

**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  
2018年度第3回研究会講演論文集**



開催日 : 2019年2月21日(木)

開催場所 : 広島工業大学五日市キャンパス Nexus21 10階スカイテリア  
〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

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

参加費 : 無料



## 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 松本慎平（日本経営システム学会「イノベーション指向データ分析」研究会主査）

### 第1部：研究発表会(講演6分, 質疑2分) 座長：加藤浩介

13:05-14:00 セッション1

14:05-15:15 セッション2

### 第2部：基調講演(講演25分, 質疑5分) 司会：山岸秀一

15:30-16:00 垣内洋介（広島工業大学情報学部准教授）

16:00-16:30 健山智子（広島工業大学情報学部助教）

### 情報交換会

16:45-17:55

### 閉会挨拶

17:55-18:00 山岸秀一（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(発表 6 分, 質疑 2 分)

### 13:05-14:00 セッション 1 座長 : 加藤浩介 (広島工業大学情報学部)

pp. 1-2

題目 : 輝度値分布を考慮した MR 画像からの膝半月板自動抽出

著者 : 上原由香里, 前元菜摘, 秋山佑輝, 健山智子, 松本慎平 (広島工業大学)

pp. 3-4

題目 : 肝臓情報抽出のための確率アトラス生成とそのデータベース構成

著者 : 秋山佑輝, 前元菜摘, 上原由香里, 健山智子, 松本慎平 (広島工業大学)

pp. 5-6

題目 : ソースコード読解におけるチャンク方略に関する基礎研究

著者 : 倉本隼, 藤山翔太, 三宝帝斗, 平野拓真, 松本慎平 (広島工業大学)

pp. 7-9

題目 : 360 度映像を利用したコミュニケーションツールの研究・開発

著者 : 岡本崇寛, 山岸秀一 (広島工業大学)

pp. 10-12

題目 : 360 度映像の画質と臨場感に対する主観評価

著者 : 河野太一, 林孝典 (広島工業大学)

pp. 13-14

題目 : トグルを用いた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効果及び  
認知負荷の基礎分析

著者 : 作田康陽, 西山颯, 村上瑠香, 森永笑子, 松本慎平 (広島工業大学)



## 14:05-14:15 セッション2 座長：加藤浩介（広島工業大学情報学部）

pp. 15-16

題目：STEAMによる学習教材のためのブロックプログラミングシステムの提案

著者：森山巧，中丸裕斗，神垣智大，岩本朋也，松本慎平（広島工業大学）

pp. 17-18

題目：初学者向けプログラミング学習システムのための支援機能の検討

著者：小田樹，村上凌太，買田康介，濱田浩平，大下昌紀，松本慎平（広島工業大学）

pp. 19-21

題目：拡張・仮想現実技術による水害体験システムの研究・開発

著者：高橋朋紀，山岸秀一（広島工業大学）

pp. 22-24

題目：遠隔映像監視アプリケーションにおける映像品質と操作性の関係分析

著者：竹岡宏晃，林孝典（広島工業大学）

pp. 25-26

題目：動画学習でのエージェント利用に関する実験方法の検討

著者：岸直哉，関涼佑，松本慎平（広島工業大学）

pp. 27-32

題目：能力創造型および能力活用型海外子会社が生成するスピルオーバー効果の可視化

著者：森川未彩，佐藤真奈，川勝英史（尾道市立大学）

pp. 33-35

題目：超々臨界圧火カプラントで使用されるボイラチューブ鋼材の基本物性に関する理論的研究

著者：岩永昂平，山岸秀一（広島工業大学），杉内栄（中国電力）

## システムの機能検証・設計自動化

垣内洋介

広島工業大学情報学部 准教授

情報通信技術が身近になるにつれ、安心安全な情報社会に対する関心は高まっており、また、情報システムの不具合が社会に大きな影響を及ぼす事案も増えてきた。情報セキュリティの面からソフトウェアを安全に運用することはもちろんだが、そもそもシステム自体に誤りが無く、仕様との齟齬が無いことが厳密に求められている。本発表では、そういったシステムの誤りを発見し、混入を防ぐための手法として、システムの機能検証、特に形式手法を用いた自動検証や設計自動化について取り上げる。これらの手法では網羅的な探索を行うことで、人間が気づかない誤りを発見することが可能である。実際にいくつかの事例を紹介しつつ、基本的な技法について解説する

## データサイエンスに基づく情報可視化と その有効性検証のための応用

健山智子

広島工業大学情報学部 助教

知的情報可視化研究センター センター長

我々はこれまで、データサイエンスに基づき、医用画像解析、医用情報可視化、画像解析・認識、 $V$  空間への情報可視化と、幅広くその効果について解析を行っている。本講演では、これまでの成果を踏まえ、情報可視化によってもたらされる技術評価、新たな可視化技術とその応用について議論する。本講演の構成は、以下の通りである。まず、情報可視化を検討するためのビックデータ解析の定式化を議論し、その応用として、医用画像解析、医用情報可視化について議論する。次に、収集されたデジタル広告画像内から機械学習にもとづく広告画像のキーワード抽出のための文字領域の特定とデータベース構成を述べる。最後に、大学のキャンパスをメインに、スマートフォン技術を用いた大学キャンパス体験システムの開発と評価手法の提示について議論する。

# 輝度値分布を考慮した MR 画像からの膝半月板自動抽出

## Automatic Extraction of Knee Meniscus from Magnetic Resolution Image based on Intensity Distribution

上原 由香里, 前元 菜摘, 秋山 佑輝, 健山 智子, 松本 慎平

○Yukari Uehara, Natsumi Maemoto, Yuki Akiyama, Tomoko Tateyama, Shinpei Matsumoto  
広島工業大学

Hiroshima Institute of Technology

### 1 研究目的

CT や MR 画像などの高精細医用画像は、0.5mm 以下の分解能で人体内部情報の取得が可能であり、臨床行為において、有用な情報が提示される。この高精細医用画像には、疾患に対する多くの重要な情報が含まれる一方、その情報量は非常に膨大である。そのため、限られた時間で読影を求められる読影医にとってもその作業量とコストは膨大であり、この解決として、高度な計算機能から臨床画像内の重要な情報を効率的かつ正確に取得・提示を可能とする計算機診断支援 (Computer-Aided Diagnosis: 以降 CAD) システムの確立が臨床現場より切望されている。本研究では、今回、膝関節領域、とくに膝軟骨領域の解析に着目した CAD システムの開発を目指す (図 1)。

膝関節領域には、大腿骨を中心に、靭帯・骨格間のクッションの役目である軟骨領域、関節液などの組織から構成されている。そのため、CT やレントゲン画像から観測が難しく、MR 画像からそれらの組織情報が観測される (図 2)。また、膝軟骨領域には、靭帯・半月板領域が含まれており、その各領域は、解剖学的な位置でも隣接しているだけでなく、MR 画像内においても輝度値情報は極めて類似しているため、経験豊富な臨床医でもその領域の区別は非常に難しいこの領域間の区分理解は、膝領域の損傷度合いの診断精度向上につながる。

以上を踏まえ、本研究では将来の膝領域損傷度合いの診断支援システム開発を目指し、今回、本研究では、膝関節領域内における軟骨領域の構造解析に焦点を置く。まず、この解剖学的特徴を MR

画像から視認するため、今回本研究では、MR 画像内における対象領域の輝度値情報解析からその解剖学的特徴に迫る。

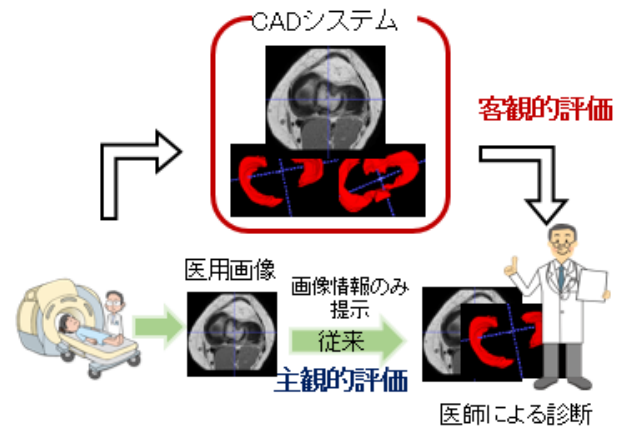


図 1 : 膝軟骨領域可視化のための CAD システム

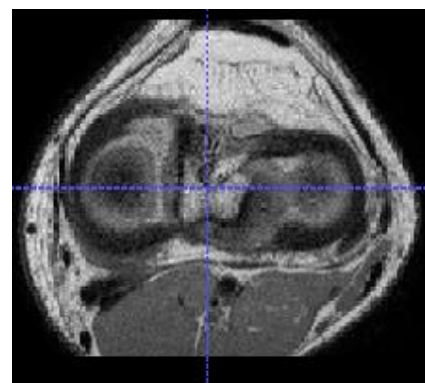


図 2 : 膝関節領域の MR 画像

### 2. 膝関節領域の臨床 MR 画像

図 2 の臨床データからも確認できるように、十字靭帯及び半月板領域の輝度値が類似しているが、区別できることから、どのような特徴をもっているか解析をする必要がある。今回は濃度値分布で検討を行った。

本研究では、共同研究先の霞クリニックで撮像された PDW VISTA TRA の条件での MR 画像を用いた。医師の指導の下、MR 画像からの膝半月板の特徴(濃度値, 形状, 空間上の位置)を用いて、ITK-SNAP [5] 上で、手動で抽出を行う。ボクセルサイズは  $0.4688 \times 0.4688 \times 0.35$  である。

### 3. 輝度値分布による膝構造の解析

MR 画像からの膝軟骨全体、半月板領域の輝度値分布を求めため、臨床医指導の下、まずは手動で半月板領域と膝軟骨領域をそれぞれ抽出する。その結果を図 3 に示す。また、この抽出した領域から輝度値ヒストグラムの分布を図 4 に示す。

図 4 より、靭帯領域と半月板領域はほぼ同じ輝度値範囲に属していることが確認できた。また、わずかながら、靭帯領域より半月板領域の平均と分散は右寄りの分布になっていることも同時に確認された。

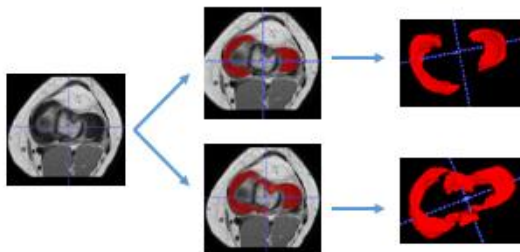


図 3: 学習データからの半月板領域(上)と靭帯領域の手動抽出(下)と 3次元形状モデルの表現

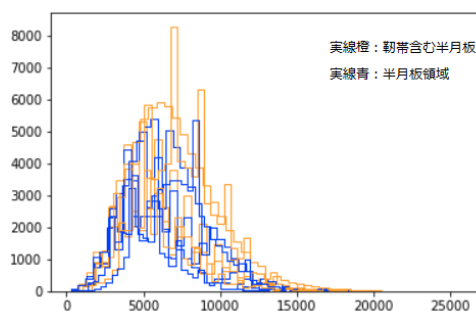


図 4: 靭帯領域と半月板領域の輝度値ヒストグラム

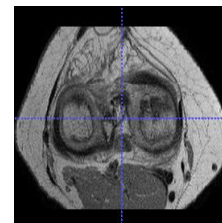
### 4. 最尤推定法を用いた半月板領域の抽出結果

輝度値ヒストグラムの結果に基づき、膝半月板領域の輝度値分布の平均と分散から半月板領域の推定を行う。今回、その推定法には、最尤推定法を用い、下式となる。

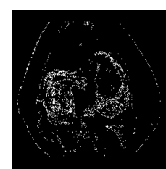
$$L(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x_k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここで、学習データにおける  $\mu$ : 輝度値の平均値、 $\sigma^2$ : 輝度値の分散を示す。また、 $x_k$  は、画素番号  $k$  における輝度値である。結果を図 5 に示す。

5 症例の場合、学習データ数が少ないため、軟骨領域以外に軟骨液領域も同時に抽出され、また、10 症例・15 症例と学習症例が増えると、半月板以外の領域抽出が抑制されつつあることも同時に確認できた。今後は学習データ数を増やす必要があることが同時に示唆された。



(a) テスト画像



(b) 症例 5



(c) 症例 10



(d) 症例 15

図 5. 最尤推定を用いた半月板領域の半自動抽出

## 5 結論

膝領域に対する計算診断支援システム構築を目指し、医用画像の輝度情報を用いて膝軟骨領域の構造解析を行った。軟骨組織は MR 画像内において、輝度値分布が低く存在することをヒストグラムから確認された。この特徴を踏まえ、最尤推定法に基づいて輝度値から領域情報を抽出したが、他領域も同時に抽出された。今後、確率アトラスなどの形状特徴の解析を導入することが本研究の今後の展望である。

## 参考文献

- [1] 藤田, 原, 周他: 計算解剖モデルの構築 / innervation Vol129 N011 PP13-18. 2014
- [2] 陳, 上谷, 健山他: 肝臓の統計形状モデルの構築と肝硬変症支援診断への応用, INNERVISION Vol. 31, No. 7, p33-36, 2016.
- [3] [3] ITKsnap : <http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php> (Last access: 20017/10/03)

# 肝臓情報抽出のための確率アトラス生成と そのデータベース構成

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

秋山 佑輝, 前元 菜摘, 上原 由香里, 健山 智子, 松本 慎平

## Probabilistic Liver Atlas for understanding Organs information and Its Database Construction

Yuki Akiyama, Natsumi Maemoto, Yukari Uehara, Tomoko Tateyama, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

高精細医用画像の進展により、わずか 1mm 以下の解像度で人体内部の詳細な情報が観測される一方、限られた時間内で読影を行う医師にとって、その情報量は極めて膨大であり、計算機による効率的な可視化支援ならびに収集されたデータの効率的な整備方法の確立が求められる。このようなシステムを計算機支援診断システム (Computer Aided Diagnosis (CAD)) といい、本研究では、今回、MR 画像から情報取得するための肝臓 CAD システム確立を目指し、特に空間・形状に着目するため、確率アトラスを生成する。また、確率アトラスを生成するためには、数多くの症例数が必要であり、その症例に対してアクセスのしやすさなども求められる。本研究では、その情報整備についても検討する。

### 2 肝臓情報の取得

本研究では、図 1 に示す、肝臓造影された MR 画像より確率アトラスを生成する。図 1 の画像からも確認できるように、MR 画像内で肝臓情報が視認できるが、画像内のコントラストが非常に引く、そこで、本研究ではまず、肝臓情報を取得しやすいように、コントラスト調整する、コントラスト調整した画像は図 2 である。この調整により、より肝臓情報が取得されやすい。この調整された

医用画像から、今回、正確な形状解析をすべく、肝臓情報を手動で MR 画像から取得する。今回、本研究で用いる症例数は、30 症例であり、その症例数の違いで構成される確率アトラスの違いについても議論する。

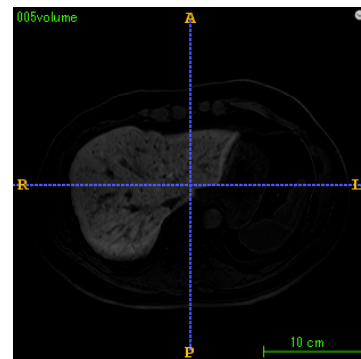


図 1 肝臓造影の MR 画像

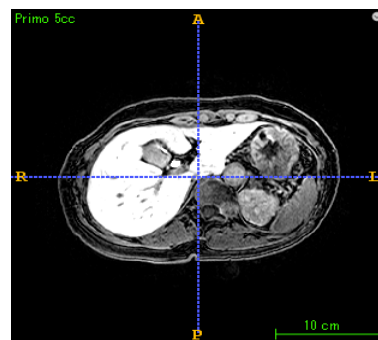


図 2 コントラストを調整した MR 画像



### 3. 確率アトラスの生成

確率アトラスとは、抽出された臓器情報をもとに、その対象となる臓器の空間的な存在確率と形状情報を示す情報である。確率アトラスの生成について、式(1)に示す。

$$\mathbf{V}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_i \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{V}_n$ : 症例数  $n$  の確率アトラス、 $\mathbf{V}_i$ : 症例番号  $i$  の肝臓情報が手動抽出されたボリュームデータをそれぞれ示す。

$\mathbf{V}_i$  は手動抽出されたデータであるので、このボリュームデータは、存在を 1、その他の領域は 0 として定義されている。故に、この式(1)からも理解できるように、確率アトラスは、ボリューム内において、その対象となるボクセル上での臓器情報の存在平均を示しており、その存在が空間的な存在確率となっている。

図3に本研究で求めた確率アトラスを提示する。各アトラスは、(a) 5 症例、(b) 10 症例、(c) 20 症例、(d) 30 症例でそれぞれ構成した。これらの確率アトラスからも確認できるように、少数症例では、その確率は非常に粗く提示されており、症例数を増やすことで、より詳細な情報を提示していることが確認された。

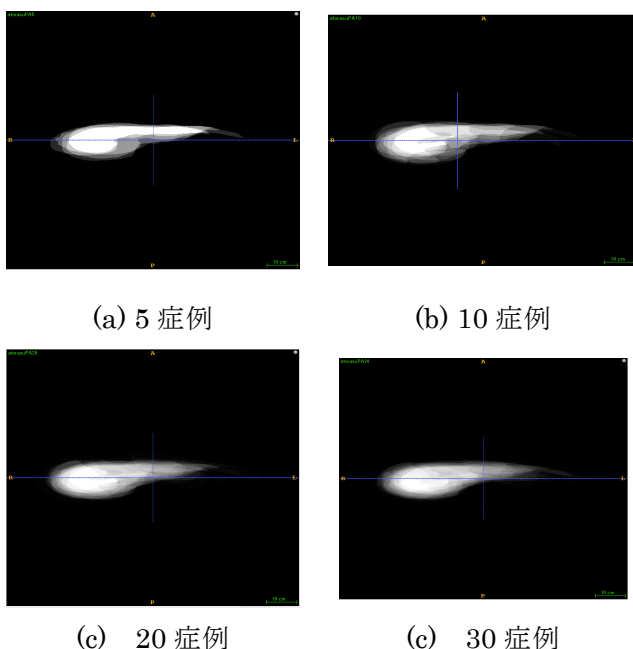


図3 肝臓情報の確率アトラス

	40%	50%	60%	70%
5 症例				
10 症例				
20 症例				
30 症例				

図4 目標販売数量と累積期待利益の推移

図4に、実際のMR画像と作成した確率アトラスを重畳した結果を示す。この結果からも確認できるように、5 症例の 40% のアトラスは広く情報が取得されているが、十分な取得につながっていない。これは、学習の症例数が少ないため、形状の網羅ができていないためである。30 症例の 70% では、明確に、肝臓の場所を提示しているが、その取得される領域が低いことが確認できた。十分な情報を提示する確率アトラス生成のためには、学習の症例数の増加が重要であることが、本結果から確認された。

さらに、この確率アトラスを生成するためには、データの整備が重要である。そのため、学習症例へのアクセス整備が重要であり、この整備によって疾患症例や正常症例アトラス生成も可能となる。

### 4 結論

臓器の空間的な位置情報と形状情報を理解するため、本研究では 30 症例の肝臓確率アトラスを生成し、その特徴について議論を行った。症例数増加により、より詳細な空間位置と形状の提示が可能であることから、今後、症例数を増やし、より詳細な情報を提示できるアトラスを生成する。

本研究遂行にあたり、データ提供ならびに臨床アドバイスを頂いた広島大学病院放射線科に謝意を示す。

### 参考文献

- [1] 李, 健山, 陳他, “Iterative 確率アトラスとテンプレートマッチングを用いた肝臓セグメンテーション 信学技報 115(139), 13-17, 2015.

