

ISSN 2758-075X

東京国際工科専門職大学紀要

第1巻 第1号

**Bulletin of International Professional University of
Technology in Tokyo**

2022年 3月

東京国際工科専門職大学

目 次

巻頭言

東京国際工科専門職大学紀要が新しい科学知識の出現する広場になることを期待する
吉川 弘之

論文

製薬特許の分析による2つの知見

—医薬品の売上予測とパテントファミリー内の特許成立の予測

上條 浩一・大関 和夫…………… 1

深層学習における学習データクラスのt-SNEによる解析

大関 和夫・上條 浩一…………… 17

研究ノート

サステイナブルな教育環境の構築に向けて

～ Resilient Campus Platform ～

爰川 知宏・辻野 雅之・武本 充治・山本 裕・

大関 和夫・水上 憲明・上條 浩一…………… 33

音楽を理解するコンピュータ

—人工感性の実現を目指して—

山口 直彦…………… 45

ビデオゲーム技術がもたらす「遊び」の現在と未来

斎藤 直宏…………… 64

デジタルゲームにおける文化記号的アプローチの可能性

浅野耕一郎…………… 76

教育ノート

オンライン授業の課題設定事例

—比較文化論の場合—

鈴木 雅実…………… 81

デジタルツールと三幕構成を用いたデジタルゲームブックの

執筆演習に関する実践報告

小野 憲史…………… 86

総説

専門職大学の教育に向けた IT インフラの設計と構築

藤井 竜也…………… 99

調査報告

専門職大学・専門職短期大学の設置認可申請における審査意見に関する考察

斎藤 亜希…………… 111

編集後記

大関 和夫…………… 117

『東京国際工科専門職大学紀要』規定…………… 118

『東京国際工科専門職大学紀要』執筆要項…………… 120

Bulletin of International Professional University of Technology in Tokyo

vol.1 No. 1

Contents

Introduction

Society Expects The New Bulletin of International Professional University of Technology
in Tokyo to be a Plaza Where Unprecedented Scientific Knowledge Will Come Out.

Hiroyuki Yosikawa

Articles

Two Findings from The Analysis of Pharmaceutical Patents

-Sales Estimation and Patent Grant Prediction within Patent Family

----- Koichi Kamijo, Kazuo Ohzeki --- 1

Analysis of Train Data Class Using t-SNE in Deep Learning

----- Kazuo Ohzeki, Koichi Kamijo---17

Research Notes

Towards Sustainable Education Environment for Professionals

– Resilient Campus Platform

----- Tomohiro Kokogawa, Masayuki Tsujino, Michiharu Takemoto,

Hiroshi Yamamoto, Kazuo Ohzeki, Noriaki Mizukami, and Koichi Kamijo---33

Computer Recognize Music - For Establish Artificial Emotion -

----- Naohiko Yamaguchi---45

The Present and Future of “PLAY” Brought About by Video Game Technology

----- Naohiro Saito---64

Cultural Semiotic Approach in Digital Games

----- Koichiro Asano---76

Education Notes

A Case Report of Task Setting for Online Lecture on Cross-Cultural Study

----- Masami Suzuki---81

A Practical Report on a Writing Exercise for a Digital Gamebook Using Digital Tools
and a Three-Act Structure

----- Kenji Ono---86

Review

Design and Construction of IT Infrastructure for Newly Established Professional University

----- Tatsuya Fujii ---99

Research Reports

Consideration on Examination Opinions in Application for Approval

to Establish a Professional University and Professional University Junior College

----- Aki Saito ---111

巻頭言

東京国際工科専門職大学紀要が新しい科学知識の出現する広場になることを期待する

東京国際工科専門職大学 学長
吉川弘之

大学紀要第1号の発行は本学にとって大変うれしいことであり、これから本学の成長に従って、論文をはじめいろいろな記事が発表されて行くことを期待している。

専門職大学は新しい制度による新設の大学であって、理論と実践とが融合した教育研究を行う大学であるという定義が示されている。そこには過去に例のない新しく出現した現代社会における重要な課題の解決に必要な大学の貢献への期待があり、それにこたえる専門職大学は、大学の理念のみならず、大学改革の視点とされる3つのポリシーを含め、従来の大学とは異なる考え方が必要である。これらに対し、今、私たち専門職大学の運営にかかわるすべての人が、新しい方法を案出し、その実現に努力しているが、その中で最も重要なこととして専門職大学はどのような学問に依拠して教育研究を行うのかという課題に直面している。これは新しい制度の大学という以上、当然考えるべき重要な課題である。

大学は学問の府であると言われ、そこで行われる教育、研究そして社会貢献が学問に依拠して行われる。この学問という大学が依拠するものが、専門職大学と従来の大学とでどのように違うのかを考える必要がある。

長い歴史を持つ大学は、歴史的に積み上げられた多くの領域を持つ学問を継承し、それらをさらに研究して発展させ、またそれを根拠として教育を行ってきた。大学が他の社会的機関と異なるのは、その行為の根拠の違いである。

学問を根拠とするという基本は、伝統的な大学も新しい歴史の歩みを始める専門職大学も、大学である以上共通であることは言うまでもない。したがって多数の伝統的大学と新大学である専門職大学の違いを考えるとときまず考えなければならないのは、根拠とする学問の違いであると考えなければならないであろう。

伝統的な大学は長い歴史を経て到達した学問の構造に依拠して構成され文科、理科の分類を初めとして多岐に分かれた専門領域からできている。大学は専門領域ごとに区分された学部とさらに細分化された学科と呼ばれる組織を持ち、教員はこの区分に従って組織され、学生も各区分に所属する。全領域を含む大学が総合大学、単一の区分を持つ大学は単科大学と呼ばれることもあるが、いずれも教育研究は専門領域の区分に従って行われる。学生は特定の学科に属して学ぶのであるから、単一の専門領域を身に着けることが学習目的となり、卒業生は、卒業した学部、学科の持つ専門領域に対応する単一の専門領域知識を持つ者として社会に出てゆく。専門領域によっては、医師、弁護士などのように、領域固有の資格が与えられる。

しかし社会には、多数の専門領域知識を必要とする企業、官公庁、政治的諸機関などの多様な機関があり、それぞれが持つ社会的機能を果たすためには多種類の専門領域知識を必要とするので、それを満たすために多数の異なる領域知識を持つ卒業生を採用しなければ

ばならない。卒業生は採用された機関に職を得て、他の領域知識を持つ人々と協力しつつ、機関の機能達成に貢献する。これが大学教育の伝統的姿であり、特定専門領域を身に着けた卒業生を送り出すのが大学の重要な意義の一つと言われてきた。

ここで、大学は専門的知識の教育が役割であると考えて、異なる領域知識を持つ卒業生たちがどのような協力によって社会機関の機能を発揮するのかについては深い考察をしてこなかったことを指摘しておかなければならない。極端に言えば、特定の専門知識を身に着ければ卒業の資格が与えられ、卒業生が社会でどのようにそれを使うかという課題は社会の諸機関の方針によるのであって大学では責任を持つ公的教育は行わないという方針であったと思われる。この伝統的な視点の問題点は最近の大学で指摘はされているが、少なくとも領域の協力問題が一つの学問分野として存在しているとは言えないであろう。

これに対し新大学である専門職大学は、同じく学問に依拠する教育研究を行うのであるが、専門領域ごとに研究教育をすることだけに関心を持つのではなく、さらに進んで多様な領域知識が社会に出た領域専門家の協力によって合成され、社会的機能を発揮する仕組みにまで関心を拡大するのである。その関心に基づく教育研究は、社会機関が機能を発揮するための行為での知識の使用状態に現れる領域知識の集合を対象とする。そのために大学の組織、構成は伝統的大学が依拠する区分された学問領域によるのではなく、社会における学問的知識の使用形態を反映した区分によって構成される。そして専門職大学の教育研究がこの区分に従って行われる。その結果卒業生は単一の領域知識の専門家になるのではなく、複数領域が組となって「使われる」状況、すなわち社会の諸機関で現実にあるいは将来において、複数領域の知識が作動する状況を学び取ったものとして、すなわち社会における職業人の視点を学習の中に包含しつつ学んだ者として社会に出てゆく。

このように、歴史的に発展してきた結果として存在する学問領域に従って、そのまま領域知識を教育した研究するのではなく、現実社会で作動している学問の領域集合体を対象として研究し、またそれに依拠して教育を行うことにより、一つの領域を究める専門家ではなく、社会の実際に存在する仕事に適合する「専門職」を育てるのである。専門職は、社会の中のデザイナーとして社会に貢献する。このことは学問に依拠すべき大学において、領域を守ることを使命とする伝統的な大学に加えて、従来の大学教育とは全く異なる「知識の使用」を基本的構造とする体系を持つ専門職大学が生まれたと考えてよい。

実はこの体系は、しばしばいわれてきた学際領域の学問とは全く違う。二つの学問領域を一つの学問にする努力は極めて高度な思索を必要とし、それは元の学問領域を個々の領域としては否定した形で現れるはずであり、どの領域も学際領域ができると考えることはほとんどできないと考えられる。学際領域は学問論の最も基礎的な課題として別に考えるべきものであり、今我々が考えている「領域の協力」とは別のものであると考えておく。

「知識の使用」を基本構造とする学問、それは対象存在について「整合的説明」を領域ごとに求めていく伝統的形式と違う形式の学問である可能性がある。専門職大学はこの知識の使用を基本構造とする学問を作っていきたいのであるが、これは思弁的に作れるものではなく、大学における教育と研究という現実の行動を基礎として作られる新しい学問である。おそらくそれは、現在の学問が思索と行動の長い時間をかけて成長してきたように、これから長い時間を必要とするであろう。

しかし、このような学問が緊急に必要であることはすでに言明されている。1999年に

ブダペストで UNESCO と ICSU の主催で開催された世界科学会議の結論として発表された宣言書の表題は「Declaration on Science and the Use of Scientific Knowledge」であり、科学的知識の理論がないままでの、社会の自由に任せた状態での「使用」がすでに数々の困難な問題を引き起こしていることを指摘したのである。このことを思い起こすと、専門職大学の設置は、この会議の要請に対する大学からの初めての回答であると考えられることができる。この会議での議論は、科学的知識は増えるほど良いものではあるが、それを「使う知識」も増やす必要があり、それを公的に議論するべきだという結論であった。そのため具体的な方法は宣言書に述べられなかったが、会議で私は学問の構造を変えるべきであると主張したのであった。その後 20 年、伝統的な大学での努力はあったが、長い歴史を経て完成した教育の構造をどのように変えるかについての明確な表明はまだされていない。

今、国際工科専門職大学で私たちが理念とする情報化社会における Designer in Society は、新しい学問構造に基づく大学における教育研究を目指すものであり、20 年前のブダペスト宣言の世界的な要請の実現を目指しているといえることができるであろう。

この実現の努力の主役は教育する側にいる教員、管理者、実務者あるいは企業などの学外協力者、そして受ける側にいる学生からなる共同体である。この共同体が課題に取り組み、社会にこたえる歴史が始まっているが、それは社会に開かれた大学として、歴史に現れる諸分野を俯瞰的に見ながら、「知識の使用に関する学問」という従来とは異質の知識の体系を実践的に作り上げるという大きな仕事に取り掛かることである。本学の紀要は、この新しい仕事の歴史的記録として貴重なものになることが期待される。

【論文】

製薬特許の分析による2つの知見

—医薬品の売上予測とパテントファミリー内の特許成立の予測

上條浩一・大関和夫

Two Findings from the Analysis of Pharmaceutical Patents -Sales Estimation and Patent Grant Prediction within Patent Family

Koichi Kamijo, Kazuo Ohzeki

Abstract : We report two cases of findings obtained by analyzing the specification of pharmaceutical patents using machine learning. The first is about pharmaceutical sales estimation. Many pharmaceutical companies take a huge amount of time and money to develop a pharmaceutical, and it is strongly desired to estimate future sales volume at an early development stage. The second is about the patent family. Many pharmaceutical companies apply for the same patent in multiple countries as a patent family, but it is often the case that the same patent is granted in one country but not in another. In both cases, it turns out that deep learning provides good predictive performance by using the words used in the patent and the “hot” words that were also published in the journal at the time of filing.

Keywords : sales estimation, pharmaceuticals, patent specification, deep learning, natural language processing.

1. はじめに

医薬品は他の製品よりも開発期間が長く、多くの製品が大きな利益を生む可能性がある。そのため、特に医薬品のマーケティング戦略を策定する際には、開発の初期段階で新製品や新サービスの販売量を見積もることが非常に重要となる。

一方、多くの企業が複数の国で同じ特許を申請している。これは、商品やサービスの権利をグローバルに取得することを目的として行われており、これらの特許はパテントファミリーと呼ばれる。しかしながら、各国の特許庁の方針の違いなどにより、同じ特許であるにも関わらず、ある国では成立するが、他のある国では成立しない、ということがしばしば起こる。

本論文では、対象を製薬に限定し、特許明細書の分析による2つの知見の報告を行う。1つ目は、医薬品の売上予測であり、2つ目は、パテントファミリー内の国毎の特許成立の予測である。2つ目に関しては、対象国を米国、インド、およびブラジルに絞る。これらの2種類の予測に関しては、何れも深層学習を用いる。

II. 関連研究

ここでは、2つの知見に共通となる、特許の解析に関する関連研究を紹介する。

Suzuki らは、特許申請書類の構造を利用して、特許クレームから新規性または進歩性に関連するキーワードを自動的に抽出する方法を提案している [1]。Kim らは、特許申請書類を分析して、ワイヤレス電力伝送の新しい技術分野と、未開拓の技術分野を特定する。彼らは、テキストマイニングによって特許からトピック領域を抽出し、さらに、時系列分析により類似のセマンティクスを持つトピックをグループ化した [2]。次に、クラスタリングおよび時系列分析の結果を比較して、新規または未開拓のテクノロジー領域を誤認識する可能性を最小限に抑えた。Guderian らは、COVID-19 パンデミックなどの際に、特許を含めた公開データを用いて、如何にして有益な情報を提供できるかについての調査を行った [3]。

これらは全て、特許分析によるものであるが、売り上げ予測やパテントファミリーとしての特許予測を行うものではない。また、何れの物も、深層学習は利用していない。

III. 特許の扱いの国ごとの違い

本章では、2つ目の知見である、パテントファミリー内の国毎の特許成立違いを解析する準備として、まず、3つの各対象国の特許庁の特徴を分析し、次に、各国の特許における特徴に対しての定量的な比較を行う。

A. 特許庁の比較

特許庁の方針は国によって異なる。たとえば、米国特許庁 (United States Patent and Trademark Office=USPTO) の特徴として、2011年の America Invents Act に従って、USPTO が特許の優先日を決定する際に先願主義を採用していることが挙げられる [4], [5]。USPTO のもう1つの特徴は、経験豊富な審査官が特許を付与する可能性が高いことが挙げられる [6]。インドとブラジルは Trade Related aspects of Intellectual Property Rights (TRIPS) [7], [8] に準拠しており、各国は国の状況に応じて柔軟な対策を講じることができる。インドの特許法は、“evergreening”、つまり法律で一般的に許可されている期間よりも長い期間特許を延長することを防ぐことを目的とした Section 3(d) の存在を特徴としている。“evergreening”を防ぐためのこの対策は、“public health safeguard”と広く見なされている [9]。セクション 3(d) は、既知の物質の新しい形態の単なる発見は、有効性に関して特性が大幅に異なる場合を除いて、特許を受けることができないということを示している。Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA: 国家衛生監督庁) による審査は、ブラジルの特許法の特徴である [10]。ANVISA は、ブラジル特許庁による出願の審査の前に、医薬品に関する特許出願を審査するが、これにより、2段階の審査プロセスが発生し、出願から特許が付与されるまでの待ち時間が長くなる。

