計技術部門, 戦略企画部門, 新規事業開拓部門, 法務知財部門, 物流ロジスティクス部門, その他部門, 職位, 性別に関する変数であり, これらの変数を, 順に $X_1$ から $X_{28}$ とおく.

先行研究[1]において回収された 300 件のデータから, 欠損値を含むデータなどを除外すると, 152 件のデータが分析対象となる. ここでは, これをランダムに学習用データ (119 件) と評価用データ (33 件) に分割する.

#### 3. 2 主成分回帰モデル

ここでは, 山中[1]と同様にして, 主成分回帰により, 信頼を推定するためのモデルを作成する. なお, 分析には R 言語[8]を用いる.

表 1 に, 学習データ (119 件) の組織化変数に

関する主成分分析の結果を示している. ここに, 表中の $\rho_1$ および $\rho_2$ は, それぞれ, 第 1 主成分, 第 2 主成分を表しており, 文献[1]では, これらの主成分は, それぞれ, 「総合的変革」, および「費用削減型フラット化」のように解釈されている.

表 1 組織化形態の主成分分析結果 (学習データ)

組織化変数	$\rho_1$	$\rho_2$
階層削減	0.310	0.411
戦略的分権化	0.356	-0.250
業務的分権化	0.365	-0.104
プロジェクト型組織化	0.347	0.607
ダウンサイジング	0.360	-0.211
IT 投資	0.351	-0.352
コミュニケーションと組織統合	0.355	-0.319
戦略的リストラクチャリング	0.303	0.080
アウトソーシング	0.229	0.337

学習データから, 第 1 および第 2 主成分スコアを求め (それぞれ,  $X_{29}$  および  $X_{30}$  とおく), これらの値と, 3. 1 で説明した企業の業種, 規模, 所属部門, 職位, 性別などに関する 28 種類の変数を説明変数とし, 信頼を被説明変数として, 重回帰分析を行った. この結果については, 先行研究[1]と同様のものが得られたため, 紙数の都合上, 詳細については割愛し, 各説明変数の係数の値のみを表 2 にまとめている. ここで, 表 2 の $\beta_1$ から $\beta_{30}$ は, それぞれ $X_1$ から $X_{30}$ の係数を表している. なお, 切片の値は $\beta_0 = 0.834$ である.

表 2 係数の値 (上段は係数名, 下段は値)

$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$
1.773	-0.234	0.404	0.133	0.758	0.094
$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$	$\beta_{11}$	$\beta_{12}$
-0.144	0.011	0.278	0.206	-0.048	-0.484
$\beta_{13}$	$\beta_{14}$	$\beta_{15}$	$\beta_{16}$	$\beta_{17}$	$\beta_{18}$
0.071	-0.043	-0.054	0.131	0.309	0.096
$\beta_{19}$	$\beta_{20}$	$\beta_{21}$	$\beta_{22}$	$\beta_{23}$	$\beta_{24}$
0.252	-0.072	0.008	1.488	0.030	0.448
$\beta_{25}$	$\beta_{26}$	$\beta_{27}$	$\beta_{28}$	$\beta_{29}$	$\beta_{30}$
0.130	-0.105	0.050	-0.141	0.257	-0.435

このとき、信頼の推定値は

$$\varphi_m = \beta_0 + \sum_{u=1}^{30} \beta_u X_u \quad (1)$$

により求められる。

### 3. 3 推定結果

ここでは、評価データ (33 件) を用いて、式(1)に示した主成分回帰モデルにより、信頼の値を推定する。図 1 に、信頼の推定結果を示している。図中の横軸は評価データの番号、縦軸は信頼を表しており、信頼の値に関して、点線、および実線は、それぞれ、「正解」および推定した値を表している。また、「正解」と推定した値の相関係数は、0.69 となり、この2つの変数間に「やや高い相関関係」が見受けられた。

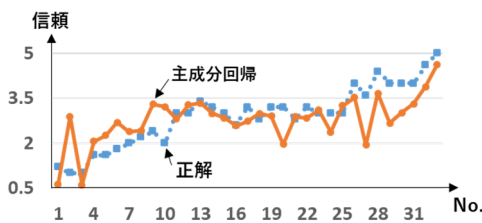


図 1：推定結果 (評価データ)

## 4 シミュレーションモデル

ここでは、Artisoc4.0[8]を用いて、組織変革時の従業員モラルが変化の様子を可視化するための、マルチエージェントシミュレーションモデルを開発する。

### 4. 1 エージェントの配置

Artisoc4.0 において、モデルを構成するコンポーネントは階層構造を有する。ここでは、空間を1つだけ作成し、この空間の下に、「経営者」、「管理職」、「非管理職」の3種類のエージェントを、 $(r, \theta)$ 平面上に配置する。

シミュレーションの開始時に、経営者は、 $(r, \theta) = (1, 0)$ に配置され、シミュレーションの最初から最後まで移動しない。また、管理職と非管理職は、ランダムに配置される。シミュレーショ

ン開始時における、各エージェントの配置例については、5の図4(a)に示している。

### 4. 2 従業員の状態の変化

仮定(i)でも述べたように、従業員 $m(m \in A \cup B)$ が上司から命令を受けたとき、この命令への不同意度 $\theta_m$ は、 $p_m(\varphi_m)$ に依存して変化する。なお、 $\varphi_m$ の値は式(1)により推定することにし、 $p_m(\varphi_m)$ 構造については5. 2で説明する。

このとき、シミュレーションの各ステップにおいて、各エージェントは次のように振る舞う。

#### (a) 経営者エージェントの振る舞い

各ステップにおいて、経営者はランダムに1人の管理職エージェントを選択し命令を与える。

#### (b) 管理職エージェントの振る舞い

経営者エージェントに選択された管理職エージェント $i(i \in A)$ の状態は、図2(a)にも示したように、次の式(2)および(3)により、 $(r_i, \theta_i)$ から $(r'_i, \theta'_i)$ へと変化する。

$$r'_i = \eta_i r_i \quad (i \in A, 0 < \eta_i < 1), \quad (2)$$

$$\theta'_i = [1 - p_i(\varphi_i)] \theta_i. \quad (3)$$

また、この管理職エージェント $i$ は、ランダムに1人の非管理職エージェントを選択する。

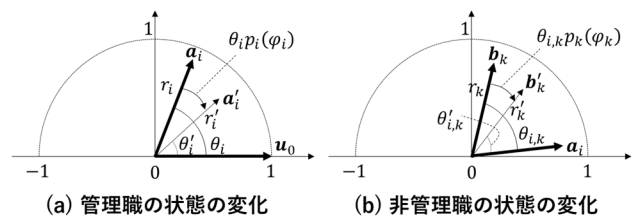


図 2：従業員の状態の変化 (命令を受けた際)

#### (c) 非管理職エージェントの振る舞い

管理職エージェントにより選択された (命令を伝えられた) 非管理職エージェント $k(k \in B)$ の状態は、図2(b)にも示したように、次の式(4)および(5)により、 $(r_k, \theta_k)$ から $(r'_k, \theta'_k)$ へと変化する。

$$r'_k = \eta_k r_k \quad (0 < \eta_k < 1), \quad (4)$$

$$\theta'_k = \begin{cases} \theta_k - p_k(\varphi_i)\theta_{i,k}, & \text{if } \theta_i < \theta_k, \\ (i \in A, k \in B), \\ \theta_k + p_k(\varphi_i)\theta_{i,k}, & \text{if } \theta_i \geq \theta_k. \end{cases} \quad (5)$$

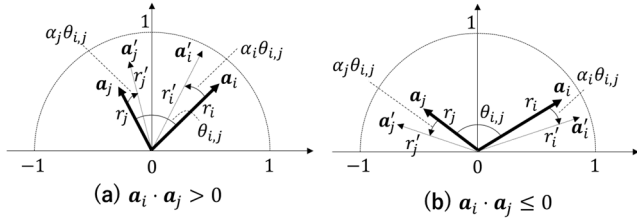


図 3 : 従業員の状態の変化 (自身で決定した際)

さらに, 仮定(iii)および(iv)より, 管理職*i*と*j* ( $i, j \in A, i \neq j, \theta_i \leq \theta_j$ )が互いに影響を受けた場合には, 次の式(6)から(9)により, それぞれの状態が $(r_i, \theta_i)$ と $(r_j, \theta_j)$ から $(r'_i, \theta'_i)$ と $(r'_j, \theta'_j)$ に変化する.

$$r'_i = r_i + (1 - r_i)\gamma_i, \quad (6)$$

$$\theta'_i = \begin{cases} \theta_i + \alpha_i\theta_{i,j}, & \text{if } \theta_{i,j} < \pi/2, \\ \max[\theta_i - \alpha_i\theta_{i,j}, 0], & \text{if } \theta_{i,j} \geq \pi/2, \end{cases} \quad (7)$$

$$r'_j = r_j + (1 - r_j)\gamma_j, \quad (8)$$

$$\theta'_j = \begin{cases} \theta_j - \alpha_j\theta_{i,j}, & \text{if } \theta_{i,j} < \pi/2, \\ \min[\theta_j + \alpha_j\theta_{i,j}, \pi], & \text{if } \theta_{i,j} \geq \pi/2. \end{cases} \quad (9)$$

図 3(a)および(b)に, それぞれ,  $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_j > 0$  ( $\theta_{i,j} < \pi/2$ ) の場合, および $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_j \leq 0$  ( $\theta_{i,j} \geq \pi/2$ ) の場合の, 従業員の状態が変化の様子を示している.

なお, 非管理職*k*と*l* ( $k, l \in B, k \neq l, \theta_k \leq \theta_l$ )が互いに影響を受けた場合の, 両者の状態が変化の様子については, 図 3 ならびに式(6)から(9)において,  $\mathbf{a}, i, j$ を, それぞれ,  $\mathbf{b}, k, l$ に置き換えることにより表現できる.

## 5 シミュレーション実験

ここでは, 従業員の経営者や組織に対する信頼が, 命令に同意するまでに要する時間や従業員モラルに与える影響について分析する. また, 組織変革時における, 従業員の心理的状态の変化についても考察する.

### 5.1 総モラルと終了条件

仮定(v)より, *n*回目のシミュレーションを実行した際に得られる, 管理職ならびに非管理職のモラ

ルの平均値は, それぞれ,

$$V_A^{(n)} = \frac{1}{N_A} \sum_{i \in A} \mathbf{a}_i \cdot \mathbf{u}_0, \quad V_B^{(n)} = \frac{1}{N_B} \sum_{k \in B} \mathbf{b}_k \cdot \mathbf{u}_0$$

により求められる. また, *n*回目のシミュレーションにおける, モチベーションの大きさ, および命令に対する不同意の程度の平均値は, それぞれ,  $r_C^{(n)} = (1/N_C) \sum_{m \in C} r_m$ ,  $\theta_C^{(n)} = (1/N_C) \sum_{m \in C} \theta_m$  ( $C = A, B$ )となる. ここでは, シミュレーションを 100 回繰り返すことにする. このとき, 100 回のシミュレーションを繰り返したときに得られる, 従業員モラル, モチベーション, 不同意に関する大きさの平均値は, それぞれ,  $\bar{V}_C = (1/100) \sum_{n=1}^{100} V_C^{(n)}$ ,  $\bar{r}_C = (1/100) \sum_{n=1}^{100} r_C^{(n)}$ ,  $\bar{\theta}_C = (1/100) \sum_{n=1}^{100} \theta_C^{(n)}$  ( $C = A, B$ )により求められる.

本研究で提案したモデルにおいては, 組織変革の「移行期」あるいは「過渡期」における, 従業員の心理状態の変化を表していると考えられる. ここで, 組織変革の移行期は, 次の(1)から(3)のような過程から成る. つまり, (1) 変革開始の意思決定, (2) 変革意志の浸透と変革の実施, (3) 説得や試行錯誤を含む移行期を経て, 変革が完遂され新たな状態が出現することになる.

この移行期に要する期間や, 変革の達成に要求される従業員の同意の程度は, 対象となる企業のおかれた状況により異なると考えられる. 本研究では, 非従業員の命令に対する同意の程度が 87.5%以上になったとき, 「移行期」が終了したと判断し, シミュレーションを停止する. したがって, *n*回目のシミュレーションの終了条件は,  $\theta_B^{(n)} \leq \pi/8$ となる.

### 5.2 パラメータ設定と信頼の推定

ここでは, 感受性 $\alpha_m$  ( $m \in A \cup B$ )の値について  $\alpha_m < 0.5$  の場合を考えることにする. これは,  $\theta_i \leq \theta_j$  ( $i, j \in A, i \neq j$ ) のとき, または,  $\theta_k \leq \theta_l$  ( $k, l \in B, k \neq l$ ) のとき, 両者の状態が更新された後にも,  $\theta'_i \leq \theta'_j$  または  $\theta'_k \leq \theta'_l$  が常に成り立つようにするためである. 感受性 $\alpha_m$ , ならびに, モチベーションの増加率 $\gamma_m$ や減少率 $\eta_m$ の推定には相当な困難

が伴う。また、これらの値は従業員によって異なるため、ここでは、 $\alpha_m, \gamma_m, \eta_m$ は、それぞれ、0以上0.5未満、0以上 $\xi_1$ 未満( $0 < \xi_1 < 1$ )、0以上 $\xi_2$ 未満( $0 < \xi_2 < 1$ )の一様乱数に従うと仮定する。なお、 $\xi_1$ および $\xi_2$ が従業員モラルに与える影響については、5.3で分析する。

女性および男性の割合については、日本企業に多く見受けられる比率を参考にし、それぞれ、0.3および0.7とする。経営者の数は1、管理職と非管理職の数は、それぞれ、 $N_A = 10, N_B = 90$ とおく。

信頼 $\varphi_m$ の値を推定するにあたり、従業員数が300人以下の卸・小売業を対象とし、各組織化変数の値については、Case 1からCase 3の3通りの場合を考え、表3示したように設定する。なお、これらの値は、評価データのものを参考にした。

表3 組織化変数の値

組織化変数	Case 1	Case 2	Case 3
階層削減	2.00	2.75	1.00
戦略的分権化	2.00	3.33	3.00
業務的分権化	2.00	2.80	3.00
プロジェクト型組織化	2.00	2.50	1.00
ダウンサイジング	2.00	3.00	4.00
IT投資	2.00	2.67	3.33
コミュニケーションと組織統合	2.00	2.80	5.00
戦略的	2.00	3.00	3.40
リストラクチャリング	2.00	2.67	1.33

表4:  $\varphi_m$ の推定値

職位	性別	$\varphi_m$ (Case 1)	$\varphi_m$ (Case 2)	$\varphi_m$ (Case 3)
管理職	男	2.392	2.992	4.626
管理職	女	2.533	3.133	4.768
非管理職	男	2.342	2.942	4.576
非管理職	女	2.483	3.083	4.718

このとき、式(1)より、 $\varphi_m$ の値は表4に示したように求められる。この結果より、Case 1からCase 3の順に、信頼の値が全体的に大きくなっている

ことが確認できる。

さらに、ここで提案したモデルにおいては、 $p_m(\varphi_m)$  ( $m \in A \cup B$ )の値が0.5より小さいとき、シミュレーションが停止するまでに相当なステップ数(3000ステップ以上)を要することを確認している。この場合、年間の勤務日数を245日(休日120日)とすると、1ステップを1日と見做した場合でも、移行期に12年以上要することになる。ここでは、信頼 $\varphi_m$ が2より小さい場合には、組織変革の実現は困難であると仮定し、 $p_m(2) = 0.5$ とおく。また、 $p_m(5) = 1$ とし、 $p_m(\varphi_m)$ は $\varphi_m$ に対して線形に増加するような場合を考える。このとき、 $p_m(\varphi_m)$ は、

$$p_m(\varphi_m) = (1/6)\varphi_m + 1/6 \quad (10)$$

のように表すことができる。

### 5.3 感度分析

ここでは、 $\xi_2$  (命令を受けた際のモチベーションの減少率 $\eta_m$ の上限)を0.1とし、 $\xi_1$  (命令に同意するかどうかを自身で決定した際のモチベーションの増加率 $\gamma_m$ の上限)を0.01, 0.05, 0.1のように変化させた場合について、シミュレーション実験を行う。この結果については、表5にまとめたとおりである。表中の「Steps」は、シミュレーションが終了するまでの平均ステップ数を表している。なお、表には示していないが、 $\bar{\theta}_A \approx 0, \bar{\theta}_B = \pi/8$ となることも確認している。

表5にまとめた結果より、(a)  $\xi_1 = 0.01$ , (b)  $\xi_1 = 0.05$ , (c)  $\xi_1 = 0.1$ の場合において、Case 1からCase 3の順に(つまり、信頼の程度が大きくなるにつれて)、Stepsの値は減少していることが確認できる。これは、信頼が大きくなるにしたがい、従業員が命令の内容に同意するまでの期間が短縮されていることを意味している。この一方で、信頼が大きくなっても、従業員モラルは大きく増加しないことも見受けられる。これは、信頼が大きくなると、移行期間が短縮されることから、従業員が自身で命令の内容について検討す

る機会が減少するためであると考えられる。なお、終了条件は $\xi_1$ と独立であるため、 $\xi_1$ が変化しても Steps の値は変化しない。

表 5 : 実験結果 ( $\xi_2 = 0.1$ )

(a) $\xi_1 = 0.01$					
Case	Steps	$\bar{V}_A$	$\bar{V}_B$	$\bar{r}_A$	$\bar{r}_B$
1	166.4	0.089	0.286	0.089	0.488
2	158.2	0.089	0.282	0.089	0.488
3	147.7	0.090	0.270	0.090	0.485

(b) $\xi_1 = 0.05$					
Case	Steps	$\bar{V}_A$	$\bar{V}_B$	$\bar{r}_A$	$\bar{r}_B$
1	166.4	0.329	0.599	0.329	0.827
2	158.2	0.328	0.595	0.328	0.827
3	147.7	0.331	0.580	0.331	0.824

(c) $\xi_1 = 0.1$					
Case	Steps	$\bar{V}_A$	$\bar{V}_B$	$\bar{r}_A$	$\bar{r}_B$
1	166.4	0.499	0.676	0.499	0.905
2	158.2	0.496	0.673	0.496	0.906
3	147.7	0.500	0.658	0.500	0.902

また、表 5 の(a), (b), (c)に示した結果より、 $\xi_1$ の値が大きくなるにしたがい、管理職と非管理職のモラル、ならびにモチベーションが大きく保たれていることも確認できる。

さらに、 $\xi_2$ の値を変化させた際(つまり、 $\eta_m$ の上限を変化させた際)、結果にはあまり影響を与えないことも、実験により確認している。この理由については次のように説明可能である。すなわち、 $\eta_m$ の値が大きくなると、従業員が命令を受けた際のモチベーションの減少率は大きくなるものの、ここで提案したモデルでは、各ステップにおいて、命令が一人ずつにしか与えられない。従業員が命令に従うかどうかを自身で検討する頻度(モチベーションが増加する頻度)よりも、命令を受けてモチベーションが低下する頻度の方が比較的小さい。

### 5. 4 組織変革時の従業員モラルの変化

ここでは、Case 2 かつ $(\xi_1, \xi_2) = (0.01, 0.1)$ の場合

合に注目し、組織変革時の従業員モラルが変化する様子をシミュレーション実験により観察する。

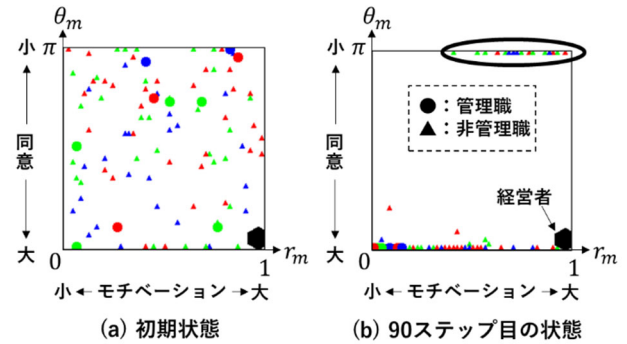


図 4 : 従業員の状態の変化

図 4 の(a)および(b)に、それぞれ、シミュレーションの 0 ステップ目(初期状態)、90 ステップ目(途中経過)における、従業員の状態を $(r_m, \theta_m)$ 平面上に示している。図中の赤色、青色、緑色のエージェントについて、 $\alpha_m$ の値は、それぞれ、 $0 \leq \alpha_m < 1/6$ ,  $1/6 \leq \alpha_m < 1/3$ ,  $1/3 \leq \alpha_m < 1/2$ である。また、図 4(b)の右上の丸で囲まれている箇所は、命令に同意していないグループの状態を表している。90 ステップ目において、このグループには 23 名の非管理職が属しており、彼らのモチベーションは比較的高く保たれている様子も確認できる。また、命令に同意しないグループに属する非従業員数は、ステップ数が大きくなるにつれて減少するが、シミュレーション終了時においても 10 名ないし 11 名程度がこのグループに残ることを確認している。ここでは示していないものの、 $\xi_1$ の値が大きくなるに従い、命令に服従しないグループに属する従業員のモチベーションは、全体的に大きくなる傾向があることも確認した。

さらに、これ以外の従業員の状態は、図 4 (b)の下部に集まっており、組織変革に関する命令に対して、ほぼ完全に同意していることが見受けられる。しかしながら、彼らのモチベーションについては、(命令にしつこく同意している者も多いため)ばらつきが大きいことも確認できる。

組織における構成員は、原理的には常に自身の

判断で行為する自由を与えられており、経営者に追従しない「健全な不同意者」「モラルの高い不服従」が存在する組織の方が、組織の学習能力が高く、長期的な適応力を備え存続確率の高い組織であると考えられる。このため、最後まで命令に服従しないグループが存在することも少なくない。したがって、図4に示した結果は、このような様子を効果的に再現できていると考えられる。

## 6 おわりに

組織変革に伴うモラル問題への対処においては、従業員の経営者や組織に対する「信頼」が重要な要素となる。本研究では、従業員の(心理的な)状態は、次の2つの要因から構成される場合を考え、従業員モラルを定式化し、組織変革時の従業員モラルの変化を可視化するためのシミュレーションモデルを構築した。(1) 従業員の命令に対する(表面上の)同意の程度(信頼に依存)。(2) 仕事に対するモチベーション(信頼とは独立)。

シミュレーション実験に先立ち、先行研究[1]と同様にして、主成分回帰分析により、組織や経営者に対する「信頼」を推定した。

この上で、信頼の大きさや各パラメータに関する感度分析により、提案したモデルの特徴を考察した。またシミュレーションの過程において、従業員は、命令に完全に同意するグループ(モチベーションのばらつきは大きい)とまったく同意しないグループ(モチベーションは高い)グループに分割される様子も見受けられた。この結果については、経営者に盲従せず企業がとるべき最善の方策を真剣に考えるがゆえに、命令に対して不同意という姿勢をとる従業員が存在することを表していると解釈することもできる。この様子は、「健全性」が保たれている企業において多く見受けられる現象であり、組織変革時の従業員の心理状態を効果的に再現できていると考えられる。

しかしながら、本研究においては、信頼の大きさと命令に対する従順さの関係、および、他者の考え方に同調する程度やモチベーションの増減率

について、具体的な構造を明らかにしていない。今後の課題として、アンケート調査などを通じて、これらの構造を解明した上で、本モデルの有効性をさらに検証する必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K01841 の助成を受けたものです。また、査読者の方々からは貴重なご意見を頂戴いたしました。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- [1] N. Yamanaka, Organizational Design in Modern Firms and the Role of Corporate Management: Relationships of Organizational Change with Trust and Creative Capacity, *Journal of Japanese Management*, **2** (2), pp.12- 22, 2018.
- [2] J. Roberts, *The Modern Firm: Organizational Design for Performance and Growth*, Oxford University Press, 2007.
- [3] D. M. Rousseau, S. B. Sitkin, R. S. Burt and C. Camerer, Not So Different After All: Cross-discipline View of Trust, *Academy of Management Review*, **23** (3), pp. 393-404, 1998.
- [4] 尾高邦雄,「産業社会学講義」,岩波書店,1981.
- [5] R. Bellah et al., *The Good Society*, Vintage, 1992.
- [6] 立道信吾,「変革期の勤労者意識:『新時代のキャリアデザインと人材マネジメントの評価に関する調査』結果報告書」,労働政策研究報告書, **49**, 2006.
- [7] 宮本光晴,「企業統治分析のフロンティア(第4章)」,日本評論社, pp. 84-111, 2008.
- [8] R言語, <https://cran.r-project.org/> (2020/1/12アクセス) .
- [9] 山影進,「人工社会構築指南: artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門」,書籍工房早山, 2007.