# ソースコード読解におけるチャンク方略に関する基礎研究

広島工業大学 倉本隼, 藤山翔太, 三宝帝斗, 平野拓真, 松本慎平

## A Basic Study on Chunking Technique for Source Code Reading

Hiroshima Inst. of Tech. Hayato Kuramoto, Shota Fujiyama, Teto Sampo, Takuma Hirano, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

プログラミングのほとんどはコードを読む時間[1]とされている。よって、ソースコードを正確かつ効率的に読めるようになるための学習は、プログラミング力を向上させるために重要であると考えられる。このような背景のもと、プログラムソースの内的構造の把握と適切な読解力の学習を狙いとしたソースコード読解学習システムが開発されている[2]。この先行研究では、読解学習の目的を「要領良くプログラムを読めるようになること」と位置付けている。すなわち、認知負荷理論[3]の知見を踏まえ、力を入れるべきではない非本質的な作業に対しては極力手を抜くべきであると考えている。ただし、「要領良くある」ためにも相応の技能が必要であるため、その技能の獲得が読解学習の狙いとされている。読解における「要領の良さ」として、先行研究では、プログラムの構造を把握する力とされているが、本研究では、プログラムの部分を適切にチャンキング[4]する力も該当すると考えている。そこで本研究では、チャンク方略そのものがプログラミング読解に役立つことを実験的に明らかにするため、実験方法及び評価方法の検討を目的とする。

### 2 従来の研究と本研究の特徴

チャンクとは「1つのまとまった意味単位として一時的に記憶し処理される項目」であり、人間の短期記憶における情報処理容量を調査した結果考えられたものである[4]。チャンクを利用した考えとは、複数の情報のまとまりを一つにまとめる

ことで、物事のイメージをより明確にすることである。チャンクはもともと英文読解において広く知られた認知技法であり、チャンキングを利用することで英語初級学習者の英文理解度が増すということが明らかにされている[5]。チャンクによるリーディング効果としては、文章の内容を記憶する認知負荷の軽減[6]や、読解速度の向上[7]が認められている。このように、チャンクとは読むスキルであり、プログラミングの読解学習においても重要であると考えられる。なお、本研究では、ソースコードを意味のある部分に分け、内容を理解して再びつなぎ合わせることや、ソースコード内の役割を持った塊を見分けるなど、チャンクを利用することで円滑に読解を行うための技能をチャンク方略とする。このような設定のもとで、本研究の狙いは、チャンク方略を学習者に学ばせることによってプログラム読解力をより高めることが可能な教授法を構築し、それにより学習者を本質的学習に集中させ、結果として読解力を向上させることとする。以上の前段階として、まず、「プログラミングにおける読解学習でチャンク方略を採用することは、学習時間の短縮やより適切(正確)な読解の向上に役立つのか」を実験によって事前に明らかにする必要があると考えられる。

### 3 研究方法

読解における「要領の良さ」として、先行研究では、プログラムの構造を把握する力とされている。この点について、本研究では、プログラムの部分を適切にチャンキングする力も該当すると考えている。そこで本研究では、要領良くあるための技



能としてチャンキングを捉える。チャンク方略の有用性を議論するうえで、本研究はまず、ソースコードの読解とチャンキングの関係性について調べる必要がある。そのため、ソースコード読解問題においてどのような対象にチャンキングが有効であるか、逆に有効ではないのかなどを予備実験で調査する必要があると考える。

#### 4 実験方法

採用した被験者 20 名を実験群と統制群に分け、異なる環境でソースコードの読解問題を提示する。なお、問題は「n=15 が入力された場合に出力される値を答えなさい」といった形式とする。実験群はチャンク方略を採用する群、統制群はチャンク方略を採用せずに 1 行ずつ文字を読解する群とする。実験群・統制群共に 10 名ずつとし、事前テストにより同程度の C 言語の理解度を有することを確認したうえで被験者を 2 群に分割する。両群には事前にチャンクについての説明を十分に理解できるまで行い、実験群にはチャンク方略で徹底して速読するよう指示し、統制群に対しては、たとえチャンク方略ができる技能を有していたとしても 1 文字ずつ文字を読んで処理の流れを追うように指示する。このような設定であるため、高度なチャンク技能を有する被験者を実験群に優先的に割り当てる。問題の提示方法は先行研究[2]と同等とする。読解問題は、繰り返しを含む 5 問(問 1-5)と条件分岐を含む 5 問(問 6-10)の計 10 問で構成する。実験では読解問題の正答率と回答時間を計測し、これらデータと主観アンケートをもとにチャンク方略の有用性を検討する。

#### 5 結論

本研究ではチャンク方略に基づいたプログラミング学習法を提案し、ソースコードの読解とチャンキングの関係性を明らかにするための予備実験の方法を示した。今後は実験結果を明らかにすることを目的として研究を進める。

#### 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)16K01147, 17K01164)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] D. Boswell and T. Foucher, The Art of Readable Code (Theory in Practice), O'Reilly Media (2011).
- [2] K. Okimoto et al., Developing a source code reading tutorial system and analyzing its learning log data with multiple classification analysis, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol.22, Issue 2, pp 227-237 (2017).
- [3] J. Sweller, J. Merrienboer, F. Paas, Cognitive architecture and instructional design, Educational psychology review, Vol.10, No.3, pp.251-296 (1998).
- [4] G. Miller, The psychology of communication: seven essays. Penguin Books (1967).
- [5] 柳瀬学, 英文読解におけるチャンキング指導が日本人初級英語学習者にもたらす認知効果, STEP BULLETIN, 20, pp.137-143 (2008). %. 日本英語検定協会
- [6] N. Ellis, Memory for Language, In P. Robinson (Ed.) Cognition and second language instruction, pp.33-68, Cambridge: Cambridge University Press (2001).
- [7] Newell, United Theories of Cognition. MA: Harvard University Press (1990).

# 360 度映像を利用したコミュニケーションツールの研究・開発

広島工業大学 岡本 崇寛

広島工業大学 山岸 秀一

## Research and development of communication tools using 360 degree video

Hiroshima Institute of Technology Takahiro Okamoto

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

### 1 研究目的

近年、バーチャルリアリティ (VR) 技術が大きな注目を集めている。以前は、VR 機材が高価であり、また、移動や設置も容易ではなかったため、個人での利用は困難であった。しかし、2016 年を境に、一般ユーザ向けの比較的安価な頭部装着ディスプレイ (HMD) が発売されるようになり、個人での入手も容易になってきたため、VR の普及が急速に進んだ。それに伴い、スポーツ、エンターテインメント、観光など、様々な分野で 360 度映像が活用されるようになってきた [1]。中川らは、VR を災害対策などに対応するべく、360 度映像を複数人で視聴することが可能なシステムを開発した [2]。しかし、この研究では、遠く離れた視聴者同士がコミュニケーションを取ることは難しい、また、リアルタイムの映像を視聴することができない、といった問題がある。そこで、本研究では、HMD に搭載されているヘッドトラッキング機能を活用し、360 度カメラで撮影された映像をライブでも視聴でき、さらに、遠隔地にいる利用者同士が、音声によるコミュニケーションを取ることのできるシステムを提案・開発する [3]。

### 2 研究の概要

本研究では、同一の 360 度映像を複数人で共有するために、以下の (1)～(4) に示す手法と機材を利用して VR 空間を作成する。そして、作成された VR 空間に 360 度映像を貼り付け、HMD を利用して

視聴することで、高い臨場感を持った映像体験をすることができるようになる。さらに、ライブストリーミング機能とユーザ間の音声通話を可能にすることで、撮影中の映像をリアルタイムで視聴しながら、遠く離れたユーザ同士が、お互いにコミュニケーションを取れるようになり、利便性と活用性の更なる向上が見込まれる。

#### 2. 1 VR 空間の構築

360 度視聴可能な VR 空間を実現するために、360 度映像が撮影可能なカメラである RICOH 社の Theta S と、ヘッドトラッキング機能を有し、コンピュータ上に作成された VR 空間を視聴することが可能な HMD である Oculus Rift DK2 を使用する。また、撮影した映像を視聴・共有するための VR 空間の作成には、統合開発環境を内蔵したゲームエンジン Unity を使用する。

#### 2. 2 360 度映像の HMD 対応

360 度映像を HMD に対応させるために、360 度映像を Theta S を利用して撮影した後、この映像を Unity に送る。本研究では、Unity の Skybox 機能、および、球体の 3D オブジェクトを利用する [4]。録画した映像の視聴には Skybox 機能を利用し、VR 空間の背景に映像を張り付けることで、360 度視聴を可能にする。一方、ライブ映像については、球体 3D オブジェクトの内側に、配信されるライブ映像を張り付け、その中に Unity のカメラオブジ

ェクトを設置することで、視聴を可能にしている。そして、これらの映像を HMD に送ることで、臨場感のある 360 度映像を視聴することが可能となる。

### 2. 3 映像の共有・視聴方法

同一の 360 度映像を複数のユーザで共有するために、Unity のパッケージである Photon Unity Networking (PUN) と、オープンソースソフトウェアの Web サーバである Nginx を使用する。

#### 2. 3. 1 Photon Unity Networking(PUN)の概念

PUN は、1 つの専門サーバとルーム機能、および、マッチング機能を提供しており、ユーザはルームを作成して入室することで、相互に通信を行うことができるようになる。なお、ユーザはルームに参加することで、同一の映像を視聴することが可能となる。PUN には、同じルームに入室している一人のユーザが行った処理を、同ルームの他ユーザに同期させる機能も提供されている。この機能を利用することで、映像の再生や停止などの様々な処理を、全てのユーザで共有することができる。そのため、あるユーザが見ている映像と同じものを、複数人で視聴して操作することが可能となる(図 1 参照)。

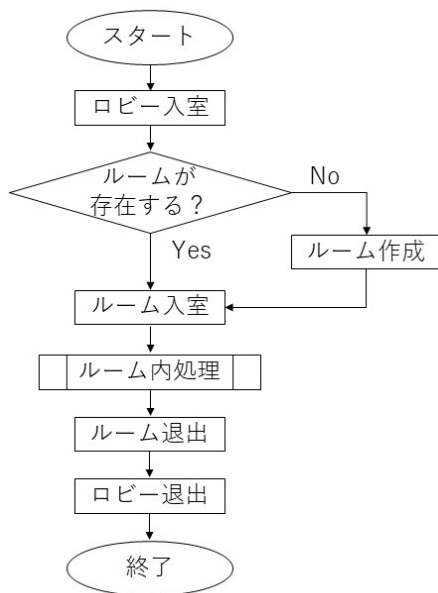


図 1 PUN による相互通信の方法

#### 2. 3. 2 Nginx の概念

Nginx は、オープンソースとして公開されている nginx-rtmp-module を利用することで、Real Time Messaging Protocol (RTMP)を扱うことができる。そこで、Nginx を利用してサーバを構築し、サーバに Theta S で撮影されたライブ映像を送信する。ユーザは、このサーバにアクセスすることで、配信者からサーバに送信されたライブ映像を再生して視聴することが可能になる。

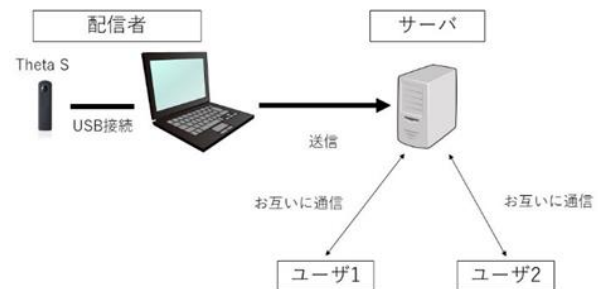


図 2 ネットワーク概念図

#### 2. 3. 3 ライブ映像の送信

Theta S で撮影したライブ映像をサーバに送信するために、ストリーミングソフトウェアである Open Broadcaster Software (OBS)を利用する。配信者側は PC と Theta S を USB ケーブルで接続し、自身の PC にインストールされている OBS の設定を変更する。カメラを Theta S に設定し、また、映像の配信先に作成したサーバの URL を指定する。これらの設定を行うことで、映像をサーバに送信することが可能となる。OBS を利用することで、配信者は映像の形式や送信方法を気にすることなく、映像を配信することが可能となる。

#### 2. 3. 4 ライブ再生の仕組み

ライブストリーミング映像を再生するために、Apple 社が開発した動画再生プロトコル HTTP Live Streaming (HLS)を使用する。HLS は、分割された「.ts」という拡張子を持つ動画ファイルと「.m3u8」という拡張子を持つファイルにより構成されている。OBS を利用して配信された映像は、一定の時間で区切られ、ts 形式の動画ファイルとして配信が終了するまで次々と生成される。

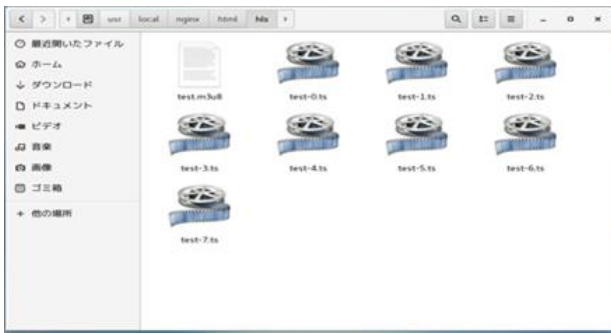


図3 ライブ受信しているPCのフォルダ内の様子

生成された ts 形式の動画ファイルは、古いファイルから時間経過とともに自動的に削除される。これらの動画ファイルを再生するには、m3u8 形式のファイルを読み込む必要がある。m3u8 ファイルは、ts 形式の動画ファイルの長さや動画ファイルの番号、更新頻度などを管理するインデックスファイルである。このファイルを読み込むことでライブ映像を再生することが可能となる。

## 2. 4 双方向通信(通話機能)の実装

通話機能を実装するために、Unity の Photon Voice という PUN のアドオンを利用する。Photon Voice は、PUN で作成したルームを利用することで、ルームに入室したユーザ同士において、通話機能を実現することができる。この機能を利用することで、複数ユーザ間でのグループ通話を可能にする。

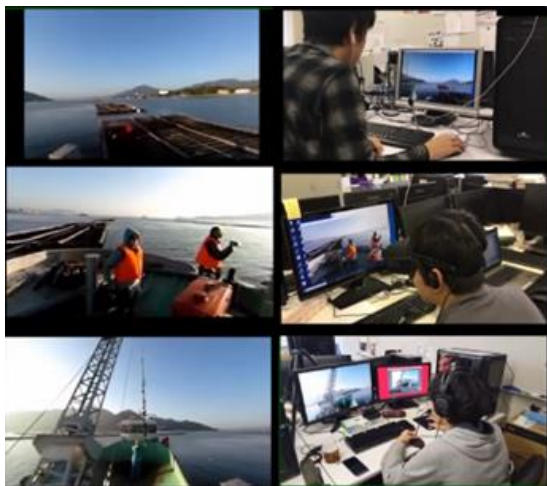


図4 録画映像の複数ユーザ視聴の様子

図4, 5に、それぞれ、録画映像とライブ映像の複数ユーザでの利用の様子を示す。



図5 ライブ映像の複数ユーザ視聴の様子

## 3 まとめ

360度カメラで撮影した録画映像およびライブ映像を複数人で視聴でき、さらに、音声通話に対応させることで、遠く離れたユーザ間でもコミュニケーションが取れるシステムを提案した。そして、システムの開発を行い、その有効性を確認した。今後は、複数の動画を選択可能にする機能の追加や、ユーザインタフェースの改良を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 藤原佑歌子 他: パノラマ画像および動画を用いた観光システムの提案, 2014年度情報処理学会関西支部支部大会論文集, G-10 (2014).
- [2] 中川和也 他: 全方位映像を用いた災害現場における視覚情報の共有方法の研究, 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. 11-12 (2016).
- [3] 岡本崇寛 他: 360度映像を利用したコミュニケーションツールの研究・開発, 第23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, pp60-61 (2018).
- [4] 和田和美: 360度全方位動画コンテンツ作成と再生配信及びアプリケーションの模索, 静岡文化芸術大学研究紀要, VOL. 14, pp. 151-166 (2013).