これらの違いを考えると、同一の特許が出願されている場合でも、特許成立の比率が米国、インド、ブラジルで異なることが理解できる。

B. 特微量に伴う特許成立率の比較

1999年から2014年の間に少なくとも米国、インド、ブラジルで同じ特許が出願された、医薬品に関するパテントファミリー12,499件を、Cortellis [11]およびDerwent Innovation [12]データベースより収集した。つまり、 $12,499 \times 3 = 37,497$ 件の特許を収集したことになる。因みに、これらの2つのデータベースは、特許に関するエキスパートが多く在籍しているClarivate社 [13]により運営されている。

実験を行う前に、これらの37,497の特許に対して、“成立”、“拒絶”、“不明”の何れかのラベルを付与する。“成立”は、実際に国の特許庁によって“成立”となった場合、またはまだ審査中のものであっても、Clarivateが成立の確率を100%と判断した場合に付与される。“拒絶”は、実際に国の特許庁によって“拒絶”となった場合、または、まだ審査中のものであっても、Clarivate社が成立の確率を0%と判断した場合に付与される。また、審査中の特許で、出願より、その国の特許の審査の期間が、その国の承認された特許の95%以上が承認が終了している期間を超えた場合も、その特許には“拒絶”のラベルを付与する。それ以外の審査中の特許は、“不明”とする。

Fig.1は、パテントファミリー内の37,497の特許に関して、“成立”、または“拒絶”のラベルがついたものに対して、各国において“成立”、または“拒絶”となった特許における、平均発明者数、平均クレーム数、平均被引用特許・文献数、及び平均引用特許・文献数を表したものである。ここで、これらの4つの平均値に関しては、米国に出願されたものを用いた。これは、それ以外の国におけるこれらの4つの特微量が取得できるもの、できないものが混在しているためである。

さらに、この後で述べる、特許明細書の解析においても、米国の明細書を、そのパテントファミリーの代表として用いた。これは、本研究が、出願された内容に対応した特許成

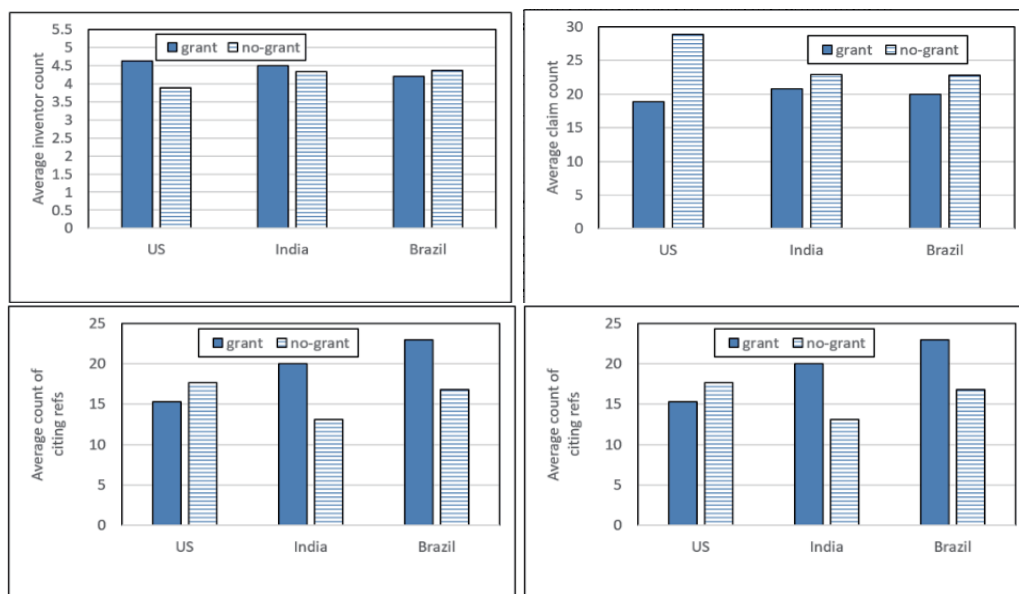


Fig.1 12,499 のパテントファミリーを利用した、特許成立可否の国ごとの特微量の比較

左上：平均発明者数、右上：平均クレーム数、左下：平均被引用文献数、右下：平均引用文献数。

立可否の解析を行うことが目的であり、各国における、明細書の違いから生じる成立可否の違いを解析するものではないからである。また、ブラジルの特許明細書はポルトガル語で書かれており、それを翻訳して使うことにより、本研究の趣旨ではない、翻訳エンジン自体のノイズが加わることも理由として挙げられる。

これらの図を見ると、特に平均被引用特許・文献数において国毎の特徴が認められ、特に米国において、成立特許の場合に大きく、拒絶の場合小さいことが判る。

IV. 予測モデル

予測モデルにおいては、医薬品に関連する特許や記事をもとに、新薬の売り上げ、及びパテントファミリーの特許の成立の可否の予測を行う。Fig.2は予測モデルの概要である。以下に各機能の説明を行う。Sales dataは、医薬品の品名、開発会社名、売り上げ実績などの医薬品の売り上げに関するデータを蓄積するデータベースであり、Cortellisのデータベースを利用する。このデータベースは、売り上げ予測のみで利用される。Patentsは、医薬品に関連する特許申請書類を蓄積するデータベースであり、Derwent Innovationの特許データベースを利用する。Articlesは、医薬品関連の記事のデータベースであり、具体的には、“Pharmaceutical Benefits Pricing Authority Annual Reports published” (1998 - 2020) [14], [15] および “Reports of the Pharmaceuticals and Medical Devices Agency” (2004 - 2018) [16] を格納している。**Morphological analysis-1,2**では、**Patents**に格納された特許申請書、及びArticlesに格納された記事の形態素解析 (stemming, lemmatization を含む)を行う。具体的には、nlTK Package [17]に格納された“word tokenize”を用いて、形態素解析を行う。これを用いることにより、例えば、“We were performing maintenance. It rains cats and dogs.”という文章は、“We were perform mainten . It rain cat and dog .”という文章に変換される。ここでは、大文字、小文字の区別は行わず、数字やストップワードは無視される。**Word count**では、形態素解析された単語の利用頻度が、各特許申請書毎にカウントされる。**TF-IDF** (Term Frequency Inverse Document Frequency) では、全記事の形態素解析された単語の年ごとのTF-IDFが計算され、**Weighting**で、**Word count**で計算された単語数の重みづけが年毎に行われる。**Deep learning**では、上記で得られた情報を深層学習で解析し、**Cross-validation**で、交差検証により、これらの結果の評価を行う。

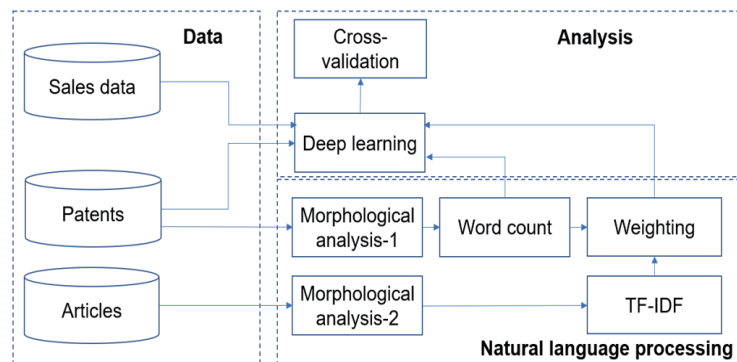


Fig. 2 予測モデル

以下で、“売上上げ予測”、“特許成立予測”の各々の手法に関して、詳細に議論を行う。

A. 売上上げ予測モデル

売上上げ予測モデル [18] においては、以下の 1)～4) の4つのアプローチに加え、それらのコンビネーション (5) を用いて売上上げ予測を行った。

本論文での売上上げ予測においては、ある年の単年度での売上上げではなく、対象製薬の累積売上上げの予測を行う。

- 1) 医薬品の開発会社、及び開発年からの売上上げ予測
- 2) 医薬品の特許情報からの売上上げ予測
- 3) 医薬品の特許申請書類に使われた単語からの売上上げ予測
- 4) 医薬品関連記事を用いた売上上げ予測
- 5) 1)～4)のコンビネーション

医薬品を d_i ($i = 1, 2, \dots$ はインデックス)、その実際の売上上げの合計値を s_i とする。医薬品リスト、及びその売上上げは、Cortellis のデータベースから得られたものを利用する。Fig. 3 は、実験で使用された 439 の医薬品の医薬品売上上げ合計を示している。この売上合計は、医薬品が販売されてから 2019 年までの累計に加え、2020 年から 2027 年までの、Clarivate 社の専門家による売上上げ予測の累計を加えている。これは、2019 年の直前または直後に開発された医薬品の売上実績データが不足しているためであり、このようにすることで、各薬の生涯売上上げに近い値が得られる。このように一部予測値が入ったものを深層学習で予測、評価することになるが、売上予測研究の観点から、これらの値を推定することは研究としての価値を損なわない。この図を見てわかるように、売上上げは指数関数グラフに近い形をしているため、本論文では、売上上げ予測に対しては、 s_i ではなく、 $\log(s_i)$ (底 = e) を使用する。申請書に関しては、特許フォーマットの統一の観点より The Patent Cooperation Treaty (PCT)[19] に準拠した英語で書かれた特許申請書のみを使用した。以下に、1)～4)の詳細を述べる。

1) 医薬品の開発会社、及び開発年からの売上上げ予測

COVID-19 により、製薬会社の売上上げに大きな差がつき、例えば、ファイザー社は 2021 年の COVID-19 ワクチンの需要が旺盛で、売上高は 260 億米ドルと予測されている [20]。2021 年は特別としても、このように、製薬会社によって薬の販売量は異なり、製薬会社から、薬の売上上げ予測がある程度可能であることが推定される。ここでは、医薬品を開発した会社の名前と、開発の開始年より、その薬の売上上げを予測する。開発の

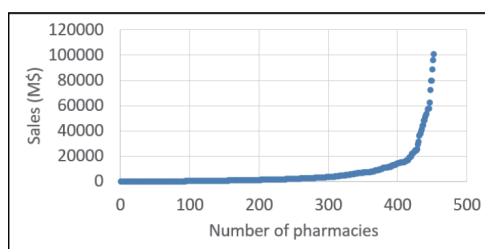


Fig. 3 実験で用いられた 439 の医薬品の累計売上 (予測値を含む) (単位：百万米ドル)

開始年は、その薬に対する最初の特許が出願された年を利用する。売り上げ予測モデルの **Deep learning** への入力としては、 d_i に対して、製薬会社名を one-hot vector v_i で定義し、さらに、製薬の開発年 yp_i を用いて、以下の $x_i^{[1]}$ を利用する。

$$x_i^{[1]} = [v_i, yp_i]^T. \quad (1)$$

ここで、 T は転置を意味する。

2) 医薬品の特許情報からの売り上げ予測

特許明細書は通常、タイトル、要約、クレーム、詳細な説明などで構成される。これらのコンポーネントと販売量の相関関係を分析し、売り上げ予測を行う。具体的には、まず、医薬品 d_i に対して最初に出願された特許申請書 a_i より以下の情報を取得する。

- pr_{1i} : タイトルの単語数
- pr_{2i} : アブストラクトの単語数
- pr_{3i} : 明細書全体の単語数
- pr_{4i} : クレーム数

これらを用い、医薬品 d_i に対し、以下のベクトル $x_i^{[2]}$ を定義し、**Deep learning** への入力とする。

$$x_i^{[2]} = [pr_{1i}, pr_{2i}, pr_{3i}, pr_{4i}]^T. \quad (2)$$

3) 医薬品の特許申請書類に使われた単語からの売り上げ予測

各特許明細で使用されている単語と各医薬品の売り上げの相関関係より売り上げ予測を行う。具体的には、医薬品 d_i の特許明細書 a_i で使用されている全ての形態素解析後の単語 w に対して、形態素解析を実行したものに対し、各単語の使用率、すなわち、各単語

TABLE I

実験で使用された 439 件の特許の $|r|$ 値が大きい単語のサンプル、および各単語の 439 件の特許のうち少なくとも 1 回使用された特許の比率。

word	r-value	ratio
lupu	-0.304	0.103
germlin	0.305	0.128
ctg	0.301	0.103
dmsso	0.292	0.155
transplant	-0.285	0.109
amino	0.284	0.123
vegf	0.290	0.098
isoleucin	0.259	0.114
lymphoma	0.269	0.196
epiderm	-0.275	0.105
cag	0.273	0.106
cynomolgu	-0.273	0.105
best	-0.266	0.128
precipit	-0.263	0.121
coloni	-0.243	0.146
microtit	-0.241	0.128
substrat	0.230	0.105
polynucleotid	-0.232	0.221

の出現頻度をその明細書での全ての単語数で割ったもの、 u_{wi} ($\sum_w u_{wi} = 1$)、を算出する。ここでの算出においては、本章上記に既に述べた通り、ストップワード、数字、記号を除外したが、品詞や、出現場所（タイトル、アブストラクト、図、等）に関係なく、算出を行った。そして、各単語 w に対して、 u_w を次のように定義する。

$$u_w = [u_{w1}, \dots, u_{wn}]. \quad (3)$$

ここで n は対象となる医薬品数（明細書数）の総数である。次に、 u_w と $l_s = [\log(s_1), \dots, \log(s_n)]$ の間のピアソンの r 値、 r_w 、を求め、以下を満足する単語の集合 $\Omega(T_r, T_p)$ を作成する。

$$\Omega(T_r, T_p) = \{w | r_w \geq T_r, p_w \leq T_p\}. \quad (4)$$

ここで、 T_r 、 T_p は各々 r 値、 p 値の閾値である。Table 1 は、実験で使用される 439 の医薬品特許明細書の中から、 $\Omega(0.1, 0.01)$ を満たす医薬品用語を $|r_w|$ の大きい順にソートしたものである。ここで、“比率”は、各単語が、439 件の特許のうち少なくとも 1 回使用された特許明細書の比率を表す。

ここで、各医薬品 d_i に対して、以下のベクトル $x_i^{[3]}$ を定義し、**Deep learning** への入力とする。

$$x_i^{[3]} = [u_{w1i}, \dots, u_{w|\Omega_i}]^T. \quad (5)$$

4) 医薬品関連記事を用いた売り上げ予測

特許出願書類に、ある年の医薬品の注目度を反映した「句」なキーワードが含まれている場合、将来的な医薬品の販売総数が大きくなる可能性がある。そこで、3) で計算された単語使用率 u_{wi} を「句」の具合に基づき重みづけをした合計値を各年毎に計算し、売り上げ予測に利用する。重みづけに際しては、 y 年に発行された医薬品関連の記事 [14]–[16] を収集し、形態素解析後、そこで利用された単語 w に対する tf-idf, $\text{tfidf}(w, y)$ を以下のよう

$$\text{tfidf}(w, y) = \text{tf}(w, y) \log(\text{idf}(w)). \quad (6)$$

ここで、 $\text{tf}(w, y)$ は、 y 年に発行された全ての対象記事での w という単語の出現頻度を表し、 $\text{idf}(w)$ は、対象となるすべての年のうち、 w が 1 回以上 1 つ以上の記事で利用された出現回数（年の数）の逆数を表す。各 y に対し、 $\text{tf}(w, y)$ は正規化されており、 $\sum_w \text{tf}(w, y) = 1$ が成立する。