# 360 度映像に対する主観評価時の頭部動作の分析

広島工業大学大学院 工学系研究科 情報システム科学専攻 河野 太一 林 孝典

広島工業大学 情報学部 情報工学科 小田原 奨

## Analysis of Head Movement during Subjective Assessment for 360-degree Videos

Major in Information Systems and Science, Graduate School of Science and Technology,

Hiroshima Institute of Technology

Taichi Kono, Takanori Hayashi

Department of Computer Science, Faculty of Applied Information Science,

Hiroshima Institute of Technology

Sho Odawara

### 1 はじめに

ここ数年、仮想現実 (VR : Virtual Reality) 映像技術や 360 度カメラの発展によって VR 映像を利用したコンテンツやサービスが普及してきている。それらのコンテンツやサービスをユーザが快適に利用するには、ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) に基づいた VR 映像システムの設計が重要となる。

近年では、2D 映像の主観品質評価法[1]をそのまま適用し、360 度映像の QoE 評価の研究が多数されてきている。著者は先に、360 度映像の画質/臨場感の主観評価において、評価者が広範囲の映像を観視して評価できるように、同じ映像を繰り返し観視する主観評価法を提案し、得られた評価値の安定性について分析した[2]。また、ヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) で 360 度映像を観視すると、タブレットなどで 360 度映像を観視するよりも周辺視野が広がるため、評価者の観視行動が激しくなることが報告されている[3]。360 度映像の自由視点という観点から同じ 360 度映像を観視していても、評価者の観視行動によって観視している映像が異なる

と考えられるため、観視行動を分析することは重要である。そこで本稿では、主観評価時の評価者の観視行動に着目し、評価者の頭部の平均移動量及び視野範囲の観点から、評価者がどのような観視行動を行っているか分析した。その結果をもとに主観評価に求められる観視回数について検討した結果を報告する。

### 2 360 度映像に対する主観評価

主観評価実験では、HMD に HTC VIVE (スクリーン: Dual AMOLED 3.6-inch (対角)、解像度:両眼 2160×1200p (片眼 1080×1200p)、リフレッシュレート: 90Hz、視野角:110 度) を用いて 360 度映像を表示した。また、360 度映像を表示するシステムは Unity を用いた。評価映像コンテンツは全て 360 度カメラ (Insta360 ONE X : 解像度 5760×2880、フレームレート 30fps、映像符号化方式 H.264、映像ビットレート最大 120Mbps) で撮影した、キャッチボールをする人、公園を歩く鹿、橋/砂/川辺/滝/公園の風景映像など、9 種類を用いた。なお、音声信号は無しとした。これらは全て固定カメラで撮影した 10 秒の映像

であり、これを再圧縮することにより画質を変化させた。

主観評価では画質と臨場感を対象とし、図1で示すように観視回数1回、2回、3回の3パターンを用いて評価した。評価条件は観視回数毎に、映像コンテンツ9条件×画質3条件を用意し、全81条件を9名の評価者に割り当てて評価できる(観視回数毎に画質が異なる3つの映像コンテンツを観視する)ようにした。既存方法では画質を変えて複数回同一の映像コンテンツを評価しているが、本検討では観視回数1~3回に分けた時の頭部の動きを解析するため、同じ映像コンテンツを複数回観視すると観視行動に影響を与えたと考え、1映像コンテンツ1評価条件となるようにした。評価者は映像品質に対する非専門家18名(学生(男性16名、女性2名))とした。

評価実験では、評価者の観視行動を分析するためにHMDの加速度センサからピッチ(縦回転)とヨー(横回転)の回転データを約100Hzでサンプリングして取得し、頭部の平均移動量[度]と視野範囲[度]を計測した。平均移動量は、観視回数1回は10秒間の移動量を、観視回数2回、3回は10秒間の平均の移動量を評価人数で平均した値である。観視範囲は、観視回数1回は10秒間の視野範囲を、観視回数2回、3回はそれぞれ20(10×2)秒間、30(10×3)秒間の視野範囲を評価人数で平均した値である。また、実験終了時に、評価者が360度映像の品質評価に適切な観視回数についてアンケート調査を実施した。

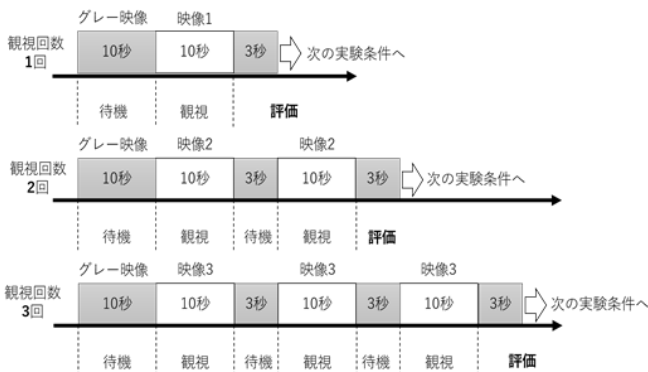


図1 観視回数を変化させた評価法

### 3 主観評価実験の評価結果

再圧縮率を変えて画質を変化させた評価映像を観視している頭部の動きの取得データの一例を図2に示す。ほとんどの評価者でヨーに比べピッチの動き量が少なかったため、本検討ではヨーのデータのみを分析対象とした。

観視回数と頭部の平均移動量及び視野範囲の関係を図3に示す。図3より観視回数1回の平均移動量に比べ、観視回数2回、3回は同程度に小さくなっていることがわかる。平均移動量では観視回数2回と3回では評価者は似たような観視行動をとっており、観視回数2回で映像評価値がある程度定まったためと考える。図3より、視野範囲は、観視回数が増えるにつれて視野範囲も増加していることがわかる。これにより、観視回数3回程度であれば、ある一定範囲を観視し続けるのではなく、まだ見ていない範囲も観視しているため、観視行動を継続していることがわかった。今回使用したHMDの表示視野角度は110度であるため、観視回数3回で360度を超え、360度映像全体を一通り観視できていることがわかる。また、観視回数に対する評価者へのアンケート結果を図4に示す。その結果、観視回数の平均が2.28回となり、2回程度の観視回数で評価できることが示された。

以上より、総合的に考えて観視回数2回が妥当であると判断した前回の検討[2]が、評価者の観視行動や評価者への負担の観点からも妥当であることが示された。

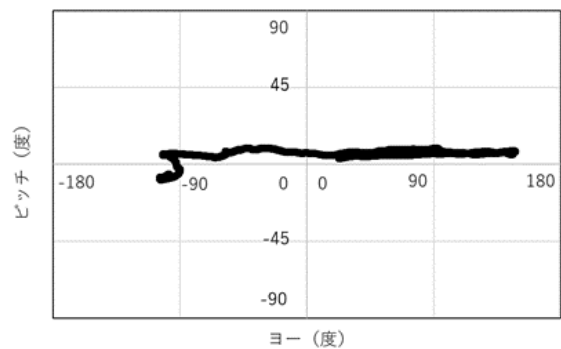


図2 取得データの例

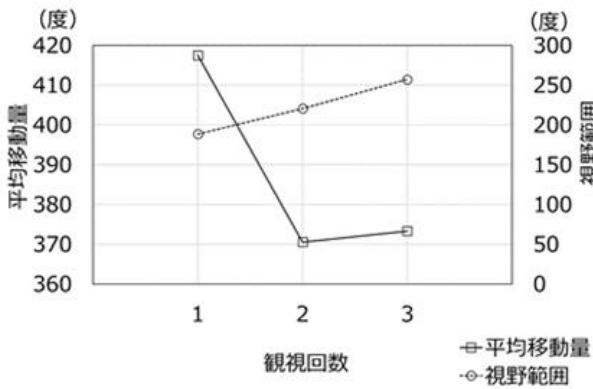


図3 各観視回数における頭部の動き

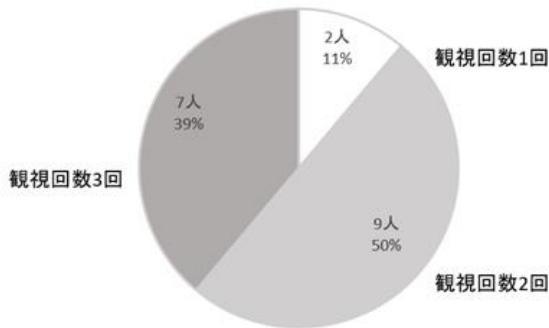


図4 観視回数に関するアンケート結果

#### 4 まとめ

本稿では、360 度映像に対する主観評価時の観視行動について着目し、評価者がどのような観視行動を行っているか分析した。また主観評価に求められる妥当な観視回数を検討した。その結果、観視回数が増加するごとに、評価者の観視行動は落ち着くが、観視範囲は増加し、観視行動を継続する傾向が得られた。また評価者の観視行動や評価者への負担を考慮して観視回数 2 回が妥当であることを示した。

今後は注視点に着目した細かな観視行動の分析や 360 度映像の画質/臨場感に対する客観評価法の検討を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] ITU-T Rec. P.910 “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications,” April 2008.
- [2] 河野太一, 林孝典, “360 度映像に対する主観評価法の検討,” 信学総大, B-11-20, March 2019.
- [3] Harry Farmer, Chris Bevan, David P Green, Mandy Rose , Kirsten Cater , Danaë Stanton-Fraser, “Did You See What I Saw?: Comparing User Synchrony When Watching 360° Video In HMD Vs Flat Screen, ” 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 978-1-7281-1377-7, March 2019.

# カード操作方式に基づくプログラミング学習支援システムの 学習ログ活用法の検討

広島工業大学 作田康陽, 森永笑子, 松本慎平

## Examining the Effective Use of Learning Log for Card Operation-Based Programming Learning Support System

Hiroshima Inst. of Tech. Koyo Sakuda, Shoko Morinaga, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

分節化された意味のある部分間の関係を考えるプログラミング学習において課題外在性負荷[1]を減らすため、カード操作方式による学習支援システム(以降、カードシステム)が開発されている[2]。大学講義でカードシステムを導入した結果、非本質的な認知負荷を減らしながら、教授者が意図した学習活動に集中できていたこと、とりわけ初学者にとって有効な学習方法であることが示唆された。また、カードシステムは、従来のコーディング主体の学習と同等の学習効果を有しながら、従来よりも学習時間を短縮できる効率的な学習方法であることが明らかにされた。

カードシステムに関する先行研究[3, 4]において、学習履歴データの集計と統計による提示により数多くの教育改善が試みられている現状を鑑み、更なる学習支援を実現するため学習ログの分析が行われた。カード操作回数に着目しその回数とプログラミングの理解度との関係を調査したところ、プログラミングを理解できている群(中央値より上位)は下位群よりもカード操作回数が統計的に有意に少ないことが明らかとなった。この知見を活用して教授法を設計すれば、更なる学習支援が期待できる。本研究では、カードシステムを用いて更なる学習支援の方策を検討するため、先行研究の知見を整理する。先行研究では、村上らはカードシステムの学習プロセスを評価する方法を示した。Morinagaらは村上らの手法を活用し、カード操作回数と理解度の関係を明らかにした。

### 2 カード操作方式による学習支援システム

カードシステムは、問題文とプログラムコードの書かれたカードを提示し、学習者は問題文の処理にあるようにカードを並び替える演習を支援する Ruby on Rails で開発された Web アプリケーションである。カードは、マウスのドラッグ&ドロップ操作で動かすことができる。学習者は右側に表示される選択肢からカードを選び、左側に表示される回答欄にカードを移動させてプログラムを構築する。



図1 提案システムの外観

### 3 村上らの取り組み

村上らの手法[3]は、レーベンシュタイン距離[5]の考え方を参考に学習プロセスを量的に評価するための分析手法である。レーベンシュタイン距離では文字の挿入、削除、置換、を1手として考え、編集にかかる距離を測定する。村上らの手法は、基本的にはレーベンシュタイン距離と同様に学習者の回答であるカード順列を数量化する。すなわち、カードの配置を距離0として考え、正解に近づくまでに必要なカードの操作回数をレー

ベンシュタイン距離と同様に評価する。例えば正解のカード順列が(1, 2, 3, 4)で学習者の状態が(1, 3, 2, 4)であったとき、2番目と3番目のカードを交換すれば正解のカードの配置を得られるため距離は1とする。

基本的な評価規則は従来通りであるが、一部レーベンシュタイン距離の考えはカードシステムの仕様にそぐわない点がある。具体的には、「複数枚のカードで構成されるグループの移動を1回の処理と見なす」点と「カードの入れ替えを1回の処理と見なす」点である。前者について、正解のカード順列が(1, 2, 3, 4)で学習者の状態が(2, 3, 4, 1)であるとき、カード順列をレーベンシュタイン距離と同様の考え方で距離を計算すると3手となる。一方、カードシステムでは1手で(1, 2, 3, 4)の状態を得ることができるため距離は1となる。後者について、正解は同じで学習者の状態が(1, 6, 3, 4)のとき、レーベンシュタイン距離は1となる。しかしカードシステムの場合、まず6番のカードを除き(1手)次に2番のカードを挿入する(1手)必要があるため、距離は2となる。レーベンシュタイン距離の考え方にこれらの規則を反映させたものが村上らの手法である。

#### 4 Morinaga らの取り組み

Morinaga らは、カードシステムの実践利用を通じて得られた学習ログを村上らの手法で処理し、多変量解析可能な形式に変換する方法を提案した[5]。その有用性を示すため多変量解析を適用し、学習者や問題の特徴がベクトルに表れていることを明らかにした。とりわけ、主成分分析結果を踏まえ、カード操作回数に着目しその回数とプログラミングの理解度との関係を調査したところ、プログラミングを理解できている群(中央値より上位)は下位群よりもカード操作回数が統計的に有意に少ないことを明らかにした。

#### 5 おわりに

本研究では、先行研究の知見を整理した。今後我々は、カード操作回数の少なさと理解度の関係

について、同様の手法を他のデータに適用し一般性をまず帰納的に明らかにする。次に、カードの操作回数をできる限り減らすよう指示した指導法は有効かどうかを実験で調査し、Morinaga らの知見における因果関係の存在を明らかにする。

#### 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01164, No.19K02987)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] S. Garner, A Tool to Support the Use of Part-Complete Solutions in the Learning of Programming, Proceeding deconference, pp. 222-228 (2001).
- [2] 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, 部分間の関係を考えることに焦点を当てたカード操作によるプログラミング学習システムの開発, 電気学会論文誌 C, Vol. 138, No. 8, pp. 999-1010 (2018).
- [3] 村上瑠香, 森永笑子, 松本慎平, 岩井健吾, 林雄介, 平嶋宗, カード操作方式によるプログラミング学習システムの学習過程を分析するための基礎的手法の提案, 教育システム情報学会 2018 年度学生研究会発表会講演論文集, A14, pp. 181-182 (2019).
- [4] S. Morinaga et al., A New Concept of Distance Modified by Levenshtein Distance for Clarifying the Learning Processes in Card Operation-Based Programming Learning Support System, Proc. of 2019 8th International Congress on Advanced Applied Informatics, pp. 310-313 (2019).
- [5] V. Levenshtein, Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals, Doklady Akademii Nauk SSSR, 163(4), pp. 845-848 (1965).

# キャンパス体験システムにおける対話操作の案内提示と評価

大川 和也 健山 智子 木上 飛鳥

広島工業大学 情報学部 知的情報システム学科 知的情報可視化研究室

## Display and its Evaluation of Interactive Operation on Virtual Campus Experience system

Kazuya Ohkawa, Tomoko Tateyama, Asuka Kigami

Intelligent Visual Analytics Lab Hiroshima Institute of Technology

### 1 研究目的

近年, Web サイトを用いたテキスト・画像・映像による案内, 全天球固定カメラで撮影された画像を Web サイト上で操作できる案内, 音声認識を用いて 3D キャラクタと対話操作ができる双方向音声案内など大学キャンパスの案内に情報媒体が多く利用されている. その一方, これらのシステムは, 体験者が自由に移動することができず, 建物の詳細な情報の把握などに大きな課題がいくつか挙げられる.

本研究では, 広島工業大学の三宅の森 Nexus21(以降, Nexus)に重点を置き, キャンパス案内システムを開発する. Nexus は本学の講義やイベントに多く利用されており, 本学で最も象徴的な建物である. また, Nexus の 4 階には学務部や就職部など, 本学の主要な窓口が多く存在するが, 可視化空間上ではまだ再現していない. ゆえに, 今回は Nexus のモデルを作成し, 4 階を自由移動でき, 詳細な情報を提示するシステムを開発する.



図 1: 北側, 東側から見た Nexus

### 2 システム構成

本研究では, 主に 2 つの工程で進めていく. 1 つ目が Nexus 及び 4 階内部のモデリング, 2 つ目が自由移動操作, テキスト表示に関するシステムの作成である. システム開発の流れを図 2 に示す.

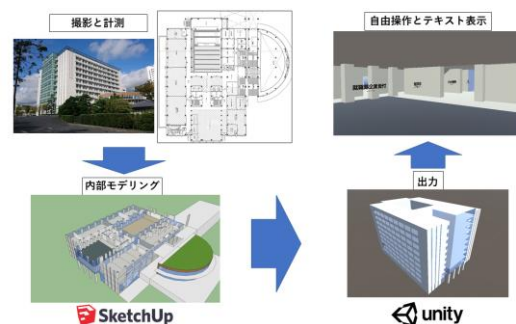


図 2: システム開発の流れ

### 3 Nexus の 3D モデルの構築

今回, Google SketchUp[2]を用いて Nexus の 3D モデル作成を行った. また建物の実寸尺度統一のためメジャーとレーザー測量器(BOSCH GLM7000)[3]を使用した計測と外観の詳細提示に写真撮影を行った.

その後, 計測情報から 1 階の外枠を作成し, 実際に計測できない場所は図面や写真を参考にした. 1 階の外枠に合わせて他の階も同様に作成し, モデル全面にテクスチャの付与を行った(図 3).

次に Nexus の 4 階部分を作成した. まず初めに柱をつくり, その柱に沿ってそれぞれの部屋の壁, 扉部分を作成した. その後, 階段やエスカレータをつくりテクスチャの付与を行った. 今回, テクスチャは SketchUp で用意されたテクスチャ画像を使用した(図 4).

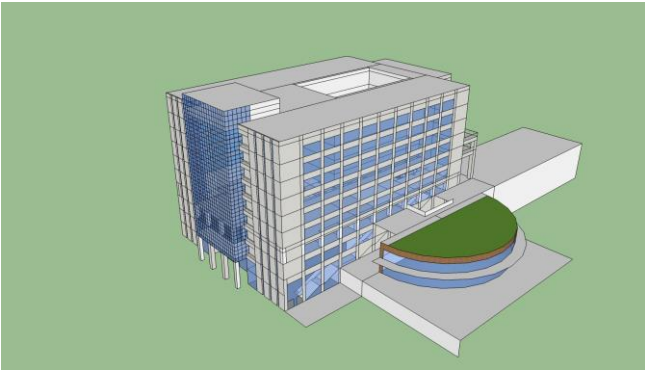


図 3 : SketchUp で作成した Nexus の外観

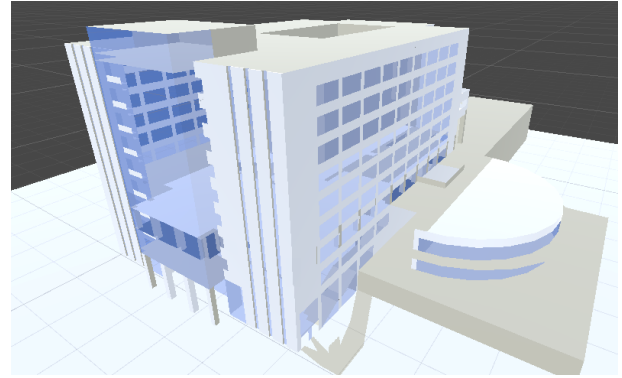


図 5 : Unity へインポートした 3D モデル

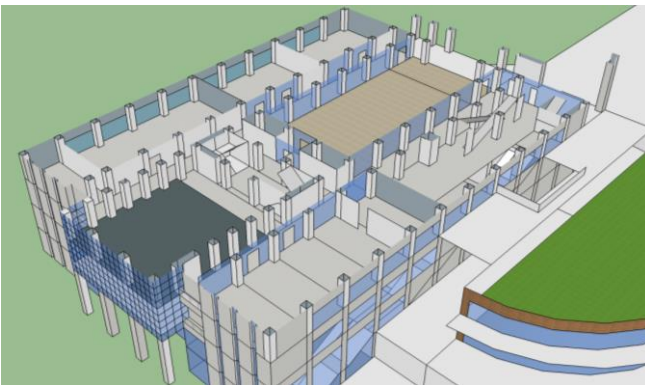


図 4 : SketchUp で作成した Nexus4 階の内部

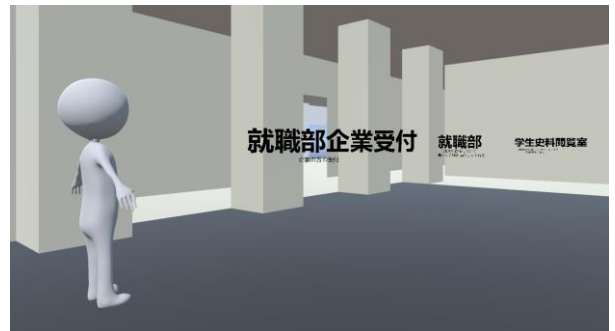


図 6 : Unity 上のプレイヤーとテキスト

#### 4 キャンパス案内システムの構築

SketchUp で作成した Nexus の 3D モデルを Unity[4]へインポートした。モデルの比率やテクスチャなどがソフトウェアごとに異なるため、違和感があるところを修正する必要がある。また、面の表裏が統一されていないとその面が表示されないことがあるため、面の表裏を統一し、当たり判定を追加した(図 5)。

自由移動操作を可能にするために、プレイヤーの設置、プログラムの作成を行った。プレイヤーをカプセル型の当たり判定がある人の 3D モデルに設定し、前後移動と左右旋回を可能にした。

詳細な情報を提示するために、各部屋の入口付近に部屋の名前とその部屋の詳細な説明を加えた。本システムでは、学務部、就職部、就職部企業受付、学生史料閲覧室、売店の 5 つの部屋を実装した。対応するボタンを押すとそのテキストが表示され、表示の ON と OFF を切り替えられるシステムを構築した。また、見えやすいようにプレイヤーがどこにいてもテキストがプレイヤーの方向と一致するよう設定した(図 6)。

#### 5 アンケート評価

本システムを実際に広島工業大学の学生に体験してもらい、アンケート評価を行った。体験者に自由移動操作をしてもらい、以下の 10 項目について 3 を最良として 5 段階で評価した。また、49 インチの大ディスプレイと 23 インチの小ディスプレイで比較した。

- ・映像から空間の奥行きを感じ取れたか
- ・フロアの間取りを立体的に把握しやすいか
- ・プレイヤーと壁との当たり判定は自然か
- ・部屋名は無理なく読めたか
- ・説明文は無理なく読めたか
- ・テキスト表示の操作は直感的か
- ・移動操作の際に思った位置に動いたか
- ・移動操作が滑らかであるか
- ・現実と比べて動きに遅延があるか
- ・総合的に移動操作は直感的か

これらの質問について図 7, 図 8 のような評価が得られた。

小ディスプレイ(平均値, 最大値, 最小値)

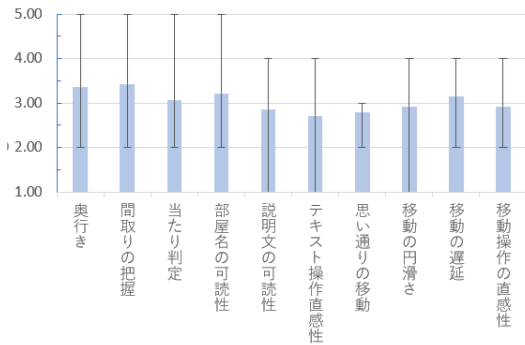


図7: 小ディスプレイの評価

大ディスプレイ(平均値, 最大値, 最小値)

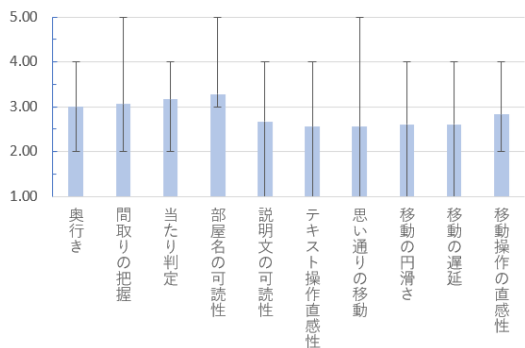


図8: 大ディスプレイの評価

小ディスプレイについては、操作に関する項目で大ディスプレイより良い結果が得られた。これは画面の比率が原因と考える。大ディスプレイについては、空間把握の項目がより3に収束した。

部屋の間取りのリアリティについては5を最良とした5段階で評価し、図9のような評価が得られた。低い評価が少なく、作成したモデルは現実に近いと言える。大ディスプレイについて5の割合が高くなり十分な成果が得られた。

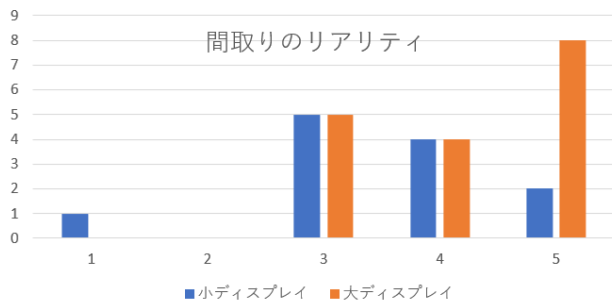


図9: 間取りのリアリティの評価

また画面変化について、4階の3箇所動物の3Dモデルを配置し、存在の認識について評価した。体験者からは実際のNexusの4階のどこにいるか理解でき、テキストも読みやすいといったコメントが得られ、情報取得がしやすいという評価を得られた。一方、上を向けないというコメントが得られた。移動操作だけでなく視点操作も考慮することでより自由度の高いシステムを構築することができる。

## 6 おわりに

本研究では、自由移動と案内情報表示が可能なキャンパス案内システムを開発した。また、実際に体験してもらいアンケート評価を行った。アンケート結果から、本システムはキャンパス案内として有効であることを示した。今後はマウスでの視点操作、4階以外のフロアの実装、モデルのリアリティを向上させ、より有用な大学キャンパス案内システムの開発を目指す。

## 参考文献

- [1] 堅田, 健山, 木上, 他: バランス wii ボードを用いた体験型キャンパス内の移動システム, 平成30年度電気学会, 2018.09.05
- [2] Google SketchUp <https://www.sketchup.com/ja> (Last access 2020/01/23)
- [3] BOSCH レーザー測量器 GLM7000 <https://www.bosch-professional.jp/jp/ja/> (Last access 2020/01/23)
- [4] Unity <https://unity.com/ja> (Last access 2020/01/23)



# 火力発電所ボイラチューブ劣化診断に向けた素材物性の理論的研究

広島工業大学 川口 裕輔

広島工業大学 山岸 秀一

中国電力 杉内 栄夫

## Theoretical study on the properties of the boiler tube materials of thermal power plants for their deterioration diagnoses

Hiroshima Institute of Technology Yusuke Kawaguchi

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

The Chugoku Electric Power Co., inc. Takao Sugiuchi

### 1 研究目的

超々臨界圧火力発電所で使用されるボイラチューブには、ステンレス鋼や高クロム鋼などが用いられている。そして、これらの内側には、温度600℃、圧力24.5MPaといった高温・高圧の蒸気が通り、また、外側は1000℃を超える燃焼ガスに晒されている。このような過酷な使用環境等が材料に甚大な影響を与え、チューブ破損などのトラブルに繋がる場合がある。チューブに用いられる金属は、高温中に応力が加わると時間の経過とともに徐々に変形し、それが進行すると金属組織に数 $\mu\text{m}$ 程度のボイドが発生し、それらが連結することでクリープ損傷に至る。これに伴って、高効率プラントの停止を余儀なくされると、燃料費の増大といった問題が生じるため、材料の劣化診断技術確立が必要となっている。超々臨界圧ボイラの過熱器管や再熱器管等には、火 SUS304J1HTB (Super304H) と呼ばれるクリープ破断強度に優れたオーステナイト鋼が使われているが、それでも、クリープ損傷に至ったケースがある。そのため、劣化の早期発見が重要になるが、その診断手法は確立されていない。そこで、同ボイラチューブの内圧クリープおよび熱時効試験片を作製し、ECT・SQUID 分離型方式等の高感度磁気センサを使用して、透磁率や導電率変化状況から診断が可能か、また、その結果が劣化と相関のある指標を捉えているかを、組織及び磁性観察等によって確認が行

われているが、材料の凹凸によって診断できないケースもある。そして、その観察結果の妥当性の裏付けや、実験によりカバーできない温度条件や実機での物性変化を、理論的解析により評価する必要がある。本研究では、これらの解析評価を行う基礎となるボイラチューブ材料の磁性の発現現象を、理論計算により明らかにする。特に、Super304H を構成するオーステナイト鋼の主成分である鉄と、その表面に現れる酸化クロムとの化合物について、鉄とクロムの含有比率を変えた時の電子状態の変化を、第一原理計算によって解析する。なお、第一原理計算とは、実験データや経験パラメータを用いずにシュレディンガー方程式を解く方法である。

### 2 研究の概要

ボイラチューブ素材化合物の電子状態を、密度汎関数理論 (DFT) [1, 2] によるコンピュータシミュレーションによって解析する。DFT とは、汎関数を用いて系のエネルギーを最小にするように全電子密度を決定することにより、シュレディンガー方程式を解く方法であり、次に示す(1)~(3)で定式化される。なお、このときの系の全エネルギーは(4)式で表される。DFTによる電子状態の計算には、物質・材料研究機構の所有する第一原理ソフトウェア PHASE/0 [3] を使用する。PHASE/0 による DFT 計算では、原子の持つ価電子のみを扱う [4].