# 360 度映像の画質と臨場感に対する主観評価

広島工業大学 情報学部 河野 太一, 林 孝典

## Subjective Assessment of Video Quality and Sense of Presence for 360-degree Videos

Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology  
Taichi Kono, Takanori Hayashi

### 1 はじめに

近年、仮想現実 (VR : Virtual Reality) 映像技術やユーザインターフェース技術の発展によって、VR 映像を利用したコンテンツやサービスが普及しつつある。具体的には、エンターテインメント分野における VR ゲーミングや 360 度映像の動画視聴、不動産、建築・建設分野における物件内見や建物設計、遠隔重機操作などがある。今後も医療や教育、観光分野などにおける疑似体験など様々な分野での活用が期待されており、ユーザが快適に使用するためには、ユーザ体感品質 (QoE : Quality of Experience) に基づいて VR 映像システムを設計する必要がある。360 度映像の観視時間は ACR 法[1]で採用している 10 秒程度では不十分との指摘が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) で議論されている。また従来、VR 映像における QoE の「画質」や「安全性」に着目した検討例[2][3]があるものの、「臨場感」といった観点に着目した検討例は少ない。

本稿では VR 映像で使われている 360 度映像に着目し、評価する映像を繰り返し観視する主観評価法を採用し、画質と臨場感に対する評価値の安定性を分析した。また、その安定した評価方法を用いた評価者数ごとの評価値の安定性の分析、複数のコンテンツを用いた画質と臨場感の関係を分

析した結果についても報告する。

### 2 360 度映像に対する主観評価実験

主観評価実験では、ヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) 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。評価映像コンテンツは映像の精細度と動き量を考慮し、①ペンギン: 辺り一面に広がるペンギンの群衆の映像 (13Mbps)、②ゾウ: 草原の中の複数頭のゾウの中で 1 頭が接近する映像 (15Mbps)、③アザラシ: 水中で泳ぐアザラシが横切る映像 (15Mbps) の 3 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: 3840×1920p、フレームレート: 30fps、ビット深度: 8bit)。これらの映像は固定カメラで撮影された 10 秒の映像であり、これを再圧縮して画質を変化させた。

評価方法は図 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。評価実験では、観視条件 3 条件毎に画質 4 条件、コンテンツ 3 条件をランダムな順序で行い、全評価条件数を 36 条件 (評価の練習条件は含まず) とした。評価尺度は、画質については表 1 に示す 5 段階品質尺度で評価した。また臨場感を、「実物を見ているような感覚/その場にいるような感覚」と定義し、表 2 に示す 5 段階尺度でその度合いを評価

した。評価者は、映像品質に対する非専門家 25 名（学生（男性 22 名、女性 3 名））とし、それぞれに観視回数を 3 パターン行った。

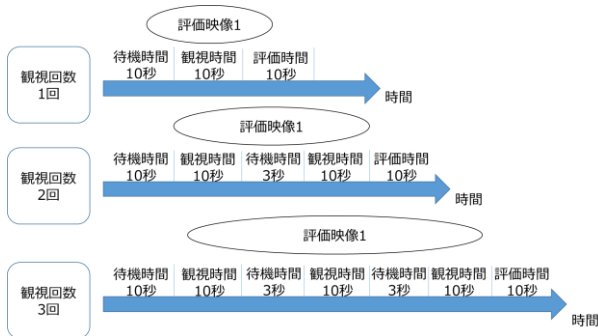


図 1 主観評価の流れ

表 1 5段階品質尺度

評点	評価語
5	非常に良い
4	良い
3	普通
2	悪い
1	非常に悪い

表 2 5段階臨場感尺度

評点	評価語
5	非常にある
4	ある
3	どちらでもない
2	ない
1	全くない

### 3 主観評価実験の評価結果

#### 3. 1 画質評価と臨場感評価のばらつき

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、画質と臨場感について評価した。観視回数と評価値の安定性の関係を図 2 に示す。評価値の安定性は、評価条件毎の画質と臨場感の平均オピニオン評点 (MOS : Mean Opinion Score) の 95% 信頼区間の平均値 (MCI : Mean of 95% Confidence Interval) で表した。実験では 3 種類のコンテンツを使用した。図 2 ではコンテンツ

の影響を低減するため、観視回数の違いで結果をまとめている。図 2 より、MCI は画質より臨場感の方が高く、画質よりも臨場感の方が評価値のばらつきが大きくなる傾向が見られた。これは評価者が抱く臨場感の定義の曖昧さや、普段から見慣れた 2D 映像にはない VR ならではの臨場感を評価するのが難しいためであると考えられる。また、観視回数を変化させても画質、臨場感共に MCI は大きく変化せず、統計的に有意な差はみられなかった (有意水準 5%)。評価実験中の評価者を観察すると、360 度映像を観視する際に観視回数 1 回では十分に全体を観視しづらい様子が伺えた。これらを踏まえて安定的かつ効率的に主観評価実験を実施するためには、観視回数 2 回が妥当であると判断した。

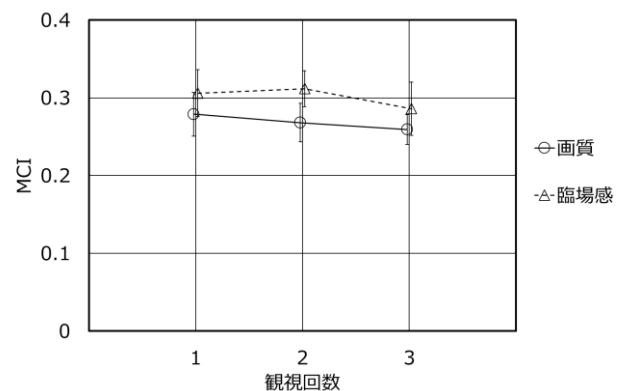


図 2 観視回数と MCI の関係

次に、評価者数と評価値の安定性の関係を図 3 に示す。図 3 より、評価者数が増えることにより MCI が小さくなっている。従来の 2D 映像の品質評価法を規定する ITU-T 勧告 P.910[1]では、評価者は統計分析に必要なデータ数の観点から 15 人以上の評価者とされており、今回の実験の 360 度映像でも少なくとも 15 人程度が必要である。また、3D 映像の品質評価法を規定する ITU-T 勧告 P.915[4]では、3D 映像における必要な評価者数を、従来の 2D 映像を 24 人で評価した際の MCI (約 0.32) を基準として決めている。そこで 360 度映像における必要な評価者数も MCI が 0.32 以下になるように考え、画質評価における評価者数は 18



人以上、臨場感評価における評価者数は 23 人以上となることが分かった。

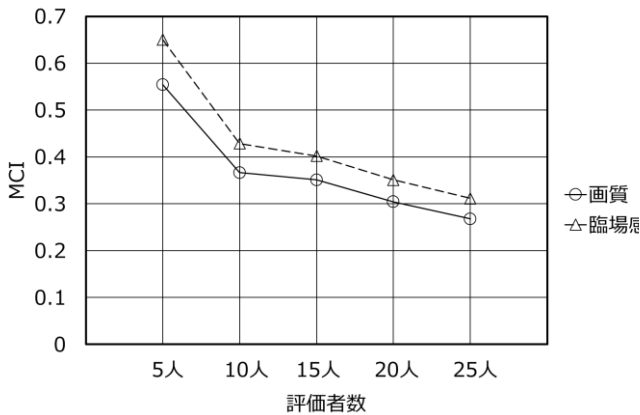


図3 評価者数と MCI の関係

### 3. 2 評価映像の画質と臨場感の関係

3. 1 の結果を踏まえ、観視回数 2 回のデータを用いて画質と臨場感の関係を分析した結果を図 4 に示す。図 4 より、全体的には斜線の上側にプロットがあることがわかる。画質の低下に伴って臨場感も低下するが、臨場感の低下量は画質のそれよりも少ない傾向があることが認められた。これは多少画質が低くなっても、評価者が自由な視点で 360 度映像を観視できることで、一定の臨場感が保たれているためである。また、従来のディスプレイとは異なる HMD を用いて使用したため、より高い臨場感を生み出していると考えられる。

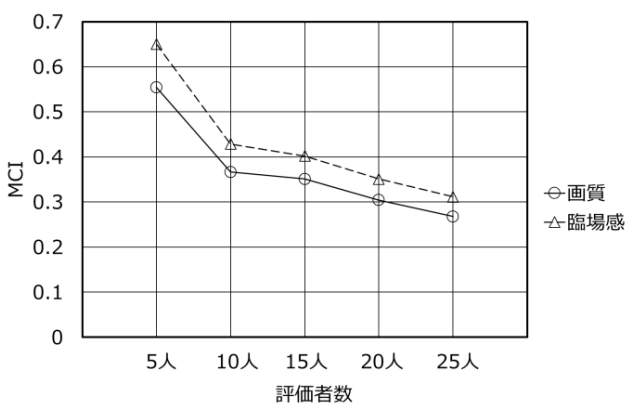


図4 画質と臨場感の関係

## 4 まとめ

本稿では、360 度映像の主観評価法として、映像の観視回数を変化させた場合の評価値の安定性を分析した。その結果、評価者の観視状況や評価の効率性を考慮すると、観視回数 2 回が妥当であると判断した。また、評価に必要な評価者数を分析した結果、MCI が 0.32 以下になるように基準を設けると、画質評価では 18 人以上、臨場感評価では 23 人以上の評価者が必要となることが分かった。さらに、360 度映像における画質と臨場感の関係についても解明し、画質の低下傾向に比べ、臨場感の低下傾向が緩やかになることを解明した。

今後は、評価者の観視状況の特徴（着眼点等）も分析することにより、360 度映像の客観品質評価法の検討に反映させていく予定である。

## 参考文献

- [1] ITU-T Rec.P.910 “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications,” April 2008.
- [2] H.Duan, G.Zhai, X.Yang, D.Li, and W.Zhu, “TVQAD 2017: An Immersive Video Quality Assessment Database,” IWSSIP2017, 2157-8702, May 2017.
- [3] 氏家弘裕, 渡辺洋, “バーチャルリアリティ映像から受ける生体影響の評価”, 電子情報通信学会誌, Vol.101, No.8, pp.832-837 (2018 年 8 月)
- [4] ITU-T Rec.P.915 “Subjective assessment methods for 3D video quality,” March 2016.

# トグルを用いたカード操作方式によるプログラミング学習システム の学習効果及び認知負荷の基礎分析

広島工業大学 作田康陽, 西山颯, 村上瑠香, 森永笑子, 松本慎平

## A Basic Analysis on Learning Effect and Cognitive Load of Card Operation-Based Programming Learning System with Toggle Function

Hiroshima Inst. of Tech. Koyo Sakuda, Hayate Nishiyama, Ruka Murakami,  
Shoko Morinaga, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

プログラミングの「構造を理解する」ことに焦点を当てたプログラミング学習において、非本質的な認知負荷の影響をできる限り減らすため、カード操作方式による学習支援システムが開発されている[1]。カード操作方式は、カード順列の思考のみを対象としている。部分間の関係を考える際、実際のアルゴリズム設計に似たより深い思考を学習者に行わせるためには、カードの並びに加えて、正解に含まれない命令群を持つダミーカードを加えた問題設計が有効である。ただし、単純にダミーカードの量を増やせば視認性が低下し、カードを選ぶための非本質的な認知負荷が増加するため、高い学習効果は期待できない。選択肢としてのカード数と学習量(学習効果)の関係は複雑であり、トレードオフのような関係にあると考えられる。一方で、Parson が提唱したプログラミング学習の仕組み[2]のトグル機能を用いればこの問題を解決でき、より実際のアルゴリズム設計に近い学習活動を実現できる可能性がある。

そこで本稿では、カード操作方式に基づくプログラミング学習システムにおいて、トグル機能がカードを選ぶ際に発生する非本質的な認知負荷を抑制しながら、学習者により適切な思考をさせることが可能な仕組みかどうかを実験的に明らかにすることを目的とする。認知負荷の計測は先行研究[1]と同様の方法に従う。

### 2 提案

トグルとは、カード内の命令を排他的に選択可能な領域を設ける仕組みであり、正解に含まれない命令群を多数設定可能な仕組みである。正解に含まれない命令を用意する仕組みとして、不正解の命令を含むダミーカードをあらかじめ用意する方法がある。ただし、この方法を単純に適用した場合、正解に含まれない命令を多数用意することになるためカードの量が膨大になる。このことで視認性が低下し、カードを探す作業に関連した非本質的な認知負荷が発生する。トグル機能はこのような問題を解決しながら、学習者にアルゴリズムなどを深く考えさせられる可能性がある。このトグル機能について、我々はカード内の一部の文字列にセレクトボックスを設定することで実現させることを考えている。例えばこのトグルの利用例として、カードの中に存在する算術演算子、比較演算子を選択式にする、演算内のある変数を選択式にする、などが考えられる。

カード操作方式は、部品を組み立てる構造化タスク[3]と捉えることができる。構造化タスクでは、十分な学習を実現するためには、ある程度以上の数の部品が必要であるとされている。一方で、部品を増やした場合、これらを把握する能力や適切な部品を探し出す作業が必要となる。これらは言語能力や認知処理能力が低い学習者達にとっては大きな問題になる。このような問題に対して、ト



グル機能は情報を圧縮して提示できるため、構造化タスクで一般的に問題となる不要な認知負荷を抑制可能な仕組みと言える。

### 3 実験

トグル機能が非本質的な認知負荷発生を抑制しながら学習者に深い思考をさせることが可能かどうかを明らかにするため、トグル機能を用いて学習する実験群、用いない統制群の2群に被験者を分けて比較実験を行う。学習する前の理解度を測定し、学力水準が均等になるよう被験者を2群に分ける。実験群・統制群共に同じ内容の問題を出題し、ダミーカード数も同一量とする。ただし、実験群では、統制群のダミーカードのいくつかをトグルとしてまとめたカードを提供する。なお、1カード1命令として問題を構成する。1時間程度の学習実験の後、事後試験及び認知負荷アンケートからトグルの効果を明らかにする。

先行研究[4]では、本稿と同様にトグル機能に着目し、実験群にはトグルを与え、統制群にはトグルを与えず、ダミーカードを含むカードの枚数を同一としたうえでトグルの効果を確認したところ、統制群の学習効果は実験群よりも有意に高かった。また、実験群は統制群よりも有意に高い学習負荷を持っていたことが明らかとなった。先行研究の結果を踏まえると、適切な構造化タスクを実現するために複数のダミー選択肢が必要であり、それら選択肢を学習者に適切に伝えるためにトグルを適用すべきではないかと考えられる。すなわち、意図なくダミーの選択肢を用意することは適切な学習を阻害する可能性がある。このことについては、今後実験的に検証する必要がある。他、ダミー選択肢の数と作業負担との関係を明確にしたうえで、ダミー選択肢のトグル化が作業負担の低減に繋がる効果についても明らかにしていきたい。

### 5 結論

本稿では、カード操作方式に基づくプログラミ

ング学習システムにおいて、トグル機能がカードを選ぶ際に発生する非本質的な認知負荷を抑制しながら学習者により適切な思考をさせることが可能な仕組みかどうかを明らかにするため、カード操作方式におけるトグルの設定方法を示し、また、その実験方法を示した。今後は実験結果を明らかにすることを目的として研究を進める。

### 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)16K01147, 17K01164)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] 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(電子・情報・システム部門誌), Vol. 138, No. 8, pp. 1-12 (2018).
- [2] D. Parsons, P. Haden, Parson's programming puzzles: a fun and effective learning tool for first programming courses, Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education, Vol. 52, pp. 157-163 (2006)
- [3] 舟生 日出男, 石田 耕平, 福田 裕之, 山崎 和也, 平嶋 宗, 概念マップ作成方式の違いによる記憶効果の差異の比較, 日本教育工学会論文誌, 35 巻 (2011) 2 号, pp. 125-134 (2011)
- [4] 森永笑子, 松本慎平, 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における誤り選択肢増加に伴う負の影響抑制に対するトグル機能の効果, 第20回 IEEE Hiroshima Student Symposium, A2-12, pp. 132-135 (2018).