次に、各医薬品 d_i に対して、 y 毎の、単語使用率を tf-idf で重みづけした合計、 $ut(y, i)$ を以下のように計算する。

$$ut(y, i) = \sum_w \text{tfidf}(w, y) u_{wi}. \quad (7)$$

$ut(y, i)$ を年毎に並べたベクトルを深層学習の入力に入れ学習させることにより、特許が申請されてからの年数に応じた重みづけを行い、その特許の売り上げを予測することが可能となる。その際、 i に対する各ベクトルを、医薬品の記事に対し、医薬品の特許が最初に申請されてからの年数で揃える必要がある。この観点から、 $ut(y, i)$ に対し、記事が公開さ

れた年から最初の特許が出願された年 (yp_i) を引いた年の各要素の位置がすべての i で同じになるように、ベクトルの左、右、もしくはその両方に 0 をパディングし、以下のベクトル $x_i^{[4]}$ を定義し、**Deep learning** への入力とする。このようにパディングを行うことにより、各特許の出願年に関わらず、特許が出願されてから y 年経った年の $x_i^{[4]}$ における要素の位置が左から $yp_{max} - ya_{min} + y'$ と同じ位置になる。単に年次順ではなく、このように、出願してから経過年順でベクトルの要素をそろえた理由は、年次順の場合に比べ、経過年順で各 $x_i^{[4]}$ を揃えた方が、推定精度が高いためである。

$$x_i^{[4]} = [0^{z_1}, ut(ya_{min}, i), \dots, ut(ya_{max}, i), 0^{z_2}]^T. \quad (8)$$

ここで、 0^j は j 個の 0 で構成されるベクトル、 $z_1 = yp_{max} - yp_i$ 、 $z_2 = yp_i - yp_{min}$ 、 yp_{min} 、 yp_{max} は各々 yp_i の最小値と最大値、 ya_{min} 、 ya_{max} は各々記事の最も古い年と最も新しい年である。

例えば、 $yp_0 = 2000$ 、 $ya_{min} = 1998$ 、 $ya_{max} = 2020$ 、 $yp_{min} = 1980$ 、 $yp_{max} = 2021$ の場合、

$$x_0^{[4]} = [0^{21}, ut(0, 1998), \dots, ut(0, 2020), 0^{20}]^T, \quad (9)$$

となる。

B. パテントファミリにおける特許成立予測

パテントファミリにおける特許成立予測モデルにおいては、以下 2) ~ 4) に加え、それらのコンビネーション (=5)) を用いて特許成立予測を行った。下記においては、売り上げ予測の 1) を除いたものと基本的なアプローチが同じのため、売り上げ予測場合と同じ番号に揃える。ただし、売り上げ予測と区別するために、ベクトル等に全て ' をつけて区別する。

- 2) 医薬品の特許情報からの特許成立予測
- 3) 医薬品の特許申請書類に使われた単語からの特許成立予測
- 4) 医薬品関連記事を用いた特許成立予測
- 5) 2)-4) のコンビネーション

以下、各項目の説明を行う。2) 医薬品の特許情報からの特許成立予測売り上げ予測同様、特許申請書 a_i の特徴量を利用するが、Fig.1 で紹介した以下の内容を用いる。

- pr'_{1i} : 発明者数
- pr'_{2i} : クレーム数
- pr'_{3i} : 被引用文献数
- pr'_{4i} : 引用文献数

これらを用い、医薬品 d_i に対し、以下のベクトル $x_i'^{[2]}$ を定義し、**Deep learning** への入力とする。

$$x_i'^{[2]} = [pr'_{1i}, pr'_{2i}, pr'_{3i}, pr'_{4i}]^T. \quad (10)$$

3) 医薬品の特許申請書類に使われた単語からの特許成立予測

ここにおいては、売り上げ予測同様、各特許明細で使用されている形態素解析済みの単語 w の利用頻度を用い、各単語 w に対する利用頻度を $u'_w = [u_{w1}, \dots, u_{wn}]$ と定義する。ただし、 n' は、パテントファミリにおける特許成立予測で利用するパテントファミリの数である。

次に、各特許ファミリー i, c に対して以下の $s_{c,i}$ を定義する。

$$s_{c,i} = \begin{cases} 1, & a'_i \text{ は } c \text{ では成立、他の全ての国で拒絶} \\ 0.5, & a'_i \text{ は } c \text{ と他の1つの国のみで成立} \\ 0, & a'_i \text{ は全ての国で成立、もしくは拒絶} \\ -0.5, & a'_i \text{ は } c \text{ では拒絶、他の1つの国のみで成立} \\ -1, & a'_i \text{ は } c \text{ では拒絶、他の全ての国で成立} \end{cases} \quad (11)$$

ここで、例えば、特許成立の可否に貢献している単語を選ぶ、という目的であれば、単純に、各単語の3つの国の成立/拒絶の数に応じて重みづけを行う方法も考えられる。しかしながら、本論文では、特許ファミリー内で、国毎の成立/拒絶の差を生む可能性が高い単語を選ぶ目的で、式11の方法を採用した。

そして、 $s'_c = [s_{c,1}, \dots, s_{c,n}]^T$ とし、 s'_c と u'_w との間のピアソン値 r'_{wc} を、 w が国 c での成立/拒絶の予測にどの程度関与しているかを示す値として計算する。さらに、以下の式を満たす w の集合 $\Omega(Tr, Tp)$ を選出する。

$$\Omega(Tr, Tp) = \{w \mid |r'_{wc}| \geq Tr, p'_w \leq Tp, c = US, IN, BR\}. \quad (12)$$

ここで、 Tr と Tp はしきい値、 p'_w は r'_{wc} に対応する p 値、US, IN, BR は各々米国、インド、ブラジル、である。このように単語を選択することにより、国 c において特許成立に関与した単語には大きい、拒絶に関与した単語には小さい（負の絶対値の大きい） r 値の単語を選ぶことができる。次に、売り上げ予測同様、特許明細書 a'_i ごとに、 Ω' 内の単語の使用率をリストするベクトルを定義する。

$$x_i^{[3]} = [u_{w_1 i}, \dots, u_{w_{|\Omega'|} i}]^T. \quad (13)$$

4) 医薬品関連記事を用いた特許成立予測

売り上げ予測の時と同じ医薬品関連の記事を用い、各特許ファミリー i に対し、年毎の「旬」の言葉の利用頻度に基づき重みづけをした合計値、 $ut(y, i)$ の計算を行う。また、売り上げ予測同様、これらの値を年毎に並べたベクトルを **Deep learning** の入力に用いる。ただし、利用する特許文書が異なるため、まず、使用される特許の申請年の最小値、最大値を yp'_{min} 、 yp'_{max} とする。また、 0^j を、 j 個の 0 で構成されるベクトル、 $z1'_i = yp'_{max} - yp'_i$ 、 $z2'_i = yp'_i - yp'_{min}$ とし、ベクトルの左、右、もしくはその両方に 0 をパディングした、以下のベクトル $x_i^{[4]}$ を定義し、**Deep learning** への入力とする。

$$x_i^{[4]} = [0^{z1'_i}, ut'(ya'_{min}, i), \dots, ut'(ya'_{max}, i), 0^{z2'_i}]^T. \quad (14)$$

V. 実験

売り上げ予測、特許成立予測に関して、各々実験を行った。評価は交差検証で行った。

A. 売り上げ予測

前章までで議論した各方法論の売上予測の評価を行った。実験では、医薬品 d_i に対する販売量 (s_i) と最初に申請された特許明細書 (a_i) の両方が利用可能な $n = 439$ の医薬品を使用する。 $n = 439$ は十分に大きい数ではないため、Leave one out (LOO) 交差検定 ($n - 1$ を学習データに用い残り 1 つを推定することを n 回の全ての組み合わせで行い、その平均値を計算) で評価を行った。推定モデルでは、2 つの隠れ層を用い、各々 128 ノードで、relu activation を用い、エポック数 = 100 で実験を行った。

損失には平均二乗誤差を使用し、オプティマイザーには Adam を使用した。入力ベクトルは、one-hot vector を除き、z-normalization で正規化を行った。

各 d_i に対し、学習データ、テストデータ ($X_{\text{train}}, y_{\text{train}}$), ($X_{\text{test}}, y_{\text{test}}$) は以下のようにして実験を行った。

$$(X_{\text{train}}, y_{\text{train}}), (X_{\text{test}}, y_{\text{test}}) = (X_{\neg i}^{[k]}, l_{s_{\neg i}}), (x_i^{[k]}, \log(s_i)), \quad (15)$$

ただし

$$\begin{aligned} X_{\neg i}^{[k]} &= [x_1^{[k]}, \dots, x_{i-1}^{[k]}, x_{i+1}^{[k]}, \dots, x_n^{[k]}]T, \\ l_{s_{\neg i}} &= [\log(s_1), \dots, \log(s_{i-1}), \log(s_{i+1}), \dots, \log(s_n)]^T. \end{aligned} \quad (16)$$

ここで、 $k = 5$ は、 $k = 1$ から $k = 4$ の全てのベクトル結合したベクトルを表す。実験では、(16) のモデルを各 i で n 回構築し、以下で計算される root mean square error (RMSE) と mean absolute error (MAE) により評価を行った。

$$\begin{aligned} \text{RMSE} &= (\sum_{i=1}^n (l_{\hat{s}_i} - \log(s_i))^2 / n)^{0.5}, \\ \text{MAE} &= \sum_{i=1}^n |l_{\hat{s}_i} - \log(s_i)| / n. \end{aligned} \quad (17)$$

ここで、 $l_{\hat{s}_i}$ は、(15) の入力に対するモデルによる売り上げ推定値である。外れ値に関しては、 $l_{\hat{s}_i}$ を $\max(\min(l_{\hat{s}_i}, \max_{j \neq i}(\log(s_j))), \min_{j \neq i}(\log(s_j)))$ とする。また、推定値と実際の値の比率がある閾値 T_c 以下である医薬品 i の個数 $r_c(T_c)$ の比率の評価も行った。 $r_c(T_c)$ 以下の式で定義される。

$$r_c(T_c) = |\{i | |l_{\hat{s}_i} - \log(s_i)| \leq T_c\}| / n. \quad (18)$$

Table II に実験結果を示す。“input(k)” 列の値は、 $x_i^{[k]}$ の k に対応し、 $T_c = \log(2)$ とする。これは、実際のデータと推定データの比率が 0.5 ~ 2.0 であることを表す。

TABLE II
実験結果 (売り上げ予測) : 太字 = 最高値。

No.	Input(k)	RMSE	MAE	r_c
1	1	2.324	1.893	0.206
2	2	2.646	2.121	0.211
3	3	1.903	1.489	0.288
4	4	2.045	1.634	0.265
5	1,3	1.812	1.408	0.319
6	1,3,4	1.726	1.360	0.326

No.1-4 は、各ベクトル単独での実験結果である。No. 5 は、 $k = 1, 3$ の組み合わせによる結果、つまり、製薬会社名、最初の特許が申請された年、特許申請書で利用された単語を用いて売り上げを推定したものである。No. 6 は、 $k = 1, 3, 4$ を組み合わせたもの、つまり、No.5 に、さらに医薬品記事を用いて売り上げを推定したものである。

実験で用いられた特許申請書の申請年は、1980年から2021年の物を用いたので、 $yp_{min} = 1980, yp_{max} = 2021$ である。439の特許申請書中全体において、207,403の単語が抽出された。 $k = 3$ の実験においては、 $\Omega (0.1, 0.01)$ とする。 $|\Omega| = 887$ であり、その中の例は、Table I で示したものである。各 d_i に対する r 値の計算においては、 a_i を除いて計算を行った。

$k = 4$ における記事に関しては、1998年から2020年の物を用いたため、 $ya_{min} = 1998, ya_{max} = 2020$ とする。

B. 特許成立予測

前章までで議論した方法で、特許成立予測の精度の評価の実験を行った。実験では、IV-B 章で議論した合計 12,499 のパテントファミリーのうち、米国、インド、ブラジルの全ての国で“成立”、もしくは“拒絶”のどちらかの判定ラベルがついている、 $n = 7,043$ のパテントファミリーを使用する。

形態素解析は、売り上げ予測と同じライブラリを利用する。

実験で使用したパテントファミリーに含まれる特許明細書は、1999年から2014年に出版されたものを使用したため、 $yp_{min} = 1999, yp_{max} = 2014$ とする。

深層学習においては、2つの隠れ層を使用する。各々のノード数は128、モデルの評価には、成立/拒絶の実際の値と予測値に対する Recall, Precision を用いて計算される、 $F \text{ 値} = 2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / (\text{Precision} + \text{Recall})$ 、を用いる。Deep learning には、Tensorflow / Keras[21] の python パッケージを使用する。すべてのケースで、5分割交差検定 (trainsize = 0.8) によってパフォーマンスを評価し、各結果の平均を計算する。 r 値を計算する際は、各交差検定におけるテストデータのみを使用する。

各パテントファミリー内のパテントについて、次のケースの評価を行った。

Case-1 : 国 c_0 における特許の成立可否の予測

Case-2 : 国 c_1 での付与 / 非付与ステータスがわかっている条件で、国 c_0 での特許の成立可否の予測

Case-1 と 2 について、2), 3), 4) 及びこれら3つのコンビネーション (=5) の4通りに関して、深層学習による学習結果による合否の正解率を、F 値を用い、評価を行った。Case-1 では、次のデータセット $X[k]$ を使用し、学習データとテストデータに関して、次のようにラベル g_{c_0} を用いた。

$$\begin{aligned} X^{[k]} &= [x_1^{[k]}, \dots, x_n^{[k]}]^T, \\ g_{c_0} &= [g_{c_0,1}, \dots, g_{c_0,n}]^T. \end{aligned} \quad (19)$$

ここで、 $x_i^{[k]}$ はセクション IV のものに対応し、特許 i が国 c_0 に対して「成立」ラベルが付与されている場合は $g_{c_0,i} = 1$ 、「拒絶」ラベルが付与されている場合は $g_{c_0,i} = 0$ となる。

TABLE III

実験結果 (特許成立予測) : 太字 = 最高値。

c_0	Case-1		
	US	IN	BR
2) Patent info	0.929	0.574	0.573
3) Words	0.974	0.613	0.681
4) Hot words	0.898	0.598	0.767
5) 2) ~ 4)	0.988	0.643	0.863

c_1	Case-2		c_1 成立			
	US	US	IN	IN	BR	BR
c_0	IN	BR	US	BR	US	IN
2) Patent info	0.618	0.606	0.883	0.873	0.887	0.610
3) Words	0.619	0.868	0.960	0.865	0.972	0.642
4) Hot words	0.582	0.876	0.835	0.888	0.829	0.610
5) 2) ~ 4)	0.641	0.900	0.982	0.898	0.978	0.628

c_1	Case-2		c_1 拒絶			
	US	US	IN	IN	BR	BR
c_0	IN	BR	US	BR	US	IN
2) Patent info	0.618	0.880	0.879	0.875	0.865	0.597
3) Words	0.630	0.853	0.967	0.856	0.974	0.619
4) Hot words	0.598	0.871	0.830	0.907	0.830	0.617
5) 2) ~ 4)	0.633	0.889	0.976	0.877	0.975	0.654

Case-2 の場合、 c_1 のラベルが $g (\in 0, 1)$ として知られているときに、 c_0 の i のラベルを予測する。

各テストでは、インデックスが $J = \{i | g_{c_{0i}} = g\}$ である明細書を利用する。

実験においては、 X に対し、z-normalization による正規化を行った。

Table III は、Case-1,2 の実験結果である。太字は、各国または国のペアでの F 値の最高スコアである。

VI. 議 論

売り上げ予測、特許成立予測の両方の実験結果に関して、幾つかの興味深い知見が得られた。

A. 売り上げ予測

$k = 1, 3, 4$ (TableII の No.6) の組み合わせは、RMSE と MAE で最高の精度であった。(RMSE,MAE) = (1.726,1.360) は、それぞれ開発会社名と最初の特許出願年のみを使用する No.1 の $\times 0.74$ 、および $\times 0.72$ であり、大幅な改善である。