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + v(r) \right\} \phi_i(r) = \varepsilon_i \phi_i(r) \quad (1)$$

$$\rho(r) = \sum_{i=1}^N |\phi_i(r)|^2 \quad \left( \int \rho(r) dr = N \right) \quad (2)$$

$$v(r) = v_{ext}(r) + e^2 \int \frac{\rho(r')}{|r-r'|} d^3r' + \frac{\delta E_{xc}[\rho(r)]}{\delta \rho(r)} \quad (3)$$

$$E[\rho(r)] = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i - \int \rho(r)v(r)d^3r + \int \rho(r)v_{ext}(r)d^3r + \frac{e^2}{2} \iint \frac{\rho(r)\rho(r')}{|r-r'|} d^3r d^3r' + E_{xc}[\rho(r)] \quad (4)$$

ステンレス製のボイラチューブは、鉄(Fe)にクロム(Cr)やニッケル(Ni)などを含む合金であるが、使用に伴い酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III))が表面に生成し、一般的には保護被膜として働く。そして、内圧クリープ試験片の表層部に磁性が観測されたものの、詳細な発生個所が観察では確認することができず、磁気センサがどこの何の成分に反応しているのか明らかにすることができなかつた。そこで、チューブの経年使用における組成変化を想定し、表面の酸化被膜に生成されるCr-Fe-O化合物について、FeとCrの比率を変えてDFTによる電子状態計算を行い、電子状態の変化を調べる。そして、物理実験による磁性観察結果と照合することにより、酸化被膜または母材表層部のどちらに磁性が発現するか明らかにするための一助とする。

### 3 計算結果

酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III))は、六方晶系のhR30(単斜菱面格子)構造を取る。本研究では、単位格子に6(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を採用する。

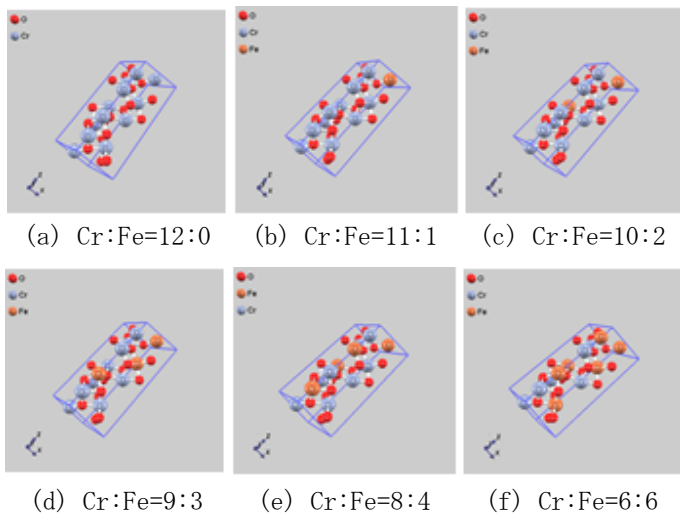


図1 Cr-Fe-O化合物の結晶構造

この単位格子には、12個のCr原子と18個のO原子が含まれる。図1(a)に、この格子の結晶構造を示す。次に、この単位格子に含まれる12個のCr原子を、図1(b)~(f)に示すように、Fe原子に置き変えた化合物を作成する。そして、6(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)及び、これらの化合物について、PHASE/0による第一原理計算を行った。なお、DFT計算における電子軌道の平面波展開のカットオフエネルギーは、PHASE/0による収束実験により、12.5 Hartreeに設定した

#### 3.1 酸化クロム(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

図2に、6(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)のDFT計算によって得られた、up, down各スピンの電子状態密度(DOS)図を示す。

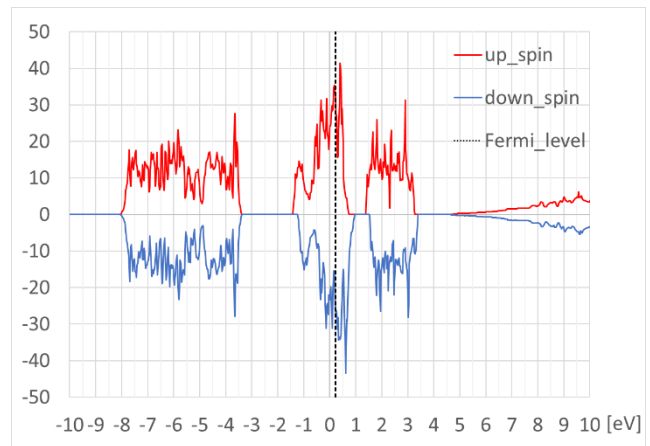


図2 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の電子密度状態(DOS)図

計算による格子定数は4.95 Åとなり、実験値の4.96 Å [5]と比較して(99.8%)、妥当な結果となった。次に、upスピン電子の個数(127個)とdownスピン電子の個数(125個)の差は、単位格子当たり2個となった。この値と、図2のDOSのFermi順位(0.2eV)以下(電子占有軌道)のup, downスピンの釣り合いの様子から、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、ほとんど磁性を持たない、すなわち常磁性であることが分かる。さらに、ノンコリニア系(三次元的に傾いた状態)の計算により、磁気モーメントによる向きが0 μBとなった。一般に、常磁性であり、磁気モーメントを持たない物質は反強磁性であることが知られており、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が反強磁性であることの裏付けを取ることができた。

### 3. 2 Cr-Fe-O 化合物

図3に、 $6(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ のCrをFeで置き換えた化合物についてのDFT計算による電子状態密度(DOS)図を示す。なお、各ケースに含まれるCrとFeの個数は、それぞれ(a)12:0、(b)11:1、(c)10:2、(d)9:3、(e)8:4、(f)6:6である。

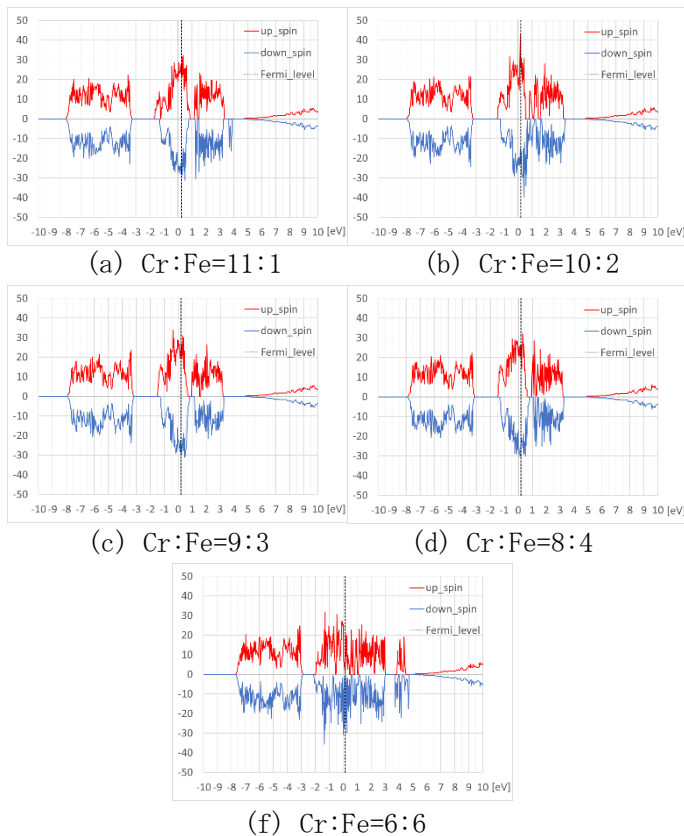


図3 Cr-Fe-O化合物の電子密度状態(DOS)図

図3の各グラフで、Fermi順位以下のup, down各スピンの釣り合いの様子を見ると、図2に示す $\text{Cr}_2\text{O}_3$ の場合と大きな差は見られない。また、全てのケースにおいて、upスピン電子とdownスピン電子の個数の差は、単位格子当たり2個で、ほとんど差は見られなかった。さらに、ノンコリニア系計算により、磁気モーメントによる向きも $0\mu\text{B}$ となった。従って、Cr-Fe-O化合物についても、反強磁性であると予想される。従って、表面の酸化クロム付近に現れる磁性の変化の原因は、酸化クロムへの鉄原子の拡散ではないものと思われる。ただし、今回の解析では、価電子全体でのupスピンとdownスピンの釣り合いの様子を調べるに留まっている。個々の電子軌道についての電子密度

状態を調べ、磁性発現の可能性をチェックする必要がある。また、Cr-Fe-O化合物の結晶構造についても、CrをFeに置き換えただけで、化合物の正確な結晶構造は考慮していない。化合物の正確な結晶構造に従って系を構成し、再度計算を実施することも必要である。

### 4 まとめ

超々臨界圧火力発電所内で使用されるボイラチューブの代表的な材料であるオーステナイト鋼 Super304H の劣化診断手法確立に向けた物性評価実験の理論的検証のため、酸化クロムと、酸化クロムに鉄を混ぜた化合物(Cr-Fe-O化合物)についての密度汎関数理論(DFT)を用いた第一原理計算を行った。その結果、酸化クロムもCr-Fe-O化合物も、反強磁性を示す(磁性を持たない)ことが分かった。今後は、Cr-Fe-O化合物について、個々の電子軌道の電子状態密度を調べると同時に、ステンレス鋼に含まれるニッケルや銅についても系に加えて計算を行い、磁性の発現を調べる予定である。

### 参考文献

- [1] P. Hohenberg, W. Kohn: Inhomogeneous electron gas, *Physical Review*, vol.136, no.3B, pp.865-871 (1964)
- [2] W. Kohn, L. J. Sham: Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects, *Physical Review*, vol.140, no.4A, pp.1133-1138 (1965)
- [3] PHASE System 研究会: PHASE/0 - First principles Electronic Structure Calculation Program.  
<https://azuma.nims.go.jp/>
- [4] D. Vanderbilt, *Physical Review B* 41, 7892 (1990)
- [5] 成田貴一: 鉄鋼中の非金属介在物ならびにそれに関連した化合物の結晶構, *造鉄と鋼*, vol.53, no.8, pp.54-85 (1967)

# 機械学習と画像処理技術による撮影された文化財中の ひび割れ自動修復手法の研究

広島工業大学 仁城 大貴

広島工業大学 西兼 健治

広島工業大学 山岸 秀一

## Study on automatic restoration method of cracks in photographed images of cultural properties

Hiroshima Institute of Technology Daiki Nijo

Hiroshima Institute of Technology Kenji Nishikane

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

### 1 研究目的

文化財は、歴史的・文化的に価値の高いものであり、特に歴史研究においては、当時の時代を知るために欠かすことのできない貴重な資料である。平成30年度に我が国の政府が指定した文化財は、国宝だけで1,116件存在し、重要文化財になると13,232件の登録がある[1]。また、近年は城めぐりがブームということもあり、人々が文化財に触れる機会が多くなってきている。ところで、災害大国と呼ばれる日本では、自然災害が後を絶たず、その影響により、文化財の破損が危惧されている。また、文化財の修復には経費がかかるため、多くの貴重な文化財が修復されずに野晒しにされているのが現状である。そして、劣化が修復されずに放置された状態が続くと、損傷はますます激しくなり、原形を留めず本来どのような姿であったのか解らなくなってしまう恐れもある。そこで、文化財の損傷の中でも多く見られる「ひび割れ」に着目し、劣化した文化財を写真に撮って「ひび」部分の修復を行い、画像の中で後世に残す方法が提案されている[2]。しかし、この研究では、ひびの抽出に用いる二値化の閾値を、画像に応じて手動で設定している。そこで、本研究では、画像の平均値と標準偏差を用いる適応的閾値処理によって二値化の閾値を自動設定することで、人手を介することなく自動で「ひび」を修復する手法を提案する。

### 2 提案方法

本研究では、撮影した劣化文化財の「ひび割れ」について、「ひび」部分の抽出から修復までの全ての処理を、人手を介さずに自動で行うことを目的とする。修復を行う文化財の画像には、RGBの各画素が8ビットであるカラー画像を用いる。初めに、文化財画像をブロック分割し、各ブロックに対し機械学習を用いて「ひび」の有無を判定する。次に、「ひび」有りと判定されたブロックに対して、ブロック内の画素値から自動的に閾値を設定し、この閾値を用いてブロック内の画素値を二値化することで「ひび」部分のみの抽出を行う。最後に、抽出した「ひび」に対してテクスチャ合成を施すことで、「ひび」の修復を行う。以下、これらの処理について説明する。

#### 2.1 機械学習による「ひび」ブロックの判定

画像に含まれる「ひび」の位置を特定するために、画像を均等なサイズのブロックに分割する。本研究では、 $256 \times 256$ 画素および $1024 \times 1024$ 画素の画像に対して、 $16 \times 16$ 画素または $32 \times 32$ 画素のブロックサイズを採用する。分割を行った各ブロックに対し、機械学習を用いて「ひび」の有無を判定する。ここでは、機械学習のオープンソース・ライブラリであるkerasと、そのバックエンドであるTensorFlow[3]を利用する。また、機

機械学習にはニューラルネットワークである CNN (Convolutional Neural Network) 型を用いる。機械学習の学習用データには、「ひび割れ」を撮影した画像に加え、インターネットから収集した「ひび」を含む画像も用いる。これらをブロック分割した画像データに対して、「ひび」を含むもの(太い「ひび」と細い「ひび」に分類)と含まないものの3種類に手作業で分類して学習を行う。

### 2. 2 「ひび」の抽出

機械学習で「ひび」有りと判定されたブロックに対し、二値化処理によって「ひび」部分の抽出を行う。二値化処理には、適応的閾値処理を使用し、次の式で求められる閾値  $T(x, y)$  を用いる[4]。

$$T(x, y) = m(x, y) \times \left[ 1 + k \times \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここで、 $m(x, y)$  と  $s(x, y)$  は、それぞれ  $3 \times 3$  画素領域内の画素値の平均と標準偏差である。また、 $k$  は二値化係数、 $R$  は最大標準偏差である。この閾値  $T(x, y)$  を画素ごとに求めて二値化を行い、「ひび」の抽出を行う。

### 2. 3 膨張収縮処理

二値化で抽出された「ひび」(黒色に設定)は、本来より細く抽出される傾向がある。そこで、「ひび」部分の膨張処理を施す。膨張処理は、対象画素周辺の  $3 \times 3$  画素ブロック中の 8 画素のうち、1 画素以上が黒色であれば、対象画素を黒色にする。一方、二値化処理では、散発的にノイズが発生することも考えられる。そこで、「ひび」抽出画像に対して収縮処理を施すことでノイズを抑える。収縮処理は、対象画素周辺の  $3 \times 3$  画素ブロック中の 8 画素のうち、4 画素以上が白色であれば、対象画素を白色にする。

### 2. 4 「ひび」の修復

抽出された「ひび」に対してテクスチャ合成を施し、修復を行う。画像中の「ひび」を含まない部分から順次ブロック状に修復候補画像を切り出し、

「ひび」を含むブロックとの差分二乗和(SSD)を計算する。そして、SSD が最小であった補補ブロックの画素を使って「ひび」部分の修復を行う[5]。

## 3 検証実験

提案手法に基づき、コンピュータシミュレーションによる検証実験を行った。「ひび」のある文化財をデジタルカメラで撮影し、そこから  $256 \times 256$  画素、または、 $1024 \times 1024$  画素の部分を持ち出して、実験用画像を作成した。そして、これらの画像を用いて提案手法による検証を行った。なお、TensorFlow の学習には、収集して作成した 36,794 個の  $32 \times 32$  画素の画像を用いた。まず、この画像から、7,836 個の「太いひび」画像、12,435 個の「細いひび」画像、そして、残りの「ひび」を含まない画像に手作業で分類を行った。そして、これらの画像を用いて、TensorFlow の学習を 30 回繰り返して行った。

### 3. 1 $256 \times 256$ 画素の画像を用いた実験

図 1~3 に、 $256 \times 256$  画素サイズの「石碑」、 「木製扁額」、 「石像」 についての実験結果を示す。

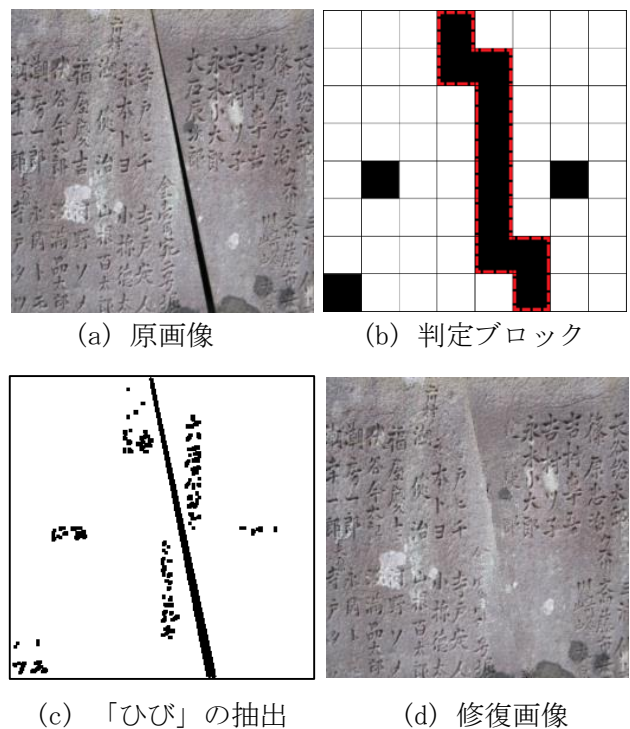
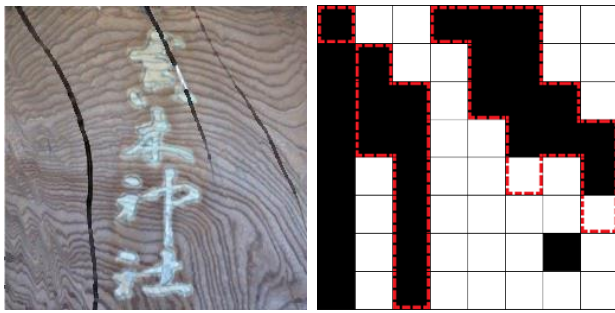
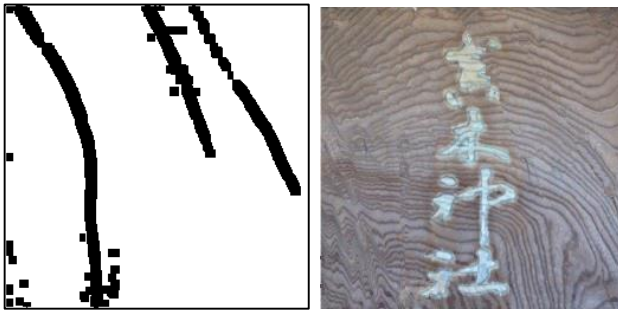


図 1 「石碑」画像の実験結果



(a) 原画像 (b) 判定ブロック



(c) 「ひび」の抽出 (d) 修復画像

図2 「木製匾額」画像の実験結果



(a) 原画像 (b) 判定ブロック



(c) 「ひび」の抽出 (d) 修復画像

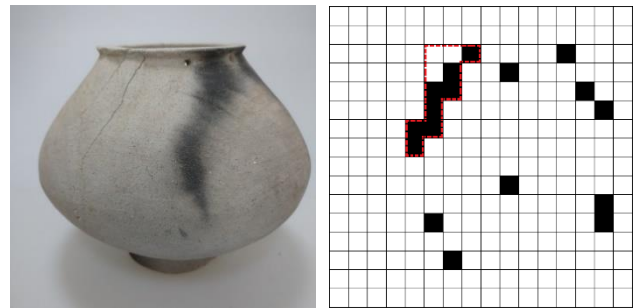
図3 「石像」画像の実験結果

なお、各図の(a)は原画像、(b)は機械学習により「ひび」ありと判定されたブロック(黒色で示された部分)を示す画像、また、(c)は二値化により「ひび」を抽出(黒色で示された部分)した画像、そして、(d)はテクスチャ合成による修復画像

である。なお、(b)の点線枠は、実際に「ひび」が含まれるブロックを示す。各図の(b)より数個の「ひび」ブロックの見落としのケースも見られるが、各画像の(d)を見ると「ひび」の修復に成功しているのが分かる。

### 3. 2 1024×1024画素の画像を用いた実験

図4に、1024×1024画素サイズの「須恵器」(岡山市教育委員会蔵)の撮影画像での実験結果を示す。ここでは、ブロックサイズを64×64画素とし、機械学習を行う際に32×32画素にリサイズをして入力し、「ひび」を含むブロックの判定を行っている。図4(b)より3個の「ひび」ブロックの見落としは見られるが、図4(d)から「ひび」の修復に成功しているのが分かる。



(a) 原画像 (b) 判定ブロック



(c) 「ひび」の抽出 (d) 修復画像

図4 「須恵器」画像の実験結果

### 3. 3 修復性能の評価

次に、本手法の修復性能を定量評価するために、「ひび」のない文化財画像に人工的に「ひび」を合成したテスト画像を作成し、提案手法を用いて「ひび」の修復を行った。そして、原画像と修復画像とのPSNR値を計算した。図5, 6に、それぞれ、「植田良背の墓」(256×256画素)と「高杯」

(1024×1024 画素) についての実験結果を示す。

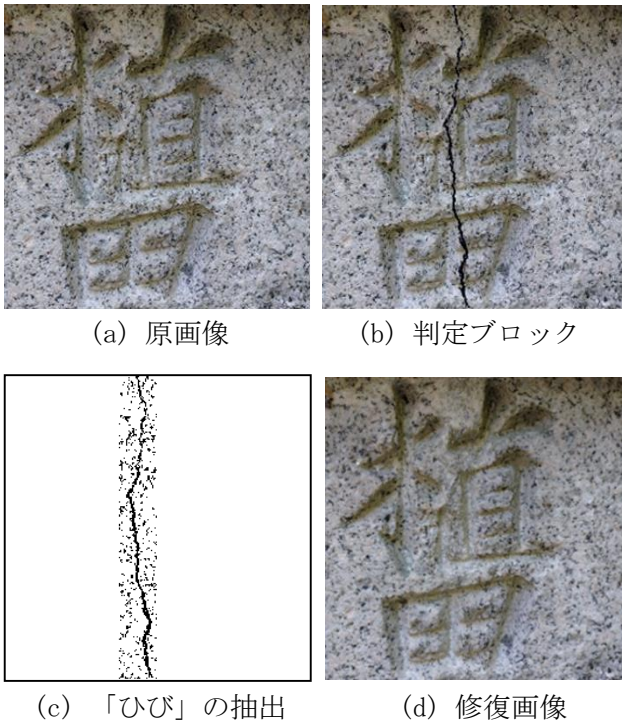


図5「植田良背の墓」画像の実験結果

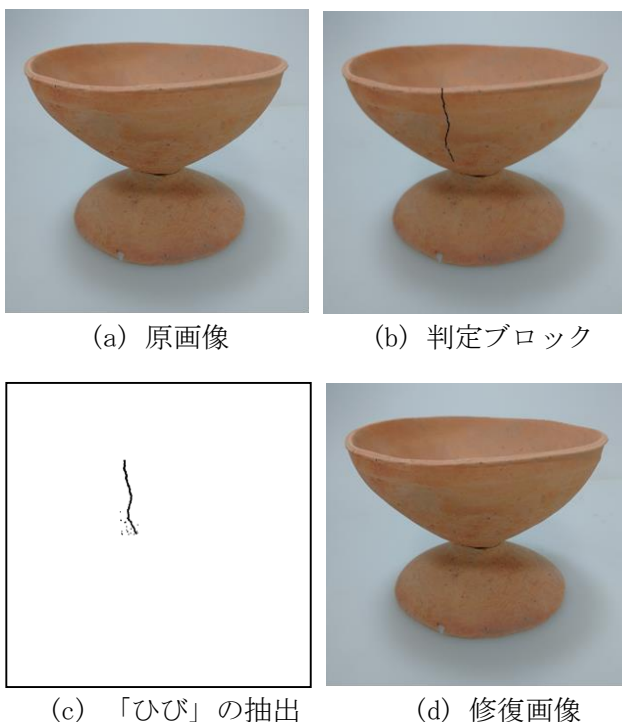


図6「高杯」画像の実験結果

表1 修復画像のPSNR値

画像	植田良背の墓	高杯
PSNR値	30.1	58.8

また、表1に、それぞれの修復画像についてのPSNR値を示す。両図(d)より、両画像ともに「ひび」の修復に成功しているのが分かる。また、PSNR値からも良好な結果が得られていることが分かる。

#### 4 まとめ

「ひび割れ」のある文化財を写真に撮り、その画像の中で「ひび」を修復して後世に残す手法を提案した。まず、撮影画像をブロックに分割し、機械学習を用いて「ひび」を含むブロックを選別する。次に、選別されたブロックに対して、適応的閾値処理を用いた二値化処理を施して「ひび」部分の自動抽出を行う。そして、抽出された「ひび」に対してテクスチャ合成による修復を行うことで、損傷前の姿に復元する。機械学習のオープンソースTensorFlowを用いた検証実験の結果、良好な修復結果を得ることができた。今後は、「破れ」や「シミ」など、「ひび」以外の損傷についても修復が行えるように検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 文部科学省, “文化財指定等の件数”, 文部科学白書, pp. 326, 2019
- [2] 田岡千尋他: 画像処理を用いた文化財の修復手法の研究, 第21回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, pp. 9-10, 2016.
- [3] A. Martin, et al., “TensorFlow: A system for large-scale machine learning” Proc. of 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation, pp. 256-283, 2016.
- [4] J. Sauvola et al., “Adaptive document image binarization,” Pattern Recognition, vol. 33, no. 2, pp. 225-236, 2000.
- [5] 松見大地, 「画像の不要部分の削除・修復の研究」, 平成25年度卒業論文概要集, pp. 235-236, 2013.