# STEAM による学習教材のための ブロックプログラミングシステムの提案

広島工業大学 森山巧, 中丸裕斗, 神垣智大, 岩本朋也, 松本慎平

## Proposal of Block Programming System for STEAM-based Learning Material

Hiroshima Inst. of Tech. Takumi Moriyama, Yuto Nakamaru, Tomohiro Kamigaki,

Tomoya Iwamoto, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

昨今、プログラミングは社会的にも重要と広く認識されつつある[1]。特に、プログラミングそのものよりも、プログラミングの過程で行う Computational Thinking[2]-[4]が必要であるとされている。この思考力を養成する仕組みとして、STEAM 教育[5]とプログラミング教育を組み合わせることは特に有効とされている。STEAM に基づいたプログラミング教育を適切に実施するためには、学習者が興味を持ち、自ら手を動かし、考え、気づく仕組みを取り入れること、プログラミングの本質を科学や数学と関連付けて学習可能な数物系科学に適した学習の流れ(学習教材)を設計すること、STEAM それぞれの要素の学習効果を明確にすること、の3点が不可欠とされているが、その実現は容易ではない。そこで我々はこれまで、教育機関において STEAM 教育を容易に実践でき、従来の一般的なプログラミング教育よりも学習効果が高い教材の開発を目的として研究を進めている。本研究では、STEAM の主要な要素である「数学」の学習を題材としたプログラミング学習支援システムを提案する。以上の後、LEGO ブロックの利用を想定し、STEAM すべての要素を含めたプログラミング教材の構想を示す。

### 2 提案

STEAM による学習は、工学基礎並びに理数基

礎の理解・活用、さらに、洞察力、表現力までを同時に学習できる点で有効であるとされている。このような利点と共に、STEAM の要素を含んだ学習は、プログラミングに特化した学習を行う方式よりも、プログラミング自体の活動量が減少するにも関わらずプログラミングの本質を効率良く学べるという点に大きな意義があると我々は研究を進めるうえで考えている。

本研究での STEAM の枠組みについては、模様の描画(Art)を実現するため、観測・計測・記録(Science)を通じてモデルを組み立て、モデルからモータの速度伝達の方程式(Mathematics)を構築し、モータを制御して物理的空間で実現するためのロボットの設計及びモータの工学的理解(Engineering)を行い、以上の機構を連携させるためのプログラミング(Technology)を行う、ものとする。STEAM 教材はこれら一連の課題を試行錯誤的に取り組ませる内容とし、本研究では、5つの要素の学習課題を統合的に解決することを内容とした教材を開発する。以下に、本研究において STEAM のそれぞれに対応する各学習活動をまとめる。

Science: 観察・計測・記録

Technology: プログラミング

Engineering: モータ制御, ロボットの工作

Art: フラクタルあるいは関数による模様の描画

Mathematics: 速度伝達の計算式

STEAM のそれぞれに対応する学習活動において、本研究にて提案するブロックプログラミングシステムでは、プログラミング(Technology)とロボットの動きに対応する関数の計算式(Mathematics)について学ぶことを目的としており、Google Blockly 及び enchant.js を用いた Web アプリケーションとする。これはロボットの動きを事前に再現するロボットシミュレータとしての役割を果たす。ここで学んだ知識を踏まえて、マサチューセッツ工科大学とレゴ社が共同開発したロボット教材の LEGO Mindstorms の 3 代目である Mindstorms EV3 を用いてロボットを組み立て(Engineering)、模様の描画(Art)を行う。シミュレータの動作をロボットで適切に再現できるよう、観測・計測・記録(Science)を行う。

### 3 学習の詳細

先行研究[6]により、ブロックプログラミングでの演習はソースコードによるプログラミング演習とほぼ同様の学習効果が確認され、ブロックプログラミングはプログラミング学習方法として問題ないことが確認されている。ただし、実験群の中には、ブロックについての理解はできた一方で、学んだ知識をコーディングでのコード設計に活かせなかった被験者が存在していた。よって、同一画面内でブロックとコードとを対応付けながら学習可能な機能が必須と位置付け、その機能を有するブロックプログラミングシステムを提案する。このシステムを用いて、数学を題材としたプログラミングを課題とする。具体的には、関数を模様として描かせることを目的とした課題、関数に従い移動を行う 2 体のキャラクタの衝突場所(交点の座標)を予測する課題、の 2 点の与える。これらでキャラクタの動作を学習後、LEGO ブロックのロボットに同様の動作をさせることになる。

### 4 結論

本研究では、STEAM の主要な要素である「数

学」の学習を題材としたブロックプログラミングシステムを提案した。具体的には、関数を模様として描かせることを目的とした課題、関数に従い移動を行う 2 体のキャラクタの衝突場所(交点の座標)を予測する課題、の 2 点の課題を対象とした。そして、Mindstorms EV3 を利用し、STEAM すべての要素を含めたプログラミング教材の構想を示した。

### 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)16K01147, 17K01164)、公益財団法人日本科学協会 2018 年度笹川科学研究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. Furber, Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools. The Royal Society, London (2012).
- [2] Google, Computational Thinking for Educators
- [3] J. Wing, Computational Thinking: What and Why? (2010).
- [4] K. Brennan, M. Resnick, New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking (2012).
- [5] X. Ge, D. Ifenthaler (Eds.), Emerging Technologies for STEAM Education: Full STEAM Ahead (Educational Communications and Technology: Issues and Innovations), Springer (2015).
- [6] 神垣智大, 岩本朋也, 松本慎平, プログラミング初学者のための STEAM 教材の開発に関する研究 ―プログラム組み立て方式の検討―, 2018 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会 講演論文集, pp.125-126 (2018).

# 初学者向けプログラミング学習システムのための支援機能の検討

広島工業大学 小田樹, 村上凌太, 買田康介, 濱田浩平, 大下昌紀, 松本慎平

## Examining support functions of a Programming Learning System for Novice Learners

Hiroshima Inst. of Tech. Itsuki Oda, Ryota Murakami, Kosuke Kaida, Masanori Oshita,  
Kohei Hamada, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

初学者向けプログラミング学習用 Windows 端末用アプリケーションである Hello C クライアント[1,2]の開発が進められている。Hello C クライアントは初学者を対象として独自に開発を始めたアプリケーションであるため、初学者に特化した UI/UX, あるいは、初学者の円滑な学習を支援するための補助機能を搭載可能である。本研究では、初学者に有効な Hello C クライアントの UX を評価するための方法について検討することを目的とする。これについては、初学者にとって学びやすいと言われているスクリプト型言語のコンパイルエラー表示方式が C 言語学習においても有効かどうか、また、SIEM 理論[3]に基づき出力結果に応じて正解までの近さをフィードバックとして学習者に返答しそれによる足場かけを行う機能が有効かどうかの2点を示す。以上により、Hello C の初学者に対する有用性を示す方法を明らかにする。

### 2 初学者向けプログラミング学習システム

Hello C クライアントは、C 言語の学習に特化した Windows 専用のプログラミング開発環境である。Hello C は、初学者がプログラミング学習を進める過程で、できる限り非本質的な認知負荷を利用者に掛けないよう配慮している。具体的には、簡易プロジェクト管理機能、簡易デバッガ機能、静的解析機能、オートコンプリート機能、構

文チェック機能、複数ファイルのコンパイル機能、ソースコード圧縮保存機能、練習問題取得機能などを提供している。Hello C は、Visual Basic .NET Framework 4.5 で開発されている。コンパイルと実行は、Windows 用 gcc で行う。

初学者向けのエディタはいくつか存在するが、他にはない独自の機能として練習問題配信及び学習者履歴の送信機能を有しており、これらはサーバサイドアプリケーションである Hello C サーバによって実現されている。Hello C サーバにより、教授者は学習者の回答状況の確認はもちろんのこと、正誤判定結果や学習者の進捗状況を都度把握できるようになる。本稿は Hello C クライアントを対象とした取り組みを報告したものであるため、Hello C サーバに関する説明は割愛する。

### 3 研究方法

初学者にとって学びやすいと言われているスクリプト型言語のコンパイルエラー表示方式が C 言語学習においても有効かどうか、また、SIEM 理論[2]に基づき出力結果に応じて正解までの近さをフィードバックとして学習者に返答しそれによる足場かけを行う機能が有効かどうかの2点を検証する。前者については、シンタックスエラー修正課題による実験、後者については、I/O エラー修正課題による実験とする。

「プログラミング学習の際に写経型の学習を行っており、写経後の初めての実行の際にエラーが

発生した」という状況を想定し、学習実験及び事後試験を行う。対象者は、C言語の経験がある大学3、4年生とする。

### 3. 1 シンタックスエラー修正課題による実験

2つ以上のシンタックスエラー出力を持つソースコードを事前に与え、そのシンタックスエラーを全て修正することを課題とした学習において、シンタックスエラーをスクリプト言語と同様の方式で1つずつ表示する場合とそうでない場合との学習効果の差を調査する。一般的に、スクリプト言語は初学者にとって学びやすく、その大きな理由の一つにシンタックスエラーの表示方式にあるとした指摘が多数存在する。よって、C言語学習においてもスクリプト言語と同様の方式でエラー表示を行い、学習時間の短縮や認知負荷の低下が見られた場合、初学者にとってC言語をより学びやすいUXを提供できたと言える。実験群には一度のコンパイルで表示されるエラー文を一つのみとしたHello Cクライアントを与え、統制群は従来のHello Cクライアントとする。学習問題およびポストテストの正答率と解答時間を計測し、これらデータと事後試験、アンケートをもとにシンタックスエラー表示方式の有用性を評価する。

### 3. 2 I/Oエラー修正課題による実験

プログラムの記述や構造の違いによるI/Oエラーを持つソースコードを事前に与え、求められたI/Oと同様になるようソースコードを修正することを課題とした学習において、SIEM理論によるスモールステップの効果を検証する。SIEM理論で示されたスモールステップとは、目標に至るステップを細かくすることで失敗を最小限に抑えるような配慮をし、興味を失わせないように工夫する学習方式である。実験群の学習者にはコードを一カ所修正するごとにコンパイルするように指示し、その指示の下で、コンパイル結果と共に「このような出力が得られていればレベルx(xの値が

大きければ大きいほど正解に近いことを表す)である」といったフィードバックを与えてスモールステップを実現する。なお、統制群にも同様の指示の下で学習を行わせるが、フィードバックは行わない。ポストテストの正答率と解答時間を計測し、これらデータと事後試験、アンケートをもとに、Hello CクライアントのUXとしてのスモールステップの有用性を評価する。

## 5 結論

本研究では、Hello Cの有用性について、初学者に特化したUXの実装により確かにする方法を明らかにした具体的には、写経型学習を想定し、シンタックスエラー表示に関する実験、I/Oエラー修正に関する実験の方法を設計し、初学者により有効なHello CクライアントのUXを評価する方法を述べた。今後は実験結果を明らかにすることを目的として研究を進める。

## 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)16K01147, 17K01164)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] 買田康介 他, 大学生のためのC言語エディタの開発, 2017年度教育システム情報学会学生研究発表会講演論文集(2018).
- [2] 大下昌紀, 他, 初学者向けC言語プログラミング環境の開発, 平成30年度(第69回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, R18-27-03 (2018)
- [3] 土肥紳一 他, 工学部第二部電気電子工学科におけるプログラミング入門教育の教授の工夫, 工学教育, Vol. 62, No. 3, pp. 28-33 (2014).

# 拡張・仮想現実技術による水害体験システムの研究・開発

広島工業大学 高橋 朋紀

広島工業大学 山岸 秀一

## Study of flood experience system by augmented and virtual reality technologies

Hiroshima Institute of Technology Tomoki Takahashi

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

### 1 研究目的

近年、台風や前線の活発化による大雨に加え、気候変動やヒートアイランド現象などの影響により、狭い範囲で短時間に猛烈に降る雨（ゲリラ豪雨）の発生回数が年々増加している。そして、現状の対策としては、ハード対策（工事による対策）とソフト対策（工事を不要とした対策）の2種類が存在する。しかし、ハード対策では、多額の費用が必要となり、また耐用年数も限られる。さらに、計画超過外力には対応不可能であり、人間の活動範囲の拡大に伴い、対策すべき箇所が増加して整備しきれないという問題がある。そのため、ソフト対策による人的被害の軽減が期待される。ところで、図1に示すように、人々の水害に対する認識が低いという現状が報告されている[1]。そこで、拡張現実（AR）や仮想現実（VR）を用いたシミュレーションによる対応が試みられている[2]。拡張現実を生かしたシミュレーションでは、空間把握を可能にしたスマートフォンを利用し、浸水シミュレーションが行われている[3, 4]。また、仮想現実については、浸水状況をシミュレーションしたものだけでなく、水害発生時の避難行動を模擬した研究も存在する[5-7]。しかし、水位変動を拡張現実と仮想現実の双方から考慮したシミュレーションは存在しない。そこで、本研究では、拡張現実と仮想現実の両方を用い、水位変動を考慮に入れた浸水シミュレーションを提案する。

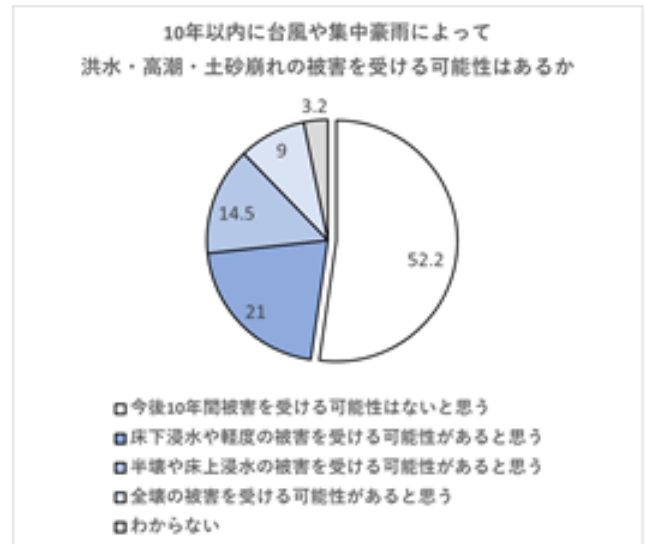


図1 水害被害の認識[1]

### 2 研究の概要

本研究では、拡張現実および仮想現実の構築を行う。拡張現実では、周囲の状況と水面のエフェクトを用いて、利用者の周囲が水に満たされていく様子（屋内を想定）を再現する。また、仮想現実を用いて、屋外の水位状況を再現する。そして、それぞれの空間を行き来する機能を実装する。それらによって、屋内・野外での危険な水位上昇の様子を再現することで、水害の恐怖を体験することができるようになる。

#### 2.1 拡張現実および仮想現実の構築機材

拡張現実と仮想現実を実現するにあたり、機材

として HTC Vive Pro を利用する(図 2 参照) .  
HTC Vive Pro は、従来機 HTC Vive の持つルームスケール機能(利用者の頭の動き・向きを検知して見渡す機能)に加え、空間把握が可能になった。この空間把握機能によって周囲の状況を把握し、現実空間にあるオブジェクトの輪郭を取得することが可能になる。



図 2 HTC Vive Pro

## 2. 2 拡張現実の構築

拡張現実の実現方法として、HTC Vive Pro に付属するカメラからの映像を取得し、その映像を仮想スクリーン(AR スクリーンとする)上に投影させることによって、HTC Vive Pro 本体に表示させる。さらに、空間情報を取得して Mesh(空間 Mesh とする)を生成させる。この AR スクリーンと空間 Mesh を合わせることによって、現実空間に合わせた水位の上昇が可能となる(図 3 参照)。

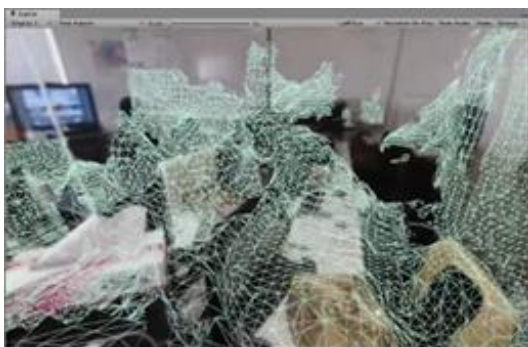
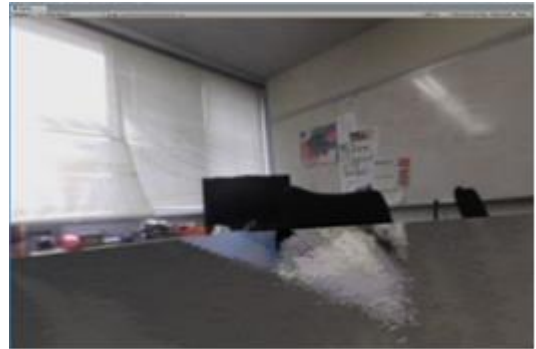


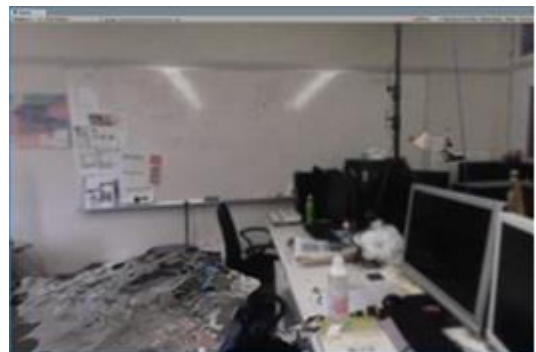
図 3 空間 Mesh 作成の様子

空間 Mesh の生成には、VIVE SRWorks SDK を使用する。空間 Mesh は、利用者が見渡した範囲に生成される。図 4-(a)は空間 Mesh 未生成時に水面エフェクトを表示させた場合、図 4-(b)は空間 Mesh 生成後に水面エフェクトを表示させた場合である。