興味深い事実の 1 つとして、 $k = 4$ のみ (No. 4) の精度は No. 3 の精度ほど良くはないが、 $k = 1, 3$ (No.5) と組み合わせることにより (No.6)、No.5 の精度が改善することが挙げられる。これは、「旬」な言葉を含む特許が、医薬品の販売予測に貢献していることを示していることを示している。

特許の情報のみを使用する場合 (No.2) においては、RMSE, MAE 共に最低の精度であっ

た。

これは、タイトルの長さ、要約、特許、およびクレームの数は、他の情報に比べ、売り上げ予測にはあまり貢献していないことを示している。

開発会社名と最初の特許出願年のみを使用する場合 (No.1) は、No.2 の場合よりも RMSE と MAE の両方において精度が良かった。これは、No.1 の2つの情報が、ある程度の将来の売り上げの情報を含んでいることを示唆している。

一方、No. 3 において、 $|r|$ 値が 0.1 以上の単語を使用すると、No.1 と比べても売り上げ推定精度が高いことが判り、特許申請書に製品の売り上げが将来上がることを示唆する言葉が特許に含まれている可能性があることを示している。これは、特許権者の自信に起因している可能性も否定できない。

この実験では、要約、クレーム、またはその他の部分で使用されているかどうかに関係なく、各特許申請書の単語の使用のみを考慮している。ただし、特許構造分析 [1], [22]–[25] およびキーワード抽出分析 [1], [22], [26], [27] についていくつかの研究が行われており、効果が確認されているため、それらを考慮することにより、推定精度をさらに向上させられる可能性がある。

B. 特許成立予測

特許成立予測に関しても、幾つかの興味深い点が発見された。Case-1 (単一国の特許成立予測) では、Table III から確認できるように、米国とブラジルの特許成立 / 拒絶を各々 F 値 0.988、0.863 と高精度で予測する事ができた。インドの場合、F 値は 0.643 となった。単一のデータ入力 (つまり、2), 3), 4) に関しては、3) (特許の単語) は米国とインドで最高のスコアを生成し、4) (特許明細書の「句」な単語を利用した予測) では、ブラジルが最高のスコアであった。米国の場合、2) が 2 番目であった。Fig.1 に示すように、米国では被引用文献数と特許成立可否に大きな差があったため、これら納得感のある結果である。ただし、3) と 4) のスコアが 2) よりも優れていることは新しい発見である。

Case-2 (成立 / 拒絶が国 (c_1) で既知の場合に、国 (c_0) の成立可否を予測) では、F 値は、 c_1 に関係なく、国 c_0 の Case-1 の F 値に近いことが判った。具体的には、 $c_0 = \text{U.S.}$ 、の場合の 5) (=2),3),4) のコンビネーション) の F 値は、 c_1 が既知か否か (Case-1,2) に関係なく、全て 0.975 以上であった。また、 $c_0 = \text{ブラジル}$ 、の場合においても、全て 0.877 以上であった。ただし、 $c_0 = \text{インド}$ 、の F 値は最高 ($c_1 = \text{ブラジル}$ 、拒絶) でも 0.654 にとどまった。このように、米国、ブラジルに対しては高精度で、インドでは中精度で特許成立予測が可能であることが判った。インドの特許成立予測精度が他の2国と比べて相対的に低いのは、Fig.1 から判るように、特徴量による成立可否の差が小さいこと、III-A 章で議論した “evergreening” に対する特許庁の判断基準と、特許明細書に記述されている単語やそこに使われている「句」な単語との関連性が小さいことが可能性として挙げられる。Case-2 の結果から、ある国の特許の成立 / 拒絶がわかれば、米国またはブラジルでの成立 / 拒絶は高精度で予測可能であるが、インドでの成立可否の予測精度は中程度であることが判った。

Case-1,2 の両方で、特許明細書 3),4) で使用されている単語は、特許情報 1) よりも予測に貢献している。これは、特許明細書自体に特許成立 / 拒絶の情報が含まれていることを

意味する。また、全ての情報を使った場合 (5)) の精度が両方の Case に関して一番良いことも判明した。

因みに、特許成立予測の実験において、他国の成立可否が判っている Case-2 より、判っていない Case-1 の方が結果が良い場合が幾つかある (例えば、Case-1 の US の 5) は 0.988 であるのに対し、Case-2 の $c_0 = \text{BR}$, $c_1 = \text{US}$ は 0.975)。これは、Case-2 の場合、Case-1 と比べ、学習に使われるデータの数が少ないことや、学習に使われる単語を式 (11) のように選んだことが原因として考えられる。

VII. むすび

本論文においては、製薬特許の仕様を深層学習で分析することにより、医薬品の売上予測、およびパテントファミリーにおける特許成立 / 拒絶予測を行い、一定の成果を得ることができた。

興味深い発見として、特許明細書に書かれた単語を解析するだけで、売り上げ予測、特許成立予測の両方に対してある程度の予測が立てられることが判ったこと、「旬」の単語が多く含まれる特許の予測の精度が更に向上することが挙げられる。これらは、特許および関連記事に将来の医薬品販売に関する情報が含まれていることを証明しているため、画期的な結果といえる。特許の明細書や記事は簡単に入手できるので、これは将来のマーケティング戦略の構築に役立つことが期待できる。その一方で、両方の予測にはまだ改善の予知があることも否定できない。

今後の取り組みとして、特許や記事の構造を考慮した上で NLP を適用していきたいと考える。また、単語埋め込みの概念 (BERT [28] や word2vec [29] など) を使用して、特許と記事の間で類似した単語の使用法を特定し、これらの概念によって推定パフォーマンスがどのように向上するかを確認したい。また、本論文では、医薬品に焦点を当てたが、このモデルは、食品、電化製品、自動車、衣類などの他の業界にも適用可能であるため、それらの解析も行いたい。

VIII. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H04424 の助成を受けたものである。本研究を行うにあたり、大阪大学高等教育入試研究開発センターの三森八重子招聘教授、日本大学法学部の加藤浩教授、加藤暁子准教授、日本 IBM 東京基礎研究所の那須川哲哉 Senior Technical Staff Member、および鈴木祥子 Research Staff Member に多大なる助言を頂いたことに感謝する。

参考文献

- [1] S. Suzuki and H. Takatsuka, "Extraction of keywords of novelties from patent claims," Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers, pp. 1192–1200, 2016.
- [2] K. H. Kim, Y. J. Han, S. Lee, S. W. Cho, and C. Lee, "Text mining for patent analysis to forecast emerging technologies in wireless power transfer," Sustainability 11.22, 6240, 2019.

- [3] C. C. Guderian, P. M. Bican, F. J. Riar, and S. Chattopadhyay, "Innovation management in crisis: Patent analytics as a response to the COVID-19 pandemic," *R&D Management* 51.2, pp. 223–239, 2021.
- [4] J. Matal. "A Guide to the Legislative History of the America Invents Act: Part I of II." *Fed. Cir. BJ* 21: 435, 2011.
- [5] M.A. Lemley, and C. V. Chien. "Are the US patent priority rules really necessary." *Hastings LJ* 54: 1299, 2002.
- [6] M. A. Lemley, and B. Sampat, "Examiner characteristics and patent office outcomes," *Review of economics and statistics* 94.3: pp. 817–827, 2012.
- [7] Agreement, Trips. "Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights, Apr. 15, 1994." *WTO Agreement, Annex C 1*, 1994.
- [8] Y. Mitsumori, "An Analysis of the Impact of TRIPS' Special Exemption for LDCs on the Bangladesh Pharmaceutical Industry," 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), pp. 1–6, doi: 10.23919/PICMET.2018.8481873, 2018.
- [9] R. Gable, and J. C. Kohler, "To patent or not to patent? the case of Novartis 'cancer drug Glivec in India," *Globalization and Health* 10.1: pp. 1–6, 2014.
- [10] L. L. Mueller and S. M. T. Costa, "Should ANVISA be permitted to reject pharmaceutical patent applications in Brazil?," *Expert opinion on therapeutic patents* 24.1: pp.
- [11] Cortellis, <https://clarivate.com/cortellis/>.
- [12] Derwent, <https://clarivate.com/derwent/>.
- [13] Clarivate, <https://clarivate.com/cortellis/>.
- [14] Pharmaceutical Benefits Pricing Authority Annual (1998–2010). [Online]. Available: <https://www.pbs.gov.au/pbs/industry/pricing/pbs-items/historical/pbpa-annual-reports>.
- [15] Pharmaceutical Benefits Pricing Authority Annual (2011–2020). [Online]. Available: https://www.health.gov.au/about-us/corporate-reporting/annual-reports?utm_source=health.gov.au&utm_medium=callout-auto-custom&utm_campaign=digital_transformation.
- [16] Pharmaceuticals and Medical Devices Agency. [Online]. Available: <https://www.pmda.go.jp/english/index.html>.
- [17] nltk Package. [Online]. Available: <https://www.nltk.org/api/nltk.html>.
- [18] K.Kamijo, "Future Sales Estimation using Patents," 2nd International Conference on NLP Trends & Technologies, Sydney, 2021.
- [19] PCT – The International Patent System. [Online]. Available: <https://www.wipo.int/pct/en/>.
- [20] M. Erman and M. Mishra, "Pfizer sees robust COVID-19 vaccine demand for years, \$26 bln in 2021 sales." [Online]. Available: <https://www.reuters.com/business/healthcare-pharmaceuticals/pfizer-lifts-annual-sales-forecast-covid-19-vaccine-2021-05-04/>, 2021.
- [21] Tensowflow : <https://www.tensorflow.org/>.
- [22] S. Hido, et al., "Modeling patent quality: A system for large-scale patentability analysis using text mining," *Information and Media Technologies* 7.3, pp. 1180–1191, 2012.
- [23] Akihiro Shinmori, Manabu Okumura, Yuzo Marukawa, and Makoto Iwayama, "Patent Claim Processing for Readability: Structure Analysis and Term Explanation," *Proceedings of the ACL-2003 Workshop on Patent Corpus Processing*, 20: pp. 56–65, 2003.
- [24] P. Parapatics and M. Dittenbach, "Patent Claim Decomposition for Improved Information Extraction," *Proceedings of the 2nd International Workshop on Patent Information Retrieval*: pp. 33–36, 1990.
- [25] S. Sheremetyeva, S. Nirenburg, and I. Nirenburg, "Generating patent claims from interactive input," *Proceedings of the 8th International Workshop on Natural Language Generation*: pp. 61–70, 1996.

- [26] M. Verma and V. Varma, "Applying Key Phrase Extraction to Aid Invalidity Search," Proceedings of the 13th International Conference on Artificial Intelligence and Law: pp. 249–255, 2011.
- [27] M. A. Hasan, W. S. Spangler, T. Griffin, and A. Alba, COA: Finding Novel, 2009.
- [28] J. Devlin, M. W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding," arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.
- [29] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean, "Efficient estimation of word representations in vector space," arXiv preprint arXiv:1301.3781, 2013.

上條浩一 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授
大関和夫 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授

【論 文】

深層学習における学習データクラス の t-SNE による解析

大関和夫・上條浩一

Analysis of Train Data Class Using t-SNE in Deep Learning

Kazuo Ohzeki, Koichi Kamijo

Abstract : Although deep learning has progressed, it is still difficult to fully recognize the category of vehicles. In this study, we will investigate the relationship between the large category of vehicles and the small range of classes that are a subset of the vehicle type. In this study, we consider the distance of the set of vehicle classes and investigate the effect of merging the image sets of two vehicle types. Using t-SNE as a measure of distance, the recognition of CNN by the degree of similarity and merger of the pair of "taxi and sedan" and the pair of "1Box car and 1Box car with tilted front" which are subjectively similar. The change in the rate was investigated. Although it is a small number of cases, there was a discrepancy between the distance closeness of t-SNE and the recognition performance of CNN. Evaluation by t-SNE revealed that merging two classes with small distance into one class may form a better class. In the future, we will increase this verification quantitatively, and the class at a short distance indicated by t-SNE is a necessary condition for improving the recognition rate due to the merger, etc. recommend.

Keywords : artificial intelligence, train data, data class, dimension, reduction

1. まえがき

自動運転では車両は周辺の状態を正確に把握する必要がある。車両に取り付けたセンサーは、前方、側方、後方の車両や歩行者を検知する。車両内のセンサーは物体があるとその先の隠れた部分は検知できない。例えば、前方の車両の前、後方の車両の後ろや路上の建造物の裏側などがある。そこで、最近では、車両内のセンサーのデータ処理に加え、路上に置いたカメラ等の情報を追加する「インフラ協調型」の自動運転の重要性が指摘され、そのための実験都市も開発されている [1][2]。インフラとなる道路側に置いたカメラ等は、障害物の裏に隠れた部分も見渡す事ができ、より安全な情報システムが構築できる。

深層学習を用いた車両等の検出の精度は大きく進歩したが、あらゆる条件下で完全であるわけではない。深層学習の認識精度は人間に比べ、平均値では、上回ってきており [3]、今後も向上が続くことが期待できる。しかし、比率は小さくても自動運転車が事故を起こせば、原因や責任の問題は複雑化する [4]。本研究では、道路上にあるカメラから車両を

認識し、道路内のすべての交通事象を完全に把握し、自動運転のインフラシステムの構築に貢献することを目指す。

道路上のカメラは、例えば図1(a)のように各カメラの監視範囲が隙間なく繋がって、ある密度以上にあるものとする。また、各カメラは連携して認識動作を行うことができることにする。これにより、カーブでの車両認識は近接する直線道路で行う認識結果を引き継ぐことができることになる。車両の認識は、直線道路では、車両が平行移動に近い動きをするため、形状の変形が少なく、認識はやりやすい。一方、図1(b)のようにカーブ上では、走行する車両は、回転して見えるため、形状の変化が大きく、認識にとっては負担が大きい。交差点における右折車が45度程度に曲がったところを学習データとして深層学習を行う実験を行ったが、撮影時間が少なく、図1(b)のように同一車両の形状が少し異なる画像を10-20枚取り込んだため、予想外に高精度で認識(識別)ができた[5]。そこで、データ採取の方法が結果に影響することがわかり、データの集め方や車種についてよく検討することを考えるようになった。

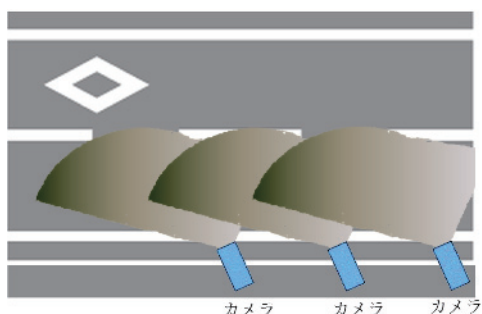


図1(a) 直線状の道路上のカメラ
各カメラの監視範囲が隙間なく繋がって、道路全体を覆っている。道路は nuriyon.com のフリーイラストを使用禁転載。



図1(b) 交差点などのカーブ状の道路と直線上の道路での車両形状の変化がある
(東京都新宿区西新宿、西新宿交差点歩道橋上より撮影)
(同一車両を3つの位置で合成した画像)