# 920MHz 帯小電力無線システムを用いた海上における長距離伝搬特性

広島工業大学 河内 洗貴 濱崎 利彦

## Long Distance Propagation Characteristics on the Sea

### Using a 20 mW 920 MHz Wireless System

Hiroshima Institute of Technology Koki Kawauchi Toshihiko Hamasaki

#### 1 研究背景・目的

多島海域における水産養殖は、養殖生産の効率化や業務効率の改善、労働負担の軽減を目的として IoT (Internet of Things) の導入分野として最も注目されている産業の 1 つである。現在、広範囲にわたり定期的に水質データを収集するための気象衛星システムを利用したリモートセンシングが提案されている[1]。このシステムは、画像データスペクトラム解析によってクロロフィル濃度分布を推定するもので、月に 1、2 回の頻度で地球規模の広域な情報を確認することができる。牡蠣養殖などに代表される年間を通して海洋の栄養状態の分布を把握しなければならない場合、このような広範囲を俯瞰することのできる鳥の目は非常に重要である。一方で、温度、風速、塩分濃度などのリアルタイムに水産養殖の現場に反映するための海洋情報は現場でしか取得できず、測定間隔も短くなければならない。そこで、虫の目として、現場の情報をリアルタイムに取得可能な IoT を活用することが求められている。しかし、海上において低コストでリアルタイムに利用可能な海上通信インフラ網は整備されておらず、様々なデータをリアルタイムに共有するためには、海上 IoT プラットフォームを構築する必要がある。そのためにワイヤレスネットワークシステムは必須であり、ワイヤレスネットワークの信頼性を高めるためには、海上における電波伝搬特性を解析し、島陰なども考慮した電波伝搬モデルが必要である。

これまでも海上における電波伝搬特性の研究は進められてきた。様々な海洋条件における 1.9～10GHz の異なる周波数を扱う海上での電波伝播モデリングは多数報告されている[2]。しかし、非常に低い高度に位置する船舶から陸地への電波伝播における 920MHz 帯の回折および散乱は実証されていない。

よって本研究では、送信機と受信機間に見通しがある場合、「見通しあり」と「見通しなし」のさまざまな航路において、船舶から陸地に設置した基地局までの 920MHz 帯における海上長距離区間の電波伝搬特性について実測値による評価とモデル検証を行う。

#### 2 測定装置・測定環境

##### 2. 1 測定装置

本研究では、ソニーの LPWA 通信規格である ELTRES™ に対応した無線モジュール「CXM1501GR」を搭載した小型端末を使用した。送信機の電力は 20mW、周波数は 920MHz、アンテナは  $\lambda/4$  の長さで送信間隔は 1 分ごとである。受信機は、ダイポールアンテナ、電源ユニット、GPS を備えた 4G 通信モジュールで構成されている。また、専用に開発された Web アプリケーション (スマートフォン等でも利用可能) を使用することで、リアルタイムで測位地点の位置情報や電波受信強度を確認することができる。



## 2. 2 測定環境

広島湾の海岸から3km離れた丘のふもとにある広島工業大学キャンパス内の建屋(海拔 63.3m)に設置した受信機に対して、24 ft の小型ボートに送信端末を取り付け、20 kt で広島湾を航行することにより電波受信強度を測定した。

ボートに取り付けて測定を行ったため、ボート自体が不規則に変化する波の影響を受け、機器本体が動く状態であった。そのため、測定システムのゲインとノイズレベルの偏差を知るために海を越す陸地から陸地において定点観測を行った。受信機から直線距離で7km、海拔10mの位置に送信機を設置し、24時間(1440ポイント)連続で測定した場合、約-85 dBm (±3dBm)であった。

海上での長距離移動通信における測定では、3つの送信機を小型ボートのサンルーフの手前、奥、海面に近いキャビンの壁(それぞれ海面から3m、2.5m、1m)に取り付けた。広島湾を中心とした瀬戸内海域で行い、7日間すべての日程で風速3m/s未満であり、風力を分類するための風速の尺度であるビューフォート風力階級[4]が2未満の非常に穏やかな波であった。図1は、広島湾における長距離伝搬の測定地域を示している。青い部分は送受信機間の「見通しあり」範囲を表しており、受信機から見て一部の島の背後にある島陰など、色づけされていない白い範囲は「見通しなし」を表している。電波は実際には地表面に沿って湾曲し、見通し距離より遠くまで伝搬する。



図1 広島湾周辺の測定環境

## 3 測定結果と考察

測定値の検証には、直接波と海面反射波の2波を考慮した2波モデルを用いた。送信機高は3m、受信機高は63.6mでフィッティングし、定点観測の結果よりシステムゲインとして10dBmを加えた値を使用した。図2は、送受信機間の「見通しあり」測定点4往復分の電波受信強度分布と2波モデルである。測定した電波受信強度の最低値が-140dBmを超えていることに注意する。7kmでの測定値の分散は±7dBmになり、ボートが移動することによって発生する波の散乱により定点観測結果の2.3倍になる。そして、送信機の高さが3m、1mのどちらの場合にも標準大気見通し距離を超えても測定が可能であった。これは、地球球面の丸みに伴う大気による直接波の屈折の影であると考えられる。

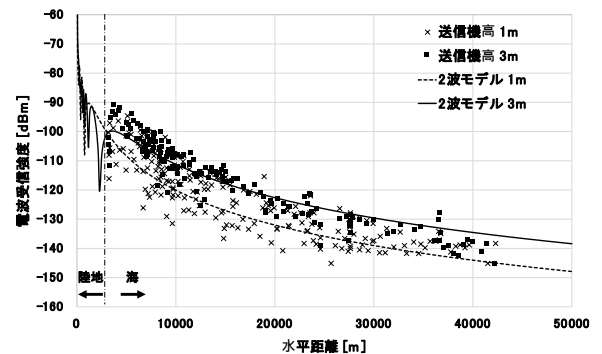


図2 長距離伝搬における電波受信強度分布

図3は、受信機から14kmに位置する小黑神島

の遮蔽によって「見通しあり」と「見通しなし」範囲の電波受信強度分布と送信機高 3m の 2 波モデルである。また、受信機と小黑神島の位置関係を図 4 に示す。小黑神島は、楕円形(短軸 170 m、長軸 370 m、標高 120 m)である。島から 1 km 以内の島の遮蔽による「見通しなし」において電波受信強度は大幅に減衰し、受信機から約 18 km の地点で「見通しあり」と同じ水準まで電波受信強度が高くなった。これは、島から離れることで、諸島部による遮蔽の度合いが小さくなったためと考える。

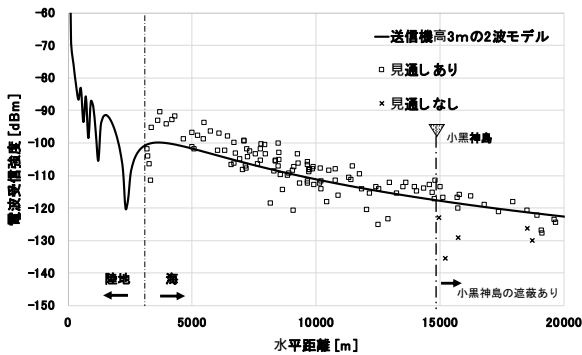


図 3 小黑神島遮蔽「見通しなし」及び「見通しあり」測定点の電波受信強度分布と 2 波モデル



図 4 受信機と小黑神島の位置関係

海上に存在する諸島における回折の影響だけではなく、陸地に存在する小さな丘による回折の影響を明らかにするために、受信機から 2 km の陸地にある海老山(長さ 460m、幅 200m、標高 53m)の「見通しあり」及び「見通しなし」の測定点も

評価した。図 5 は、海老山の遮蔽による「見通しあり」及び「見通しなし」測定点の電波受信強度分布と送信機高 3m の 2 波モデルである。海上の「見通しなし」と「見通しあり」測定点との間で電波受信強度の減衰傾向に大きな違いはない。しかし、分散は±15dBm に増加した。この結果から、遮蔽物などによって送受信機間の見通しが無い船舶から陸上への長距離伝搬には、920MHz 帯における回折が不可欠であることが確認された。

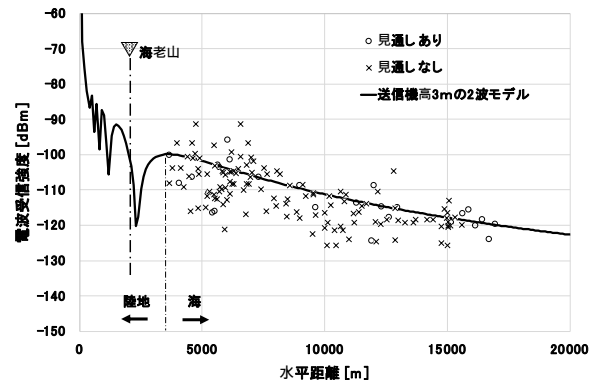


図 5 海老山遮蔽「見通しなし」及び「見通しあり」測定点の電波受信強度分布と 2 波モデル

## 5 結論

本研究では、瀬戸内海の一部である広島湾において 920MHz 帯における電波受信強度を測定し、2 波モデルに基づいて電波伝搬特性を検証した。そして、水平線下の実測値から地球球面の丸みに伴う大気による直接波の屈折の影響を明らかにした。また、遮蔽物の存在する「見通しあり」「見通しなし」の範囲を比較することで、それぞれの電波伝搬特性に大きな違いはないことを明らかにした。

## 参考文献

[1] Yoshinari Oguro, Tomohisa Konishi, Seiji Ito, and Chiemi Miura, "A study on the estimation of the chlorophyll-a concentration using Sentinel-2A/MSI data", The 67th Autumn Conference of the Remote

Sensing Society of Japan, pp.279-280,  
Nov.2019

- [2] Arafat Habib and Sangman Moh, "Wireless Channel Models for Over-the-Sea Communication: A Comparative Study", Applied Sciences 2019, 9, 443
- [3] Manual on Codes - International Codes, Volume I.1 - Annex II to the WMO Technical Regulations: Part A - Alphanumeric Codes (2011 edition, updated in 2014), p.403

# 大学生におけるキャリアプランに関するアンケートの 尺度および信頼性および妥当性の検討

広島工業大学 溝淵智哉, 濱崎利彦

## Test of the scale, reliability and validity of a questionnaire on career plans in college students

Hiroshima Institute of Technology Tomoya Mizobuchi Toshihiko Hamasaki

### 1 はじめに

厚生労働省の発表によると、本国における新規学卒者の離職状況は、3年以内で3割を超えている。その原因の1つとして仕事に対する認識の違いや仕事へのストレスというものがある。このような理由による離職を少なくするためには、学生の目指すべきキャリアの明確化は早めに行われるべきであり、個人のキャリアに対する性格なども含めた価値観について考えることが重要だと考えられる。

しかし、大学に入学した時点で自分自身のキャリアについて明確なイメージを持っている学生は多くはない。さらに、入学してすぐに4年間の履修科目計画の設定および、初年度の履修科目の確定をしなくてはならない。そのため一貫性の乏しい暫定計画となってしまう、明確なイメージを持つことなく4年間を過ごしてしまう可能性がある。また、専門的な講義は2年後期～3年前期に集中しており、実際に講義を受けた場合、他の講義を受講することができない場合が多い。

そこで本研究では学生に対し、キャリアプランに関するアンケートを実施した。その結果についての分析を行う前段階として、尺度および信頼性と妥当性について検討することが極めて重要であり、それが本研究の目的である。

### 2 キャリアプランに関するアンケートの概要

本研究では「キャリア・アンカー」と呼ばれるアンケートを使用した。これは、米国の心理学者である Edgar Henry Schein によって提唱された概念であり、ある人物が自らのキャリアを選択す

る際に最も大切な価値観や欲求を表すものである [1]。Edgar Henry Schein はキャリア・アンカーを TF・GM・AU・SE・EC・SV・CH・LS の 8 つのカテゴリに分類した。

表 1 「キャリア・アンカー」のカテゴリ

カテゴリ	説明
TF	専門
GM	全般管理
AU	自律・独立
SE	保障・安定
EC	起業家的創造性
SV	奉仕・社会貢献
CH	挑戦
LS	生活様式

また、このアンケートは 6 件法の評定尺度を用いたものであり、厳密には順序尺度であるが、このような心理量を扱う場合においては、間隔尺度として取り扱うことが多いので今回もその慣習に従うものとする。

### 3 理論的背景

#### 3.1 項目反応理論 (IRT)

IRT は、項目・テスト間回帰のいろいろな限界に対して、項目反応モデルと呼ばれる統計的モデルをたてて対処しようとするテスト理論である。また、テスト理論におけるテストは、今回のような心理尺度 (アンケートなど) と捉えることも可

能である。心理学研究の尺度を用いる研究で多く適用されています。例えば” Big Five 尺度短縮版の開発と信頼性と妥当性の検討, 並川 他 (2012)” など。このモデルのもとでは、各被験者の反応は、テストの得点ではなく、一般に $\theta$ で表される潜在変数に関係づけられる。本研究で扱うデータは多値であるので、段階反応モデル

(GRM) を用いることとする。GRM は2母数ロジスティックモデル (2PL) を一般化させたもので、複数の回答の順序性をモデルに組み込むために工夫されたモデルである。また、GRM は以下の式で与えられる。

$$P(X_i = k|\theta, b_i, a_i) = \frac{1}{1 + \exp[-a_i(\theta - b_{i,k-1})]} - \frac{1}{1 + \exp[-a_i(\theta - b_{i,k})]} \quad (1)$$

ここで、 $a_i$ は識別力を、 $b_i$ は困難度を表しており、 $i$ は下位尺度数を、 $k$ は項目数を表す。また、識別力はこのモデルの傾きを表し、傾きが大きくなるということは、正規分布の分散が小さくなるということでもある。

### 3. 2 確認的因子分析

まず因子分析とは、因子（潜在変数）を説明変数、観測変数を従属変数とした因果モデルに基づく分析であり、複数の観測変数の値の大小は、それらに共通する共通因子の値の大小によって説明されるという考え方に基づく。

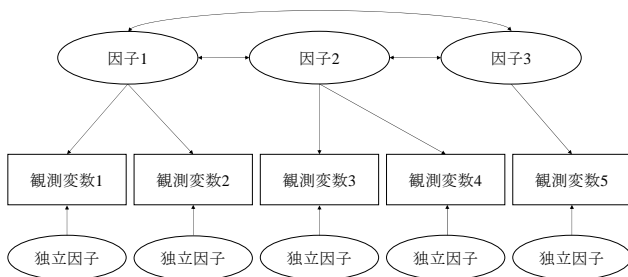


図 1 確認的因子分析のパス図

とくに、確認的因子分析は、観測変数がどのような因子に規定されるかの仮説が前提にあるときに、その仮説を検証するために利用される。

### 3. 3 $\omega$ 係数

$\omega$ 係数は、信頼性係数として最も有名な Cronbach の $\alpha$ 係数のタウ等価測定法の制約を外した指標である[2]。因子分析から、その因子負荷と誤差分散を用いて表される。具体的には次のように定義される。

$$\omega = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k d_j^2}{\sigma_x^2} \quad (2)$$

また、 $k$ はテストの項目数、 $d_j^2$ は因子分析における独自性を示し、 $\sigma_x^2$ は $k$ 個の項目を観測したすべての尺度値の分散を示す。

信頼性係数の推定値である $\alpha$ 係数や、 $\omega$ 係数の目安が 0.70 であることも知られている。

## 4 実験

本実験では、本学の情報工学科の学生 91 名のアンケートデータを使用した。本アンケートは 2019 年 7 月に行ったものである。ここで、キャリア・アンカーは基本的に、社会人を対象に行うものであり、学生に適用した場合の尺度の特徴、信頼性および妥当性を検討しなければならないことを明記しておく。

まず、キャリア・アンカーにおいて IRT を適用した。さらに、IRT の前提である 1 次元性の確認を行った。1 次元性の確認には確認的因子分析を適用した。また、IRT モデルは GRM で、項目母数の推定には周辺最尤推定法を用いた。

信頼性は $\omega$ 係数により検討することができ、妥当性は、構成概念妥当性という総合的概念で捉えるものであり、個人間の変動に基づいて他変数との相関係数を算出することで評価する。つまり、個人間相関を算出することによって妥当性について検討する[3]。

## 5 結果と考察

IRTモデルを適用する前提の尺度の1次元性の検討を行なった。

下位尺度ごとに因子分析を行なったところ、第1固有値と第2固有値の比はTFでは1.45、GMでは1.01、AUでは1.71、SEでは1.60、ECでは1.23、SVでは1.74、CHでは1.68、LSでは1.42であった。そのため、どの下位尺度においても一定の1次元性があると考えられる。図2に示すようなスクリープロットによって固有値の比較を行う。また、これはAUにおけるスクリープロットである。

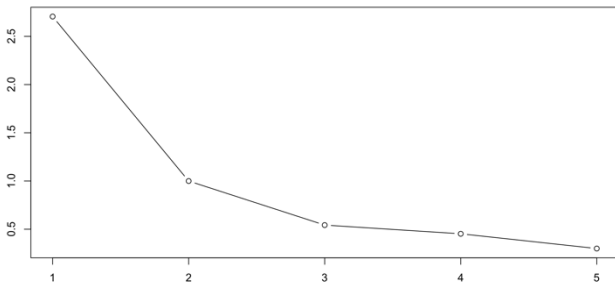


図2 固有値のスクリープロット

また、信頼性係数の推定値として全ての項目における $\omega$ 係数を求めた。その結果は、0.88という値であった。0.70以上の値を示したことから、一定の信頼性が得られたと考えられる[4]。

妥当性は、個人間相関を求めた結果、91個体のうち20個体において負の相関が見られた。さらに、IRTの結果からGMにおける識別力の結果を表2に示す。slopeは識別力を示す。識別力は通常0.30~2.00の値を表す。

表2 GMの識別力

下位尺度	slope
GM1	0.465
GM2	-0.179
GM3	-0.353
GM4	-0.925
GM5	0.481

IRTによる識別力の結果をみると、GMの他の因子の下位尺度の項目において、識別力の値に負の値を持つものはいくつか存在したが、GMほど多くはなかった。

GMの下位尺度の項目では、5つの項目中3つの項目で負の識別力を持つという結果になっていた。識別力が負の値を持つことが意味するのは、テストの項目としてふさわしくないか、逆転項目であるということである。

この個人間相関の結果と、IRTによるGMの識別力の結果を見ると、テストの項目としてふさわしくないものが含まれていることから、妥当性が低くなっていると考えられる。

よって、学生にキャリア・アンカーを適用する場合には、GMの項目を削除したアンケート、もしくはGMの項目を適正な識別力をもった項目に改善を行なったアンケートを行う方が適当であるという仮説が考えられる。しかし、実際に社会人に適用した場合のものとの比較を行うことでその仮説の妥当性が確認できるということも考慮すべきであると考えられる。

## 6 まとめ

本研究では、キャリア・アンカーの学生における尺度の特徴、および信頼性と妥当性の検討を行なった。そして、 $\omega$ 係数が0.88という値を示したことから、一定の信頼性を得られたと考える。妥当性と尺度構成に関しては、改善すべき点が見られた。それはGMという因子そのものもしくは、その下位尺度の項目の扱い方を検討することである。また、得られた仮説を検証するために実際に社会人にアンケートを実施し、比較を行うことで仮説の妥当性を検討することも課題である。

## 参考文献

- [1] Edgar Henry Schein, 金井 寿宏 訳: 「キャリア・アンカー 自分のほんとうの価値を見つけよう」, 白桃書房 (2003)
- [2] Klaas Sijtsma, "On the use, the misuse, and the very limited usefulness of Cronbach's alpha", Psychometrika, vol.74, pp. 107-120, March 2009
- [3] 村山 航「妥当性 概念の歴史の変遷と心理測定学観点からの考察」The Annual Report of Education Psychology in Japan, vol. 51 pp. 118-130 (2012)
- [4] 岡田 謙介「心理学と心理測定における信頼性

について」 The Annual Report of Education

Psychology in Japan, vol. 54, pp. 71-83

(2015)

# 内海における風波波形観測ブイの設計

広島工業大学 情報学部 松本 亜弓、砂田 朋輝、濱崎 利彦

## Design of a wind wave observation buoy in the inland sea

Hiroshima Institute of Technology, Faculty of Applied Information Science

Ayumi Matsumoto, Tomoki Sunada, Toshihiko Hamasaki

### 1 はじめに

IoT(Internet of Things)の普及により、様々なモノがネットに接続し連携を取れるようになりネットワークに繋がれた機器の遠隔操作やデータ収集が個人でも簡単に行えるようになった。この要因には、センサや無線通信機器、マイクロコンピュータなどの機器の小型化や低価格化が進み、これらを結びつけることで無線センサモジュールを容易に製作できるようになったことにある。この無線センサモジュールを複数設置し機器同士をネットワーク上で接続した WSN(Wireless Sensor Network)の研究・開発が盛んに行われている。また、自然環境のデータ収集も行われており、水産業において養殖業は IoT を利用することでその生産性が高まると期待されている。

海洋において水温や波浪、水質から今後の海面状況を予想することが重要である。なかでも牡蠣養殖や魚類養殖といった、それぞれの養殖において適切な水域の選択は直接的に生産量に影響する。例えば、牡蠣養殖において水温や植物プランクトンが多い水面が好ましいが、経験に頼りシーズンの中で複数の海域を移動させるという方法がとられている[1]。このように、波浪観測に関しては船乗りによる基準の存在しない曖昧な観測方法が多い。従来開発されている波浪観測装置は周期の長い波浪を対象とした機械式ブイが多く、内海に不向きであること、高価であることから一般の養殖業者が導入するには困難であった。そこで、近年は加速度センサデータに対してマイコンによる信

号処理技術を組み合わせた、より小型で安価な波浪観測ブイが開発されている。

本稿では、目視で海面状況を確認している養殖場などでの使用を目的とし、一般の養殖業者でも扱いやすい小型で安価なブイ型波浪観測装置の設計を行う。そのためには、風波成分と船舶成分を知ることが必要である。

### 2 実験装置

本研究で使用する小型なブイ型波浪観測機器を図1に示す。

ここではブイの固有振動を防ぎかつ波形への追従性が高いと考えられるクローバーリーフブイ(Cloverleaf Buoy) [2]の形状を取り入れた。先行研究[3]で作成したブイ(図1(a))は、ブイの浮力は厚さ2mmのアクリル板を接着した後シリコン補修材バスボンドで防水加工した2等辺三角形のボディと頂点に位置する軽量の発泡スチロール球で得ており底辺17cm、高さ18cmの二等辺三角形である。ブイの中心にRaspberry Pi3 model B、各頂点に3軸加速度センサ設置している。一方、本研究で作成したブイ(図1(b))は、一辺10cmの正三角形は発泡スチロールと2mmのアクリル板でできており、頂点に取り付けた軽量の発泡スチロール球で浮力を得ている。ブイを固定するために釣り糸を通すクリップを正三角形にカットした発泡スチロールの側面に固定した。より小型化するために3軸加速度センサのみブイに搭載し有線Raspberry Pi3と接続させている。ブイ(図1(c))



は、一辺 22cm の正三角形にカットした厚さ 2 mm アクリル板を接着後、シリコン補修材バスボンドで海上での実験に耐えられるように入念に防水加工を行った。ブイの浮力はボディとその各頂点に取り付けた軽量の発泡スチロール球から得ている。ブイの中心に 3 軸加速度センサ ADXL345 と Raspberry pi zero w を設置している。

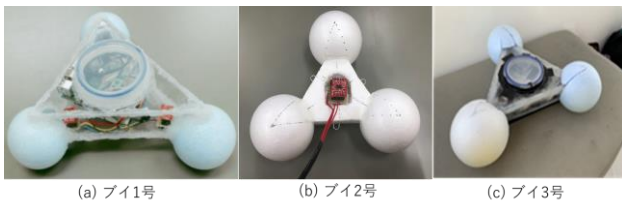


図 1 本研究で使用したブイ型波浪観測装置

### 3 水槽実験

#### 3. 1 実験方法

本実験は研究段階であるため、風で水槽に波を起こす風波発生装置を用いて計測を行う。風波観測は本学にある長さ 12m、奥行 30m の水槽に水深 0.25m になるように水を注入し実施した。図 2 に風波発生装置の概念図を示す。水槽の先端には軸流ファン、終端には実際の波に近づけるため消波装置を設置してある。風波が十分に発達して安定する軸流ファンから 8m の位置にサーボ式波高計を設置し、風速計を使い現在の風速を測定しながら風波を発生させる。波高計のすぐ後ろにブイが波を正面から受けるように釣り糸で固定したブイを設置した。この波高計データを使用装置に対するレファレンスとする。

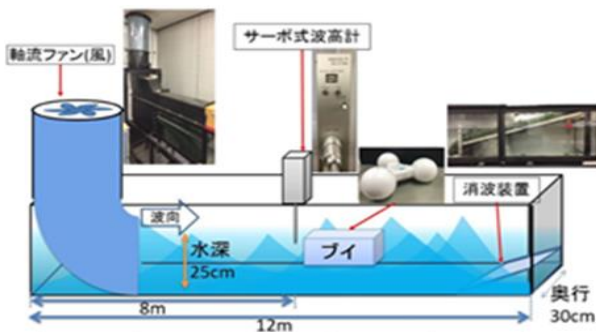


図 2 風波発生水槽構成図

#### 3. 2 風波スペクトル

波の動きを知るために 3 軸加速度の z 軸データの解析を行う。測定は風速 2m/s, 4m/s, 6m/s で測定時間は 26 秒、サンプリング周期は 10 ミリ秒とした。

ブイ 1 号(図 1(a))とブイ 2 号(図 1(b))の分析データを図 3.1, 図 3.2 に示す。ブイ 1 号(図 3.1), ブイ 2 号(図 3.2)の風波スペクトルより風速の大きさに応じて高調波が低周波側へと変化し波の周波数特性を捉えていることがわかる。ブイ 1 号は風速 2m/s のデータが残っていなかったため、風速 4m/s, 6m/s でグラフを作成した。どちらも 5Hz までは似た波形を捉えている。しかし、ブイ 2 号の風波スペクトル(図 3.2)をみると、周波数 3Hz, 3.5Hz ごとに高調波が読み取れる。この高調波は 2 次よりも 3 次, 4 次と高調波が大きくなっている。この高調波は分析した波が船舶の影響で発生した引き波かどうか見分けるために有用である。

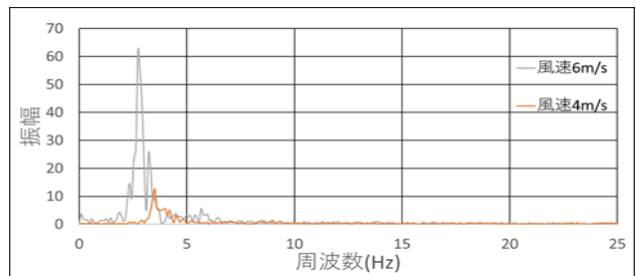


図 3.1 ブイ 1 号風波スペクトル

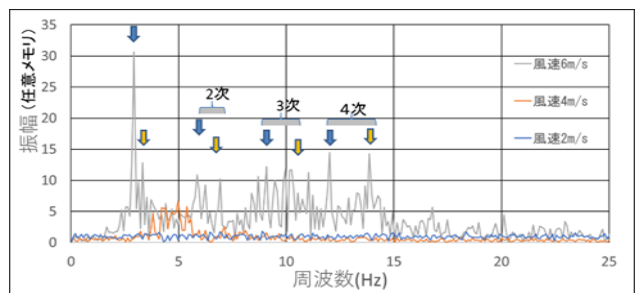


図 3.2 ブイ 2 号風波スペクトル

#### 3. 3 分析結果

それぞれの計測データを分析した結果、ブイ 1 号では風速 2m/s で発生する高周波成分を捉えることはできなかった。これは、総重量比と装置サイズによると考えられる。そこで、計測したデー

タが波高値を捉えているか比較するために風波発生装置に付属しているサーボ式波高計の風波スペクトルを図5に示す。ブイ2号(図3.2)とサーボ式波高計(図4)の風波スペクトルは似た形状をしているが、高周波成分に関してはブイ2号の方がより細かい波を捉えていることがわかる。これは今回使用したサーボ式波高計が波に追従するたびわずかに遅れが生じるため安定した動作を行うには5Hz以上の周波数を無視する必要があるからだと考えられる(図4)。これらのことから、ブイ2号は波高計でも捉えきれなかった高周波成分をほぼ観測できているといえる。

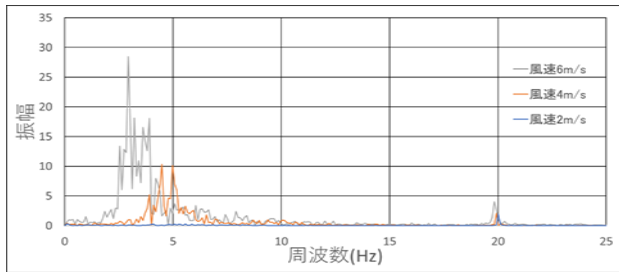


図4 サーボ式波高計風波スペクトル

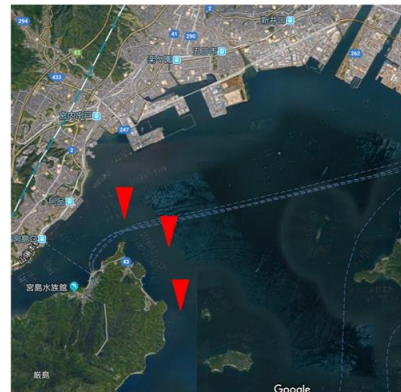


図6 広島湾における観測実験箇所

## 4 海上実験

### 4.1 実験方法

広島湾にて観測実験を行なった。また、波浪観測機器には Raspberry Pi zero wh と 3軸加速度センサを搭載し、信号処理により波高観測を行うシステムを構築した。実験に使用したシステムのブロック図を図5に示す。また、広島湾での観測実験箇所について図6に示す。計測は、3箇所合計10回行なった。船から約10m離れた場所で、周期の長い大きな波を捉えるため、サンプリング周期10[m/s],測定ポイント8192ポイント、約82秒間の測定を行なった。