また、空間 Mesh がシステム内に保存された瞬間に、拡張現実と仮想現実を切り替えるソースコードを適用させるようにする。なお、図 4-(a)に示す空間 Mesh 未作成の場合には、奥行きを感じない水面エフェクトが表示されるが、図 4-(b)の空間 Mesh 作成後では、リアルな水面が表示される。



(a) 空間 Mesh 未作成



(b) 空間 Mesh 生成後

図 4 空間 Mesh 有無での水面エフェクトの差異

## 2. 3 仮想現実の構築

コンピュータ上で予め作成しておいた仮想空間を、HTC Vive Pro 本体に表示させる。

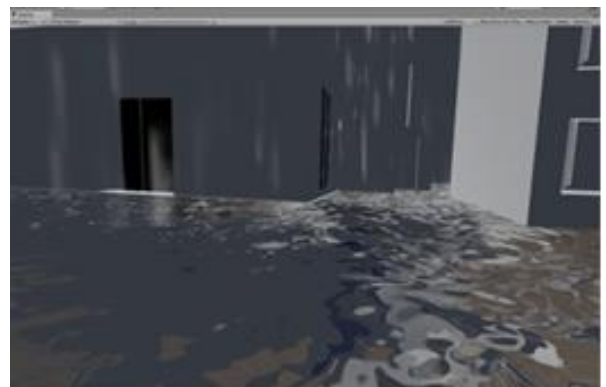


図 5 仮想現実空間内の様子



建物のオブジェクトの作成には、blender というソフトウェアを用いる。なお、ここでは立体感を出すために、テクスチャを使用せずに作成する。また、雨のエフェクトや光加減等のエフェクトには、Unity内のParticle System (Shuriken) を利用する。構築された仮想現実内の様子を図5に示す。

## 2. 4 水面エフェクトの設定

水面エフェクトは、拡張現実と仮想現実の2種類を用意する。そして、それぞれの水面エフェクトの位置情報(水位)を表示させる。その数値は、現実の数値とリンクするように設定する。また、再実行を可能にするために、実行時に水面エフェクトの初期位置を記録しておき、任意の入力によって水面エフェクトの位置を初期位置に戻すように設定しておく。

## 2. 5 拡張現実と仮想現実の切り替え

拡張現実と仮想現実の配置は、図6のような構成となっている。拡張現実表示時には、建物のオブジェクト、雨のエフェクト、および仮想現実用の水面エフェクトを非表示状態にする。そして、仮想現実表示時には、ARスクリーン、空間Mesh、および拡張現実用の水面エフェクトを非表示する。このような切り替えによって、拡張現実と仮想現実の、それぞれを表示することが可能となる。

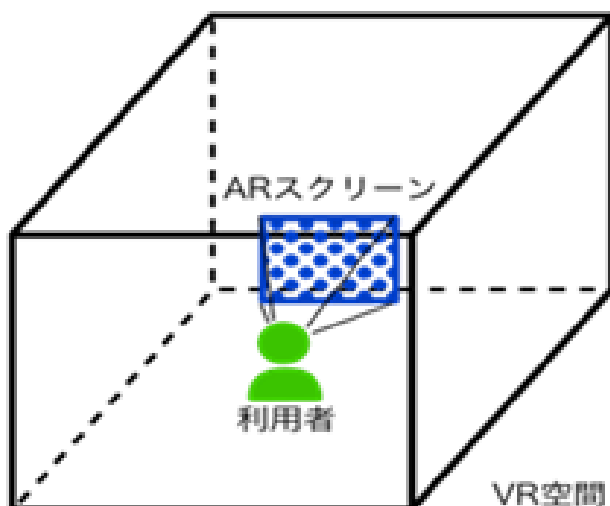


図6 拡張現実と仮想現実の配置

## 3 まとめ

水害の恐怖を啓蒙するためのソフト対策として、仮想現実と拡張現実の両方を用いた水害体験システムを提案した。そして、提案に基づいてシステム構築を行い、浸水シミュレーションを実現させた。また、このシステムを用いた検証実験により、その有効性が確認された。今後は、エフェクトによる描写処理の改善と空間 Mesh 保存範囲の拡大を行い、システムの性能を向上させる予定である。

## 参考文献

- [1] 内閣府政府広報室: 「水害に対する備えに関する世論調査」の概要 (2016)
- [2] 中本涼菜: VRを用いた被災体験とその対策を繰り返すことによる防災教育システムの提案, 2017 年度情報処理学会関西支部大会論文集, G-20 (2017)
- [3] 田近伸二他: VR空間における都市型水害シミュレーションの可視化に関する研究, 第33回土木情報利用技術講演集, pp. 45-48 (2008)
- [4] 田近伸二他: VR技術を用いた災害疑似体験システムの構築, 土木学会第63回年次学術講演会, pp. 375-376 (2008)
- [5] 板宮朋基他: ヘッドマウントディスプレイを用いた洪水疑似体験システムの開発と市民啓発への応用, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, CSVC2016, Vol. 5, pp. 25-28 (2016)
- [6] 岩間智視他: ARとHMDを用いて災害を疑似体験させる防災教育システムの試作, 電子情報通信学会技術研究報告, 信学技報, 113(377), pp. 1-6 (2014)
- [7] 田中伸厚他: Head Mounted Displayを用いた津波仮想体感システムの開発, 第29回数値流体力学シンポジウム, 日本流体学会, A05-3 (2015)



# 遠隔映像監視アプリケーションにおける 映像品質と操作性の関係分析

広島工業大学 情報学部 竹岡 宏晃, 林 孝典

## Analysis of Relationship between Video Quality and Usability for Remote Video Surveillance Applications

Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology  
Hiroaki Takeoka, Takanori Hayashi

### 1 はじめに

近年、ドローンや遠隔操作型ロボットの活躍を耳にする機会が増加した。ドローンによる宅配サービスや被災地等での災害復興作業、手術支援ロボットなどが例として挙げられる。これらのロボットにはカメラが装備されており、遠隔からカメラの映像を視聴しながら操作を行う事が出来る。しかし、この映像がネットワーク伝送品質の劣化によってフリーズやタイムラグなどが発生してしまうことがある。そのような状況下での遠隔操作は直接操作時や通常時の遠隔操作と比べて、難易度が大きく変わってしまう。本研究では、遠隔映像監視アプリケーション利用時のネットワーク品質低下が、映像品質と操作性に与える影響について分析した結果について述べる。

### 2 既存研究

従来、遠隔操作において映像の品質は操作性に影響を与えることが報告されている。伊藤らの研究[1]では、遠隔操作時に視聴する映像を Full-HD 2D 映像のマルチディスプレイ環境から 4K-3D 映像のシングルディスプレイに変え、非圧縮で伝送することで作業効率が改善されるという結果が報告されている。

前述の既存研究では、転送するデータ量を増加させることで作業効率の向上を図ったが、本研究ではネットワーク伝送の容易性に主眼を置き、

4K-3D 映像のような大容量データ伝送ではなく、データ量が少ない Full HD クラスの 2D 映像を対象として品質と操作性の関係について分析する。

### 3 評価試験

#### 3.1 試験環境

本評価試験では、ラジオコントローラーカー(以下ラジコンカー)に raspberry pi3 Model B+(以下 raspberry pi)と専用カメラモジュール、電源供給用のモバイルバッテリーを搭載し、カメラ映像を見ながら遠隔で操作を行い、映像品質と操作性について評価できる環境を整えた。

試験に使用した機器を表 1 に示す。本評価試験において、操作に使用する raspberry pi と遠隔操作機器の通信形式は 2.4GHz WiFi であり、通信時の映像の転送プロトコルは TCP を使用した。

表 1 試験使用機器一覧

フリーソフト	MJPG-Streamer	映像のストリーム配信
Remoking	B07H9Z8DDM	操作端末
ラズベリーパイ財団(英)	Raspberry pi 3 Model B+	映像撮影用端末
フリーソフト	Network Emulator for Windows	ネットワーク環境条件の変更
ANKER	Power Core 10000	Raspberry pi 3 Model B+電源供給用
	デスクトップPC及びディスプレイ	映像視聴
	デスクトップPC及びディスプレイ	Network Emulator 動作用

### 3. 2 試験内容

raspberry pi から転送される映像の品質を高品質から中品質に変化させるため、符号化方式に Motion-JPEG を使用し、ビットレート(以下レート)を 1.6, 13, 17Mbps の 3 種類とした。解像度は 640x480, フレームレートは 15fps とした。これらは、ラジコンカー搭載前の予備実験にて決定した。

本評価試験での操作タスクは、図 1 のように直線走行と転回を組み合わせたコースを設定した。ロボットなどの遠隔操作機器を操作タスクとして設定したコースに沿って操作してもらい、その走行後に映像品質と操作性に関する主観評価データを収集した。また、タスク完了時間(走行時間)と走行中の衝突回数も測定した。遠隔操作機器の操作は専用のコントローラーで行った。

ネットワーク伝送品質を変化させるため、映像データ転送時のパケット損失率(以下損失率)を 0%, 1%, 3%, 5% の 4 種類で変化させた。パケット損失を変化させると、映像にタイムラグやコマ落ちなどが発生するため、映し出される映像とラジコンの位置関係にズレが生じる。よって操作性が低下することが予想される。

映像品質の評価法は ACR 法[2]を用い、評価尺度は映像品質・操作性ともに表 2 に示す 5 段階評価尺度を用いた。評価条件の提示順序はランダムとし、操作タスクへの慣れの影響を平均化させた。品質及び操作性は評価者が投票した評点の平均値で表した。また、評価者は学生 18 名である。

表 2 5 段階評価尺度

評価カテゴリー	評点
非常によい	5
よい	4
ふつう	3
悪い	2
非常に悪い	1

### 4 評価試験結果

図 2 に、本評価試験で得られた映像の評価値と走行時間の平均値を示す。

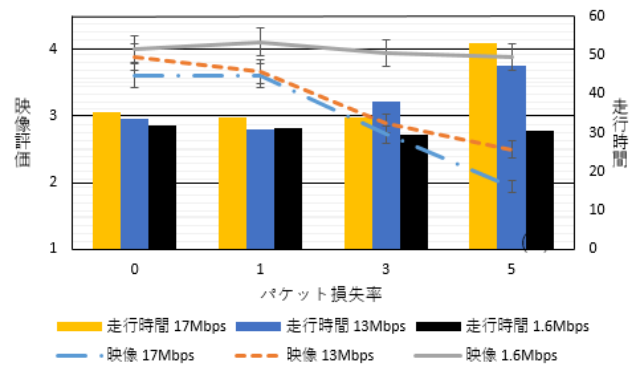


図 2 映像評価・走行時間項目別平均データ

図 2 より、映像品質は損失率 0% の場合は各レート間の評価値に大きな差は見られなかったが、損失率が増えるほどレート 17, 13Mbps の評価値は低下した。一方、レート 1.6Mbps の品質は損失率の変化によらずほぼ一定となった。また、走行時間は、損失率が 5% の場合にレートが大きくなるにつれて長くなる結果となった。

次に、映像品質と操作性の関係を図 3 に示す。映像品質と操作性には強い相関関係があることが分かる。図 2, 3 より、映像品質が低下すると操作性が悪くなり、それによって走行時間も長くなる結果となった。

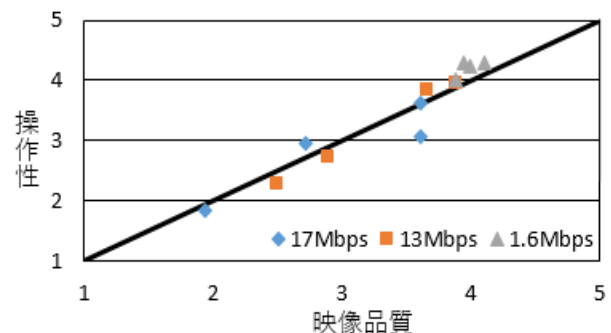


図 3 映像品質と操作性の関係

また、走行中の衝突回数の結果を図 4 に示す。図 2, 3, 4 を見ると、損失率 5% の時に走行時間が長いレートほど走行中の衝突回数も多い。これは、操作性や映像品質が低いほど走行時に衝突し易く、その分時間がかかってしまうためと考えられる。

## 5 考察

レート 1.6Mbps では、映像品質・操作性の両方でパケット損失率に関わらず 4 前後の評価が得られた。一方、レート 13Mbps では損失率 0% において、レート 1.6Mbps と同程度の評価だったが、損失率が増える毎に映像品質・操作性ともに評価が下がり、損失率 5% では約 2.5 となった。

予備実験段階で、レート 1.6Mbps は 13Mbps よりも映像品質が悪い条件として設定したが、遠隔監視目的ではその品質差が及ぼす影響は小さくなることがわかった。また、低レートで伝送することで損失パケット量が減り、結果的に映像品質や操作性の低下を引き起こしにくくなったと考えられる。なお、レート 17Mbps で映像品質が悪くなったのは、raspberry pi での映像配信負荷が大きくなり、非定常に映像再生がぎくしゃくしたためである。

## 6 まとめ

本研究では、映像を用いた遠隔操作で映像品質と操作性の関係を分析した。その結果、遠隔監視・操作を目的とした場合には、映像の多少の品質差は影響を与えず、低いレートの方がパケット損失の影響を相対的に受けづらくなるため、レートと損失率の組み合わせにより QoE の最適点が存在することが示唆された。

多少の映像品質差が影響を与えないことを検証するため、単なる映像としての品質評価結果との比較分析が課題となる。また、本評価試験では信頼性の高いデータ転送プロトコルとして TCP を使用したが、ストリーミング配信の性質上、リアルタイム性の高い UDP を使用したアプリケーションでの検証も今後の課題となる。

## 参考文献

- [1] 伊藤 禎宣 他, 「無人化施工において遠隔操作の映像環境が作業効率へ与える影響について」, 土木学会論文集 F3, Vol 73, No.1, pp. 15-24 (2017)
- [2] 高橋 玲, 「QoE: アプリケーションの品質」, [http://www.ieice-hbkb.org/files/03/03gun\\_05hen\\_01.pdf](http://www.ieice-hbkb.org/files/03/03gun_05hen_01.pdf) (2011 年 1 月)

# 動画学習でのエージェント利用に関する実験方法の検討

広島工業大学 岸直哉, 関涼佑, 松本慎平

## Examining Experiment Method for Movie-Based Learning with Agent

Hiroshima Inst. of Tech. Naoya Kishi, Ryosuke Seki, Shimpei Matsumoto

### 1 研究目的

昨今、アクティブラーニングといった学習形態が注目を集めている[1]. 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がある[2]. 高速インターネット環境の普及により、動画閲覧を基本とした反転学習は今後もより一層普及することが予測されるため、その学習効果をより高められる教材作成技法やその構築を支援する仕組みが求められている。

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。その一方で、動画教材は単調になりがちであり、そのため集中力を持続させることは容易ではない。このような問題を解決するため、動画閲覧者の集中力や興味喚起を促す仕組みとして、ワイプやテロップが有効であるとされている[3][4]. 動画教育の学習効率向上に関する研究も存在する。丸山らは、動画編集により必要な箇所に適切な説明文を追加することで、学習者の理解度を向上させた[5]. 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。そこで本研究では、エージェント(bot, 以降エージェント)の技術を動画教材に組み合わせた方法[6]に注目し、この仕組みが動画学習における学習者の主体的な活動の支援に有効かどうか評価するための実験方法の設計・提示を目的とする。

### 2 動画学習でのエージェント利用

本研究の目的は、エージェントを用いた動画学習の仕組み[6](以降、提案法)が、従来の一般的な映像ベースの学習方式よりも有効な方法かどうかを検討することである。提案法は、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。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ーを開発し、従来の映像コンテンツにエージェントを重ねて表示できるようにすることで、動画学習の効率向上を試みる。エージェントと動画教材とを組み合わせることで、動画編集では困難な優れた拡張性(テキストの追加編集)やインタラクション(質問応答)が可能となる。なお、本研究の対象は、大学生や社会人など主体的な動画学習を求められる学習者とする。

エージェントを利用した動画学習システムの技術的な課題は、事前に用意した端末内のテキストデータを動画学習教材の内容と連動させて、エージェントに発話や行動をさせられるようにすることである。学習に対するエージェントの有効性は既報で明らかにされている[7]が、動画学習にエージェントを適用した先行研究は存在しない。したがって、提案法の有効性を明らかにするための実験の設計も必要となる。

### 3 エージェント導入の効果

動画閲覧による一般的な学習と提案法との学習効果の差を検証する。実験に使用する学習の題材

は一般的な動画学習教材とし、大学生3,4年生を被験者に採用し実験を行う。まず、事前試験を実施し、事前知識の程度が均一になるよう実験群と統制群に被験者を分け、実験群は提案法による学習、統制群は一般的な動画学習とする。学習終了後、事後試験やアンケートを実施しその結果から提案法の有用性を評価する。