しかし、図1(b)は、撮影が右折時に限る、場所も交差点付近に限定されるなど制約が多く、多数の画像確保に適さなかった。そこで、本研究では、直線上の道路で、車両の進行方向にほぼ直交する真横から撮影した画像も加えて認識手法を開発していくことを目標とする。

2. 認識システムの構成

車両の認識には、MNIST[6]やCifar10[7]という画像データベースに対応した深層学習の認識ソフトウェアを用いる。これらは、物体認識の標準的なソフトウェアで現在でも参照ソフトとして広く使われている。このソフトは物体を10種類のクラスに分け、学習を行い、出力は10種類のクラスのうち最も類似度が高かったクラスになる。したがって、認識と言っても、10種類の中での識別を行う機能を考えている。

自動運転の場合は、車両の認識を行うことを主眼としており、車両が入力されたにもかかわらず、車両でないと判定すれば、それに基づいた誤った判断がなされる可能性があり、次の行動に影響が出るため、事故が起こりかねない。また、もし車両でないものが入力さ

れた場合は、正しく拒絶する、すなわち車両でなかった、と出力する機能も必要となる。これは、車両でないものの例えば、動物や鳥が入力となったとき、車両と誤認識した場合は、急ブレーキや衝突回避の機能が働き、混乱を招く可能性があるためである。自動運転とは異なるが、現在でも「非接触事故」という事象が問題となっている [16]。これは、交通事故の当事者（二者）の他に、接触していない第三者が事故原因になっている事象である。この第三者の危険行動を避けようとして、回避行動を行った結果、この第三者には接触はなかったが、別の二者のみが事故になるような事象が起こっており、原因である第三者の情報や責任が追跡しにくいということ等が問題となっている。

図2は入力車両または非車両の例と、それをすべて識別しようとするシステムのブロック構成図である。深層学習は学習データによって学習し、一旦固定される。この学習済みのニューラルネットワーク構造データは HDF というファイルフォーマットのファイルとして、認識器のニューラルネットワーク「DNN 認識器」に送られる。DNN 認識器の動作は、学習データに対しては、ほぼ間違いなく認識がなされる。車両であっても学習時に使用されなかったデータ（非学習データ）は車両としての類似度があれば、車両として認識されるが、そうでない場合は、認識されないこともある。非車両のデータは、車両とは異なるため、本来は、車両ではないとの出力になるはずだが、形状の一部に車両の特徴を持つ場合は、車両と誤認識されることもありうる。

深層学習においては、このように学習したデータに関するものは、認識の対象になるが、そうでないものに対しては認識がうまく動作するかどうかはわからない、制御なしの状態になっている。このような範囲外のデータの扱いは、深層学習を用いた「異常検知」の分野で、活用されている。正常な認識状態と異なる場合は、異常である可能性があるため、一旦分離して、ある種の精密検査のようなことで、異常かどうかの判定を行うものである。工場の不良品の検査では、数が少なく形状が多岐にわたる不良品は学習用のデータを集めることが難しい。また、経年劣化したひび割れの検出などでも、ひびの形状は千変万化し、学習データとしての一般性が無い。そこで、ひびのない正常なデータを基準に、異常検出として、ひび割れの候補を見つける手法がある。

学習に使用するデータの範囲を超えて、認識を拡張しようとする手法に、学習データの入力のニューラルネットワークにクロス結合を入れる手法がある [8]。また、複数のカテゴリ間の混合により、より広い範囲の識別を求める方式もある [9]。これらは、学習データより関連する認識範囲を拡張しようとするものだが、学習しないデータに関する研究として、「out-of-distribution (OOD) [10]」や「Open Set Recognition [11]」がある。しかし、OOD では、確率分布から推定を向上させようとする試みであり、サーベイ論文 [11] では、種々の試みが紹介されているが、明確な方針や有効な手法が述べられていない。

本研究の最終形態では、学習に用いなかった、非車両のデータが入力されたときに、車両との明確な差異を判定できるように、車両データと、非車両のデータのニューラルネットワークにおける距離を検討し、識別性の向上を目指そうとするものである。今回は、そのうち車両のデータに対する、認識率を向上させるため、学習データの分布を距離の観点で検討することを試みる。

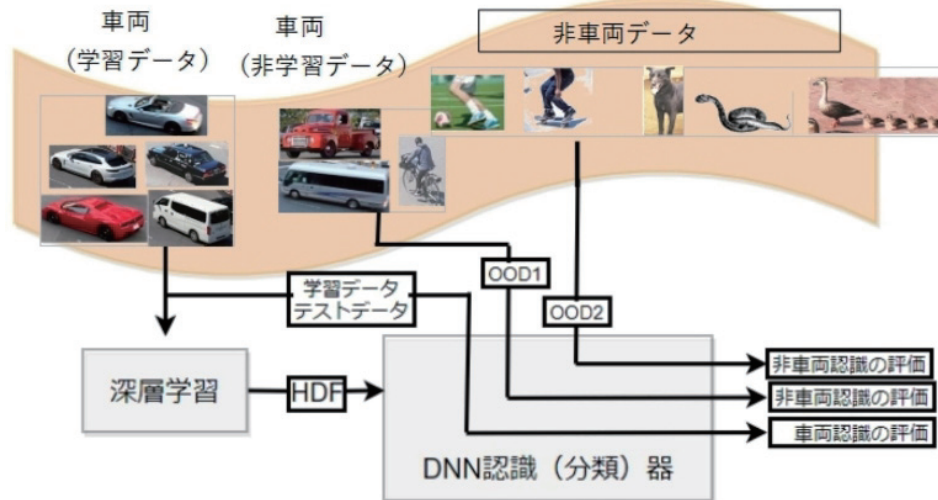


図2 入力画像データと、学習器、学習済み認識器の関係

非車両は車両以外の物体で、道路上に現れる可能性のあるものすべてを想定する。今回は、そのうち、車両データの学習に関する検討に焦点を当てている。

(画像は足成、Pixabay (c) より使用した。(注)：足成は使用、改変が自由にできる、Pixabay は使用自由だが、再配布等は禁止されている。従って転載禁止)

2.1 車両画像について

車両の集合を識別のクラスとして設定し、類似の車種を同じクラスに統合していく事により、車両全体の車種の多大な種類を低減していく必要がある。車両のクラスを統合する際に、類似の2個のクラスを1個のクラスに統合をすれば、識別器の種類も減って、システムが構成しやすくなる。実際車両の種類は、大きくは、sedan 型乗用車、ワンボックスカー、トラック、バスなどが多いが、その他スポーツカー、消防車、救急車、特殊車などは、発生頻度が低い、形状には変化が多い物がある。一方、非車両の方は、道路標識、信号機、歩行者、ベビーカー、サッカーボール、スケートボード、電動スクーター、ドローン飛行体、小動物(犬、猫、狸、イノシシ、鹿、猿、熊、蛇)、鳥類、などと種類が多い。認識器の仮の構成例を図3に示す。認識は多様な入力に対し、一段階では完了しないので、二段階構成になる。車両の確定的な識別を優先し、それ以外を非車両とする。次に非車両の集合から、人間を識別し、非車両として、信号機、小動物、サッカーボール等、ドローンなどを識別していく。本論文では、このうち、車両の識別の認識率の向上を目指すための車両クラスの分析について検討を行う。

図3の車両のクラスの例として taxi, sedan, van, one Box... などの形状は異なるが、車両として類似している車種がある。これらが真に類似しているかどうかは、形状の類似だけではなく、深層学習器の学習に於いて類似になりやすいかという点で考える必要がある。しかし、深層学習器で学習を行うことは、データのクラス調整やラベルの管理などの処理の手間や、学習における計算時間がかかるという問題がある。また、ある学習データを用いて学習した認識器はその学習データに固有の認識特性となり、別のデータを認識することにより、類似性を判別できるが、この別のデータを学習データに加えた場合は、別の認識器が生成される事になり、学習とクラスの形成が独立には行うことができないと言う間

題を有している。

現在、データの類似性に関する尺度として UMAP [12]、t-SNE [17] と Siamese [13] 等がある。UMAP は Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction の略で、高次元の多様体の辺の関係性から順次縮約して、低次元化を図るものである。t-SNE は t-distributed Stochastic Neighbor Embedding の略で、同じく高次元の画像データを低次元に変換するものである。Siamese は学習データで学習した認識器を使用する距離の評価を行うもので、深層学習の性能の調整に使用されることがある。

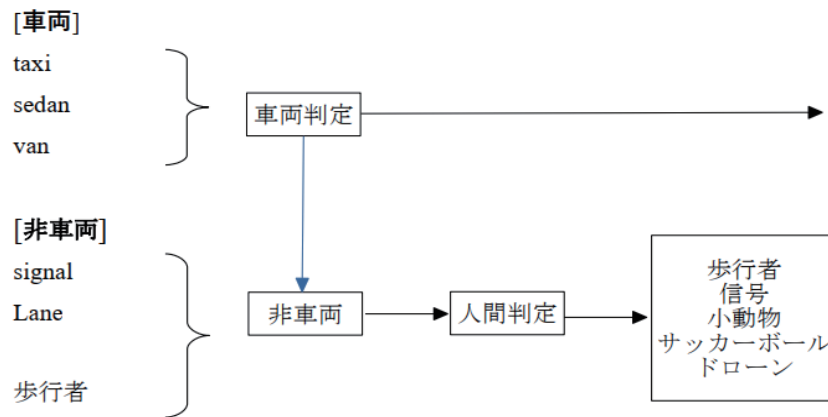


図 3 認識器の構成例

2.2 次元低減の方式と効果について

次元低減の手法の中で、t-SNE と UMAP について、その手法の概略と使用例と次元の低減後にクラス分けがどの程度正しく維持されるのかについて述べる。

UMAP, t-SNE, PCA などの次元低減の仕組みを文献により解説する。まず、古くからある PCA (Principal Component Analysis: 主成分分析) は理論的な枠組みが明確であるが、非線形の次元圧縮を行えないので、数百次元という高次元から二次元という超低次元への低減では、特徴が保存されないという問題が強く、候補から外す。歴史的には、SNE[21]、t-SNE[17]、UMAP[12] の順に発表され、SNE や t-SNE はジャーナル論文などに述べられており、信頼性が高い。一方、UMAP は現時点では arXiv などに掲載されているだけで、正式ジャーナルには採択されていない。実際の使用例では、t-SNE に対し、UMAP は高速であり、次元削減後の状態も可視化した場合に優れているとの評価が多い。ここでは、web 上の UMAP や t-SNE についての動作の解説 [22,23] を引用して、簡単に解説する。大きい概念での動作は類似しているので、UMAP[22,23] の解説を引用する。UMAP の目的は、高次元データ X を低次元データ Y に変換することである。ただし X の局所構造と大域構造は保持したまま変換する。

UMAP の処理は、 X と Y において距離に関するコスト関数を作り、このコスト関数を最小化する。コスト関数の導出は、Fuzzy topological expression のクロスエントロピーを使う。UMAP ではファジー関数を使うが、t-SNE では確率を使う。また、低次元化の初期値は、LaplacianEigenMap を使う。以上により低次元化したときに、相互に近い距離にあるものが保たれる作用が働く。(以上 ref [22,23] による)

この解釈をまとめると、t-SNE も UMAP も一定の定式化に基づく次元の低減を行う手法である、実際の計算は、望ましい低次元化を試みているが、確率やファジー関数を用いているため、低次元化により、距離の特徴が失われる可能性を含んでいる、というところに集約できる。本研究では、このような次元低減手法を用いて、低次元化を行った結果において特徴が失われる場合の考察を行うことを目指す。

2.3 車両画像とクラス分けについて

車両の認識技術は、深層学習により大いに進歩したが、自動運転への適用には、完全性が求められるため、まだ完成したとは言えない。動画中から物体や輪郭を実時間で認識する YOLO や Mask-R-CNN 等のソフトウェアが公開されている [18][19]。2020 年に IEEE Transaction に論文として採択された Mask-R-CNN を用いた動作例を図 4 に示す。

車両 (car) に加え、bus や truck などの詳細なクラスの認識を行うことができるが、シーンによっては、速度制限標識が検出できない場合 (図 4 左) がある。入力画像を 2.75 倍まで拡大しても検出はしないが、2.95 倍まで、拡大した時、図 4 右のように検出できた。このような詳細な未検出を根絶するためには、学習データクラスの形成の手続きを見直しておく必要がある。Mask-R-CNN も例では、8 種の category を設定している。それらは、person, rider, car, truck, bus, train, mcycle, bicycle である。車両としては、バイク、乗用車、トラック、バス、自転車の 5 種であるが、これが選ばれたのは、得られている画像データベースにおける出現頻度の多いものを抽出した結果と推測される。車両という全体の中から、車種というような詳細なクラス分けを行うことが有効か、必要かなど明確な判定基準が無い。本研究では、このクラスの詳細化を自動車というカテゴリーの中で、クラス分けの判定基準を見出そうとしている。

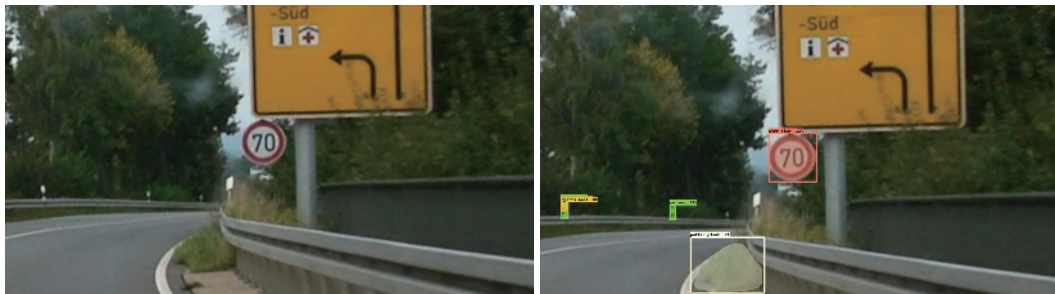


図 4 Mask - R-CNN (Faster R-CNN) による動作例

左:未検出。右:2.95 倍に拡大し検出できた例。1 ~ 2.75 倍まで左の未検出が続いた。各色のついた枠は、各種物体の検出を示している。

2.4 車両カテゴリーと車種の詳細クラス分けの関係

筆者らは、これまでクラスの分割や統合を試行することにより、影響を調べてきた [20]。表 1 は、車両 (乗用車) (car)、バス (bus)、トラック (truck) の 3 車種に対する認識を行った予備実験の認識率のデータである。2 列目の結果は、乗用車については、高い認識率であるが、バスはやや低く、トラックは、0.25 と認識率が低い。これは、トラック専用の認識ではなく、トラックと車両の両方を対象としている認識器であったため、トラック単独の認識を取り出したときに認識率が低くなったと考えられる。次に、3 列目は 3 車種とも

車両であることから、乗用車、またはバス、またはトラックという和集合（車両）とそれ以外（それ以外の車両や非車両）という補集合を用意しどちらに判定されるかの認識実験を示す。この場合は、乗用車、バス、トラックともに 90% 以上の比率で、車両として認識されている。この結果から、車種を細かく分解するのでは無く、車両という大枠のカテゴリーで学習や認識を進めれば良いという見解が生じる。一方、そのような大枠のカテゴリーにすると、形状の特徴が大量に含まれた集合になっているため、最終的な認識率が、100% に達しないで、停滞するという見解もある。二つの見解を表 2 にまとめた。