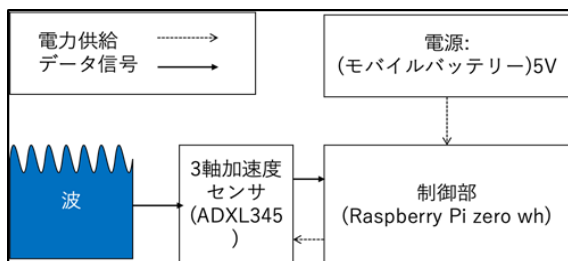


図5 システムブロック図

### 4.2 加速度解析

測定した加速度のz軸の値を使用する。図7.1にブイで計測した加速度データを示す。

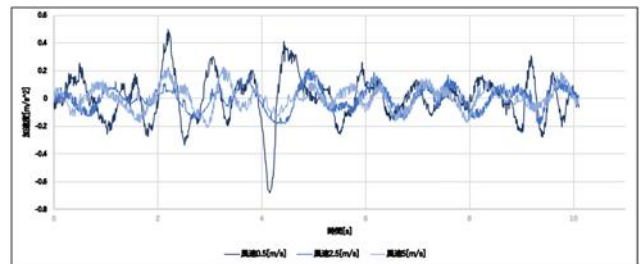


図7.1 ブイで計測した加速度  
(風速0.5[m/s], 2.5[m/s], 5[m/s])

図7.1に示した加速度データを見るとよく波を捉えていることが見られ、周期的に変化していることがわかる。ピークが見られる箇所ですぎ波のような高周波数の波が乗っていることがわかる。また風速が大きくなるにつれその傾向が大きくなる。これは海上で突風など強い風が起こること波面にさざ波が起こっているためである。波の大きさと風速については関係がない。これは船舶や海域による波、うねりなどの風波以外の波を捉えているからだと考えられる。次にこの結果をフーリエ変換し、加速度の周波数スペクトルを図7.2に示す。

図7.2の結果からどの風速であっても低周波の波が計測されていることが見られ、高調波があることが確認できる。また、周期の長い波が計測されていることがわかる。風速2.5[m/s], 5[m/s]では1[Hz]より小さい波が計測されていることがわかる。

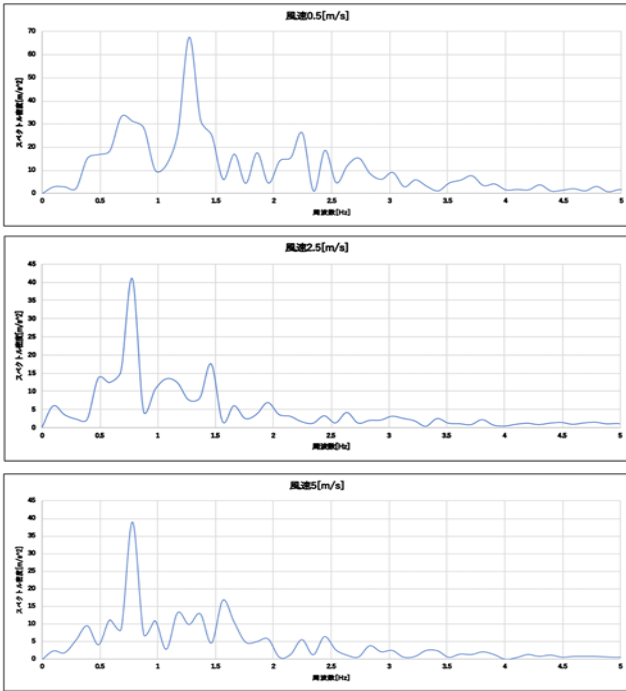


図 7.2 加速度の周波数スペクトル  
 (風速 0.5[m/s], 2.5[m/s], 5[m/s])

### 4. 3 分析結果

加速度の計測結果に高い波に含まれる小さな波を抑えるために移動平均法を使用した。平均区間は3, 5, 7区間で行った。この結果を図8に示す。

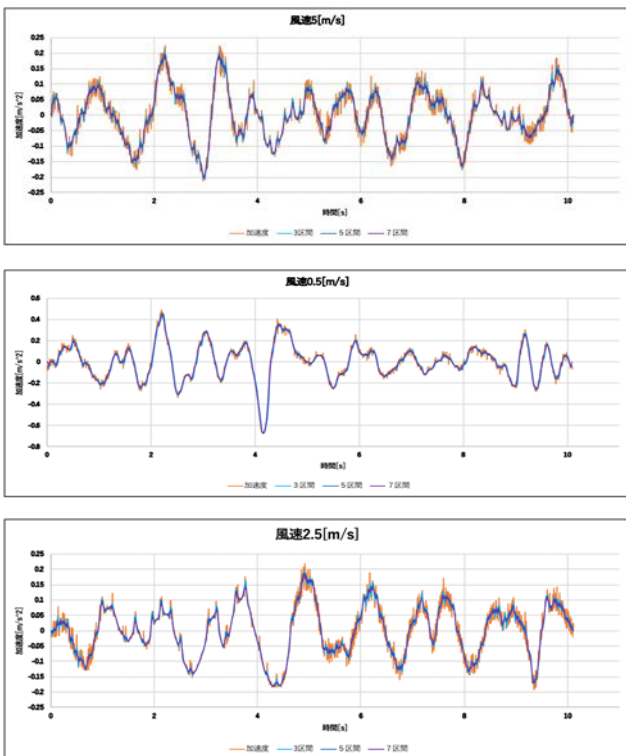


図 8 移動平均(風速 0.5[m/s], 2.5[m/s], 5[m/s])

図 8 の結果から加速度の元の値に対して、移動平均法を適用した値の各値での共通点は、平均区間が多くなるにつれて小さい値が抑えられ、周期性はそのままであった。ピーク値は減少している。風速が大きくなるにつれてピーク周辺のさざ波のような小さな波が多くなっているのが見られ、移動平均を行うことでより抑えられていることがわかる。

### 5 まとめ

本研究では、内海における波浪を計測するため、安価で小型なブイ型波浪観測機器の試作、及び実験による検証を行った。また海洋での基本無線通信についても実験を行った。

### 5 今後の課題

本研究では海洋波の計測を行い、海洋では多くの複雑な波が起こっていることがわかった。しかし、実際の波と測定した波が妥当であるか検証する必要がある。船舶や海域、時間帯、潮の流れ、うねりなどによって波の大きさや周期が大きく異なっている。今後の課題として、ビジュアル観測を行うことでデータとの比較を行い、データの妥当性を検証することが挙げられる。また比較することで、換算係数の算出などを行うことで、測定した波の精度を向上する必要がある。

### 参考文献

- [1] 株式会社オオノ「広島牡蠣の養殖工程」  
<http://www.oonosuisan.com/guide/process1.html>
- [2] [IoT 活用事例] 漁業・水産業向け海洋情報モニタリング  
<https://www.upr-net.co.jp/case/iot/usecase-43.html>
- [3] ワイヤレスセンサネットワークとは？  
<https://mono-wireless.com/jp/tech/wsn.html>
- [4] 光易恒, 海洋波の物理, 岩波書店, 1995.
- [5] 倉本大輔, MCUによる波浪信号スペクトルの解析手法の提案, 電気学会電子回路研究会予稿集, ECT-017-099, 10月2017

# ワイヤレスセンサネットワーク構築支援ツールに関する研究

広島工業大学 織田 悦至 濱崎 利彦

## Research on Wireless Sensor Network Construction

Hiroshima Institute of Technology

Oda Etsushi Toshihiko Hamasaki

### 1 研究目的

環境モニタリング,あるいは第一次産業など屋外でのIoTにおいては,複数のセンサ端末をメッシュ型で配置するネットワーク構成が重要と考えられる。農林業など,比較的の小規模あるいは兼業の事業者が独立したネットワークを安価に構成する場合に有効と考えられるからである。しかしながら,実際にこういった事業者が自身でネットワークシステムを構築することは容易ではない。携帯電話網のようにキャリア事業者がその通信信頼性を常にチェックしている広域システムと異なり,独立したセンサネットワークにおいて,その通信信頼性は使用者自身が保証する必要があるからである。

本研究はそのような利用者を想定して,ワイヤレスセンサネットワークにおける端末設置場所を通信強度RSSIの予測から判断し,信頼できるネットワーク構築を支援するシステムを提供しようとするものである。

### 2 従来の研究と本研究の特徴

中継ノードの最適な設置位置を算出する問題はNP(Non-deterministic Polynomial time)

困難だと言われています。そのため中継ノード設置位置は準最適な設置位置を現実的な時間内に行う方法はいくつかある。

提案手法では,国土地理院の地形データを元に初期ノード配置を行い,RSSIの算出式などから端末ごとにRSSIの予測値を求め,閾値以下と判断された場所の中で最適な位置に新たな中継ノード位置を決定する。デメリットとして,この方法では,建物などの障害物などを考慮できない等の問題点があるため,実測データとの比較が何より重要であると考えられる。

### 3 研究方法

図1にシステム概念を示す。基本的に端末間相互の電波受信強度を見積もり,中継端末の最適な設置位置を割り出す機能はサーバー側で担い,クライアント側は,センサ端末を設置したい場所

を指定する機能をディスプレイとともに持つことになる。

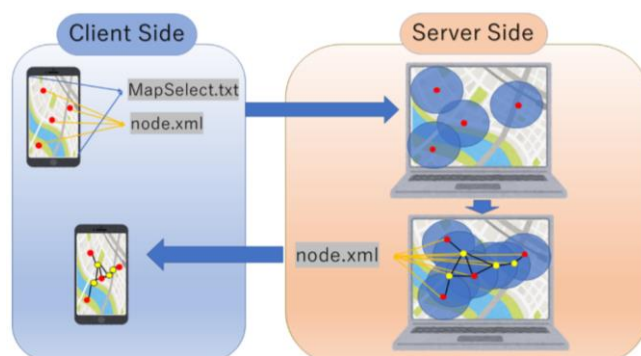


図1 システム概念図

クライアント端末(スマートフォン等)の通信速度や処理能力を考慮すると,通信データサイズは小さいものでなければならない。表1にクライアント側からサーバー側に送るデータ構造の例を示す。

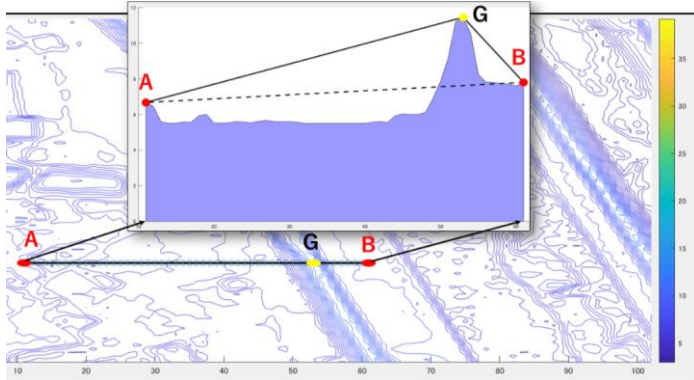
表1 node.xmlの記述例

	threshold	受信電波強度の閾値
common	frequency	周波数帯[MHz]
	nodeNum	ノード数
	no	何番目のノードか
nodes	type	基地局端末か 接続端末か
	x	経度
	y	緯度
	height	端末の高さ[m]
	connected	電波が届くノード

### 4 RSSIの予測

ノード間のRSSI算出手法について述べる。図2(b)で示したように,ノードごとに通信信頼性を考慮したRSSI閾値限界を設定する。そのノード位置と走査点の2点間の座標値から切片と傾き

を求め、さらに2点間のある座標に対して2点の標高から切片と傾きを求め、最初に求めた切片の値と比較して大きいものがないかを確認し、切片の値が大きいものがない場合 LOS(Line of Sight)、切片の値が大きいものがある場合 NLOS(None



Line of Sight)とする(図 2)。

図 2 NLOS における電波伝搬経路の等高線図への表示と断面標高線図上に中継ノードを示した図

LOS であると判定された時はノードの経度  $x$ 、緯度  $y$ 、標高  $z$  と走査点の経度  $x_0$ 、緯度  $y_0$ 、標高  $z_0$  より距離  $d$  をユークリッド距離計算式(1)によって求める。一方、無線アンテナの波長  $\lambda$  によって自由空間伝搬損失  $L$  を式(2)によって求め、あらかじめ設定した電波強度の閾値により伝搬の可否を判定する。

NLOS であるとされた時は以下のような手順で判定する。最も電波を遮断している地点  $p$  の緯度  $x$ 、経度  $y$ 、標高  $z$  とノード位置を同様に距離  $d_1$  求め、点  $p$  と走査点の距離  $d_2$  を求める。次に走査点とノード位置の  $x, y$  から傾き  $T$ 、切片  $S$  を式(3)、式(4)から求め、そこから  $x$  もしくは  $y$  と  $z$  から傾き  $T_z$  を式(3)、式(4)で求め、式(5)で直線と走査位置の  $z$  との差  $h$  を求める。そこから回折パラメータ  $v$  を式(6)で求め、回折損失  $J$  を式(7)で求める。 $L$  から  $J$  を引いた値を電波強度として閾値で判定している。

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (1)$$

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2)$$

$$T = (y - y_0) / (x - x_0) \quad (3)$$

$$S = T * -x + y \quad (4)$$

$$h = z - (x \text{ or } y) * T_z + S_z \quad (5)$$

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (6)$$

$$J = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0.1) + 1} + v - 0.1) \quad (7)$$

### 5 複数ノード管理

複数ノードの領域を1つの map 上に再現するために図 2 の閾値以内の場所に 2 のノード番号  $n-1$  の 2 乗を足し合わせることで 2 進数の  $n$  番目の値が 1 であれば  $n$  番目のノードからの電波が届くことが分かるよう定義した。

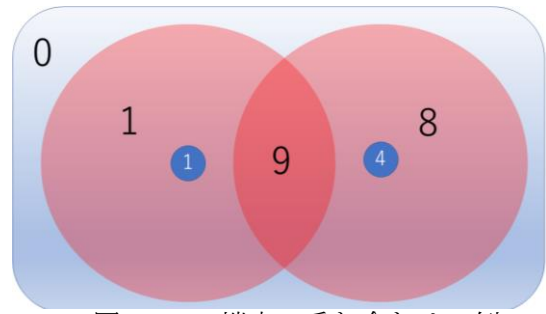


図 3 1,4 端末の重ね合わせの例

### 5 ノード間接続

端末位置の WaveMap を確認することでノードとノードの接続がされているかどうかを確認でき、直線を引き `node.connected` の配列に加える。

さらに、あるノードから間接的に接続されているものを判定するため `ConnectMini` という変数を作る。`ConnectMini` は接続されている変数の中で最も小さいノード番号をノード数の配列に格納する配列である。

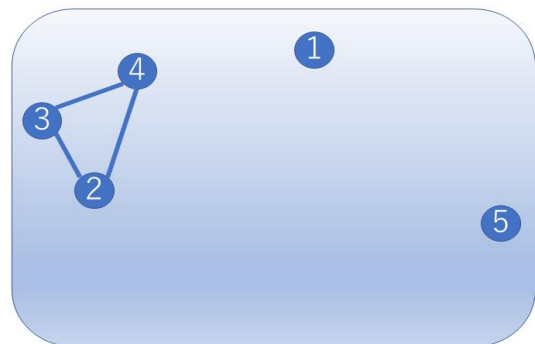


図 4 5つのノード接続例

表 2 図 4 の例での変数

ノード番号	直接接続	ConnectMini
1	Nan	1
2	3,4	2
3	2,4	2
4	2,3	2
5	Nan	5

### 6 複数ノードの重ね合わせ処理

図4から引き続き同じ例を使い図5とする。  
ConnectMiniで同じ数値が格納されているものは重なり合っている個数分-1を引いた値としてカウントし、足し合わせて新しい領域を作る。

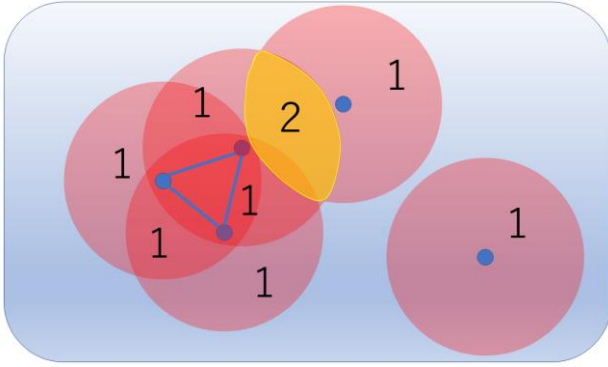


図5 図4と同様配置での例

### 5 重なりがある場合

図5のように重なっている空間が2以上ある場合重なり合っている数が多い空間(図5の場合2)の中で重なり合うConnectMiniの数値以外のノード(図5の場合2,1以外=5)に対して最も近い(RSSIが高い)場所を選びノード位置とする。

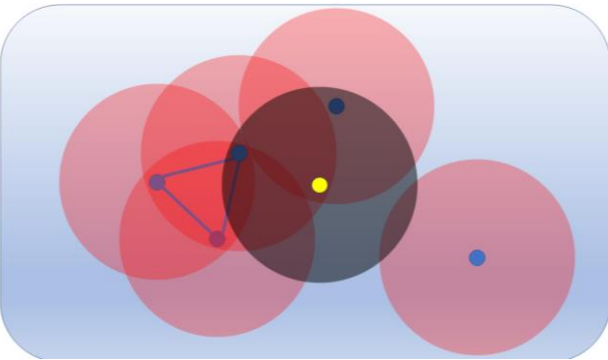


図6 図4と同様配置での例

### 6 重なりがない場合

図7の例のような重なり合う空間すらない場合では、ConnectMiniが1の空間とConnectMiniが1以外のノード位置とのRSSIが最も高い位置に端末を置くようにしている。

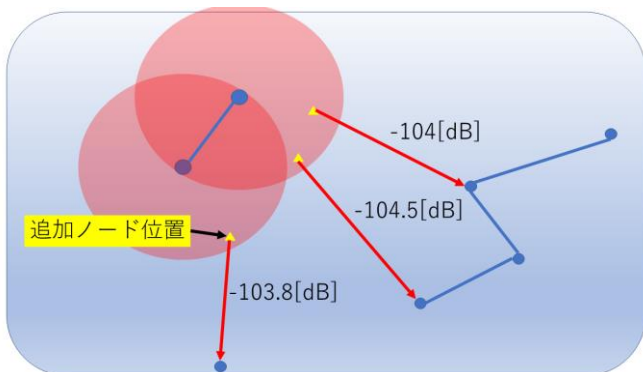


図7 重なりがない場合の例

### 8 考察

この追加ノード位置決定方法は多くの問題点を残している。特に、重なりがない場合の置き方は図7と同じ配置として図8のように置いた場合の方がよりノード数は減らせるはずですが現在のプログラムではそうはならない。また、複数の地形などでのテストがまだできていないので他にも多くの問題点が出てくることを考慮する必要がある。また、RSSIの判定方法も現在はフレネルゾーンなどを考慮しておらず、直線経路しか判定に利用していないなどの問題点もあるためシステムとしての完成度は不十分である。

次に、このシステムの有効性の確認がまだ行えていないことである。実測データは存在するため以降の研究では、予測値と実測データの差などを考え新しい式などの導入を考える必要がある。

また、建物などの障害物などによる、反射や回折による電波干渉を考慮することは、不可能になっている。

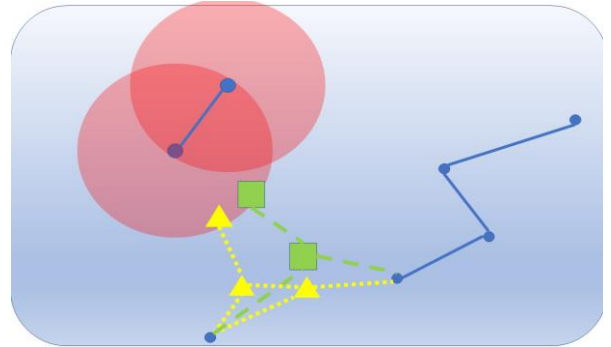


図8 最もノード数が少ない配置□  
現在システムでの配置△

### 参考文献

- [1] T. Kagawa, Y.Aritome and T.Hamasaki,, "Proposal of a computer aided wireless network design tool" *Proc. of Thai-Japan Microwave 2014, TH4-5, Bangkok, 2014.*
- [2] R.Yamane, Y.Aritome and T. Hamasaki"Study of wave propagation in short-range autonomous wireless sensor network". *Proc. of Thai-Japan Microwave 2014, TH4-4 Bangkok,2014.*

問い合わせ先

〒731-5143 広島市佐伯区三宅2丁目1番1号  
広島大学情報学部情報工学科  
織田 悦至

# MR 画像からの膝軟骨領域の組織に対する 臨床可視化支援システムの開発

## Development of computer-aided visualization system of knee joint cartilage area from MR image

○福間 一輝, 健山 智子, 縄手 就矢

○Kazuki Fukuma, Tomoko Tateyama, Syuya Nawate

広島工業大学 情報学部 知的情報システム学科 知的情報可視化研究室

Intelligent Visual Analytics Lab, Faculty of Applied Information Science,  
Hiroshima Institute of Technology

### 1. はじめに

膝軟骨領域の損傷診断は、臨床現場において一般的に、MR 画像の読影から行われるが、膨大な 2 次元スライス画像の膨大な枚数を限られた時間からの観測となり、膨大な時間と作業量となる。また、人体は 3 次元空間での構造であるため、3 次元構造提示として現状では至っていない。ゆえに、膝軟骨領域の臨床現場では現在、読影医ごとの主観評価となるため、臨床診断ばらつきが発生する可能性が高い。

本研究では、上記問題解決を目的として、MR 画像から膝軟骨領域の情報を機械から取得・3 次元空間上へ可視化による臨床支援システムとする。このシステムにより、臨床医は直感的に体内の膝軟骨領域の 3 次元形状および構造の理解がかるようになることから、効率的な診断への貢献が期待される。

### 2. 研究概要

#### 2.1 可視化支援のシステムモックアップ

本研究で開発を目指す GUI を図 1 に示す。この画面構成は、我々のこれまでの先行研究に基づいて画面構成を設計している [1], [2]。

画面構成は大きく、臨床 MR 画像と抽出対象領域の画像を今回提示できるようにしている。なお、今後、同画面上で 3 次元形状の可視化も併せて拡張する。

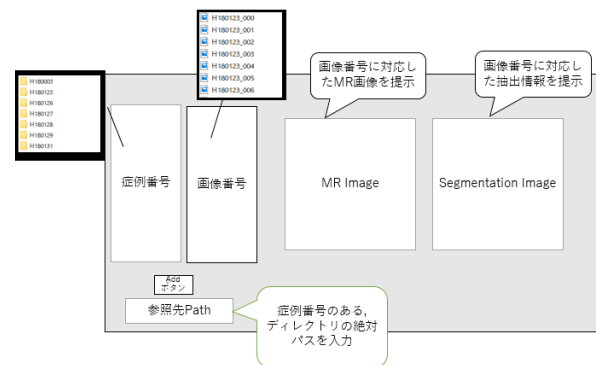


図 1. 本研究の開発で目指す GUI

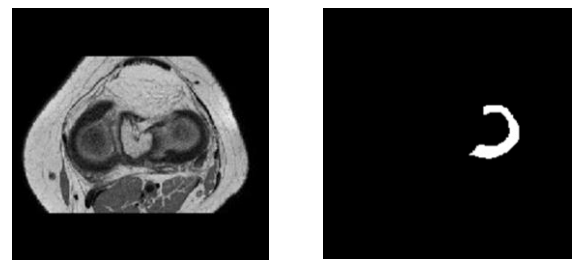


図 2. MR 画像からの膝軟骨 (左外側) 領域抽出例

張する。

まず、画面左に、患者症例を提示するための症例情報 (今回は症例番号) その隣の List 提示に DICOM スライス画像番号を提示し、番号クリックで各スライス画像を画像提示エリアに示すことができる。画像提示エリアの左側では、臨床現場で得られ図 2 (a) のような MR スライス画像を、右側の提示では対象のスライス画像から左外側の膝軟骨領域の抽出情報を提示している。この提示を

List ボタン上で切り替えることで、対象箇所を見やすく提示している。

## 2.2 利用する臨床データと手動抽出

MR 画像は、膝軟骨組織領域の観測に焦点を置き、PDW-VISTA-TRA の撮像法より取得された (図 2 (a))。この撮像された各スライス画像より ITK-SNAP[2]を用いて、MR 画像から膝軟骨領域を手動抽出した。本研究では、臨床現場で撮像された MR 画像から、臨床医指導のもと、11 症例の膝半月板領域 (左外側領域) に対して手動抽出を行った。その結果を図 2 (b)に示す。

## 2.3 開発環境

本システムの開発環境は、次のとおりである。

- CPU: Intel (R) Xeon (R) CPU E31240@ 3.30GHz
- GPU: NVIDIA NVS 300
- メモリ: 16GB
- OS: Windows 10 Education 64 ビット
- GUI 開発言語: C#
- 解析用言語: Python3.6.8

## 3. 膝軟骨領域臨床可視化支援システムの提示

以上の構成を踏まえ、開発している GUI を図 3 に示す。実際のデモンストレーションは会場で提示する。この提示からも確認できるように、画像の番号を切り替えることで、対象となる MR 画像とその対象抽出画像が提示される。現在、臨床現場や研究機関での可視化効果を検証準備のため、従来の提示方法を用いている。

撮像された医用画像は、一般的な医用画像の形式 DICOM 画像である。そのため、C#空間上や Python を用いた医用画像解析で DICOM 画像、またはメタ変換されたボリュームベース (一般的には、MHD および MHA) でのデータ読み込みの際には、ライブラリとして、Insight Toolkit または PyDicom ライブラリの導入が必要である。今回本研究では、医用画像提示のモックアップ提示であり、可視化

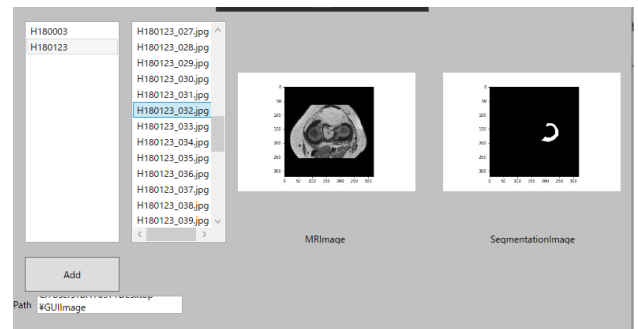


図 3. 開発システム画面

支援がどのように情報提示の効果があるかを示している。今回はすべて Jpeg 形式での提示だが、今後、DICOM, MHD 形式へ展開することで、より柔軟な医用画像提示につながる。このような GUI は、臨床現場だけの支援ではない。医学生教育や理科教育、また、臨床現場での研修教育にも十分期待が高い。

## 3. おわりに

本研究では、MR 画像と対象領域の抽出結果を 1 画面上で同時に確認可能な、GUI システムの検証を進めている。今回、簡単な提示手法を示したが、今後 MR 画像およびセグメンテーション後画像の作成機能の追加や、同一症例の 3 次元形状モデル表示へ拡張し、より柔軟で的確な臨床可視化支援を目指す。

## 謝辞

本研究遂行において、臨床データおよび臨床知識の提供をいただいた、霞クリニックの北村 直幸医師、および皆様に謝意を示す。

## 参考文献

- [1] 宮原, 健山, 陳, 計算解剖モデルによる医用画像可視化支援システムの開発, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会, pp71-72, 広島工業大学, 2017/07/22
- [2] 縄手, 健山, 福間, : 膝軟骨 3 次元形状変化の可視化のための症例間位置合わせ, 医用画像情報学会春季大会 (第 186 回), B14, 大阪市立大学医学部, 2020 年 2 月 1 日
- [3] ITK-SNAP (最終閲覧日 2020 年 2 月 6 日)  
<http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php>



# 仮想空間上での魚群行動生成と 広島工業大学 Virtual Aqua Museum(HIT-VAM)

広島工業大学 情報学部 知的情報システム学科  
池田光汰 篠原拓登 大川和也 健山智子 松本慎平

## Virtual Fish School Behavior generation and its demonstration on Virtual Aqua museum of HIT campus

Intelligent Visual Analytics Lab, Faculty of Applied Information Science,  
Hiroshima Institute of Technology