#### 4 エージェントの動きの効果

川村は、エージェントを情報提示に利用することが有効であるが、同時に情報提示の仕方によっては説明対象よりもエージェントに注意が向かう可能性を危惧している[8]。提案法にも同様のことが言えると考えられるため、発話のタイミングに合わせたエージェントの動きが映像学習に有効に働くかどうかを明らかにする実験が必要であると考えられる。本実験の目的は、エージェントの動きが提案法の学習効果を向上させるかどうかを明らかにすることであるため、川村らの知見に倣い指差し動作をエージェントの動きとした。

前節と同様の方法で被験者を実験群と統制群の2群に分け、実験群は発話と同様のタイミングで動画に指差し動作をするエージェント、統制群は発話とは関係のない箇所でも様々な動きのあるエージェントで動画学習を行う。提案法の有用性は、事後試験やアンケートから明らかにする。

#### 5 結論

本研究では、エージェントを動画学習に活用する取り組みに注目し、動画学習において学習者の主体的な活動の支援にエージェントが有効かどうか評価するための実験方法の設計・提示を目的とした。まず、動画閲覧による一般的な学習と提案法との学習効果の差を検証する実験方法を述べた。次に、エージェントの動きが動画学習に有効に働くかどうかを検証するための実験方法を明らかにした。今後は実験結果を明らかにすることを目的として研究を進める。

#### 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)16K01147, 17K01164)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] Johnson, D. W., Johnson, R. T., and Smith, K. A. (1998). Active learning: Cooperation in the college classroom. Interaction Book Company, 7208 Cornelia Drive, Edina, MN 55435.
- [2] Bergmann, J., and Sams, A. (2014). Flipped learning: Gateway to student engagement. International Society for Technology in Education.
- [3] 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)
- [4] 金, 基弘, 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)
- [5] 丸山浩平, 森本康彦, 北澤武, 宮寺庸造, 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, No2, pp107-121 (2017)
- [6] 関涼佑, 松本慎平, 主体的な動画学習のためのエージェント利用に関する研究, 2018 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会 講演論文集, ISSN 2189-5929, 36, pp. 123-124 (2018).
- [7] 吉川厚, 高橋聡, エージェント技術の教育応用, 教育システム情報学会誌, Vol. 35, No. 1, pp. 5-12 (2018)
- [8] 川村雅人, 注意と印象を考慮したアンドロイドの動作に関する研究, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0751039

# 能力創造型および能力活用型海外子会社が生成する

## スピルオーバー効果の可視化

尾道市立大学 森川 未彩

尾道市立大学 佐藤 真奈

尾道市立大学 川勝 英史

## Visualization of Spillover Effects Generated by Competence-creating and Competence-exploiting Foreign Subsidiaries

Onomichi City University Misa Morikawa

Onomichi City University Mana Sato

Onomichi City University Hidefumi Kawakatsu

### 1 はじめに

多国籍企業 (Multinational Enterprise, MNE) の子会社 (海外子会社) による経済活動は、受け入れ国の企業 (国内企業) における技術開発や生産性向上にも影響を与えることが知られている [1]。このような効果は、スピルオーバー効果と呼ばれ、海外子会社が「生成」するスピルオーバーには、水平および垂直スピルオーバーがある (必ずしも有益な影響だけを及ぼすとは限らない)。さらに垂直スピルオーバーは、後方と前方スピルオーバーに分類される。なお、水平ならびに垂直スピルオーバーは、それぞれ、同一産業内の国内企業、および異なる産業レベルの産業における国内企業に対して効果を与える。

Cantwell and Mudambi[2]は、海外子会社の活動を、能力創造型 (Competence-creating, CC) と能力活用型 (Competence-exploiting, CE) に分類できることを示している。それぞれのタイプの海外子会社の特徴については、次のように述べることができる。すなわち、多国籍企業 (MNE) 全体の製品領域や市場の多様化に貢献し、MNE 戦略の要となるような海外子会社は、能力創造型 (CC) 海外子会社と呼ばれる [3]。これに対して、能力活

用型 (CE) 海外子会社の目的は、コストの削減、既存能力の活用、既存製品や市場領域の改善にある [2]。

Ha and Giroud[4]は、実際のデータを用いて、海外子会社を CC と CE に分類する方法を提案している。この上で、CC や CE が生成する各種スピルオーバー効果、および国内企業の研究開発能力等が、国内企業のイノベーションパフォーマンスに与える影響を明らかにするための実証分析を行った。そこでは、正と負のスピルオーバーの効果が存在することや、CE が生成するスピルオーバーよりも CC が生成するその効果の方が大きいことも確認されている。しかしながら彼らの研究において、イノベーションパフォーマンスを推定することについては意識されていない。

本研究では、CC や CE が生成するスピルオーバーが、DF に影響を与える様子をポアソン過程としてモデル化し、イノベーションパフォーマンスの期待値を求める。また、このような様子を可視化するためのシミュレーションモデルも構築する。さらに、シミュレーション実験により、CC における研究開発費と DF において発生するイノベーションとの関係を明らかにすることも試みる。

## 2 モデル

### 2.1 記号の定義および仮定

本研究で使用する主な記号は以下の通りである.

$\tau$	海外子会社のタイプ ( $\tau = C$ は CC, $\tau = E$ は CE を表す)
$M$	産業レベル数
$I_l$	レベル $l$ に属する産業から成る集合
$H_{l,j}^\tau$	レベル $l$ の産業 $j$ における $\tau (= C, E)$ が生成する水平スピルオーバー
$B_{l,j}^\tau$	レベル $l$ の産業 $j$ が 1 つ下流のすべての $\tau$ から受け取る後方スピルオーバー
$F_{l,j}^\tau$	レベル $l$ の産業 $j$ が 1 つ上流のすべての $\tau$ から受け取る前方スピルオーバー
$\beta_H^\tau$	海外子会社 $\tau$ が生成する水平スピルオーバーに対する係数
$\beta_B^\tau$	海外子会社 $\tau$ が生成する後方スピルオーバーに対する係数
$\beta_F^\tau$	海外子会社 $\tau$ が生成する前方スピルオーバーに対する係数
$R_{l,j}^\tau$	レベル $l$ の産業 $j$ に属する $\tau$ が有する研究開発費の総額
$R_{l,j}^D$	レベル $l$ の産業 $j$ に属する国内企業 (DF) が有する研究開発費の総額
$R_{l,j}$	レベル $l$ の産業 $j$ に属する産業の研究開発費の総額 ( $R_{l,j} = R_{l,j}^C + R_{l,j}^E + R_{l,j}^D$ )
$L_l^B(j, k)$	レベル $l$ の産業 $j$ とレベル $l+1$ の産業 $k$ との後方連関
$L_l^F(j, i)$	レベル $l$ の産業 $j$ とレベル $l-1$ の産業 $i$ との前方連関

また, 本研究では以下の(i)から(iv)を仮定する. なお, 仮定(i)から(iii)は, 先行研究[4]において, 実証分析により妥当であることが示されている.

- (i) それぞれの産業に属する海外子会社は, 能力創造型海外子会社 (CC) と能力活用型海外子会社 (CE) に分類される.
- (ii) CC (または CE) が生成する水平スピルオーバーは, 同一産業内における研究開発費の総額に対する, CC (または CE) が有する研究開発費の総額の割合により求められる.

- (iii) 下流の CC (または CE) が生成する後方スピルオーバーは, 下流の CC (または CE) が生成する水平スピルオーバーと, 下流の産業との後方連関の加重平均により求められる. 上流の CC (または CE) が生成する前方スピルオーバーは, 上流の CC (または CE) が生成する水平スピルオーバーと, 上流の産業との前方連関の加重平均により求められる.
- (iv) スピルオーバーが国内企業 (DF) に影響を与える様子は, ポアソン過程により表現できる.

### 2.2 各種スピルオーバー (先行研究)

仮定(ii)より, 産業レベル  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, M$ ) の産業  $j$  ( $\in I_l$ ) におけるタイプ  $\tau$  ( $\tau = C$ は CC,  $\tau = E$ は CE を表す) の海外子会社が, 同一産業内の DF に対して生成する水平スピルオーバーは,

$$H_{l,j}^\tau = R_{l,j}^\tau / R_{l,j} \quad (1)$$

により求められる[4]. ただし,  $R_{l,j}^\tau$  は, 産業レベル  $l$  の産業  $j$  に属する  $\tau$  が有する研究開発費の総額,  $R_{l,j}$  は産業レベル  $l$  の産業  $j$  に属するすべての企業の研究開発費の総額である.

また仮定(iii)より, 産業レベル  $l$  の産業  $j$  の国内企業が, 1 つ下流のすべての  $\tau$  ( $\tau = C, E$ ) から受け取る後方スピルオーバー, および, 1 つ上流のすべての  $\tau$  から受け取る前方スピルオーバーは, それぞれ, 次の式(2)および(3)により求められる[4].

$$B_{l,j}^\tau = \begin{cases} \sum_{k \in I_{l+1}} H_k^\tau L_l^B(j, k), & \text{if } 1 \leq l < M, \\ 0, & \text{if } l = M, \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{l,j}^\tau = \begin{cases} \sum_{i \in I_{l-1}} H_i^\tau L_l^F(j, i), & \text{if } 1 < l \leq M, \\ 0, & \text{if } l = 1 \end{cases} \quad (3)$$

### 2.3 数学モデル (本研究)

本研究では, 海外子会社が国内企業に与える本質的な影響について議論するため, 次のような場合を考える. (a) 国内企業が潜在的に有するイノベーションに対する能力については考慮しない.

(b) 産業レベル数を3 ( $M = 3$ ) とし、それぞれの産業レベルに属する産業は1つである場合に注目する(各産業には複数の企業が存在している)。

以下では、表記を単純にするため、産業を表す添え字 $i, j, k$ を省略し、次のような記号を導入する。

$\lambda_H^l(l)$ : 産業レベル $l$ の国内企業に対して、同一産業内の海外子会社 $\tau$ からもたらされる、水平スピルオーバー効果 ( $\lambda_H^l(l) = \beta_H^l H_l^\tau$ ,  $\tau = C, E, l = 1, 2, 3$ )

$\lambda_B^l(l)$ : 産業レベル $l$ の国内企業が、産業レベル $l+1$ に属する海外子会社 $\tau$ から受ける、後方スピルオーバー効果 ( $\lambda_B^l(l) = \beta_B^l B_l^\tau$ )

$\lambda_F^l(l)$ : 産業レベル $l$ の国内企業が、産業レベル $l-1$ に属する海外子会社 $\tau$ から受ける、前方スピルオーバー効果 ( $\lambda_F^l(l) = \beta_F^l F_l^\tau$ )

本来、スピルオーバーは「連続的に」生成されるものと考えられる。しかしながら、各種スピルオーバー効果を可視化するシミュレーションシステムを構築するために、ここでは次のような場合を考える。すなわち、各産業レベルに属する CC や CE は、各種(水平、後方、前方)の「スピルオーバー効果」をランダムに生成し、この効果は DF に「到着」する。このような事象は離散的に発生する(スピルオーバー効果が大きいほど、この到着間隔は小さくなる)。

ここでさらに、次の2つの(正の)確率変数を導入する。

$T$ : 国内企業がイノベーションを起こす時間間隔(連続型確率変数)。

$K$ : イノベーションが発生してから次のイノベーションが起こるまでに、国内企業が受け取る「スピルオーバー効果」の大きさ(離散型確率変数)。ただし、この「スピルオーバー効果」の大きさは、受け取った正のスピルオーバー効果の「個数」から負のその効果の「個数」を引いたものとして与えられるとする。

事象の到着がポアソン過程に従うとき、 $k$ 番目の事象の到着時刻は、ガンマ分布に従うことが知られている(この $k$ は、式(2)で用いたものとは異なる)。

従って、 $K = k$ という条件のもとでの、 $T = t$ となる条件付き確率密度関数は、次式により与えられる。

$$f(t|k) = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{-\lambda t} \quad (4)$$

また、確率変数 $K$ は、成功確率(イノベーションが起こる確率)を $p$ とする幾何分布に従うとする。このとき、 $K = k$ となる確率は

$$P(K = k) = (1 - p)^{k-1} p \quad (5)$$

により表される。

従って、国内企業においてイノベーションが起こる時間間隔の期待値は

$$\begin{aligned} E[E[T|K]] &= \sum_{k=1}^{\infty} E[T|K = k] P(K = k) \\ &= 1/(\lambda p) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。なお、式(6)の $\lambda$ を

$$\begin{aligned} \lambda(l) &\equiv \lambda_H^l(l) + \lambda_B^l(l) + \lambda_F^l(l) \\ &\quad + \lambda_H^E(l) + \lambda_B^E(l) + \lambda_F^E(l) \end{aligned} \quad (7)$$

に置き換えると、各産業レベル(産業レベル $l$ )における、イノベーションが起こる時間間隔の期待値、および平均イノベーション発生率は、それぞれ、 $1/[\lambda(l)p]$ 、および $\lambda(l)p$ により求められる。

### 3 シミュレーションモデル

ここでは、上の2.3節で提案した数学モデルをもとに、Artisoc4.0[5]を用いて、海外子会社が国内企業に与える影響を可視化するシミュレーションモデルを開発する。

#### 3.1 エージェントの配置

Artisoc4.0では、モデルを構成するコンポーネントは階層構造になっており、最上位には1つの Universe が存在する。この Universe の下に、空間、エージェント、変数などのコンポーネントを配置する。ここでは、空間を1つだけ作成し、この空間の下に、「CC」、「DF」、「CE」、「正のスピルオーバー」、「負のスピルオーバー」の



5種類の要素を、エージェントとして配置した。各エージェントの配置については、4章の図1にも示している。

### 3. 2 海外子会社におけるスピルオーバー生成

産業レベル $l$  ( $l = 1, 2, 3$ ) における海外子会社 $\tau$  のエージェント ( $\tau = C$ はCC,  $\tau = E$ はCEを表す) から、スピルオーバーエージェントを生成する方法については、次の通りである。

レベル $l$ の海外子会社 $\tau$  ( $\tau = C, E$ ) において、1ステップ毎に0以上1未満の一様乱数を3つ(乱数1から3を)生成する。乱数1が $|\lambda_H^l(l)|/d$ よりも小さい場合に、 $\tau$ から正の水平スピルオーバーを同レベルのDFに対して生成する。また、乱数2が $|\lambda_B^l(l-1)|/d$ よりも小さいとき、レベル $l-1$ のDFに対して後方スピルオーバーを生成し、乱数3が $|\lambda_F^l(l+1)|/d$ よりも小さいとき、レベル $l+1$ のDFに対して前方スピルオーバーを生成する。ここで、 $\lambda_v^l(l)(v = H, B, F, \tau = C, E, l = 1, 2, 3)$ が正(または負)のとき、正(または負)のスピルオーバーエージェントを生成する。なお、 $l = 1$ の場合(または $l = 3$ の場合)には、上流(または下流)のDFに対して、スピルオーバーエージェントを生成しない。

### 3. 3 国内企業におけるイノベーション発生

ここで、説明を簡単にするために、次のような変数を導入する。

$r$ : 幾何分布に従う整数乱数 ( $r > 0$ ) .