車両カテゴリーの単一クラスを使用する場合（見解 1）は、データ収集は、車両というものは何でも登録すればよいので、容易となる。一方、車両であっても極端に特殊な状況で撮影されたものは、異常データとして学習に悪影響がある場合がある。制限されたデータ数（例えば数万枚）などの状況では、認識率の向上を妨げる。また、車種クラスに細分化する見解 2 では、形状が異なる車種に集合を分割するため、狭い範囲の認識として、認識率の向上が期待できる。各車両のクラスの中での形状の変動が小さいため、異常データの発見も容易であると考えられる。一方、データの収集は、種類ごとのラベルを合わせて収集していかないといけないので、見解 1 より困難になる。以上表 2 は、データの特徴を元に定性的な比較をしたものである。

定量的な実験例は、文献 [20] の表 6 にあり、もともと 5 種の車種 (taxi, sedan, van, 1-Box, 1-Box_Slant) とそれ以外の 5 種のデータに対し、はじめの 5 種のうちから、2 種選んで、統合し、はじめと同じ条件に揃えるため、1 個のデータ（この場合は、交通標識データ）を追加し、認識率 (accuracy) を調べている。結果は、統合した組み合わせにより、変動はあるが、いずれも認識率は向上した。これを単純に外挿すれば、全部統合して、車両 1 種にするのが最大の認識率を得られることになる。これは、見解 1 が良いことを示すことになる。しかし、この実験では、統合してクラスが不足した分を、交通標識を追加しているため、いずれも認識率が向上したとも考えられる。

そこで、交通標識が比較的同一の形状で背景も固定的であり、変化に乏しいデータであることから、それとは対照的な衣料データを追加した別の実験を行ったところ、認識率が低下した。この衣料データは、形状の変化が多いことが多く、衣料データだけの実験でも認

表 1 路上の固定カメラから撮影した道路画像の車種判別の結果
[20] の Table3 より。Mask-R-CNN による認識結果、画像数 (No. of images) は車種 (Type of vehicle) が発生した回数。

Type of vehicle (No. of images)	Recognition ratio	
	Type identification	Car or bus or truck
car (82)	0.9756	0.9756
bus (18)	0.8889	1.0
truck (28)	0.25	0.9286

表 2 車両カテゴリーを使用する場合と、車種に細分化する場合の定性的比較

名称	集合の作り方	長所	短所
見解 1	車両カテゴリーを使用	データ収集が容易	異常データの発見困難
見解 2	車種クラスに細分化する	異常データ発見容易	データ収集が困難

識率はかなり低くなるものである。追加した一つの衣料データの影響の方が統合したことによる変化よりも大きい可能性もある。そのため、追加するデータの特性的影響を除くことや、独立的な操作を考えておく必要がある。これらの実験から、単純に2クラスを統合してクラスの増減の影響を評価することは、正確では無く、全体のシステムに不動となる枠組みを設定するなどしないと、正確な比較は難しいことがわかった。

2.5 車両データの分布や相互距離の検討

そこで、車両データの分布を調べ、個別のデータ同士の距離や車種のクラスの重心(平均)の距離がどの程度かを探ることはできないかと考えた。そのような手法として、2.1で触れた、UMAP、t-SNE などがある。また、Siamese は実際に深層学習を行って評価することまで含まれているので、除くことにする。UMAP と t-SNE では、学習データである画像データのサイズに起因した次元数があり、これが、はじめの空間となる。今回の例では、 28×28 画素、 32×32 画素等が使用されるので、これらが、原信号の次元数となる。具体的には、

$$28 \times 28 = 784$$

$$32 \times 32 = 1024$$

次元の画像片である。ここで、使用している画像は、白黒画像であり、各画素は8ビットのグレースケールで記録されている。後出の図でカラー画像が表示されているのは、10種のクラスを識別するために色付けされたものである。図5に、上記サイズに縮小する前の画像片の一部を示す。UMAP や t-SNE はこのような 784 次元 \times 1 バイトのデータをなるべく形状の特徴を保存するようにしながら、次元を低下させていくもので、最終的には、二次元にまで変換を行う。本研究では、このうち、t-SNE を使い、予め分類してある10種の路上物体がどのように分離されるか、各物体の重心(平均)の距離の有意性があるか、などを調べる。それにより、各10種のクラスの特徴を抽出できるか、どうかを調べることを目標とする。



図5 画像データの例

上段の左から、taxi, sedan, van, 1-Box, 1-Box_Slant、 28×28 または 32×32 に縮小する前の画像、下段は各 28×28 画素のモノクロ画像に変換したもの、(名称: img_1_5_c_oz, img_1_5_d_28x2.jpg)。

3. 実験

以上の検討のもとに、UMAP, t-SNE のプログラムを使用して、データ集合の分類の度合いを調べた。図6は文献[12]による手書き数字10種の画像データの次元低減の例である。9と5の領域の間に少しの混合が見られるが、二次元においても、各領域が分離されている。また、図7は衣服のデータ10種を同様に t-SNE で二次元に縮退したものである。衣服デー

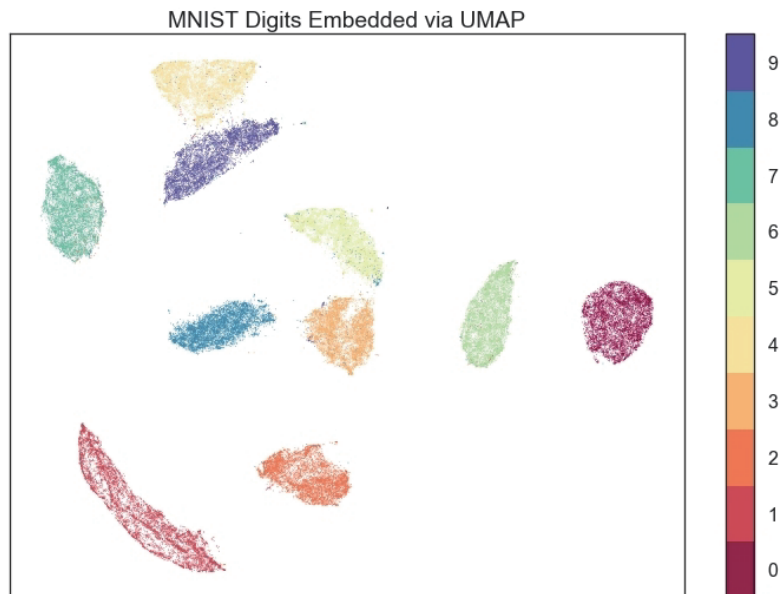


図6 手書き数字画像 (28 × 28 画素) を UMAP で 2次元にした図

0 から 9 までの数字が色で示された領域に分布していることを示している。文献 [11] による。

タの方は、形状が不安定であり、領域ごとの境界も重なりが見られる。これから、UMAP は学習データの領域を示しているため、2 個のデータの遠近を示すものとして使用が可能なるものであることがわかる。図 7 を見ると各領域の境界が不明確なところが見られるが、数字が幾何学模様に近いのに対し、衣服は、そうではないので、縮退時に混合が生じていると考えられる。

これに対し、実際の深層学習を行うのと同じ処理で、類似度を求める Siamese ネットワークというものがある。これは、各学習データの要素 A, B に対し距離

$$d(A, B) = \|f(A) - f(B)\|^2 \quad [14] \quad (1)$$

を Siamese の計算により求め、これを誤差関数として認識対象である場合は、最小化を行い、非認識対象である場合は、最大化を図る学習を行うものである。しかし、深層学習の枠組みで距離を直接使用していくのが難しいと言われている [15]。そして深層距離学習と言う分野が盛んに研究され始めている。

このような背景の中で、学習データの設定にもっと注意を払う必要があると考えている。これは、学習データを基に学習が進められるため、対象の物体そのものが有する特徴は影や反射などを含めあってもよいが、他の物体がたまたま背景に混在している、などは、その物体固有の性質ではないため、学習に歪みが入ると考えられるからである。このような雑音成分は、無いのが基本的には望ましく、ある場合は、十分多数のサンプルがあって、雑音の特殊な影響が学習に入り込まないほうが望ましい。例えば、sedan と van は小型車と言う範囲で同じカテゴリーとみなせるが、別々に分けて 2 種の認識器を用意した方が良いのか、二者を混合し sedan と van を合併して形成される車種のクラスにした方が良いのかもはっきりしていない。本研究では、このようなクラスの区切りの変更が結果にどのような影響があるかを調べ、最も望ましいクラス分けを開発していくための指針を求めるこ

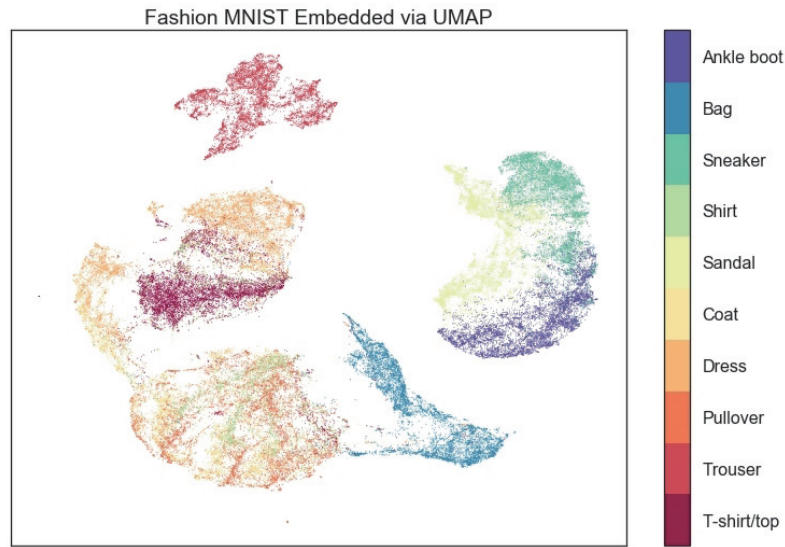


図7 衣服データ FashionMNIST (28x28 画素) の UMAP による 2次元化

とを将来的な目標とする。

図8は、深層学習用に集めた道路車両データ (45_2_d) の t-SNE による次元削減を行い二次元化したものである。データは各クラスごとに 100 枚あり、合計 1000 枚ある。この図をみると、各クラスはある程度の集まりがあるが、領域が広がっているクラスもあり、他のクラスと混合しているような領域も見られる。クラスの形状が類似しているものとして、taxi と sedan がある。実際の二次元上の分布も重なりが多い。また、ワンボックスカー (1-Box) とワンボックスカーで前部の傾斜が急なもの (1-Box_Slant) も形状に類似性があるが、二次元上の分布においても重なりがあり、また、広い領域に分散している。一方、静止物体である、信号機 (signal)、パイロン (pylon)、車線のペイント (Lane) は比較的

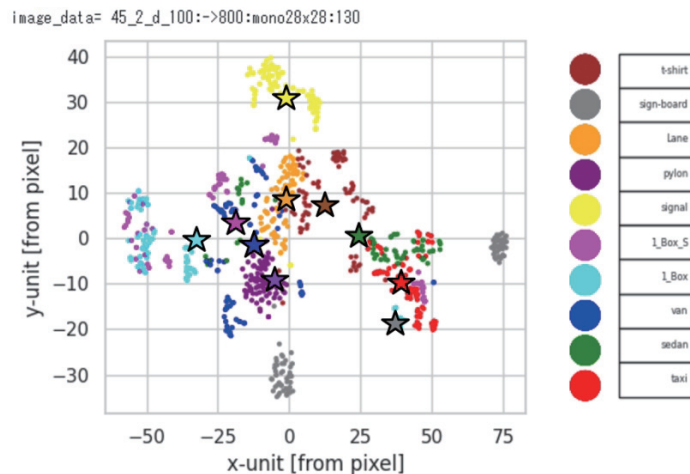


図8 道路車両データ、45_2_d の t-SNE による二次元化

10 種のクラス (taxi, sedan, van, 1Box, 1Box_Slant, signal, pylon, Lane, sign-board, t-shirt) に対し、可視化のため、色付け (赤緑、青、水色、桃色、黄色、小豆色、橙色、灰色、茶色) してある。また、星印☆は各クラスのデータ (点) の重心位置である。(以下同様)

かたまって分布している。

t-SNE の次元低減の性能を調べるため、上記のデータに対し、ワンボックスカー (1-Box) を廃止し、ワンボックスカーで前部の傾斜が急なもの (1-Box_Slant) のみとした。この廃止により一つクラスが減少した変化を補うため、上着の画像 (jaket) を追加したクラス (各 100 枚) で構成されたデータ (mono28x28_6_d) を作成した。このデータに対して、t-SNE を適用したのが、図 9 である。赤い点がワンボックスカー前部傾斜であるが、単独の集まりにやや近い分布にはいるが、水色の点が「ワンボックスカー前部傾斜」であるが、重なりは少ないが、3ヶ所 (左下、中央、上部) に分散している。上部では taxi の重心の近くに分布しているのが見られる。また、追加したジャケットは Tシャツと重なるように分布している部分が見られる。

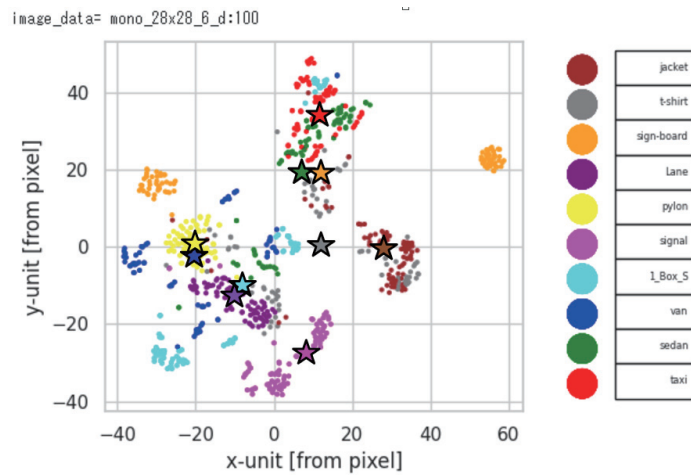


図 9 道路車両データ、mono28x28_6 の t-SNE による 2 次元化
 図 8 のデータの 1-Box を廃止し、f_sign_board を追加した。

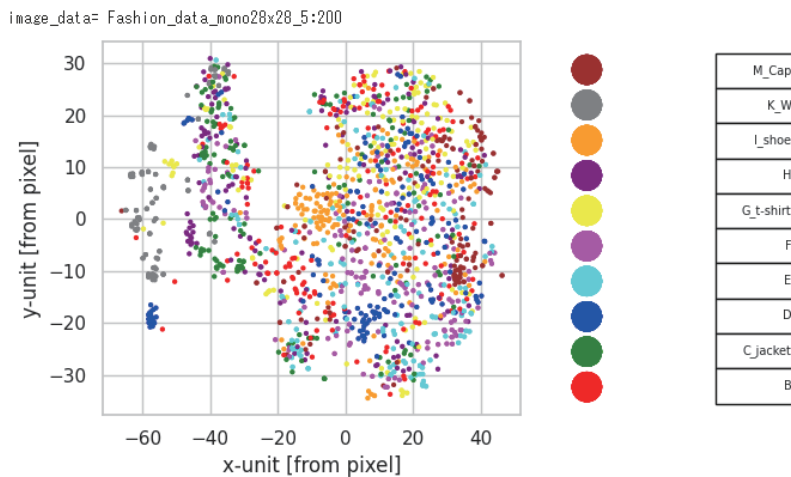


図 10 衣服画像データ、mono28x28 の t-SNE による 2 次元化
 0: 上下一体型の Long コート等、1: 上着のみ (jaket)、2: G パン、3: スカート、
 4: 短パン、5: T シャツ、6: シャツ、丸首、7: 靴、8: 水着、9: 帽子、データ
 は、DeepFashion という公開された衣服のデータベースから抽出した。[24]