Ikeda Kouta, Shinohara Takuto, Ookawa Kazuya, Tateyama Tomoko, Matumoto Sinpei

### 1 研究目的

Virtual Aqua Museum(VAM)は、仮想空間上での水族館を実現し、水中における生物の行動やその景観の再現を目指したシステムである。多くの研究者が今日世界中でこの VAM 実現に取り組んでいる一方、任意の施設や設備でもより現実的な情景描画のための制御パラメータの調整は非常に難しい。このような問題解決を目指し、本研究では、VAM 内における魚群行動に注目し、対話操作を実現するためのパラメータ制御手法について研究を進めている。この検証を行うための提示環境の違いにおける表現の検証が必要である。

今回、本学プロジェクトで進められている HIT-VR Campus にもとづき、広島工業大学をモデルに仮想水中体験を提示するシステムとその評価を目的とする。

### 2 研究方法

#### 2.1 本研究のシステム構成[1]

本研究におけるシステムの開発構成を以下に示す。

- CPU : intel® Core™ i5-6500 CPU @ 3.20GHz
- Memory : 8192MB RAM
- GPU : GeForce GTX 1660 Ti
- 物理エンジン : Unreal Engine 4
- 提示媒体 : Oculus Rift S

### 2.2 BOID モデル

本研究の魚群行動生成に、群衆シミュレーションとして有名な BOID モデル[1]および改良型 BOID モデル[2]を参考に、その魚群行動振る舞いを表現する。BOID モデルは、Craig W.Reynolds 氏によって提唱された自然界の群れの動きを再現するモデルである。BOID モデルのルールは以下の3つである。

1. 中央への移動
2. 群れ内の仲間の向きを揃える
3. 群れ内の衝突の回避

改良型 BOID モデルは、先の BOID モデルを参考に、自然界の群れの動きに近づけるため、ルールを追加した BOID モデルである[2]。改良型 BOID モデルルールは以下の3つのルールを追加した。

- ① 障害物との回避
- ② 他の群れからの影響
- ③ 水面・水底からの影響

これら6つのルールの組み合わせに基づいて、魚群の行動生成を構成した。

図1、2に、本研究で生成した BOID モデルのシミュレーション例を示す。赤が障害物、緑を目標物として、魚群は先の BOID モデルに従い、目標物を追従している(図1)。また、図2に示すように、障害物に近づくと障害物回避しながらも目標物を追従しているシミュレーションを確認す

ることができた。この魚群行動でのパラメータは今回手動で任意に与えている。

より今後、様々な環境や生成する魚群の種類に基づいて、パラメータの自動化が求められる。このような問題について、データ解析を活用した最適化問題の導入検討が必要である。



図1：本研究で構成した魚群行動シミュレーション例，赤を障害物，緑を目標物とした



図2：本研究で構成した魚群行動シミュレーションにおける衝突回避の様子

### 3 仮想空間の実現

VAMは提示環境においても、その魅力などの提示が異なる。例えば、現実的な環境としては実際に存在する宮島水族館や美ら海水族館などの提示が必要であり、実際に存在する環境と同等の環境の提示が必要である。

また、VR空間は、現実では存在しないことがまるで現実のように感じる・捉えられるような幻想的な雰囲気提示することも魅力の一つである。我々は今、本学主催の学生プロジェクト、HITチャレンジを遂行している[3]。そこで、このHITチャレンジのテーマのひとつ、「魅力的な広島工業大学の演出」として、我々が実際に作成した大学キャンパスモデルを用いて、広島工業大学の幻想的な雰囲気の提示を試みる。広島工業大学のキャン

パスモデルを図3として提示する。

このチャレンジは、広島工業大学での現実的なVRキャンパスの提示だけでなく、より幻想的なテーマとしての提示にも貢献が期待できる。



図3：広島工業大学のキャンパスモデル

### 4 まとめと今後の課題

本研究では、より魅力的な広島工業大学の発信をテーマに、仮想空間上で広島工業大学の水族館体験という、幻想的な表現にチャレンジした。実際の魚群のような振る舞いを表現するため、拡張BOIDモデルを導入し、そしてこれまで我々が生成した本学のキャンパスモデルを用いて幻想的な空間を生成し、そのデモンストレーションを提示する。ただし、現状のモデルでは、まだ多くの魚を表現してはいない。また、現実に存在する環境との比較が未解決である。

今後は、上記の課題について、現実存在の環境を構築し、我々のVAMを表現することで、その映像の提示についての比較評価を行う。

### 参考文献

- [1] Reynolds C. W. (1987) Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21, 25-34.
- [2] 小林佳奈美, 陳延偉, 黄辛隠, “対話型進化計算を用いた魚群の知的自動生成システム”, *立命館人間科学研究*, 14, 17-26, 2007. (2007).
- [3] 篠原, 池田, 大川ら, “四季の移り変わりを体感! HIT-VR Campus, HITチャレンジプロジェクト: HITチャレンジ2019, 広島工業大学

## RGB ヒストグラムと機械学習に基づく

## イベント広告画像内からの季節情報抽出とデータベース整備

広島工業大学 情報学部 知的情報システム学科 知的情報可視化研究室

宮本拓実 健山智子 折本研 本多雅史 松本慎平

## Extraction season information from event flyer images based on color histogram and machine learning, and its construction of the database

Intelligent Visual Analytics Lab, Faculty of Applied Information Science,

Hiroshima Institute of Technology

Takumi Miyamoto, Tomoko Tateyama, Ken Orimoto, Masashi Honda, Shinpei Matsumoto

## 1 はじめに

「ためまっぷ」は、ユーザーのスマートフォンからアップロードされた画像に基づき、日常生活圏内における地域のイベントや情報を共有するアプリケーションである[1]。収集された画像はユーザーからアプリケーションサーバ(データベース)へ直接アップロードされるが、そのデータ整備が不十分である。整備のためには、アップロードされた画像へのキーワード付与、キーワードに基づく画像のアノテーション化が検討されるが、これらは一般的に手動で行うため、膨大な時間と作業だけでなく、キーワードのばらつきや主観的な付与につながる課題が多い。

広告画像は、春であれば桜、秋であれば紅葉など、イベントのある月や季節に合ったデザインを使用したデザインになっていることが多い。この季節ごとの広告画像の色特徴の違いから、月や季節ごとに広告画像を分類できると本研究では仮説を立てる。この仮説が立証するために、本研究では「ためまっぷ」を介して収集された広告画像に対し、画像解析と機械学習を用いて広告画像を季節ごとに分類し、分類結果を評価する。今回、本研究では、画像の特徴解析に、画像のカラーヒストグラムを、分類にはk-NNを用いて機械学習から解析する。

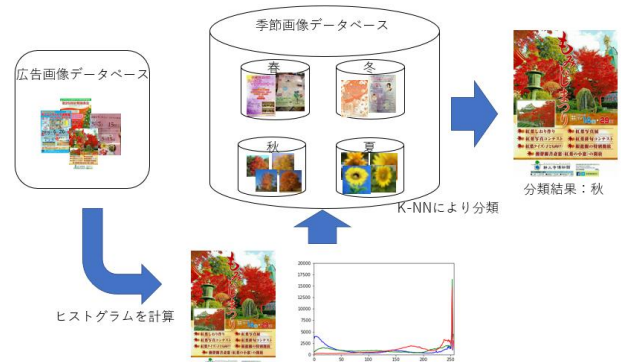
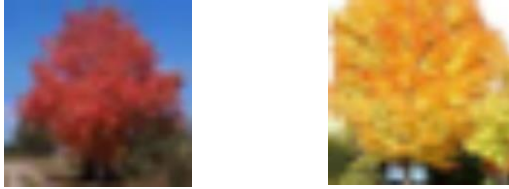


図1：画像分類の流れ

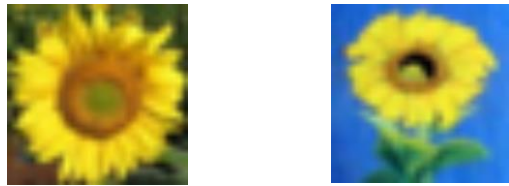
## 2 研究の概要

データセットである CIFAR-100[2]の画像をトレーニングデータ、「ためまっぷ」上で収集された画像群の中から、9月～11月の広告画像を手動で分類した画像50枚にクラスを秋として設定しテストデータとし、k-NNを用いて画像分類を行い、色特徴解析を行う。CIFAR-100におけるクラスの内、クラスが”sunflowers”の画像を夏,”maple”の画像を秋としてクラスを設定し、その中で”sunflower”はランダムに250枚選択し,”maple”はできるだけ赤色が強い画像を250枚手動で選択した計500枚をトレーニングデータとした。特徴解析において、k-NNで使用する画像の特徴は、画像のカラーヒストグラム256bin×3色を用いる。また、画像データから得られるRGB

情報の量を統一するため、画像のデータサイズを  $512 \times 512$  として統一した。今回の実験では、 $k$  の値を、分類結果が飽和するまで、1 から順に値を増やし、正しく分類できた割合を検証する。



(a) 秋のトレーニングデータ



(b) 夏のトレーニングデータ

図2：トレーニングデータのサンプル

### 3 実験結果

今回の実験結果を図2に示す。今回の実験の試行回数は1回としている。 $k$  の値が70を超えたあたりから結果が飽和したため、 $k$  の値は100までとした。また、 $k=2$  の場合に、正解率が95%を超えており、一番高い結果となっているが、前後の結果と比較して突出しているため、イレギュラーな結果とし、考慮しないものとして扱う。図2より確認できる通り、 $k$  の値が1~20にかけて正解率が下がっているが、その後上昇し、88%付近で安定している結果が得られた。したがって、広告画像はRGB情報を用いて季節ごとに分類でき、秋の広告画像のRGB情報に特徴があることが確認できた。

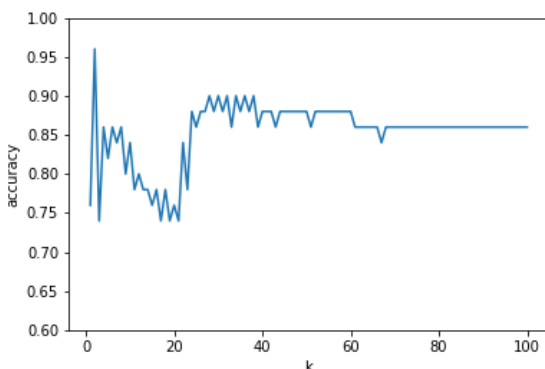


図3：広告画像の分類結果

### 4 おわりに

広告画像データベース内の分類と整備の効率化を目的として、本研究では、画像のRGB情報の特徴と機械学習を利用した分類法を提案した。提案法では、広告画像におけるRGB情報のヒストグラムより画像特徴を捉え、分類できることが確認できた。しかし今回の実験では、トレーニングデータは夏と秋の2種類、テストデータは秋の広告画像のみという風にクラスをかなり限定している。今後は、別の季節の広告画像におけるRGB情報の特徴の抽出や、分類する際のクラス数を増加させた場合に分類可能か検討することが課題である。

### 謝辞

本研究遂行において、データ提供・議論提供をいただいた、ためまっふ代表、清水氏と沖本氏に謝意を示す。本研究は基盤研究(C)(課題番号:18K11454)および広島工業大学知的情報可視化研究センターの支援のもと、研究を遂行している。

### 参考文献

- [1] ためまっふ：<https://www.tamemap.net/> / LastAccess 2020/02/06
- [2] CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets：<https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html> / LastAccess 2020/02/10
- [3] 折本研, 健山智子, 本多雅史, 宮本拓実, 松本慎平, “イベント広告画像内の領域特徴を考慮した文字領域の抽出”, 令和元年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, MC1-12, pp. 887-888, 琉球大学, 2019/09/04
- [4] 本多雅史, 折本研, 宮本拓実, 健山智子, 松本慎平, “輝度値ヒストグラムを用いた広告画像データベース内の画像分類と応用”, IEEE SMC 広島若手研究会, pp. 134-134, 広島工業大学, 2019/7/20

# 広島工業大学バーチャル体験システムと デモンストレーションの公開

広島工業大学情報学部知的情報可視化研究室

篠原 拓登, 大川 和也, 池田 光汰, 安部 貴弘, 健山 智子

## Virtual Experience System of Hiroshima Institute of Technology and its Demonstration

Intelligent Visual Analytics Lab, Hiroshima Institute of Technology,

Takuto Shinohara, Kazuya Ohkawa, Kota Ikeda, Takahiro Abe, Tomoko Tateyama,

### 1 研究概要と目的

バーチャルリアリティ(VR)とは、計算機による仮想空間上で、何かしらの疑似体験を可能にするシステムである。本研究では、VRによる広島工業大学の体験システム提示を目指す。本学は丘陵地上で立地しているなどの特徴を利用すると、様々な景観を体験することも可能である。しかし、このような景観体験は実際の季節やその場所での体験となり、実際には時間と場所の制限がある。しかし、VR体験はこのような制限をなくし、時には幻想的な空間を提供することが可能である。本研究では、このように本学での景観の移り変わりの様子をVRで再現し、情報技術を用いて公開することで、多くの人に魅力的なキャンパスの雰囲気伝えることができるか議論する。

### 2 大学キャンパス案内の既存技術

本研究では、大学キャンパス案内について焦点を絞り、開発を行った。

キャンパスだけでなく敷地や空間案内などは、図1(a)に示すようなテキスト、画像を用いた2次元平面図が主であり、その土地や場所を訪問して初めて実際の状況などの把握となることが多い。このような案内のデジタル化として、全天球カメラ画像を用いたWebコンテンツによる案内(図1(b))や音声認識から目的の対象となる場所などの案内(図1(c))が公開されているが、

よりその現地上であたかも存在している、そして、自由移動や四季の移り変わりなどを疑似体験するキャンパス案内システムには至っていない。その理由として、疑似体験するためには、現実空間と酷似した疑似の3次元空間の提示が必要である。そこで、近年、注目の高いVR技術はまさにこの解決につながる。

案内コンテンツの多くは、実際に通学している学生たちからの視点による作成ではないことから、学生目線で大学の魅力を伝えるとは言い難い。この課題克服として、大学空間を学生自身の視点から捉えたキャンパスの様子を作成し、現実のような存在感のあるキャンパスモデルの構築が必要である。特に本学は丘陵地に立地していることも大学キャンパスの景観特徴のひとつであり、このような特徴をより現実に近い可視化から、大学の詳細な情報把握の提供につながる。

(a) 広島工業大学 [1]		テキスト、画像を用いた キャンパス案内
(b) 広島修道大学 [2]		全天球カメラを用いた 撮影画像の操作
(c) 名古屋工業大学 [3]		音声認識用いた 双方向音声案内

図1: 各大学キャンパス案内 (図は[1-3]引用)



図2. 構成したシステムの概要

### 3 システムの概要

本研究では、以下の目的を達成するため、図2の概要に従って広島工業大学のVRキャンパスガイドシステムを作成する。

- (1). 現実のような存在感あるキャンパスモデル
- (2). 対話操作による移動提示

(1)の現実のような存在感のあるキャンパスモデルを構築するため、本研究では大学の建物に対し、写真撮影、設計図からのモデリングを行った。また、本学は丘陵地に立地しているので、レーザ計測に基づいてその斜面を計測し、現実に類似したキャンパスモデルを構築した。このキャンパスモデル構築では、表1に示す計算機で開発を行った。

また、(2)では、ユーザの移動したい・確認したい場所に対し自由に操作できるよう、Oculus Rift Sのコントローラを用いて実装した。この操作により、キャンパスモデル内で自由移動が可能になり、臨場感の高い可視化提示が可能になる。

### 4. 体験システムのデモンストレーション

本研究で構築したシステムを表2に示す可視化提示媒体(Oculus Rift S)を用いて、実際にデモンストレーションを行う。デモンストレーションの様子を図3に示す。デモンストレーションでは、実

表1：開発システムの仕様

CPU	Core(TM) i7-8700K CPU 3.70GHz
Memory	16GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
OS	Windows 10 Pro
VR 物理エンジン	Unreal Engine 4.22

表2：提示媒体のシステム仕様

提示媒体	Oculus Rift S
解像度	1280x1440
視野角	110度
リフレッシュレート	80Hz



図3. デモンストレーションの様子

際にバーチャルキャンパスマップ内をVRウォークスルーの制作[5]を参考にOculus Rift S 付属のコントローラ(Oculus Touch)を用いたテレポートによる操作で行った。

### 3 まとめと今後の課題

VR空間上で魅力的な大学キャンパスを提示するための可視化および対話操作について議論した。また、構築したシステムについてのデモンストレーションを行った。現在はOculusコントローラによる操作だが、今後Kinectなどの非接触デバイスを導入し主観評価から対話操作性の向上を目指す。

### 謝辞

本研究遂行にあたり、研究協力および議論を頂いた、広島市立大学の堅田哲朗さん、広島工業大学知的情報可視化研究室の木上飛鳥さん、同研究室の斉藤雄路さん、田村樹さん、他皆さんに謝意を示す。本研究は広島工業大学 HIT チャレンジ2019 助成のもと、研究を行った。

### 参考文献

- [1] 広島工業大学 キャンパスマップ：  
<http://www.it-hiroshima.ac.jp/about/access/itsukaichi/campus.html> (Last Access: Feb. 05. 20) .
- [2] 広島修道大学バーチャルキャンパス：  
<https://www.shudo-u.ac.jp/information/8a217100000qxdfq.html> (Last Access: Feb. 05. 20) .
- [3] 名古屋工業大学大学紹介メイトアンドタクミ：  
<https://www.nitech.ac.jp/mei/index.html> (Last Access: Feb. 05. 20) .
- [4] T.Tateyama, A.kigami, T.Katada, S.Matsumoto, et al: Construction Campus Map considering Terrain Slope and its Development of Virtual Experience Campus Systems using Mobile Device, Proc of ISAROB 2018, pp347-350, Jan. 2019.
- [5] UNREAL ENGINE：  
<https://www.unrealengine.com/ja/onlinelearning-courses/creating-virtual-reality-walkthroughs> (Last Access: Feb. 10. 20) .

# 学習者における講義理解度評価のための 学習キーワード解析と可視化

広島工業大学 情報学部 知的情報システム学科 知的情報可視化研究室

森田 博人 折本研 健山智子 松本慎平

## Visualization and Analysis about learning keyword for Evaluation of Learner's understanding of lecture

Intelligent Visual Analytics Lab, Faculty of Applied Information Science,

Hiroshima Institute of Technology

Takumi Miyamoto, Tomoko Tateyama, Ken Orimoto, Masashi Honda, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

講義において、教授者たちが受講生たちの理解度を把握することは重要な課題である。大学などの講義では、その講義履修におけるテーマが存在し、毎回のテーマにおける「主」となる内容を十分に把握することで、その履修講義の内容が十分に理解され、最終的に定期試験などの点数に反映されるであろう。しかし、その履修講義において、学習者たちの評価は主に履修期間中に行われる定期試験によって反映される。つまり、毎回のテーマにおける「理解」の評価は、学習理解度を十分に把握するためには非常に重要なデータであることは言うまでもないが、そのデータは極めて膨大であり、かつ収集方法も十分に確立しているとはいいがたいため、教育現場においても検討すべき課題である。

情報技術の進展は、多くの分野に様々な変化をもたらしており、教育現場においてもその有用性は十分に示されている[1]。我々の先行研究では、情報化技術のひとつ、Web コンテンツを活用してアクティブ・ラーニングの効果を検証できるかなどについて議論を行っている。この議論では、Web コンテンツを活用した場合における学習効果などの関係性についての解析を行っており、活用することでより活発な意見促進を促すことが可能となり、学習効果の改

善に有用であることが示唆されている。しかし、個々の学生の理解については十分に評価されていない。本研究では、先行研究を踏まえ、個々の学習者たちの理解度を評価するための仕組みについて検討する。よって、本研究では、個々の学習者たちから得られた講義に対するテーマの自由記述より、形態素解析から学習キーワードを抽出し、頻度解析を行う可視化を提案する。この学習キーワードの頻度解析から、学習者が十分に理解しているのであれば、学習キーワードがテーマに従って収束していることを、可視化から確認することが可能となり、新たな教育支援として期待できる。

### 2 研究の仮定と評価方法

本研究では、学習者の講義内容に対する理解度を数値化することで評価が可能であると仮定する。この仮定は、各学習者に、講義内容に沿った任意の自由記述を履修前後の2回に渡り、約1000文字で記述し、その記述内容が講義のテーマに十分収束している、を示すことで評価される。

この仮定と検証方法に従い、本研究では、学習者個々の履修前後の講義自由記述より、形態素解析を用いて学習キーワードを抽出する。抽出されたキーワードが、その理解が十分に収束しているかを解析する。この学習キーワードを履修前後の

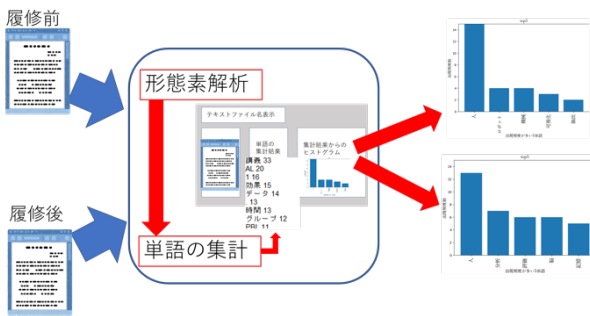


図1：本研究における解析の流れ

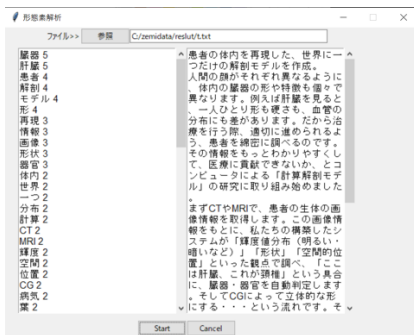


図2：本研究で開発した学習理解度解析システム

アンケートから求めることで、学習後にキーワードがより収束していると、理解度が十分に向上することについて確認する。この評価の流れを図1に示す。また、この図1について、本研究では可視化システムを開発した(図2)。

### 3 対象講義の概要と解析結果

本研究では、2016 - 2019 年に実施した広島工業大学の情報学部における以下の専門選択の講義において、取得したデータを用いた。

- 講義：組織活動と情報システム (3年次前期)
- 自由記述：2016- 2019 の任意年度で実施
- のべ講義人数：200名
- 講義概要：
  - 情報システム、通信技術の進展に伴う、我々の生活・社会の変化
  - 企業や地方自治体、国内外を対象に、組織と情報のあり方について
  - 今後想定される技術・備えるべきリスクマネジメント
  - AI 社会と人々の関わり

履修前後の各講義回において、「10年後、どのよ

うな情報システムが社会で必要とされるか」について約 700- 1000 文字で自由記述回答から解析を行った。任意の対象学生は、成績上位者のうち、任意で選択した。

学習者の履修前後における評価を図3に示す。履修前(図3(a))と比較すると、履修後(図3(b))では、講義のテーマに沿った内容で頻出単語が十分に収束していることが確認された。この結果より、履修前後の比較も十分可能であることを提示され、本研究の有効性を提示した。

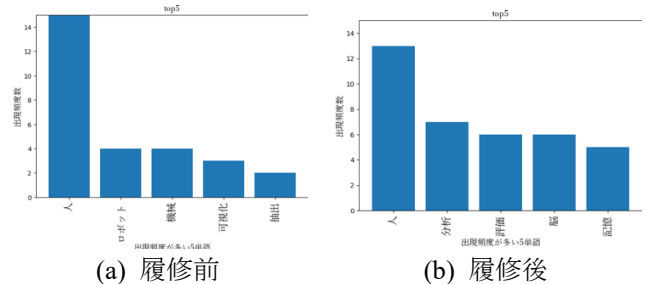


図3：学生の知識定着の可視化

### 4 おわりに

学習者の理解度を評価するため、本研究では定期試験の結果と併せて、履修前後におけるテーマの自由記述から得られた学習キーワード抽出よりその評価を行った。履修前と比較すると履修後に講義テーマが十分反映されたキーワードが抽出されていることを可視化し、有効性を示した。ただし、現在、形態素解析をそのまま用いたキーワードである。今後は、そのキーワード間の相関性などを提示し、より教育支援に沿った可視化が重要である。

#### 謝辞

データ取得に協力頂いた広島工業大学の情報学部の学生に謝意を示す。本研究は、広島工業大学 HIT 教育機構“次世代 ICT 教育情報可視化研究開発センター(代表者：健山智子)”助成および同大学知的情報可視化研究センター(代表者：健山智子)の協力の下、調査、研究を遂行している。

#### 文献

- (1) 健山智子, 折本 研, 松本慎平, "効果的な PBL 型アクティブ・ラーニング実施のための教育 ICT 活用とデータ解析", 第44回教育システム情報学会全国大会, P1-34, pp67-68, 静岡大学, 2019/9/11.