$s$ : DF が受け取った「スピルオーバー効果」の大きさ。

また、各DFエージェントにおける処理1から3を、次のように定義する。

[処理1] 幾何分布に従う整数乱数 $r(> 0)$ を生成し、 $s$ を0に設定する。

[処理2] DF が正または負のスピルオーバーエージェントを受け取った場合には、それぞれ、 $s+1 \rightarrow s$ ,  $s-1 \rightarrow s$ とする。

[処理3] イノベーションの数(特許数)を1つ

増加する。

このとき、各DFエージェントにおいて、ステップ毎に処理される内容を次のように説明することができる。つまり、シミュレーション開始と同時に、[処理1]が実行される(この処理は、次のイノベーションが起こるまで実行されない)。正または負のスピルオーバーエージェントを、DFが受け取った場合には[処理2]が実行される。また、 $r \leq s$ となったときのみ、[処理3]と[処理1]が順に実行される。

上の3.2節で説明した方法により生成された、正または負のスピルオーバーエージェントは、DFエージェントに受け取られると同時に消滅する。また、イノベーションが発生するタイミング等を把握しやすくするために、次のような機能も実装した。すなわち、イノベーション発生時には、4章の図1(右)にも示したように、該当するDFエージェントの色を(黄色に)変化させ、同時にこのサイズも大きくする。色とサイズが変化したDFは、徐々に小さくなり、もとのサイズと色(青)に戻るようにもしている。なお、受け取ったスピルオーバー効果の大きさを表すために、 $s$ の大きさに応じてDFのサイズも変化させる。つまり、 $s$ が大きい(または小さい)ほど、DFのサイズも大きく(または小さく)なる。

### 4 シミュレーション実験の結果と考察

ここでは、次のような場合を考える。すなわち、受け入れ国は、能力創造型海外子会社(CC)の誘致を図っており、CCに対して補助金または助成金(税制面での優遇等を含む)を与える。受け入れ国は必ずしも合理的でなく(つまり、CCは無条件に正の影響を自国にもたらすと考えており)、予算の制約上、特定の産業のCCに対して研究開発費に関する補助ないし助成を(当面)行うこととする。

また、CCの研究開発費がDFに与える影響を明確にするために、CC, DF, CEに分類される企業数、並びに、それぞれの企業が有する研究開発

費に関して、すべての産業レベルにおいて同じ値を設定し、 $F_l^T = B_l^T = 0.2$  ( $\tau = C, E, l = 1, 2, 3$ )とする。このとき、 $\lambda_0^v(1) = \lambda_0^v(2) = \lambda_0^v(3)$  ( $v = H, B, F, \tau = C, E$ )が成立するため、以下では $\lambda_0^v(l)$ を $\lambda_0^v$ と表すことにする。なお、CC, DF, CEにおける企業数を、それぞれ、5, 70, 25とし、これらの1社当たり平均研究開発費(の初期値)は、それぞれ、14, 2, 3とした。

さらに、係数については、先行研究[4]の表2の値を参考にし、 $(\beta_H^C, \beta_B^C, \beta_F^C, \beta_H^E, \beta_B^E, \beta_F^E) = (5.335, 0.346, -6.236, 1.044, -7.935, 8.007)$ のように設定する。このとき、 $(\lambda_H^C, \lambda_B^C, \lambda_F^C, \lambda_H^E, \lambda_B^E, \lambda_F^E) = (1.310, 0.017, -0.306, 0.513, -0.780, 0.787)$ となる。なお、 $d = 200$ 、総ステップ数を60,000とし(300日分に相当)、幾何分布の平均を4 ( $p = 0.25$ )とする。

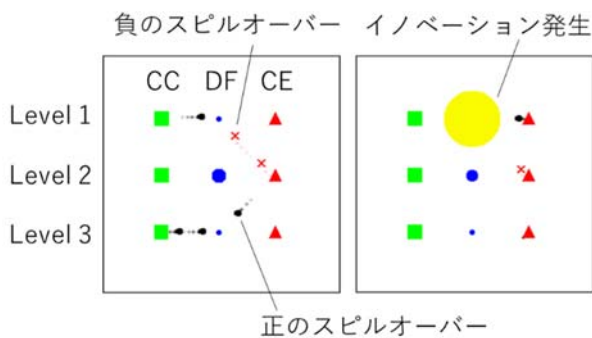


図1：実行例

図1に、実行例を(2つ)示している。図1(左)は、Level 1のCCから同レベルのDFに対して正のスピルオーバーが「1つ」、Level 2のCEから、Level 1のDFに対して負のスピルオーバーが「2つ」、Level 3のDFに対して正のスピルオーバーが「1つ」、Level 3のCCから同レベルのDFに対して正のスピルオーバーが「2つ」生成されている様子を表している。また、図1(右)は、Level 1のDFでイノベーションが発生したことを表している。

図2から4に、それぞれ、上流、中流、下流のCCに属する企業における(1社当たりの)研究開

発費を、14, 28, 42と変化させた場合について、次の2種類の結果をまとめている。すなわち、(a)はシミュレーション実験により得られた結果、(b)は2.3節で導出した「期待イノベーションパフォーマンス」(これを、理論値と呼ぶ)を用いた結果を示している。ここで、図中のR&Dは研究開発費、PatentはDFにおけるイノベーションパフォーマンス(ここでは、特許取得数)、DF1, DF2, DF3は、それぞれ、Level 1(上流)、Level 2(中流)、Level 3(下流)のDFを表している。

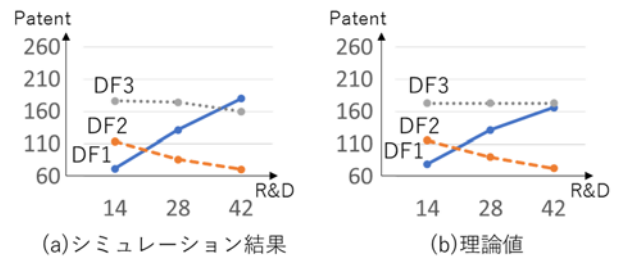


図2 Level 1(上流)のCCの研究開発費を変化

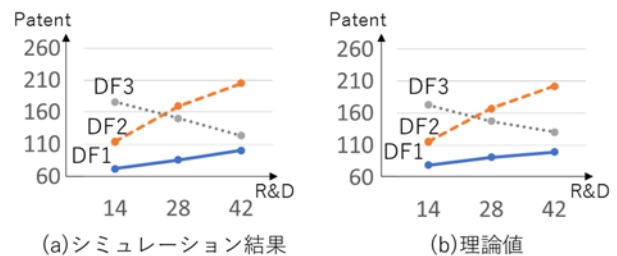


図3 Level 2(中流)のCCの研究開発費を変化

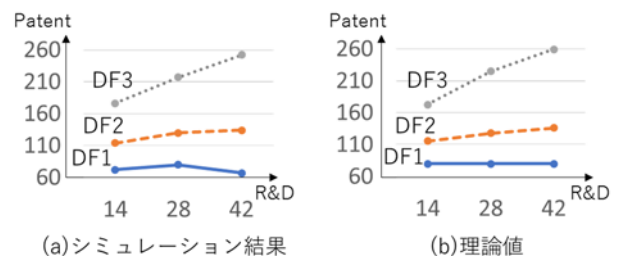


図4 Level 3(下流)のCCの研究開発費を変化

図2から4に示した結果より、CCに対する研究開発費を増加させた産業レベルにおいて、同レベルのDFのイノベーション発生数は研究開発費と共に増加していることが確認できる。この理由

として、次のようなことが考えられる。つまり、CCの研究開発費が増加するにつれて、CCが生成する水平スピルオーバーの効果は大きくなり、CEが生成する水平スピルオーバーの効果は(その産業全体の研究開発費の総額が大きくなるため)相対的に小さくなる。水平スピルオーバー効果は、同一産業内のDFに対して正の影響を与え、かつ、CCが生成する水平スピルオーバーの単位当たりの効果は、CEのその効果よりも大きい[4]。従って、CCの研究開発費が増加すると、同一産業内のDFのイノベーション発生数は顕著に増加する。

図3および4(または、図2および3)より、CCの研究開発費を増加させたレベルから1つだけ上(または、下)のレベルの産業において、DFのイノベーション生成数は増加(または、減少)する傾向が見受けられる。これは、CCが正の後方スピルオーバー、ならびに負の前方スピルオーバーを生成するためであると考えられる。

以上の結果は、特定の産業レベル(の産業)におけるCCを優遇することにより、同レベルと1つ上流のDFにおけるイノベーションパフォーマンスは増加するものの、1つ下流のDFにおけるそれは減少することを示している。これは、このような政策が、特定の産業の成長を促す一方で、その下流の産業を疲弊させてしまうことを示唆している。従って、産業全体の発展を達成するためには、特定の産業だけでなく、全体の産業(のCC)に対して、適切な補助金(税制面での優遇等を含む)の配分を検討する必要があると考えられる。

## 5 おわりに

本研究では、能力創造型(CC)および能力活用型(CE)海外子会社が生成する、水平ならびに垂直(後方と前方)スピルオーバーの効果を可視化するモデルを提案した。海外子会社が生成する各種のスピルオーバーが、国内企業(DF)に影響を与える様子について、ポアソン過程によりモデル化し、イノベーションパフォーマンス(特許取得

数)の期待値を求めた。この上で、Artisoc4.0を用いて、シミュレーションシステムを構築し実験を行った。この結果として、特定の産業におけるCCを優遇することは、同一産業内およびこの上流の産業におけるDFの成長を促す一方で、その下流の産業におけるDFの発展を抑制させることを確認した。このことは、このような政策が、産業全体の成長に対して、必ずしも有益な影響を与えらるゝとは限らないことを示唆している。

従って、今後の課題として次のことが考えられる。受け入れ国は(ある程度)合理的に行動する場合に、つまり、スピルオーバーには正と負の効果があることを認識して行動する場合に、産業全体のイノベーションパフォーマンスを最大にするという意味での、最適な補助金の割当額を求めるためのモデルを提案する必要がある。

## 参考文献

- [1] S. J. Chang and D. Xu, Spillovers and competition among foreign and local firms in China, *Strategic Management Journal*, vol. 29, pp. 495-518, 2008.
- [2] J. Cantwell and R. Mudambi, MNE competence-creating subsidiary mandates, *Strategic Management Journal*, vol. 26, pp. 1109-1128, 2005.
- [3] K. Blomkvist, P. Kappen, and I. Zander, Quo vadis?: The entry into new technologies in advanced foreign subsidiaries of the multinational enterprise, *Journal of International Business Studies*, vol. 41, pp. 1525-1549, 2010.
- [4] Y. J. Ha and A. Giroud, Competence-creating subsidiaries and FDI technology spillovers, *International Business Review*, vol. 24, no. 4, pp. 605-614, 2015.
- [5] 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, 2007.

# 超々臨界圧火力プラントで使用されるボイラチューブ鋼材の 基本物性に関する理論的研究

広島工業大学 岩永 昂平

広島工業大学 山岸 秀一

中国電力 杉内 栄夫

## Theoretical study on fundamental properties of the boiler tube steel materials used in ultra-supercritical thermal power plants

Hiroshima Institute of Technology Kohei Iwanaga

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

The Chugoku Electric Power Co., inc. Takao Sugiuchi

### 1 研究目的

超々臨界圧火力プラント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°C、圧力24.5MPaといった高温・高圧な蒸気が通り、また、外側は1000°C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 $\mu$ m程度のボイドが派生し、それらが連結することで破断に至る。そのような場合には、高効率プラント停止を余儀なくされ、燃料費の増大といった問題が発生することになる。近年、国内の火力プラントでは、超々臨界圧ボイラの過熱器管や再熱器管等に、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管が使われているが、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。そして、その結果が妥当であるか、また、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、チューブの表面に現れる酸化クロムについての電子状態を、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

鉄と酸化クロムの電子状態を、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、次の(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。

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

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

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

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

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]。ところで、鉄の元素 (Fe) は、常温では体心立方格子 (bcc) 構造を持ち強磁性を示すが、高温になると面心立方格子 (fcc) 構造に変わり、磁性が消える (常磁性)。この物理的性質の検証のために、Fe の bcc および fcc 構造の単位格子について計算を行う。一方、酸化クロムについては、一般に、CrO(II), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III), CrO<sub>2</sub>(IV), CrO<sub>3</sub>(V) が知られているが、中でも Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III) は単純菱面格子の結晶構造を持ち、化学的性質が極めて安定であり、耐熱合金の表面に生成して保護被膜として利用されている。そこで、本研究では、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III) を用いて計算を行う。

### 3 計算結果

Fe および Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(III) についての PHASE/0 による計算結果を次に示す。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。

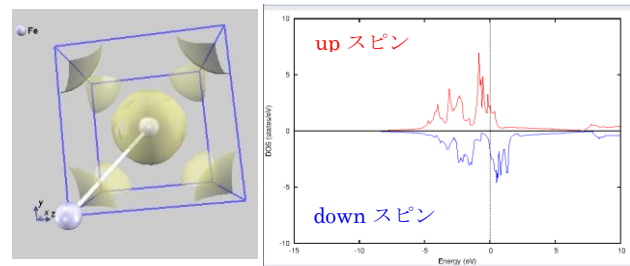
#### 3. 1 鉄 (Fe)

Fe について、bcc および fcc 構造の単位格子を用い、それぞれ周期境界条件のもとで PHASE/0 の計算を行った。

##### 3. 1. 1 bcc (体心立方格子)

bcc は単位格子に 2 個の原子を含む。この単位格子を用いて Fe(bcc) の DFT 計算を行った。図 1 の(a)に単位格子の結晶構造と Fermi 順位 (1.04eV)

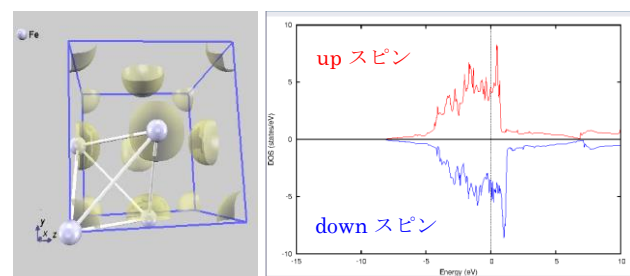
の電子雲の様子を、また(b)に、up, down それぞれのスピンの電子密度状態 (DOS) を示す。なお、Fermi 順位とは、占有電子中の最高エネルギー順位のことである。また、スピンとは、電子が持つ磁気モーメントのことで、up と down の 2 種類の向きを持つ。物質に含まれる原子の電子スピンの向きが揃うほど、磁性を帯びるようになる。DFT 計算による格子定数は 2.85 Å となり、実験値の 2.87 Å [5]と比較して (99.3%) , 妥当な結果となった。次に、up スピン電子の個数 (9 個) と down スピン電子の個数 (7 個) の差は、Fe 原子 1 個当たり 1 個となった。この値と、図 1 (b) の DOS の 0 eV 以下 (電子占有軌道) の up, down スピンの不釣り合いの様子から、bcc 構造が磁性を持つ (強磁性) ことが分かる。



(a) 単位格子と電子雲 (b) 電子密度状態 (DOS)  
図 1. Fe の bcc 構造の DFT 計算の結果

##### 3. 1. 2 fcc (面心立方格子)

fcc は単位格子に 4 個の原子を含む。この単位格子を用いて Fe(fcc) の DFT 計算を行った。図 2 の(a)に単位格子の結晶構造と Fermi 順位 (0.10eV) の電子雲の様子を、また(b)に、up, down それぞれの電子密度状態 (DOS) を示す。

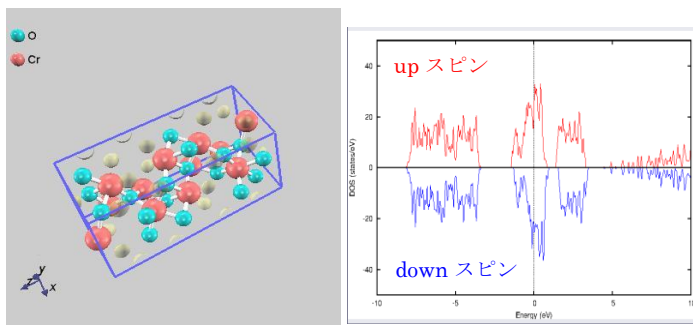


(a) 単位格子と電子雲 (b) 電子密度状態 (DOS)  
図 2. Fe の fcc 構造の DFT 計算の結果

DFT 計算による格子定数は 3.61 Å となり、実験値の 3.63 Å [5] と比較して (99.4%)、妥当な結果となった。次に、up スピン電子の個数 (17 個) と down スピン電子の個数 (15 個) の差は、Fe 原子 1 個当たり 0.5 個となった。この値と、図 2(b) の DOS の 0eV 以下 (電子占有軌道) の up, down スピンの釣り合いの様子から、fcc 構造は bcc 構造と比較して磁性が弱まり、常磁性となることが分かる。

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

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は六方晶系の hR30 (単純菱面格子) 構造を取り、単位格子に 12 個の Cr 原子と 18 個の O 原子を含む。図 3 の (a) に格子の結晶構造と Fermi 順位 (0.18eV) の電子雲の様子を、また (b) に、up, down それぞれの電子密度状態 (DOS) を示す。格子定数は 4.95 Å となり、実験値の 4.96 Å [6] 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 (Cr 原子に換算すると原子 1 個あたり 0.17 個) となった。この値と、図 3(b) の DOS の 0eV 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。



(a) 単位格子と電子雲 (b) 電子密度状態 (DOS)

図 3. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の DFT 計算の結果

## 4 まとめ

超々臨界圧火力プラント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組織及び磁性観察等の理論的検証のための基礎計算として、鉄と酸化クロム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、鉄元素 (Fe) については、bcc 構造と fcc 構造それぞれについての基本的物性 (原子位置と磁性) の検証ができた。また、酸化クロムについては、酸化クロム (III) (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を用いて計算を行ったところ、反強磁性を示すという結果が出た。今後は、Super304H の主成分である、Fe, Cr, Ni, Cu を含む合金モデルを作成し、DFT による第一原理計算によって基本手的な物性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] 日本金属学会編: 金属データブック, 丸善, pp36-37 (2004)
- [6] 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)



# データサイエンスに基づく情報可視化と その有効性検証のための応用

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  
健山 智子, 前元 菜摘, 大野 瑛史, 折本 研, 木上 飛鳥, 松本 慎平

## Visual Analytics based on data science and its effectiveness application system

Yuki Akiyama, Natsumi Maemoto, Yukari Uehara, Tomoko Tateyama, Shimpei Matsumoto

### 1 はじめに

通信システム、システムテクノロジーの進化に伴い、多くの情報が容易にセンシングされ、収集される仕組みが整備されつつある。このような膨大なデータは臨床、教育だけでなく、広告発信などその用途は広く、ビッグデータとして、今日その効率的な整備が求められる。

このような効率的かつ効果的なデータ整備について、統計解析を中心とするデータサイエンス技術によって広く行われている。例えば、臨床情報に基づく解析として、解像度 1mm 以下の高精細医用画像内から、病変・疾患、損傷特定などは極めて重要であるが、その読影を行う臨床医は限られた時間での読影となることから、膨大な負担となってしまうため、膨大なデータに対し、計算機を用いた分析から、その有用な情報を抽出し、臨床へ応用する。

他にも、収集された膨大な画像内にどのような発信情報が含まれているかについて、これまでの手動での振り分けに代わり、計算機や文字読み取り用センサーデバイス（OCR）によってその情報を収集、自動解析する仕組みが構成されている。このキーワード取得にもデータサイエンスが展開されている。