図10は、別のデータとして、衣服データとして収集した10クラスのデータをt-SNEで次元低減を行い、二次元表示したものである。衣服データを実験に用いたのは、車両のように形状が確定した物体に対し、形状が不安定な物体での状況を見ておくためである。10クラスは、0：上下一体型のLongコート等、1：上着のみ(jacket)、2：Gパン、3：スカート、4：短パン、5：Tシャツ、6：シャツ、丸首、7：靴、8：水着、9：帽子である。全体的に分離が明確ではないが、例えば2～5が何箇所かに分散していることが見られる。

以上、二次元まで次元削減した図での視察によると、車両等の路上の物体からなる10クラスや衣服データから成る10クラスは、ある程度のまとまりはあるが、そのうちのいくつかのクラスは分散していたり、他クラスと混在しており、二次元上では、クラスの明確な識別ができない。これが、元の画像データが明確なクラス分けされていないためなのか、t-SNEの処理のためなのかは、不明である。

t-SNEやUMAPはクラス分離を保証するものではないが、その点を明確化するため、更に次の実験を行った。画像の枚数を104枚に増やし、次元低減後の各クラスの重心(平均)や分散、標準偏差を求めた。

表3は、10クラスの重心(平均)の座標、分散と標準偏差を示す。画像は130枚に増加したが、そのうち学習データとして用いる80%のデータ104枚を使用している。重心(平均)は各二次元X,Yの成分ごとの平均を用いた。また、図11は二次元まで、t-SNEで低次元化したあと表示するとともに、重心(平均)を星印で示した。重心の値は、視察により、各クラスの平均を表していることが確認できる。各クラスの点は集まっていると言うよりは、分散しているように見え、各クラスの重心が各クラスの要素で囲まれていたり、埋もれている例が少ない。紫色のLane、黄色のsignalはよく集積している。また、灰色のsign-boardも離れており、混合はなく比較的集積している。標準偏差では、class番号で5,6,7の3つが小さい。これらは、5：signal(黄色)、6：Lane(紫色)、7：truck(肌色)であり、二次元にまで次元削減した図11の分布から見られる分離の程度の印象と同じであった。

表4に道路画像(img_1_5_d_d_28x2.jpg：104枚×10)をt-SNEで二次元まで、低次元化したときの各クラスの識別率をaccuracyで求めたものを示す。各クラスの重心から最短の他の重心までの距離の1/2をしきい値として、すべての点をクラスの内部か、外部かの判定を行っている。TP(True Positive)は少ないものも多いが、FP, FNも一定に押さえ

表3 道路画像(img_1_5_d_d_28x2.jpg：104枚)をt-SNEで二次元まで低次元化したときの重心(平均)と分散、標準偏差

4_Fig11 class	mean		var	stdvar
	X	Y		
0	11.734	29.437	245.060	15.654
1	7.592	14.573	559.295	23.649
2	4.651	-9.015	373.391	19.323
3	2.674	-23.691	1199.939	34.640
4	-1.613	-15.226	1108.063	33.288
5	-33.847	-10.290	224.123	14.971
6	-8.926	-3.902	92.834	9.635
7	-8.677	11.615	228.277	15.109
8	45.409	6.364	310.347	17.617
9	-14.102	18.670	617.000	24.839

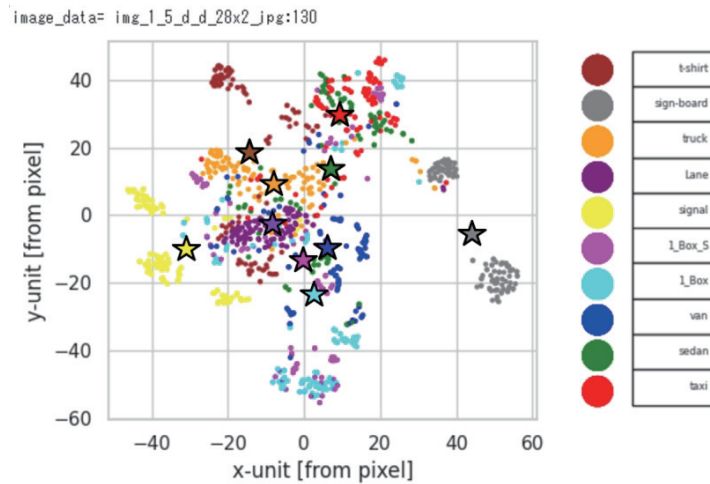


図 11 道路画像 (img_1_5_d_d_28x2_jpg : 104 枚 × 10) を t-SNE で二次元まで低減化したときの各点の分布
重心 (平均) を☆で示している。

表 4 道路画像 (img_1_5_d_d_28x2_jpg : 104 枚 × 10) を t-SNE で二次元まで、低減化したときの各クラスの識別率 (accuracy)

4 Fig11

TP	FN	FP	TN	total	accuracy
52	50	69	869	1040	0.886
4	96	58	882	1040	0.852
4	93	19	924	1040	0.892
0	112	16	912	1040	0.877
0	104	13	923	1040	0.888
76	30	56	878	1040	0.917
81	17	42	900	1040	0.943
21	87	5	927	1040	0.912
111	0	10	919	1040	0.990
3	99	11	927	1040	0.894

られているので、TN (True Negative) が多い結果となっている。図 11 のデータ (道路画像 img_1_5_d_d_28x2_jpg : 104 枚 × 10) を深層学習した場合の accuracy は 0.912 であった。t-SNE の二次元分布において、距離の近い重心に割り当てる識別を行った時は、accuracy は 0.886 である。

4. 考 察

以上の実験結果から、考察を行う。784 次元などの高次元から二次元まで次元低減を行うときの、相互距離の近いという特徴点の集まりを維持できるか、どうかについては、手法として近い状態を維持しようとしているだけで、二次元まで低減した時の結果には保証があるものではない。文献 [17] では、低減した結果のクラス分けのエラー率を quality の基準として使っている。MNIST という手書き数字データ 60000 枚に対し、784 次元 (28 × 28) の原データにおけるエラー率は 5.75% であり、t-SNE で二次元にまで低減した時

のエラー率は 5.13% に低下したと述べられている。なお、MNIST の手書き数字データを深層学習した場合の accuracy は 98% 近くの例もあり、t-SNE の距離による識別性が十分では無いことも確認できる。

t-SNE と UMAP の比較としては、文献 [12] では、UMAP の方が処理速度が数倍速いことが強調されている。質的な面では、詳しく述べておらず、エラー率などの評価も無い。他には、同程度や、UMAP のほうがやや良い例の報告が見られた。他にも UMAP の論文があったが、データが Telecom データや一次元の時系列データという画像データでないデータであったため、本研究では参考とし実験としては取り上げなかった。

以上より、t-SNE 等では、形状が類似しているというクラスの性質は、主に距離で評価されていることがわかった。距離が近い点として類似しているという性質は、次元低減でかなり保たれるという例が示されている。一方、距離による識別によるエラー率の評価と、次元削減しない原データの深層学習による認識率 (accuracy) はいくつかの例で、全て、深層学習のほうが、低いエラー率となっている

同じ形状の車種クラスでも二次元に低減した時、重心 (平均) に集まらず、重心から一定距離離れた位置に分布する場合がある。[25] では、MNIST などのデータを可視化するための新手法 GNNis を開発し、UMAP などと比較している。しかし比較の基準は処理速度であり、可視化の結果を比較していない。次元の削減は UMAP や t-SNE で可視化できても、可視化後の特徴の維持については、本研究の重心 (平均) と分散が客観評価として有効と考えられる。t-SNE の特徴的な問題点として、二次元まで次元削減後に、クラス間距離よりもクラス内の距離が大きくなる例があったことである (signal、signboard など)。つまり、t-SNE はクラス間の距離を保って次元削減を行えない場合が多いことがわかる。一方、t-SNE が示すクラス間距離の近いクラスは統合によりまとまりの高いクラスになる可能性があるが、実際にそのような例が得られ、クラス統合の指針の一つとして有力な候補となった。少なくとも全探索でクラスの統合の優劣を調べるよりも大幅に少ない試行で有効なクラス統合を探し出すことができると考えられる。

5. 結 論

本論文では、道路画像の深層学習を完全化するため、学習画像を車両という大きいカテゴリーに対し、車種という小さいクラスに詳細化して確実な認識を行うための、クラス分けの基準を模索してきた。t-SNE や UMAP により、次元削減し可視化した図から得られる距離関係は、確実な根拠は示されていないが、エラー率などからは、ある程度の信頼性があることも示された。そこで、t-SNE で分布が近かった、taxi と sedan、またワンボックスカー (1_Box) と前部が傾斜したワンボックスカー (1_Box_Slant) は統合して一つの車種クラスにすることが有効であるという指針が得られた。また、signal や signboard は人間が見れば、各々信号機と道路標識の特徴を有する単純な画像であるが、t-SNE の二次元分布では、数個の領域に分散しており (図 11)、signal や sign-board のデータから形状を詳細に検討する必要性などの問題点が得られた。

今後は、車種のクラスの統合を試行し、t-SNE の低次元での分布の観察や、深層学習を

行った時の認識率 (accuracy) の向上を調べていく。

参考文献

- [1] 熊小敏、杨 鑫、刘兆杨璘、朱雪田、「车路协同的云管边端架构及服务研究」2019 年电子技术应用第 8 期 (Xiong Xiaomin, Yang Xin, Liu Zhaolin, Zhu Xuetian, 「クラウドネットワークエッジターミナルアーキテクチャと車両と道路のコラボレーションのサービスに関する研究」電子技術の応用、2019、45 (8) : 14-18, 31.)
- [2] MDOT staff, "Michigan Avenue Planning and Environment Linkages (PEL) Study", March 3, 2021
http://www.michiganpel.com/media/ygrhu0aq/2021-03-03_presentation.pdf
- [3] Kaiming He; Xiangyu Zhang; Shaoqing Ren; Jian Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition", 2016 IEEE CVPR June 2016
- [4] 谷辺 哲史, 唐沢 かおり, 「自動運転による事故とメーカー、ユーザーに対する責任帰属」実験社会心理学研究、資料論文、日本グループ・ダイナミックス学会、2021 年 61 巻 1 号 p. 10-21
- [5] 大関和夫、上條浩一、「インフラ協調型自動運転における 認識処理の比較」電子情報通信学会、ソサイエティ大会、A-13-6 2021 年 9 月
- [6] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner. "Gradient-based learning applied to document recognition." Proceedings of the IEEE, 86 (11) : 2278-2324, Nov. 1998.
<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>
- [7] Alex's CIFAR-10 tutorial, Caffe style
<https://caffe.berkeleyvision.org/gathered/examples/cifar10.html>
- [8] Cuiping Shi, Cong Tan, and Liguang Wang, "A Facial Expression Recognition Method Based on a Multibranch Cross-Connection Convolutional Neural Network" IEEE ACCESS, VOLUME 9, 2021 March 16, 2021.
- [9] Yun Liang; Keisuke Maeda; Takahiro Ogawa; Miki Haseyama, "CROSS-DOMAIN SEMI-SUPERVISED DEEP METRIC LEARNING", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) MMSP-2.1 June 2021.
- [10] Yen-Chang Hsu¹, Yilin Shen², Hongxia Jin², Zsolt Kira, "Generalized ODIN : Detecting Out-of-distribution Image without Learning from Out-of-distribution Data", Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) , 2020, pp. 10951-10960.
- [11] Chuanxing Geng, Sheng-Jun Huang and Songcan Chen, "Recent Advances in Open Set Recognition : A Survey", IEEE Trans PAMI pp.1-18, March 2020.
- [12] Leland McInnes John Healy and James Melville, "UMAP : Uniform Mnifold Approximation and Projection for Dimension Reduction", arXiv : 1802.03426v3 , Feb, 2018.
- [13] Soumava Kumar Roy, Mehrtash Harandi, Richard Nock, Richard Hartley, "Siamese Networks : The Tale of Two Manifolds", IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) , 27th Oct.-2nd Nov. 2019.
- [14] TUM, "Siamese Neural Networks and Similarity Learning" Lecture Note , Advanced Deep Learning for Computer vision (ADL4CV) (IN2389) TUM
- [15] Jian Wang, Feng Zhou, Shilei Wen, Xiao Liu, "Deep Metric Learning with Angular Loss" , IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) , Volume : 1, Pages : 2612-2620, 22-29 Oct. 2017.
- [16] 一般財団法人 東京都交通安全協会 > 活動の内容 > 誘因事故 (非接触事故)
https://www.tou-an-kyo.or.jp/soudanjirei/4_list_detail.html

- [17] L. v. d. Maaten and G. Hinton. "Visualizing data using t-sne", Journal of machine learning research, 9 (Nov) : 2579–2605, 2008.
- [18] J. Redmon et al, "You Only Look Once : Unified, Real-Time Object Detection" IEEE CVPR June. 2016.
- [19] Kaiming He, et al, "Mask R-CNN", IEEE trans PAMI Vol 42, pp386-397, Feb. 2020.
- [20] Kazuo Ohzeki, Koichi Kamij and Stefan A. Schneider, "Vehicle Recognition in an Autonomous Driving System for Road and Vehicle Cooperation", Proceedings of FastZero '21 Sept. 2021.
- [21] G.E. Hinton and S.T. Roweis. Stochastic Neighbor Embedding. "Advances in Neural Information", Processing Systems, volume 15, pages 833–840, Cambridge, MA, USA, 2002. The MIT Press.
- [22] @odanny, 「t-SNE より強い UMAP を (工学的に) 理解したい」
[https : //qiita.com/odanny/items/06ab88353bcee7bf6aa7](https://qiita.com/odanny/items/06ab88353bcee7bf6aa7)
投稿日 2020 年 02 月 18 日
- [23] knnty.hateblo.jp, 「UMAP の仕組み —— 低次元化の理屈を理解してみる」
[https : //knnty.hateblo.jp/entry/2020/12/14/070022](https://knnty.hateblo.jp/entry/2020/12/14/070022)
- [24] Liu, Ziwei and Luo, Ping and Qiu, Shi and Wang, Xiaogang and Tang, Xiaoou, "DeepFashion : Powering Robust Clothes Recognition and Retrieval with Rich Annotations", Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) }, June, 2016.
- [25] Yajun Huang Jingbin Zhang Yiyang Yang Zhiguo Gong Zhifeng Hao GNNVis : Visualize Large-Scale Data by Learning a Graph Neural Network Representation CIKM '20, October 19–23, 2020, Virtual Event, Ireland, Association for Computing Machinery.

大関和夫 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授
上條浩一 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授

【研究ノート】

サステイナブルな教育環境の構築に向けて

～ Resilient Campus Platform ～

爰川知宏・辻野雅之・武本充治・山本 裕・

大関和夫・水上憲明・上條浩一

**Towards Sustainable Education Environment for Professionals
– Resilient Campus Platform**Tomohiro Kokogawa, Masayuki Tsujino, Michiharu Takemoto,
Hiroshi Yamamoto, Kazuo Ohzeki, Noriaki Mizukami, and Koichi Kamijo

Abstract : We attempted to build a sustainable educational environment by enabling situation awareness and prediction of the various threats to professional education such as natural disasters and pandemics, and by realizing an effective and resilient response to the threats. We call this concept the “Resilient Campus.” As the first approach to the realization of the Resilient Campus, we aim to build an ICT platform that can effectively detect the environmental conditions on campus using many sensors, mobile robots, etc., and recognize the overall situation. We built a prototype for this purpose and identified the basic functions to extract requirements.