# 動画学習に対するエージェント利用の提案

広島工業大学 村川直希, 松本慎平

## A Proposal of Agent-Blended Learning

Hiroshima Inst. of Tech. Naoki Murakawa, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

商用・非商用問わず動画を主体とした学習環境が広がっており、大学など高等教育機関においても動画を活用した講義形態が普及しつつある。このような背景を踏まえ、先行研究ではエージェントの仕組みを動画教材に組み合わせた方法が提案され、動画学習における学習者の主体的な学習の支援に有効であることが示された[1]。一方、学習環境の孤独に関する問題については言及されていなかった[2]。動画教材を用いた反転学習の持続性を高めるためには学習環境の孤独の回避が不可欠と考えられる。この点について昨今動画共有サービスが多く消費者に支持されている現状を踏まえると、これら CGM サービスが有するユーザー同士のインタラクション機能の実装は、学習環境の孤独を緩和し、また、学習者のエンゲージメント[3]の向上に有用であると考えられる。そこで本研究では、エージェントの技術を動画教材に組み合わせたシステムに対して、学習者同士のインタラクション機能、コメント・エージェントの発話といった付加情報の装飾表示機能を実装した学習支援システムを提案する。

### 2 動画学習の背景

アクティブラーニングのひとつに、学習者同士のインタラクションに重みを置き知識獲得を動画で代替する反転学習がある。アクティブラーニングとは、学習者が一方的に受身になって授業を受けるのではなく、グループワークなど学習者自身の能動的な働きかけを通じて知識の獲得を促す授業形態である。アクティブラーニングのひとつに、学習者同士のインタラクションに重みを置き、知

識獲得を動画で代替する反転学習といった授業形態がある。反転学習普及の要因として、動画で独習可能な環境がインターネットの普及により整備されたことが大きい。動画教材は各自のペースで場所に関わらず学習できる点で有用な仕組みである。その一方、動画教材は単調になりがちであり、集中力の持続は容易ではない。

動画教材の課題解決に対して、エンゲージメントの重要性が柏原により示されている[3]。動画学習において閲覧者のエンゲージメントを高める仕組みとして、ワイプや字幕(テロップ)が有効であるとされている[4]-[7]。丸山らは、動画編集により必要な箇所に適切な説明文を字幕形式で追加することで、学習者の理解度を向上させた[8]。丸山らの手法は有効な学習法であると言えるが、動画教材の編集は手間と時間がかかり容易でない。

教授者による付加情報のテロップ表示 コメント機能  
動画コンテンツ



教授者による付加情報の提示

エージェント

図1 提案システムの外観

### 3 提案

提案システムは、動画学習の学習効果向上を容易に実現でき、かつその運用を容易とするため、

拡張性に富む仕組みとしてエージェントに着目したものである。提案システムの外観を図1に示す。提案システムは、従来の動画コンテンツと連動して動作可能なエージェント投影フィルタを開発し、従来の映像コンテンツにエージェントを重畳表示することで、動画編集の量力削減と共に学習効率向上を試みたものである。提案システムを用いることで、例えば学習者が動画教材を視聴し疑問を抱きそれを教授者にコメント機能を用いて質問した場合、その疑問への返答や補足説明を教授者がエージェントの発話として事後提示できる。学習者の理解度に応じて補足すべき情報を動画編集なしで適確なポイントで補足できる。

提案システムは、学習者同士のインタラクション機能や、学習者のコメントや教授者による補足説明のテロップ化といった付加情報の装飾表示を実現するための機能を有している。コメント機能は学習の孤立に関する問題の緩和を試みるためのものであり、ニコニコ動画などの動画ベースのソーシャルメディアに実装されている機能と同様のものを意味する。コメント機能は非公開・公開の設定が可能であり、非公開設定は教授者と本人のみ閲覧可能である。非公開設定は主に講義内容に対して自分用の記録を行う目的で利用されることを想定している。特定のキーワードが含まれたコメントのみを表示するなど、情報のフィルタリングも可能である。

付加情報を装飾し画面上で提示するテロップは学習の促進を意図した機能であり、動画内に表示された文字が学習コンテンツなどでは注視されやすいことを指摘した伊藤の知見[8]に倣ったものである。教授者は、テロップ化する発言に対して、事前に表示する場所(座標)、文字サイズ、フォント、文字色を教授者用画面で設定できる。なお、本研究の対象利用者は、主体的な動画学習が求められる大学生や社会人などを想定する。

#### 4 おわりに

本研究では、エージェントを用いた動画学習システムにおいて学習者のエンゲージメントを促進

するため、学習者間のオフラインのインタラクションや各自学習内容の記録が可能なコメント機能、教授者の補足説明を動画内に装飾表示可能なテロップ機能の2点を提案した。

#### 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01164, No.19K02987)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] 谷山, 関, 松本, 主体的な動画学習のためのエージェント提示システムの基礎開発, 教育システム情報学会2018年度学生研究会発表会講演論文集, pp. 165-166 (2019)
- [2] 松田, 学習科学における教育エージェントの動向, 教育システム情報学会誌, Vol. 35(1), pp. 13-20 (2018)
- [3] 柏原, エンゲージメントを引き出す学習支援ロボット, コンピュータ&エデュケーション Vol. 46, pp. 30-37 (2019).
- [4] 田口, 広田, 字幕による誘導効果, 情報メディアセンタージャーナル 第12号 (2011)
- [5] 松川, 宮田, 上田, テレビニュース視聴への情報重複性の効果: 眼球運動測定と確認テストによる分析, Library and information science, 62, pp. 193-205 (2009)
- [6] 伊藤, テレビ学習における眼球運動と視覚情報処理, 放送教育開発センター研究報告, 18, pp. 71-82 (1990)
- [7] 金, テロップと効果音を用いた効果的な視聴覚情報構成に関する実験心理学的研究 (2007)
- [8] 丸山, 森本, 北澤, 宮寺, 主体的な数学学習のための構成的アプローチに基づく動画教材作成方法の開発と評価, 教育システム情報学会誌, Vol. 34(2), pp107-121 (2017)

# プログラミング初学者を対象とした知能処理の基礎を 学習するための教材開発に関する研究

広島工業大学 小田樹, 松本慎平

## A Study on Developing Learning Material to Acquire the Basis of Knowledge Processing for Programming Novices

Hiroshima Inst. of Tech. Itsuki Oda, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

プログラミングを行いながら AI 技術の基本原則を楽しく学習可能な教材が求められている[1]. Papastergiou は, コンピュータサイエンス関係の知識は単に覚えるだけでなくゲーム形式で学ぶほうが顕著に効果的であるとした[2]. Papastergiou の指摘を踏まえると, Robocode や RoboCupSoccer Simulation 2D, UEC コンピュータ大貧民, 人狼知能などのゲームの導入が効果的と考えられる. しかしこれらは高度なアルゴリズムの知識と実装力が要求されるため, プログラミングや AI の知識・経験が十分ではない初学者にとっては授業用の教材としては敷居が高い. 複数人ゲームよりも学びやすい仕組みとして Elevator Saga など一人ゲームが有用と考えられるが, 多くの場合教授者用アナライザ[3]が用意されておらず学習者の進行に合わせて適切な助言を与えられない. また, 一人ゲームの場合確定的であることにより, 一般的な情報処理アルゴリズムとの違いを意識できないことで, AI の学習を行っているという感覚を学習者に十分に与えられない可能性が危惧される. さらに, 一人ゲームは複数人ゲームよりも娯楽性が低い可能性があり, それゆえにエンゲージメント[4]の観点から教材としては複数人ゲームよりも有用ではない可能性がある. そこで本研究では, 一人ゲームと複数人ゲームの双方の利点を取り入れた AI 学習教材を提案する. 具体的には, 落下型パズルゲームであるテトリスを題材とし, ネットワーク通信処理を含むサーバクライアントの教材を開発

することで, 複数人で対戦しながらテトリスの知能処理を学習可能な仕組みを実現する. サーバを介在させることで教授者用アナライザも実装可能となり, 更なる学習支援が期待できる.

### 2 背景

内閣府は, 今後 2030 年までに見込まれる人工知能(以降, AI)人材の充足に向け具体策の早急な検討を高等教育機関に求めている[1]. また, 2019 年, 日本政府は「統合イノベーション戦略」を閣議決定し, 2025 年までに AI の基礎知識を持つ人材を年間 25 万人養成する目標を掲げている. 松尾は, 高度な AI 技術が普及し機械を前提に最適化された社会システムの中では, 機械を適切に扱えるだけでなく機械の特性を熟知していることが重要と述べている[5]. したがって, ツールとして AI 技術を活用するだけでなく AI 技術の基本原則を学べる学習教材が必要と考えられる. この点に関して, 昨今のプログラミングに対する社会からの強い要望も勘案すると, プログラミングを扱いながら AI 技術の基本原則である「探索」の概念を学習可能な教材は有用と考えられる.

### 3 提案

本研究では, テトリスの探索プログラミングの設計及び実装を学習課題とし, 主に AI の基本的な要素である「探索」や「評価関数」の理解を学習目標とする. テトリスとは 2 次元平面上にブロックを効率よく配置していくパズルゲームであり,

最適化問題としてしばしば取り上げられている。テトリスを本研究の題材にすることで、ゲーム形式でプログラミングを学習できるだけでなく、AIの基本原理の理解や最適化問題[6,7]などコンピュータサイエンスの本格的な学習に円滑に接続可能であると考えている。

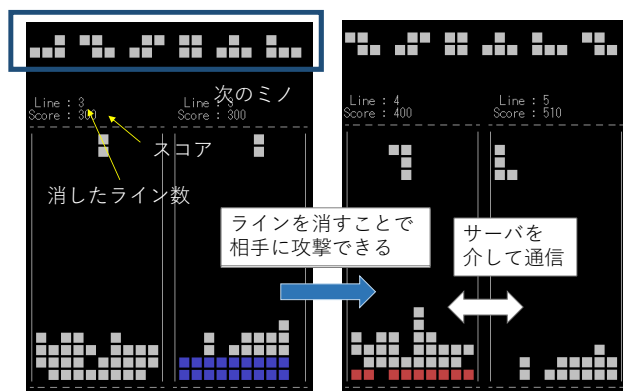


図1 提案システムの外観

提案システムはアプリケーションレイヤでプロトコルを独自に定義しており、探索の動作を単純化するAPIを提供している。具体的には、フィールドの状態、ブロックの操作、フィールドの更新処理など学習者は意識せずにサーバに文字列を送信するだけで実装できる。提案システムの外観は図1に示すとおりである。

提案システムはサーバとクライアントに分かれており、学習者の端末をクライアントとしてサーバに接続する。学習者が記述したコードから文字列をクライアントに転送しそのデータをサーバに転送する方式とするため、プレイヤーはプログラミング言語を自由に選択できる。なお、サーバプログラムの指定箇所にクライアントプログラムを組み込み、コンピュータ単体で動作させることも可能である。サーバプログラムは、ゲームを定義するためのライブラリ群を有する。クライアントプログラムは、そのライブラリ群の利用を前提で構成されたゲームの制御部で構成される。ゲームの制御部が提供するAPIを使用して作られたプログラムであればゲームを動作させることが可能な構造を有している。

## 4 おわりに

本研究では、汎用的ゲーム作成ライブラリ及びテトリスを用いた学習システムを提案した。

## 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01164, No.19K02987)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 内閣府, 総合科学技術・イノベーション会議 第14回重要課題専門調査会 配布資料6 (2018)
- [2] M. Papastergiou, Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation (2009)
- [3] 花川直己, 富永浩之, ボードゲーム戦略を題材とする応用Javaプログラミング演習の支援と実践: 対戦処理への仮想環境の導入とレーティング指標の改良, 信学技報, 117(65), pp.13-20 (2017).
- [4] J. Reeve, Self-determination theory applied to educational settings, Handbook of self-determination research, pp.183-203, Rochester, NY, US: University of Rochester Press (2002).
- [5] 松尾豊, 人工知能は人間を超えるか: ディープラーニングの先にあるもの, KADOKAWA, pp.50-53 (2015)
- [6] 中山亮士, 平原誠, TD学習を用いたテトリス解法アルゴリズム, 法政大学大学院紀要, 理工学・工学研究科編, 57, pp.1-8 (2016).
- [7] 及川大志, 池田心, テトリスにおけるT-spin構成力向上のための問題作成, ゲームプログラミングワークショップ2018論文集, pp.175-182 (2018).

# 理数系科目学習のためのプログラミング学習システムの開発

広島工業大学 手嶋雄一郎, 岩本朋也, 大下昌紀, 松本慎平

## Developing a Programming Learning System for Science and Mathematics Subjects

Hiroshima Inst. of Tech. Yuichiro Teshima, Tomoya Iwamoto, Masanori Ohshita, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

プログラミングは論理的思考力の養成に大きな学習効果があることは広く知られている[1]. また, プログラミングの思考過程の構造と問題解決の過程には相関があるといった報告もある[2]. これらの指摘を踏まえれば, 論理思考力が求められる学習課題においてプログラミングは有用な学習手段と位置付けることができる. その証拠に, 数学の学習においてプログラミングを学習手段として採用した事例もある[3]. 中等教育機関などで教授される数学・物理でプログラミングを用いる大きなメリットとして, 出力提示に基づきモデル式を対話的に操作でき, それによりモデル式を構成する各変数の役割や全体の機能を理解できる点にあると考えられる. この点に着目し, 二次元関数のグラフ描画シミュレータのプログラミングを学習課題とした教材及びその学習を支援するシステムが提案された[4]. その結果, 一般的な学習法と比較し提案システムの有効性が示されたが, モデル式の理解の深化は見られなかった. その理由として, 自らモデル式を操作しその結果を観測した上で理由を自己説明する活動や, モデル式を拡張した場合の振る舞いの予測とその根拠の説明, 確認と考察といった科学的活動を十分に指示できておらず, モデル式をコーディングしその動作を確認するといった手続き的理解[5]に留まっていたからではないかと考えられる. その他に考えられる理由として, 誤概念[6]が適切な学習を阻害していた可能性がある. 誤概念とは, 科学的に正しくないとされる知識や考え方のことを意味し, 学習前や学習

初期段階に初学者は誤概念を持っている場合が多々見られる. この誤概念は適切な学習や問題解決の妨げとなり得る存在であるため, 誤概念を正しい知識へと変化させる活動が必要となると考えられる. そこで本研究では, 中等教育課程で学ぶ数学のモデル式を対象とし, 学習教材に誤概念の修正やモデル式の変化を観測可能な内容を組み合わせることで, モデル式の理解の深化を促進可能な学習教材開発を目的とする. 本研究では中等教育課程での関数の学習を対象とする. 本研究の取り組みの結果, 数学・物理のモデル式の理解の深化を促進するための学習教材と共に, 学習を支援するシステムを開発できた.

### 2 提案システム

本研究では, シミュレータの操作を通じて学習者の思考を視覚的に表現することで学習者が自分自身で誤りを気付くことができ数学のより深い理解に繋がる[7]といった報告や, シミュレータのようにゲーム開発を題材とした学習は学習者の意欲促進に繋がるといった報告[8]を踏まえ, ゲーム開発を題材とした教材を構築する. この中に中等教育課程で学ぶ数学・物理のモデル式を組み込み, それらの理解の深化を促進するための学習課題を用意する. 具体的には, モデル式を操作しその結果を観測した上で理由を自己説明する活動, モデル式を拡張した場合の振る舞いの予測とその根拠の説明, 確認と考察といった科学的活動を教材の中で指示し, 科学的活動に対応したプログラムの記述・編集を行わせる. 教材の一部を図1に示す.

教材の開発と共に、プログラミング学習により専念できるよう単一画面のみで学習を完結させることが可能な UI を有する学習支援システムを開発する。提案システムの動作画面を図 2 に示す。提案システムは、主に学習者の目標となる模範画面の提示領域、ゲームとして開発するプログラムの入力領域、入力されたプログラムをもとに実行結果をゲームとして出力するための領域の 3 つから構成され、3 つの領域は単一画面内に配置されている。学習者は Web ブラウザさえあれば全ての学習活動を提案システムで行うことができる。なお、本研究は JavaScript を対象とし、ゲーム開発フレームワークである `enchant.js` を使用する。

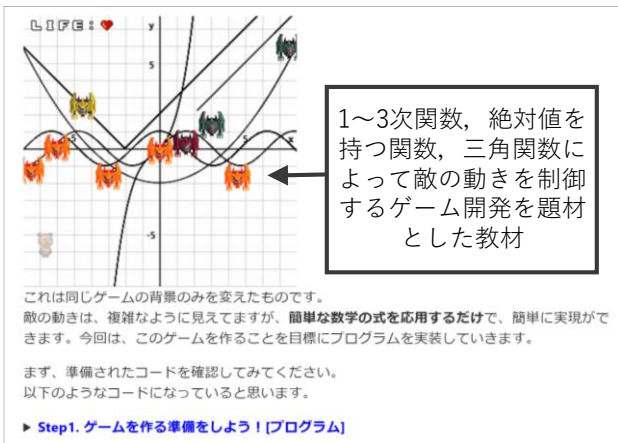


図 1 教材の一部



図 2 提案システムの外観

### 3 おわりに

本研究では、中等教育課程で学ぶ数学・物理のモデル式を対象とし、この理解の深化を促進可能なゲーム開発を題材とした教材を開発した。また、その学習を支援するためのシステムを開発した。

### 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01164, No.19K02987)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- [1] 山本利一, 本郷健, 本村猛能, 永井克昇, 初等中等教育におけるプログラミング教育の教育的意義の考察, 教育情報研究, Vol. 32, No. 32, pp. 3-12 (2016).
- [2] 大場みち子, 伊藤恵, 下郡啓, プログラミング力と論理的思考力との相関に関する分析, 情報基礎とアクセス技術(IFAT), 118 (2), pp. 1-4 (2015).
- [3] 杉野裕子, 数学教育におけるプログラミングの利用`学校図形 Logo`を通して, 教育情報研究, 5 巻, 1 号, pp. 79-89 (1989).
- [4] 岩本朋也, 松本慎平, 基礎数学における関数の本質的理解を支援するためのプログラミング学習支援システムの開発, 第 79 回情報システム研究会, IS-19-048, pp. 11-16 (2019).
- [5] 廣瀬友介, 中本敬子, 蛭田政弘, 数学学習における学習観と学習方略の関係: 大学生を対象とした分析. 文教大学教育学部紀要, 46, pp. 45-56 (2013).
- [6] 篠原智哉, 他, 力と運動に関する誤概念の修正を目的とした Error-based Simulation の開発と中学校での実践的利用, 人工知能学会研究会資料 SIG-ALST-B403-12 (2015).
- [7] 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, 軌跡を題材とした数学の表現変換と能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発と評価, 電子情報通信学会論文誌 D, J101-D(6), pp. 864-873 (2018).
- [8] 栗山裕, 橋下友茂, 山下利之, ゲームプログラミングによる情報教育の評価方法, 日本教育工学会論文誌, 28 巻, pp. 181-184 (2005).

# チャンク単位でのソースコード読解技能の習得を狙いとした プログラミング学習支援システムの開発に関する研究

広島工業大学 三宝帝斗, 大下昌紀, 松本慎平

## A Study on Developing Programming Learning System

### Aiming at Acquiring Source Code Reading Skills in Chunk Units

Hiroshima Inst. of Tech. Teto Sampo, Masanori Ohshita, Shimpei Matsumoto

#### 1 はじめに

プログラムを正確かつ効率的に読むための学習は基本であるため、プログラミング力の向上に特に重要であると考えられている[1]。以上背景のもと、プログラムスライスの土台であるデータ依存グラフを的確かつ効率良く把握する力の習得を狙いとして、コード読解に基づいたプログラミング学習支援システムが開発されている[2]。実際の講義での利用から統計的に有意に早く読解できるようになるなどその有用性が確認されたが、プログラム構造のみに着眼しているためコードの規模は限定され、それゆえ初学者の支援に留まっている。そこで本研究では、従来よりも規模の大きいコード読解を対象としプログラミング中級程度の学習者の読解学習を支援するため、上級者がコード読解の際に適用していると言われているチャンキング[3]に着目する。門田らは、英文読解において学習者が内容を理解する際チャンクによる提示は理解度に関しては大きな影響を与えないが、読解速度を有意に向上させたとしている[4]。このような知見を踏まえると、英文読解での手法をプログラミング読解に適用すること、すなわち、チャンクを活用し学習の効率化を試みることは意義のある取り組みだと考えられる。チャンクに関しては、意味のある部分ごとのセグメンテーションは可読性の向上に有用な意味付けとした Wang らの説明[5]を踏まえると、セグメンテーションにより構成される部分をチャンク単位と見立て利用することは適切だと考えられる。そこで本研究は、チャン

ク単位でのコード読解技能の有用性を調査するためのシステム開発を目的とする。

#### 2 提案システム

プログラミング初学者が中・上級者に差し掛かる段階においては「他者が書いたある程度の規模のコードを読む作業が求められる」とされている一方、読解に対するツールや方法論による支援が乏しく、そのノウハウは一部の熟練者とその周辺のみ閉じられがちであった[6]。技能に頼らず機械的にコード読解を支援する取り組みとして、学習者が読解すべき文を強調表示する(以下ハイライト表示方式とする)手法を用いた読解支援がある[7]。ハイライト表示方式は、着目する任意の行にカーソルを合わせるとその行に含まれる変数に対して静的スライディングを行い、着目されている行及びそれと関係性のある行を強調表示するものである。ハイライト表示方式は課題外在性認知負荷を低減する方法として有効と考えられるが、全て機械に頼るのではなく、ある程度自分の力で要領良く読解できる力も必要であると考えられる。ところで、非本質的な認知負荷を軽減する手法としてチャンクが広く知られており、チャンクの考えを活用した技法であるチャンキングは言語学習においてその有効性が明らかにされている[3]。また、Yubune らは英文の速読教材において、チャンクを順次提示する方法により読解速度の促進が傾向に見られたとしている[8]。そこで本研究では、Yubune らの方式に倣い C 言語のコードで行うこ

とで、コードに対する読解力向上を狙いとした学習方法を提案する。本提案は表示される情報量を必要なものみに制限し、課題外在性認知負荷の軽減により学習効率の向上を期待する。本研究の学術的問は「チャンク単位でのコード読解の技能は有用である」であり、それを実現するための技術課題「ハイライト表示(図1参照)と注目させたいチャンキング箇所以外の部分を非表示とするシステム(図2参照)の開発」が本研究の目的である。

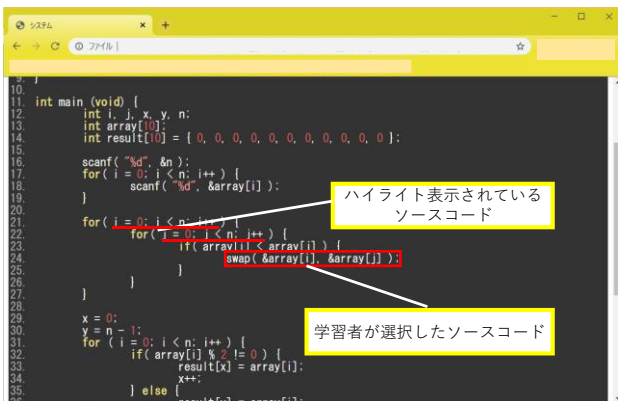


図1 ハイライト表示によるシステム

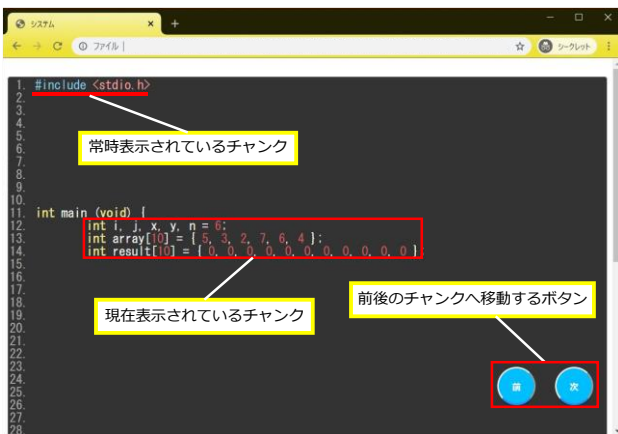


図2 チャンク単位での表示によるシステム

### 3 おわりに

本研究では、チャンク単位でのコード読解技能の有用性を調査するためのシステムを開発した。

### 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01164,

No.19K02987)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- [1] 柏原昭博, 久米井邦貴, 梅野浩司, 豊田順一, プログラム空欄補充問題の作成とその評価, 人工知能学会論文誌, 16, pp.384-391 (2001).
- [2] S. Matsumoto et al., Difficulty Estimation of Knowledge Elements in Source Codes for Reading-Based Programming Learning by Using Neural Test Theory, Proc. of The First IEEE International Symposium on Artificial Intelligence for ASEAN Development, pp.39-44 (2018).
- [3] 湯舟英一, 英文速読におけるチャンクとワーキングメモリの役割 手続き記憶と第二言語習得理論, 人間科学総合研究所紀要, 9, pp.1-20 (2011).
- [4] 門田修平, 野呂忠司, 英語リーディングの認知メカニズム, くろしお出版 (2001).
- [5] X. Wang, L. Pollock, K. Vijay-Shanke, Automatic Segmentation of Method Code into Meaningful Blocks to Improve Readability, 2011 18th Working Conference on Reverse Engineering, pp1095-1350 (2011).
- [6] 田中頼人, 萩野達也, ソースコードの読解におけるソーシャルナビゲーションの導入, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育, pp.85-90 (2007).
- [7] 西松顯, 西江圭介, 楠本真二, 井上克郎, フォールト位置特定におけるプログラムスライスの実験的評価, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.82, No.11, pp.1336-1344 (1999).
- [8] E. Yubune, A. Akinobu, R. Tabuch, EffectS of Different Computer Display Methods of Reading Units on Learners' Reading Efficiency. Language Education and Technology. pp. 215-229 (2017).



# VR 映像観視時の QoE 評価と心拍情報の関係分析

広島工業大学 情報学部 情報工学科 渡邊 博紀, 林 孝典

## Analysis of Relationships between QoE for VR Videos and Heart Rate Information

Factory of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

Hiroki Watanabe, Takanori Hayashi

### 1 はじめに

近年、RICOH THETA や Insta360 など 360 度映像を撮影するデバイスが一般に販売されており、それを視聴するデバイスとしてハコスコや Oculus Go など、数百円から数万円で購入可能な消費者向けの VR (Virtual Reality) 機器も多数販売されている。360 度映像は動画配信サービスを利用して簡単に全方位一人称視点映像を配信・視聴することができ、四角く切り取られた従来の映像と比較してユーザに疑似体験を与えるコンテンツとしてより強い効果が期待できる。ユーザに対して効果的に 360 度映像を提示するためには、ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) に基づいて映像や VR システムを設計する必要がある。

本稿では 360 度映像の画質に対する QoE 評価と心拍情報の関係を分析し、心拍変動から QoE を推定できる可能性について検討した。

### 2 既存研究

QoE を評価する方法として主観品質評価法と客観品質評価法がある。主観品質評価法は評価者が映像品質について主観的に評価する方法であり、360 度映像視聴の主観品質評価法は、国際標準化機関である ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication

Standardization Sector) や映像品質の専門家会合である VQEG (Video Quality Experts Group) によって現在議論が進められている。

一方、客観品質評価法は映像信号や評価者の生体信号などを用いて QoE を推定する方法である。2D 映像視聴時の客観品質評価法として、生体信号の中でも特に心拍情報である RRI(R-R Interval)を用いた研究がある[1][2]。これらの研究では、RRI の周波数解析やローレンツプロットにより求められる値に QoE との関係性が見られること[1]、RRI 変化率がストレス指標として有効であること[2]が報告されている。

本研究では、これらの客観品質評価指標を 360 度映像の画質評価に適用し、360 度映像視聴の QoE 推定尺度としての有効性を検討する。

### 3 心拍情報の計測・解析

#### 3. 1 RRI

RRI (R-R Interval) とは、図 1 のような心電図における周期波形のピーク波の一つである R 波の時間的間隔である。心臓は交感神経と副交感神経の影響を受けているため、RRI を分析することで交感神経と副交感神経の影響から、評価者がどの程度ストレスを受けているかを推定することができる。

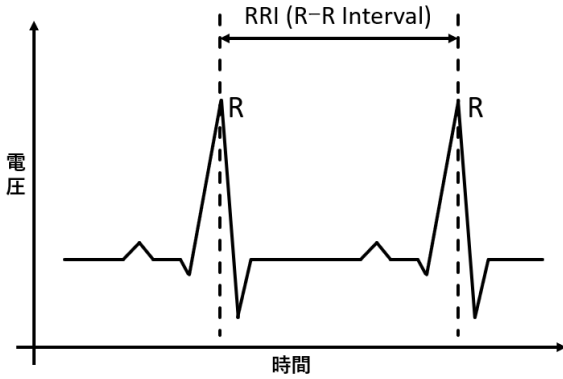


図1 RRI

### 3.2 周波数解析

RRI を AR 法により周波数解析[3]し、図2に示すようなパワースペクトルを算出する。得られたパワースペクトルの 0.05Hz~0.15Hz を低周波数 (LF) 範囲、0.15Hz~0.4Hz を高周波数 (HF) 範囲とし、各範囲内のパワースペクトルにより LF、HF をそれぞれ算出する。LF が全体に占める比率 (LF 比) である  $LF/(LF+HF) \times 100$  を周波数解析により得られたストレス指標として用いる。数値が大きいほどストレス状態であり、数値が小さいほどリラックス状態であることが示される。