さらに、これまでは紙媒体や2次元平面上で提示していた地図情報であるが、情報可視化は立体空間上での提示も可能になった。大学キャンパス

をVRなどの仮想空間で提示し、大学の魅力発信などにつながるだけでなく、このような情報提示として、体験者にどのような経験や感動を与えるかの分析においてもデータサイエンスが大きく貢献していることは言うまでもない。

図1に本研究室での研究方針、取り組みを示す。本研究室では、これまでデータサイエンスに基づき、医用画像解析、医用情報可視化、画像解析・認識、V空間への情報可視化と、幅広くその効果について解析を行っている。本研究では、これまでの成果を踏まえ、情報可視化によってもたらされる技術評価、新たな可視化技術とその応用について議論する。

本論文の構成は、以下の通りである。まず、情報可視化を検討するためのビッグデータ解析の定式化を議論し、その応用として、3節で、医用画像解析、医用情報可視化について議論する。そして、4節では、収集されたデジタル広告画像内から機械学習にもとづく広告画像のキーワード抽出のための文字領域の特定とデータベース構成、さらに、5章では、本学のキャンパスをメインに、スマートフォン技術を用いた大学キャンパス体験システムの開発と評価手法の提示について、議論し、最後に本研究の総括を行う。





図1：本研究室の研究取り組み・功績

## 2 データサイエンスにおける問題の定式化

膨大な情報を解析するために、まずは問題の定式化が重要である。問題設定の定式化は、主に下式が共通のテーマとして与えられる。

$$\mathbf{V}_n = [\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_i, \dots, \mathbf{v}_n] \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{v}_i$ は、収集されたサンプル*i*番目におけるベクトルを意味しており、このベクトルの構成に基づいて、基本統計量を中心に図2に対する問題について、これまで本研究室は情報可視化を行ってきた。いくつかの研究功績について、3節より説明する。

## 3. 医用画像の効率的な情報可視化

### 3.1 MR画像からの膝軟骨領域の構造解析

膝軟骨領域は、我々の歩行行動や膝の屈伸動作において、その骨領域のクッションの役目となる。この膝軟骨組織は、コラーゲンなどから構成され

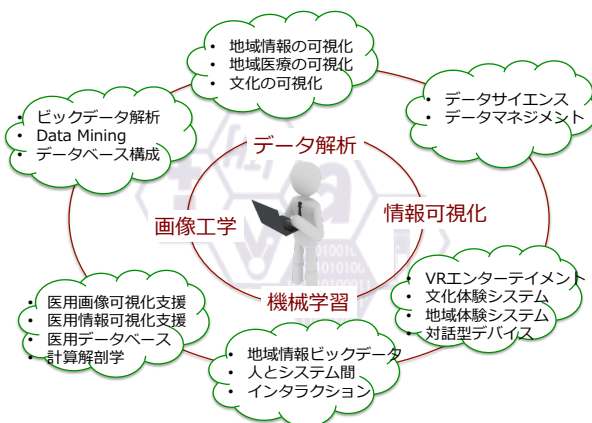


図3 肝臓造影のMR画像

ているため、CTやレントゲンでなくMR画像の撮像により、その損傷度合いを確認する。膝軟骨組織は、半月板領域と靭帯領域で構成されており、MR画像内においてもその輝度値は非常に類似しており、熟練医師でもその区別は難しい。本研究では、この膝軟骨領域に対し、輝度値の分布をヒストグラムから確認し、そして、空間的な位置からその場所と把握を行う手法について提案している。図4~図6に本研究での成果を示す[1]。

まず、半月板と靭帯領域におけるその特徴を理解するため、医師指導のもと、手動で対象領域を抽出する(図)。この抽出された領域に対し、ヒストグラムから輝度値分布を確認・分析したところ、各症例ともに、半月板領域と靭帯領域において、わずかではあるが、平均値ならびに分散の範囲に違いがあることが確認された。この分析を踏まえ、20症例の学習データから機械学習にもとづき、半月板領域の抽出を行った。

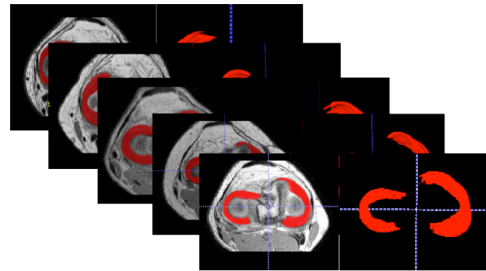


図4：手動による半月板領域の抽出

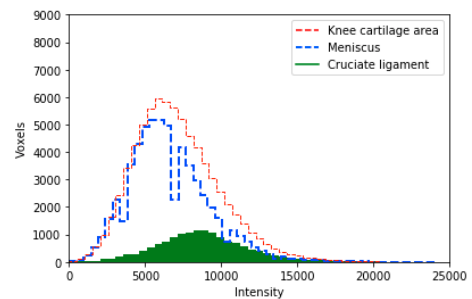


図5：膝軟骨領域の組織における輝度値分布

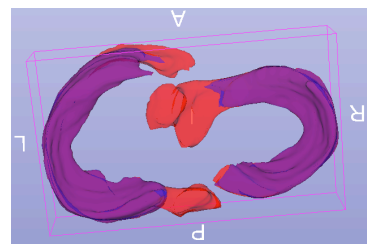


図6 膝軟骨領域の可視化(紫：半月板, 赤：靭帯)

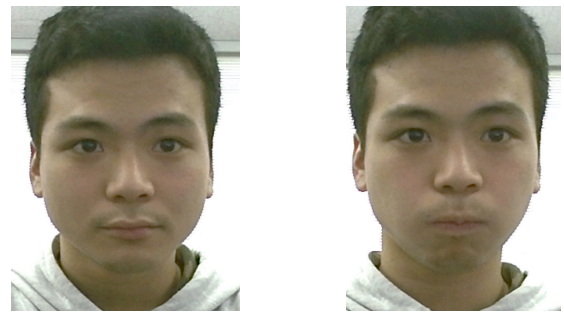
結果としては不十分な抽出結果であったが、この原因は症例数が非常に少ないこと、そして、組織として空間的な位置情報と形状情報も融合することで、その成果が向上することも同時に示唆され、現在研究を進めている。また、医用画像の取得時における、撮像条件によってもこの領域の抽出精度が変わる可能性が極めて高いことを、本研究の成果として報告した。今後、臨床現場でも、その撮像方法の検証としても本研究の成果が利用できるであろう。

### 3.2 Kinect からの顔面浮腫症例観測と臨床診断のための可視化[2]

形成外科分野において、下顎部調整手術後に顔の腫れ具合（顔面浮腫）を計測することで治療投薬の影響やその効果を臨床評価することは重要である。この顔面浮腫の度合いの検証として、これまで高精度 3D レーザスキャナなどで検証していたが、そのデバイスは高額であるだけでなく、取得される情報量が膨大であり、計算処理も膨大となる。そのため、本研究では、これまでの高精度 3D レーザスキャナにかわり、汎用的な距離センサーとして、Kinect(図 7)を用いて評価が可能であるか、を検証した。この研究では、平常顔と疑似腫れ顔として頬を膨らませた顔の差分から評価を行った。この顔情報は、Kinect の点群情報より取得し、式(1)から評価した。その結果が図 9 である。図 9 からも確認できるように、すべての症例間において、頬部の膨らみの可視化がされたことが確認できた。これは、これまでの高精度 3D レーザスキャナと同様の可視化であり、臨床医からも有効な可視化であるとの評価をいただいた。今後、このように顔面浮腫の度合いやその膨らみの影響について、臨床データに応用し、検証より有効性を評価することが、本研究の今後の展望となる。



図 7 kinect



(a)平常顔 (b)疑似腫れ顔 (膨らみ)

図 8 顔面浮腫の形態変化観測

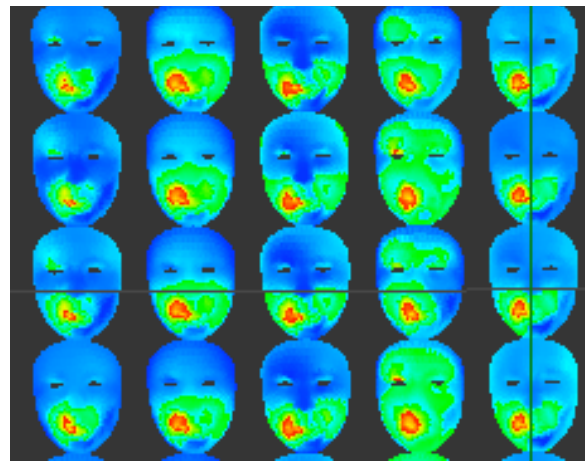


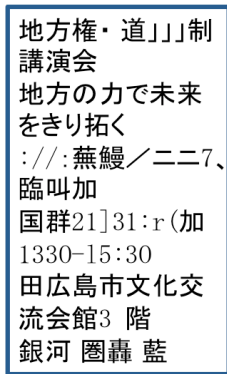
図 9 顔面浮腫の形態変化の可視化

### 4.機械学習にもとづく広告画像内からの文字領域特定[3]

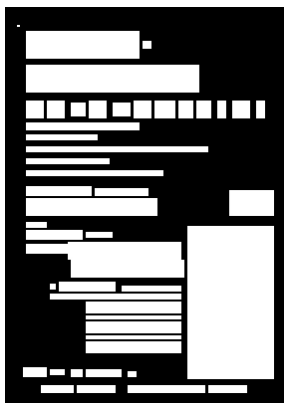
スマートフォンや IoT デバイスの進展により、広告情報のデータ収集が容易になったが、そのデータの整備について、十分な検証が行われておらず、急務である。データ整備として、手動で画像を区別し、キーワード付与を行うことが膨大な時間と手間がかかり、現実的ではない。そこで、OCR などを利用して、文字情報の取得、形態素解析からキーワード付与の手法が挙げられる。この OCR による文字の読み込みは、類似したフォント情報に対しては有効であるが、広告画像は異なったフォント情報やサイズだけでなく、様々なデザインが含まれているため、直接 OCR で文字の読み込みを行うと、文字認識に失敗することが課題であった(図 10(b))。本研究では、この問題に対し、類似した文字領域を特定し、特定された文字領域を OCR で読み込みを行うことで問題解決が目指せると仮定し、成果として、文字領域をいくつか



(a)原画像



(b)OCR の直接読み込み



(c)類似文字列領域特定



(d)文字列特定結果

図 10 広告画像からの文字列特定

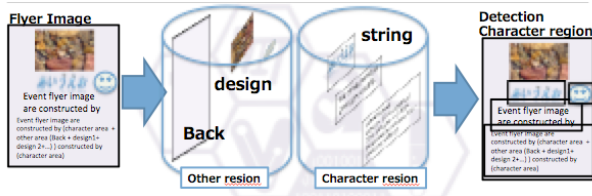


図 11： 広告画像構成のデータベース概要

区分することで文字認識の精度向上が確認できた。

そこで、本研究では、画像全体を任意のサイズに細分化し、式(1)のベクトルを構成する。この構成されたベクトルに基づいて、K-means法からその特徴情報を解析する。本研究の成果を図10に示す。図10より、直接OCRからの文字領域を読み込むと、失敗していたが、我々の提案する機械学習での文字領域特定により、文字認識の精度向上を確認した。しかし、広告画像には様々なデザインがあり、複雑な背景や写真などが含まれた場合、精度が下がってしまう課題があった。そこで現在、本研究では、図11に示すように、広告画像は文字領域と背景や写真・デザイン領域に区

別出来ると考え、現在、データベースを整備している。このデータベース整備により、深層学習へのアプローチも可能になり、より充実したキーワード自動付与の可能性が高いことが示唆された。

## 5. VR空間を利用した

### 体験型キャンパスシステムと評価[4]

学校や大学の広告手法として、従来、紙面や看板によるアナログ的な手法が主であったが、今日の情報化進展に伴い、デジタル的な広告手法に展開されている。情報媒体を用いたキャンパス案内として、文字や画像を中心とした大学のWebサイトが挙げられるが、この情報コンテンツは、従来のアナログ情報をそのままデジタルで表現した二次元情報の表現である。より臨場感の高い情報提示は、我々と同様の視覚や操作の感覚の再現が重要である。今日の情報デバイスはIoT技術の進歩がモバイル型情報システムの進展へ大きく貢献し、我々の生活において必要不可欠な存在となっている。近年は、スマートフォンの高精度化により、スマートフォンでVRの提示が可能となった。ゆえに、身近な情報媒体を用いることでコスト削減に十分期待される。

本研究では、この仮想空間上に本学のキャンパスを同スケールで展開し、スマートフォンデバイスによって空中ブランコを体験するシステムを開発した。図12にそのシステムの利用を提示する。

また、このシステムの評価として、一般的には昇順のリッカードスケールで行われている。しかし、VR空間では、その環境がシステムのデモトレーションとして、強さの影響が検証されるべきである。そこで、本研究では新たなリッカードスケールとして、中央値を最良とし、低くなれば、その環境での尺度が低い、高い値では、印象が強い、とすることで、VR空間体験の際の、圧迫感や操作感の強弱についても評価を行った。この評価を提示した結果が図13になる。この図13の結果からも確認できるよう、値としては最良とする3にほぼ集約されていることが確認できた。しかし、リアリティ性がやや低かった。これは建物がまだ作り込まれていない場所などがあるため、体



験者が違和感を持った結果である。今後は、さらにリアリティ性を高める必要がある。さらに、今回は、ブランコの体験だったので、体験者の操作はそれほど要求されない。これもリアリティ性が低くなる要因である。今後、体験者の対話操作を導入するなどが必要であることが、この懐石より示唆された。

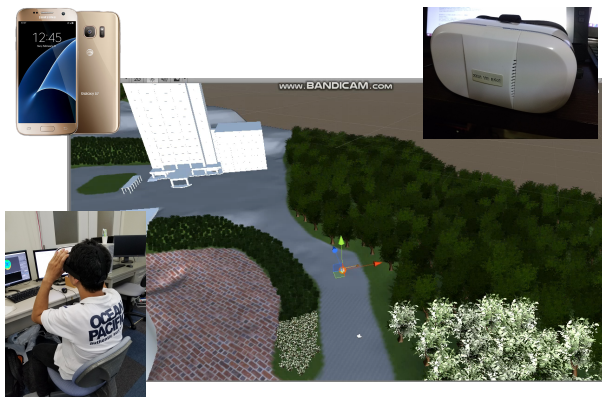


図 12 : VR キャンパス体験システム

Questionnaire evaluation(visualization, movement operation)

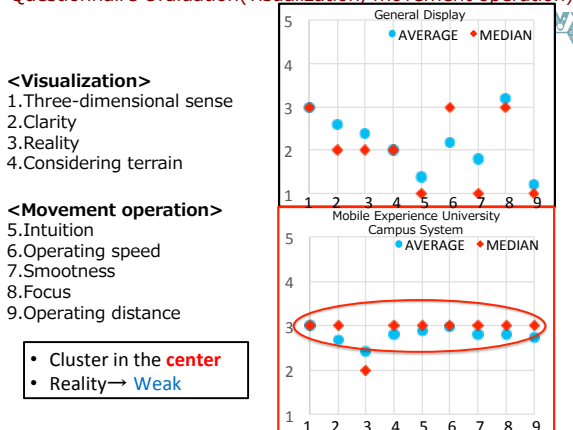


図 13 : VR キャンパス体験システムの評価

#### 4 結論

収集されたビックデータを効率的な可視化として提示するため、本研究では式(1)に基づいて、機械学習を利用した情報可視化を提示した。この例として、医用画像解析、顔形状の形態変化可視化、広告画像からの文字列特定、そしてVR空間での評価手法の検討などについて提案した。これまでの成果と解析より、我々の提案手法で、多くのデータに対し、有効な情報解析の結果を提示し、その結果を踏まえ、その後の現場での情報利用に多いに有効であることを提示した。

#### 謝辞

本研究遂行に多くの有益な助言ならびに実験協力を頂いた、立命館大学情報理工学部知的画像処理研究室の陳延偉教授ならびに医用画像・インタラクショングループ謝意を示す。

また、各研究テーマについて、データ提供ならびに臨床知識のご協力を頂いた、霞クリニック、広島大学病院放射線科、沖縄中部病院澤本尚哉医師、ためまっぷプロジェクトの清水義弘氏に謝意を示す。

本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号:18K11454)および公益財団法人サタケ技術振興財団の助成、広島工業大学知的情報可視化研究センターの援のもと、研究を遂行している。

#### 参考文献

- [1] Tateyama, T, Maemoto, N, Matsumoto, s, et al., Automatic extraction of knee structure for damage analysis and assessment of knee meniscus using intensity histogram, Proc of ISAROB 2018, pp.423-426, Jan. 2019.
- [2] Tateyama, T, Ohno, A, Matsumoto, s: Efficient Alignment method for facial swelling analysis measured from Kinect Depth sensor, Proc of ISAROB 2018, pp427-430, Jan. 2019.
- [3] Tateyama, T, Orimoto, K, Matsumoto, s :” Automatic generation of pseudo flyer images to construct learning dataset and its application for extracting character string region based on machine learning” Proc of ISAROB 2018, pp335-338, Jan. 2019.
- [4] Tateyama, T, Kigami, A, Matsumoto, s, 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.