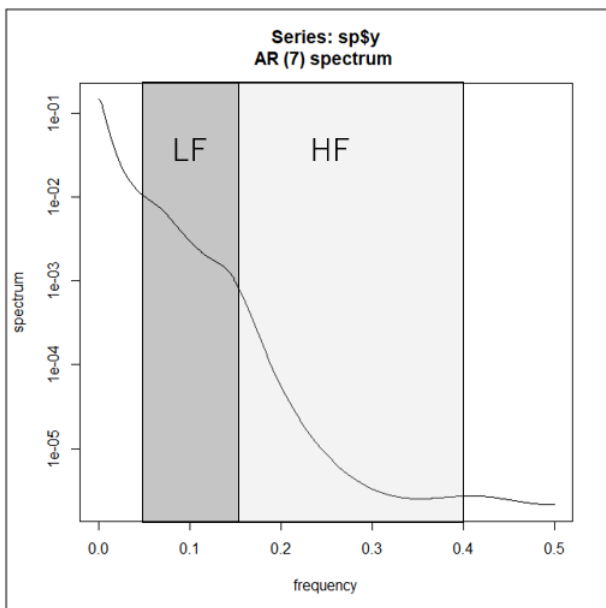


図2 パワースペクトルのグラフ例

### 3.3 ローレンツプロット分析

ローレンツプロットは図3に示すように、時刻  $t$  における RRI を  $x$  座標、時刻  $t+1$  における RRI を  $y$  座標として平面上にプロットしたものである。このローレンツプロットより算出されるストレス指標としてローレンツプロットの原点からプロットの平均座標までの距離  $d$  及び、プロットの分布の分散を長軸・短軸とする楕円の面積  $S$  を用いる。本稿では RRI の個人差によるローレンツプロットのばらつきを抑制するため、各評価者の映像視聴時  $d, S$  を全実験条件の RRI における  $d, S$  の平均値で除して正規化した  $d, S$  を分析対象とする。LF 比は交感神経の活動指標である。数値が大きいほどストレス状態であり、数値が小さいほどリラックス状態であることが示される。

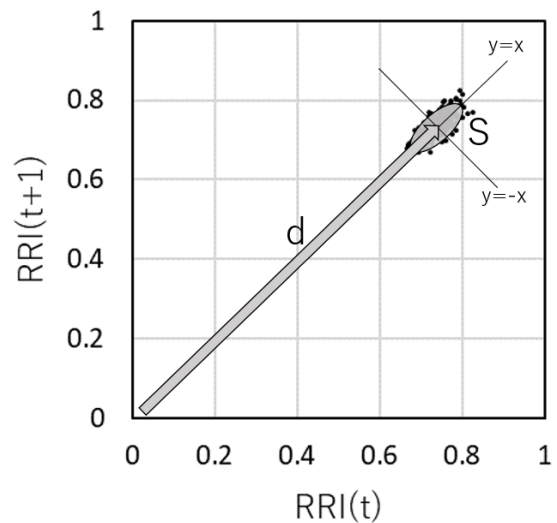


図3 ローレンツプロット例

### 3.4 RRI 変化率

映像視聴時の RRI を安静時の RRI で除したものを RRI 変化率と呼び、これをストレス指標として用いる。ただしこの際、安静時 RRI の代わりに全実験条件の RRI の平均値を用いて分析する。RRI が安静時より大きくなると変化率が 1 を上回りストレス状態であること、下回るとリラックス状態であることが示される。

## 4 実験方法

評価実験では、ヘッドマウントディスプレイ(HMD: Head Mounted Display)としてOculus Go(解像度: 両眼 2560 × 1440p, リフレッシュレート: 60Hz, 視野角: 110度)、心拍計測機器としてPolar H10を用いた。評価映像コンテンツはコンテンツ①: 宮島鳥居前で観光客が往来する映像、コンテンツ②: カメラを囲うように3人がキャッチボールを行う映像の2種類を用いた(音声無し、映像符号化方式 H.264/MPEG-4 AVC、解像度: 5760 × 2880p、フレームレート: 30fps)。これらの映像はInsta360 ONE Xで撮影した3分の映像であり、高画質(15Mbps)、低画質(1Mbps)、高画質の映像から低画質の映像に不定期に切り替わる(画質変化)、3種類の条件の映像を作成した。よって映像の種類は合計6種類となる。評価実験では、コンテンツ①とコンテンツ②を交互に、条件はランダムな順序で提示した。主観評価尺度は総合的な映像品質として、「5: 非常に良い、4: 良い、3: 普通、2: 悪い、1: 非常に悪い」の5段階品質尺度で評価し、品質は評価条件毎に投票された評点を平均化したMOS(Mean Opinion Score)で表した。評価者は、映像品質に対する非専門家(男子学生)10名とした。

## 5 実験結果と考察

映像条件とMOSの関係を図4、映像条件とLF比の関係を図5、映像条件とローレンツプロット分析による正規化された距離及び面積の関係を図6、映像条件とRRI変化率の関係を図7に示す。グラフのエラーバーは95%信頼区間を示す。ただし、図4はLF比の分布が正規分布で近似できないようなものであったため、エラーバーを表示していない。

図4より、MOSは高画質、画質変化、低画質の順に高い。有意水準5%でt検定を行った結果、高画質と画質変化、画質変化と低画質のMOSの間それぞれに有意差があることが分かった。この評

価データと各RRI解析結果で得られたデータを比較し、順序相関のある解析手法について分析する。

図5より、LF比は映像条件に対して有効な変化が見られないことが分かる。このような結果が得られた原因は、ある評価者のLF比において、同一の映像条件の場合でも映像コンテンツが異なると逆の傾向を示す場合があったためと考える。

図6より、正規化したdは映像条件に対して有効な変化があり、MOSと同じ順序で変化していることが分かる。dが小さくなるということはRRIが短くなる、即ち、交感神経が活発になり興奮状態を示している。このことから、低画質であるほど興奮状態になることが分かる。有意水準5%でt検定を行った結果、高画質と画質変化の正規化したdの値の間には有意差が見られたが、画質変化と低画質の正規化したdの値の間には有意差は見られなかった。

図7より正規化したSは映像条件に対して有効な変化がないことが分かる。このような結果が得られた原因は、LF比と同様にある評価者の正規化したSの値において、同一の映像条件の場合でも映像コンテンツが異なると逆の傾向を示す場合があったためと考える。

図8より、RRI変化率はMOSと同じ順序で変化していることが分かる。RRIが短くなるとRRI変化率が小さくなることからRRI変化率が低くなると興奮状態を示す。これより、低画質であるほど興奮状態になることが分かる。有意水準5%でt検定を行った結果、高画質と画質変化の変化率の間には有意差が見られたが、画質変化と低画質の変化率の間には値には有意差が見られなかった。

低画質映像視聴時に興奮状態を示す原因は、高画質映像視聴の際には自然な視覚情報であると知覚されるが、低画質映像視聴の際には不快な視覚情報であると知覚されるためであると考えられる。

以上のことから、360度映像のQoEを推定する手法としてローレンツプロットにより求められる正規化されたdの値とRRI変化率が有効であることが示唆された。

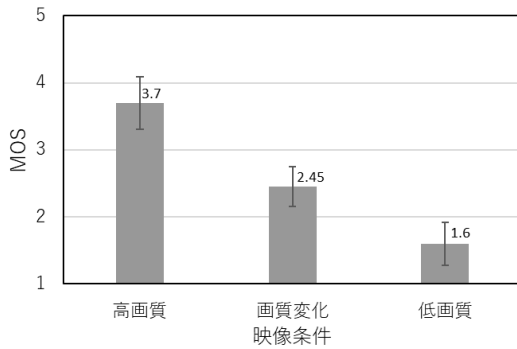


図 4 映像条件と MOS の関係

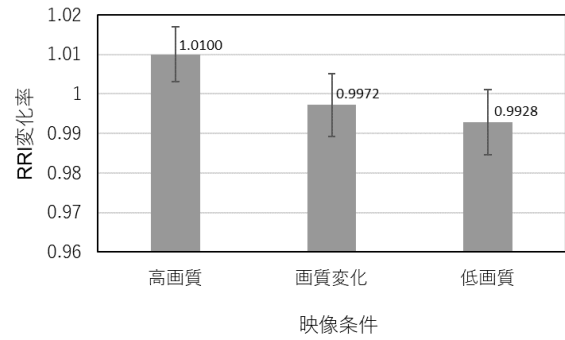


図 8 映像条件と RRI 変化率の関係

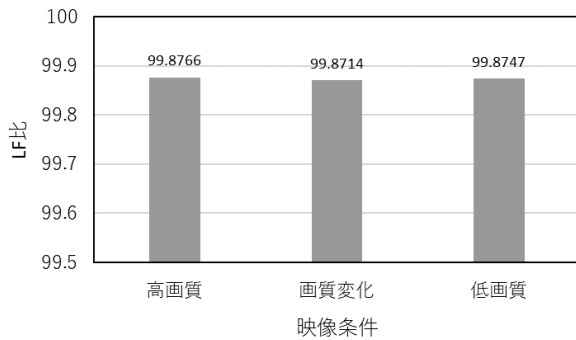


図 5 映像条件と LF 比の関係

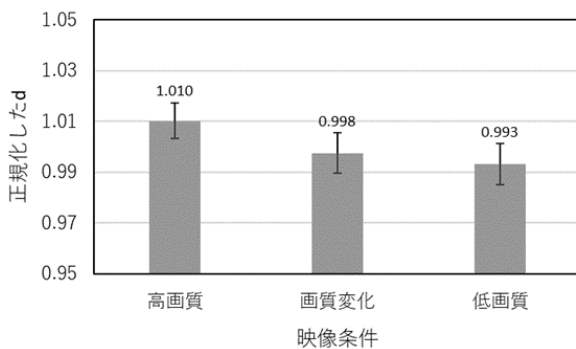


図 6 映像条件と正規化した d の関係

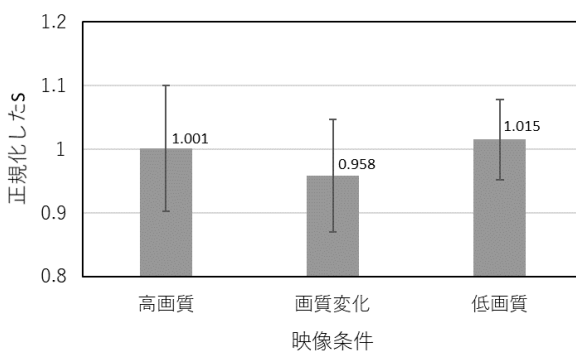


図 7 映像条件と正規化した S の関係

## 6 まとめ

本稿では、360 度映像視聴におけるユーザの主観評価と心拍変動の関係に着目し、映像視聴時の RRI の解析を行った。その結果、ローレンツプロットによって得られる d の値と RRI 変化率に QoE との関係性が示唆された。

今後は、QoE に対して RRI 変化率と d がどのように変化するかの詳細な分析と定式化、RRI 変化率の時系列解析手法の検討を行うことにより、360 度映像の RRI による客観評価法を確立することが課題である。

## 参考文献

- [1] 大田 健紘, 吉野 秀明, 「映像コンテンツ視聴時のユーザ体感品質と心拍変動との関係の一検討」 信学技報 CQ2016-112 (2017)
- [2] 土川 奏, 岩倉 成志, 安藤 章「心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析-AHS の需要予測にむけて-」 土木計画学研究・講演集 (2002)
- [3] “心拍変動時系列とストレス指標の実際 [ストレスと自律神経の科学] ”, [http://hclab.sakura.ne.jp/stress\\_nervous\\_stressindex.html](http://hclab.sakura.ne.jp/stress_nervous_stressindex.html), (2020.02.07 アクセス)

# 逆光線追跡法による液体屈折率と液面レベルの同時計測法

広島工業大学 山田 一稀, 大谷 幸三

## Liquid Refractive Index and Level Measurement Based on Inverse Ray Tracing Method

Hiroshima Institute of Technology Kazuki Yamada, Kozo Ohtani

### 1 研究背景と目的

現代社会で問題になっている糖尿病の患者は、国内で約330万人いるという調査結果が発表されている。糖尿病は、生活習慣を改善することにより、症状を和らげることができる。

そこで、本テーマでは非接触で尿糖を検出し、糖尿病患者の生活改善の指標となる光学式モニタリングシステムの開発を最終目標とする。本研究では、従来の屈折率測定システムの改良・高速化にピックアップして行く。従来の方法では、光線の照射角度を変えてセンサの出力を2回測定する必要があった。そのため、測定時間が長く、角度変更の機構が必要なのがネックとなっていた。そこで、1回の照射で屈折率を測定し、より高速化できる手法を提案する。

### 2 提案手法

#### 2.1 光線追跡法による計測原理

開放容器に満たされた溶液の液面と容器底面から反射する2つの光線を、階段状に並べた2つのCCDセンサで受光して光線の入射位置を調べる。鉛直下向きをy軸正とし、光源から液面までの高さ  $h$ 、容器底面までの高さを  $H$  とする。また、空気、溶液の屈折率をそれぞれ  $n_1$ 、 $n_2$  とする。このとき、未知パラメータが  $h$ 、 $H$ 、 $n_2$  の3つであり、光線追跡法を用いて求める。 $H$  は未知数である屈折率  $n_2$  を含んだ式になるので、照射角度の違う2つの光線を用いた連立方程式を立式して求める。 $n_2$  は目的関数  $Q$  が最小となる値を分析し、導出す

る。

$$Q = \sqrt{(p_{4y_1} - p_{4y_2})^2}$$

1本の光線を照射したときのシステム構成を図1に示す。

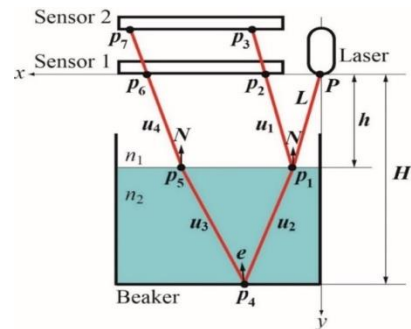


図1 システム構成

また、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_6$ 、 $P_7$ はそれぞれセンサの受光位置ベクトルを表している。2本の光線を用いて求めた容器底面の反射点  $P_4$  の  $y$  成分、すなわち光源から容器底面までの高さ  $H$  が同じであると仮定し、その関係から屈折率  $n_2$  を求めていく。

#### 2.2 半値幅を用いた測定法

幅広の光を照射すると、図2のように、出力分布が幅広い正規分布となる。この山形の出力分布から、半値幅(図2の  $P_{2.1}$  から  $P_{2.2}$ 、 $P_{3.1}$  から  $P_{3.2}$  に該当)を検出する。 $P_{2.1}$  と  $P_{3.1}$  を通る光線を Ray1、 $P_{2.2}$  と  $P_{3.2}$  を通る光線を Ray2 とみなす。Ray1 と Ray2 の投光角度はセンサで検出した入射角度を用いる。

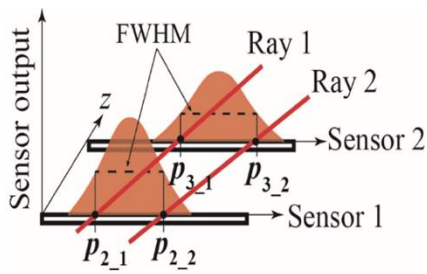


図2 半値幅を用いた測定法

### 2. 3 半値幅測定の自動化

先行研究では、手動による半値幅の測定を行っていた。そのため、高速性や過失誤差の課題が残る。そこで、プログラミングによる自動化を行い、改善を試みた。

### 2. 4 遮光マスクを用いた測定法

遮光マスクは、レーザ部分に図3のような紙で製作したマスクを貼り付け、幅広の光を物理的に2本にするという方法である。半値幅を求めて光線分割する方法に比べ、計算数や誤差要因の削減や2本の光線の角度差が出やすいという特徴が考えられる。図4は遮光マスクを取り付けて光線を出力したときの予想グラフである。グラフは、横軸がサンプリング回数、縦軸が光線の偏差出力となっている。

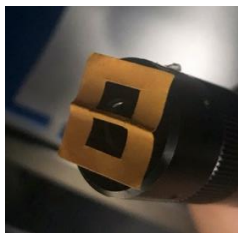


図3 遮光マスク

グラフ出力予想

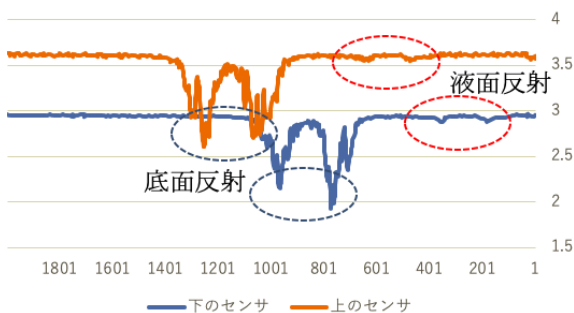


図4 センサ出力

## 3 検証

### 3. 1 半値幅を用いた自動測定

Excel VBA, Excel のセルを使用し、照射された光線の位置と画素出力の測定から半値幅の算出までの流れを自動で行うプログラムを作成した。半値幅を算出は、光線の入射位置をグラフにしたものをベースに行う。例として図1の  $P_6$  付近で観測されたセンサ出力を図5に示す。縦軸がセンサの画素出力、横軸が位置である。鉛直下向きを y 軸正としているので、グラフの最小値が光線の最大画素値となる。半値幅の計算方法については省略するが、計算の結果、算出された半値幅が図5の  $P_{6,1}$  から  $P_{6,2}$  となっている。

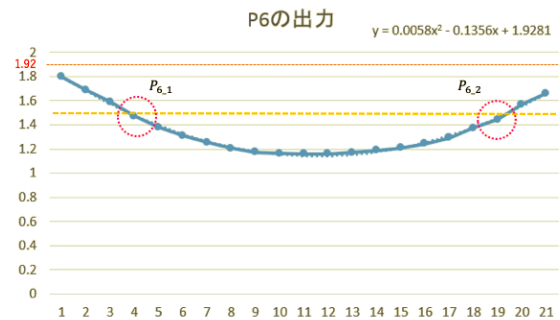


図5 位置  $P_6$  付近の出力分布

また、半値幅を用いて求めた入射位置の座標と2つの光線の角度を表1に示す。座標は原点 P 地点からではなく、センサの設置位置を基準にした値となっている。

表1 光線の入射位置と角度

	$P_2$	$P_3$	$P_6$	$P_7$	Angle(°)
<b>Ray1</b>	6.16	9.22	19.1	21.88	29.07
<b>Ray2</b>	6.26	9.29	19.23	22	29.24

それぞれの算出した角度を比較すると、**Ray1** と **Ray2** で異なる角度を算出できた。よって、異なる投光角度を持つ2本の光線の自動測定を行うことができた。

次に、求めた半値幅の座標を用いて精製水の屈折率を計算した。精製水の屈折率は1.33であるため、計算結果は1.33でなければならない。しかし、

実際に算出された値は 1.00 となった. 正しい値が求まらなかった要因の 1 つとして, センサの設置位置(図 6 の  $P_0$ )が正確ではないことが考えられる.

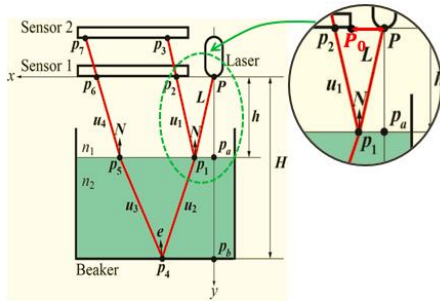


図 6 システム構成の拡大図

従来の方法では, センサの設置位置を物差しで計測し, 表 1 の座標に加算した値で屈折率が求められた. しかし, 当手法では少しの位置のズレが計算に直接影響するため, センサの位置を正確に検出できる方法を考案する必要がある.

### 3. 2 遮光マスクの検討

遮光マスクを取り付け, 液面で反射する光線と容器底面で反射する光線が受光可能かどうかを検証する. 半値幅を求める方法と幅広の光を照射する点は同じだが, マスクの形状に合わせて光線の絞りを調整し, 照射角度を  $20^\circ$  に設定して光線を照射する. 図 3 のような遮光マスクを取り付け, 実際に照射した光線の偏差出力を表したグラフを図 7 に示す.

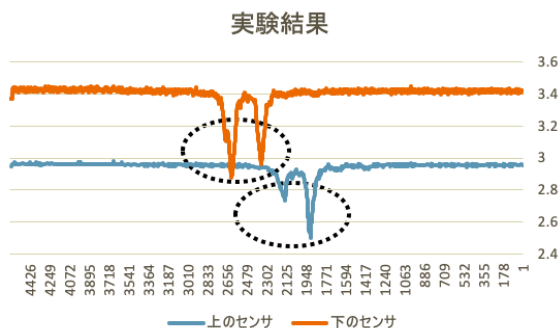


図 7 照射した光線の形状

グラフの点線で囲んだところが容器底面で反射した光線を表している. 図 4 の予想した出力グラ

フと比べると, 容器底面から反射する光線が 2 本ずつ確認できる一方で液面から反射する光線がほとんど確認できなかった. 考えられる原因としては, 光の絞りを広げたことで光が分散し, さらに遮光マスクで全体的に強さが減衰したことが挙げられる. 続いて, 2 本の光線の座標と角度を求めた. 結果を表 2 に示す.

表 2 光線の入射位置と角度

	$P_6$	$P_7$	Angle( $^\circ$ )
<b>Ray1</b>	15.26	18.79	35.15
<b>Ray2</b>	17.00	20.90	37.64

表 1 の半値幅を用いた手法で求めた角度と比較すると, 角度差が大きくなった. よって, 当手法でも角度の違う 2 本の光線を導出することができた.

## 4 結論

2 つの光線分割法を比較すると, 遮光マスクでは各パラメータを求めることができなかつたため, 半値幅を用いた手法の方が現実的であると言える. 今後はセンサとレーザ間の距離測定手段を考案し, 屈折率を求めることができるかを検証する必要がある. また, 測定誤差の度合いによっては遮光マスクの手法を再検討し, マスクや実験環境の改良を考える必要がある.

## 参考文献

- [1] 大谷幸三, 馬場充, 小西忠孝: スポット光の入射位置と入射角度の 1 次元同時検出センサの提案, ”計測自動制御学会論文 “vol.37, no.9, pp.799-806, 2001
- [2] 鐵原真穂, 大谷幸三: 光線追跡法による液体濃度センシングの高速・高精度化, 2019
- [3] 山田一稀, 大谷幸三, ”逆光線追跡法による液体屈折率と液面レベルの同時計測法, ” 第 36 回センシングフォーラム, 2P1-7, 2019.8

# 2019年度広島工業大学開講科目「地域課題解決実習

## (廿日市市のビジネスアイデア立案)」成果報告

広島工業大学 松本慎平, 山岸秀一

### Accomplishment Report on Business Idea Planning for Hatsukaichi City Conducted at Regional Problem-Solving Training, an Elective Subject in Hiroshima Institute of Technology

Hiroshima Inst. of Tech. Shimpei Matsumoto, Shuichi Yamagishi

#### 1 はじめに

自立し持続可能な地域社会を構築するためには、地域の商工業、地域コミュニティの活性化は不可欠である。これから社会に巣立つ学生が地域貢献に携われる第一歩として、学生個々の意見や想いを共同体に伝達でき、それを運営等に生かしていけるような仕組み作りと共に、地域の環境に即した持続可能な社会を自分たちの手で形成していこうとする意識、倫理観、人間力を養成できるような場が高等教育機関の中で求められている[1]。

以上の背景を踏まえ、広島工業大学では地域課題解決実習(廿日市市のビジネスアイデア立案)(以降、本講義と略す)と名付けられた講義が廿日市商工会議所と連携して設置された。廿日市地区の商工業を活性化し、廿日市振興につながる案の検討と実働を行い、以下に掲げる項目を身に付けること、それら項目で掲げられた活動が最終的には持続可能な地域社会の構築に必要な点であることを理解すること、の2点が目的と位置付けられている。

- ・ 地方都市及び地域コミュニティの現状を分析・理解し、それらが抱える問題発見力を身に付ける。
- ・ 発見した問題に対する提案をまとめ、分かりやすく伝える力を身に付ける。特に、実コミュニティとの接触を通じて、多世代コミュニケーション力を身に付ける。
- ・ 活動全般を通じて、大学と社会とのつながり

を理解する。そして、地域の中での大学生の役割、あり方を自覚する。

- ・ 地域社会へのコミットメントから、アイデンティティ確立のための材料を得て、社会での自分の役割を常に意識する習慣を身に付ける。
- ・ 自分たちの活動について、ソーシャルメディアを用いて社会に広く発信することで、情報発信力を身に付ける。自分たちの取り組みを適切かつ効率的に社会に伝播及び認知させるための方法論を学ぶ。このことにより、実績をまとめることの大切さ、実績を社会に発信することの必要性を理解する。

この度の研究会では、令和元年度に開講された受講者の成果の報告を目的とする。本稿では、講義の内容や講義の一部紹介、担当教員が本講義に期待することなどを述べる。

#### 2 講義のシラバス

本講義のシラバスは次に示すとおりであり、各90分授業全15回で構成される。対象受講者は、1年～4年、全学科学生である。

1. ガイダンス、地域課題解決実習の目標、狙いの確認
2. 廿日市商工会議所の業務の理解
3. 廿日市商工会議所の現在の取り組みの理解
4. 廿日市の商工業の理解



5. 廿日市商工会議所が取り組む課題の理解
6. 地域における商工業の在り方の模索, 商工業の従来への役割
7. 地域の持続的発展に向けての商工業の役割, 在り方の検討
8. 中間発表・成果まとめ
9. アイディア発想法による地域の商工業活性化に向けての課題抽出
10. 他地域での事例の調査
11. デジタルトランスフォーメーション時代における地域の商工業の新しい形
12. 商品, サービスのデザイン化による地域の商工業活性化への可能性検討
13. ソーシャルメディア活用による商工業活性化への可能性検討
14. データドリブンによる地域の商工業活性化への可能性検討
15. 最終発表, 成果まとめ

### 3 外部講師の招聘

本講義では, 地域で活躍する外部講師を招聘して, より実践的な授業を実施した.

- ・ 近年, 圧倒的なリーチ力と求心力を持つユーザーの感性を活かし, 地域活性化の促進を目的としたプロモーションの方法が提案され, また大きな成功例を生み出している. このような背景を踏まえ, 小西ちはや氏を招聘し動画編集技術に関するご講演を頂いた.
- ・ 一般社団法人地域ブランドプロデューサー協会代表理事, Familia Create 代表の川本真督氏を招聘し, 地域をプロデュースする際に必要なこと, 地域活性に対する想い, 地域活性が必要とされる社会背景, 目指す廿日市の未来などについて, これまで川本氏がプロデュースされてきた事業をご紹介頂きながらご講演頂いた.
- ・ 廿日市商工会議所と広島工業大学とは「牡蠣くるみ」を主軸とした地域活性の取り組みを従来から産学連携で推進しており[2], その成果は地域社会で既に広く知られている. 本講

義では牡蠣くるみの推進責任者である平野史織氏を招聘し, 飲食店マップの現状理解, Web や LINE を広報メディアとして活用した地域情報発信の方法についてご講演頂いた. また, 地域の持続的発展に向けての商工会議所の役割・在り方, 廿日市地区の資源をブランディングする方法についてご講義を頂いた.

### 4 おわりに

本稿では, 講義の内容や講義の一部紹介, 担当教員が本講義に期待することなどを述べた. 本講義を通じて感じた担当教員の印象に過ぎないが, 従来地域に関心が低い学生であっても, 本講義のような場があれば地域に興味を持ち主体的に取り組む傾向にあることは事実である. 教育学的なフレームワークを当てはめ学生と地域のギャップを埋めるアプローチは, 地域活性化のひとつの有用な策と考えられる. よって, 本講義を設置する意義は大きいと考えられる. 自分たちの地域を自分たちでより良くするという考え方は「誰もがユーザで誰もがコントリビュータ」という「オープンソース」の考え方と一致が見られる. よって, ソフトウェア開発のプラットフォームに採用されている要素を今後本講義に積極的に取り入れていきたいと考えている.

### 謝辞

本科目は, 広島工業大学及び廿日市商工会議所関係者の多大なるご支援を受けて実施した成果である. ここに記して謝意を表します.

### 参考文献

- [1] 小林洋平, 内海康雄, 地域の課題を通して育成する社会実装型技術者育成プログラムの開発, 工学教育研究講演会講演論文集 第 67 回 年次大会, pp. 90-91 (2019).
- [2] 大杉将輝, 松本慎平, 山岸秀一, Web による地域のための効果的な情報発信手法の検討, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会講演論文集, pp. 108-109 (2016).