Keywords : IoT, smart campus, resilience, sustainability

1. はじめに

近年多発する大規模自然災害や、COVID-19のような感染症の流行、あるいはテロ・サイバー攻撃といった不確実な脅威に、社会の様々な層が晒されている。学校教育も例外ではなく、昨今のCOVID-19においては多くの学校で教育の中断あるいはオンライン授業への移行・代替を余儀なくされた。その後の対面授業への復帰は進んでいるものの、オンラインとの使い分けや感染対策に試行錯誤が続いており [1]、授業継続における安全性確保について難しい判断を強いられている現状がある。特に脅威の全体像が見えないこと、先の予測が困難であることが判断を難しくしている。

そうした不確実性の高い時代において、高等教育の果たす役割は増大しており、とりわけ社会をデザインできる (Designers in Society) 人材輩出の重要性が増していると考えられる。災害等に対する事業継続 (Business Continuity) という概念は教育の世界でも用いられる場合があるが、教育においては受ける側の機会が限られる面もあり、中断→回復のモデル

ではなく、持続性 (sustainability) がより重要となると考えられる。

本研究では、高等教育のうち、本学が属する専門職大学を対象とし、専門職大学自身が様々な脅威に対してもしなやかに対応できる環境 (ICT システムおよびマネジメント) を構築し、それに基づく授業スケジュールや緊急時対応を行うことで、サステナブルかつ効果的な人材教育をめざす。その概念を Resilient Campus と名付け、第一歩として、学内の環境状況を多数のセンサや移動ロボット、カメラ等で効果的に検出し全体の状況認識を行える ICT プラットフォーム (Resilient Campus Platform) を構築する。将来的には状況認識の統一、状況予測、プロアクティブな対応のための意思決定支援や自動制御まで行うことを見据えた全学的なプラットフォームをめざす。

2. 構想の全体像と課題設定

本構想の実現イメージを図1に示す。学内の各教室に様々なセンサを配置し、そのセンサからの情報を、エッジサーバ等を介してクラウドに送信する。クラウドに蓄積されたデータをもとに空間的、時系列的なモニタリングと分析を行い、結果を可視化して燃るべきメンバ (キャンパスの運営に関わる責任者) に提示する。その情報をもとに状況認識や予測を行い、適切な対応 (空調制御、見回り、授業形態の切り替えなど) への意思決定につなげる。

センサについては、教室等に固定的に設置するもの (CO₂ センサ、温度センサ等の環境センサ) だけでなく、人流を考慮して移動物 (ロボットなど) に搭載したもの、あるいは個々の学生や教員の体調を確認するための生体センサなども考慮に入れる。

本構想に基づくプロトタイプ作成にあたり、解決すべき課題として以下がある。

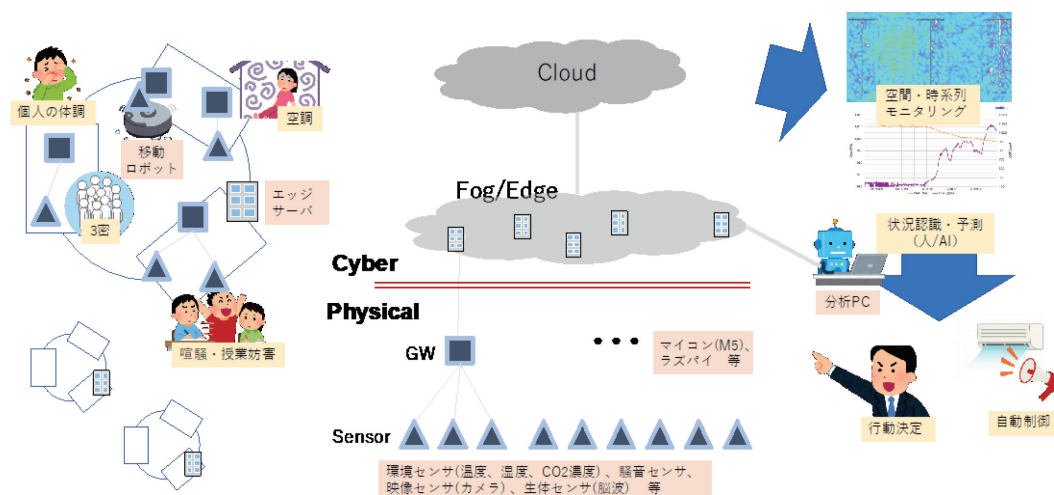


図1 構想の全体像

(1) センシングデータの可視化に基づく状況認識と対応マネジメント

多数のセンサを配置してデータを収集しただけでは単なるデータの集合にすぎず、それを最終的には人間の意思決定や行動に生かさなければ意味をなさない。そのために必要なものは、そのデータから現在置かれている状況や今後の推移を推測し、状況を改善するた

めの行動につなげるレベルでの情報処理・可視化の支援が必要である。

(2) センシングデータの運用に向けたエッジサーバ環境パラメタの分析と最適化制御

センサ数が増大するとそれらの運用やデータ処理が複雑になり、エッジ/フォグレベルでの処理の重要性が高まる。その際の環境パラメタの設定や最適化が課題となる。

(3) センサを収容・制御する末端ノードのプログラムの開発・配信環境の構築

センサを収容するためには、空間的に近いところに置かれる末端ノードが必要になる(図1のGW)。そして、実環境において、多様なセンサを収容し、かつ、制御するためには、応用事例毎に適した方式がある。そのために、多種多様なセンサを収容・制御するための末端ノード上のプログラムの開発手法が必要になる。また、センサの数が多数になるため、末端ノード上へのプログラムの配信環境の必要となる。

(4) センシングデータに基づく最適設計・制御

センシングデータとして得られた結果に適応して、通信効率・電力利用効率を向上させるように、センサや通信機器の配置・容量を決定すること(設計法)、計算/通信資源の割当やセンサの各種制御を行うこと(制御法)が望ましい。最適化アプローチに基づき、望ましい設計・制御に繋がる数理モデルを構築し、評価することが課題となる。

(5) センシングデータを用いた機械学習

キャンパス内の室内の人物の存在の判定や動きを把握するためには、単なるセンシングデータだけでは不十分で、機械学習、特に動物体に対する学習の活用が必要と考えられる。

(6) 外界センサ情報を用いたロボットの自律移動と遠隔操作

教室全体の環境センサ計測をするためには複数の環境設置よりも移動体に搭載して場所を変えながら計測する仕組みが必要である。その移動体として車輪型移動ロボットの基本的な壁などの障害物検知からその回避しながら移動する自律移動技術の確立が必要である。また、管理者が指定の場所にロボットを遠隔から移動させるための遠隔操作技術の確立も必要となる。

(7) キャンパス内、及び外部環境が生体情報に与える影響

サステイナブルな教育を実現するためには、キャンパス内の環境状況の把握や対応だけでなく、そこに滞在する教職員や学生への物理的あるいは心理的な影響も把握が必要である。

本稿においては、このうち課題(1)(2)(3)に対する取り組みを中心に検討状況を述べる。また、人を対象とする処理についてはプライバシーや倫理に関する課題も整理が必要となるため、本稿では踏み込まず、機能確認までの検討としている。

3. 実験対象

実験環境は本学(東京国際工科専門職大学)キャンパスである。本学キャンパスは東京・新宿の高層ビル(コクーンタワー、地上50階)内にあり、教室は複数のフロアに分かれている。このうち、主に対面授業に使われている3フロア6教室をターゲットとした。

実験時点で本学にとっての最も大きなリスクはCOVID-19の感染(特にクラスター発生)である。いわゆる「三密」(密集、密接、密閉)の回避が重要となる[2]が、高層ビル内という条件のもと、「密閉」の回避が非常に難しい。密閉とは換気が不十分でウイルスを

含む可能性のあるエアロゾル（直径 $5\mu\text{m}$ 以下のマイクロ飛沫）が長期間室内に滞留する状況であり、対策として換気が重要である。しかし換気は体感しづらく、高層ビルでは構造的に窓を開けられないため、どの程度の換気が行われているかの把握が特に困難である。

換気の見える化の手段として着目されているのが CO_2 濃度の測定である。実際、様々な組織で COVID-19 対策の一環として CO_2 測定器が設置されており、一部自治体による費用補助も行われている。

CO_2 濃度が高いと頭痛・めまい・吐き気等人体への悪影響が生じることが知られており、授業中の居眠りなど集中力の低下との相関も指摘されている [3]。文部科学省による学校環境衛生基準では、教室内の CO_2 濃度は $1,500\text{ppm}$ 以下が望ましいとされており [4]、厚生労働省による建築物環境衛生管理基準では $1,000\text{ppm}$ 以下と定められている [5]。しかし、この基準はあくまでも濃度の大小に対する基準であり、換気の強弱とは必ずしも連動しないことに注意が必要である。

図2は CO_2 濃度と換気の関係を示したものであり、部屋に人がいる状態では、人が呼吸で排出する CO_2 が時間とともに増加するが、換気がある程度なされているとある濃度で平衡する（上段）。人数が増えると CO_2 排出量が増えるとともに濃度も上昇するが、十分に換気がなされていれば、ほどなく上段同様に平衡あるいは減少に転じる（中段）。一方、人数が少なくても換気が不十分であれば人が排出した CO_2 が室外に排出されず濃度が上がり続ける（下段）。問題なのは下段の場合であり、通常の建物の空調制御では、 CO_2 濃度が管理基準を上回るまでは換気が行われず、感染リスクが高い状態が続く可能性が高い。また、強制的な換気は室温や湿度への影響もあり、冷暖房や除加湿による電力使用量の大幅増にもつながる。感染対策（換気）とビル内の環境維持（温度・湿度）、経済性（電力量の削減）を両立させる空調制御は簡単ではなく、解決には実際の室内利用状況と空調の状況を観測してパターン化していく必要があると思われる。

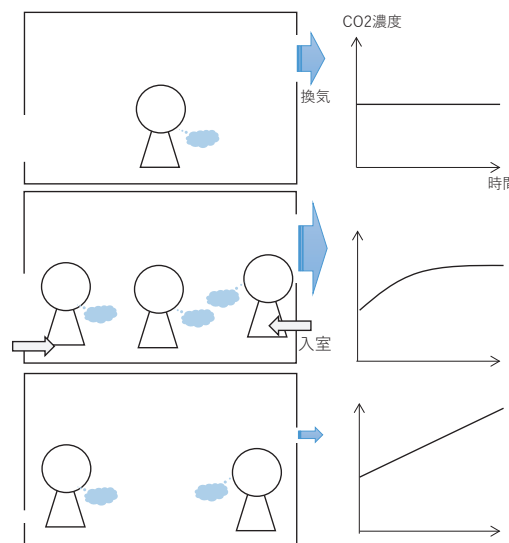


図2 CO_2 濃度と換気の関係

4. CO₂ 増減状況の可視化

CO₂ の検出方法は非分散型赤外線（NDIR）方式が代表的であるが、測定器は比較的高価（市販品で数万円程度）である。一方、安価な測定器では、揮発性有機化合物（VOC）の濃度（特に水素濃度）から等価二酸化炭素（equivalent CO₂）を推定して算出しているタイプのものもあり、精度に問題がある。また、市販の測定器の多くはログ機能を持たず、その時点の測定値を表示するのみであり、増減の傾向把握が難しい。そのため、NDIR方式のCO₂ センサデバイスを用いて測定器を試作することとした。

制御用ノードは M5StickC Plus を用いた。これはマイコンチップに ESP32 を用いた開発用ボードであり、小型の液晶画面と Wi-Fi 通信機能を持つ。センサデバイスは、NDIR 方式を採用する Sensirion 社の SCD30 を用意した。SCD30 で測定した値を M5Stick C Plus に表示するとともに、IoT クラウドサービスである Ambient に定期的にデータを送信する形でプロトタイプシステムを構築した。システムの構成と実機の外観をそれぞれ図3に示す。



図3 システム構成とセンサ実機の外観

データの可視化に際しては、

- (1) 試験等のイベント対応における短期的な意思決定への活用（教室単位の把握・対応）
 - (2) 通常授業における全体状況把握
- の2点において行った。

(1) イベント対応可視化

定常利用している教室に対しての空調制御は、建物全体での電力効率などの経済性との両立を考えながら最適解を模索する必要があるため、個別事例による対応は簡単にはできないが、単発のイベントにおいてはその期間に特化した対応を行いやすい。そこで、入学試験および期末試験を対象としてイベント実施中のCO₂可視化と対応のトライアルを実施した。

3台の試作測定器を試験会場（筆記試験、面接試験、控室）に設置するとともに、測定結果を試験本部で一元的にモニタ表示できるようにした。設置は測定値を安定させるために試験当日朝に行った。また測定間隔は30秒とした。

可視化の観点としては、時系列で増減を見たいものと、その時点の測定値があり、前者にはCO₂濃度と湿度、後者には温度、湿度、CO₂濃度の全てを提示することとした。そ

の上で、各会場の状況が1画面に同時にモニタリングできるように並べて表示することとした。最終的に運用した可視化画面を図5に示す。

本可視化に基づいて入学試験および期末試験において運用を実施し、有効に活用された。具体的な活用結果については文献[6]で示す。

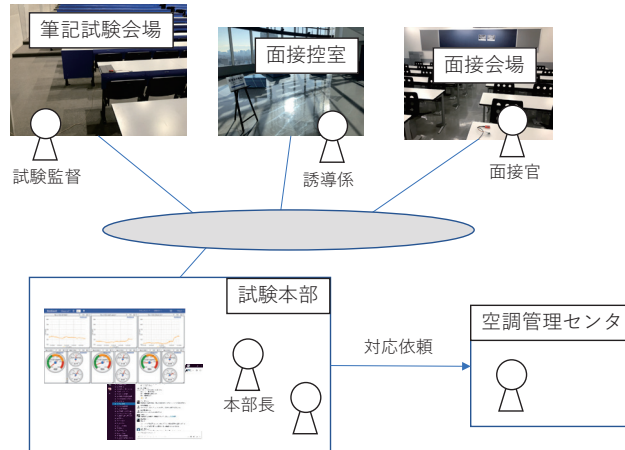


図4 試験実施体制

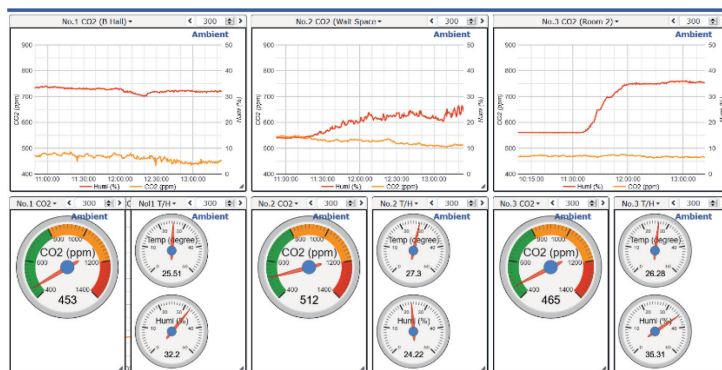


図5 イベント対応の可視化例

(2) 平常時可視化

イベント実施時と異なり、平常時は複数の教室において授業が実施されており、個別の空調対応には限界がある。そのため、全体像を把握して長期的視点から空調制御のアルゴリズムを見直すか、あるいはリスクの高い教室から低い教師へ一時的に退避することも考慮して、キャンパス全体の状況を一目で把握できるようにする必要がある。

最初の試みとして、主に授業で利用されている3フロア6教室を対象に、CO2濃度の時系列一覧可視化を行った結果を図6に示す。クラウドサービス（Ambient）の利用プラン上の制約（データ送信数の上限等）により、1つのチャンネルに6台を収容した上で、測定はCO2濃度のみで2分おき、かつ7時～23時までの記録に限定している。

本可視化に基づいて2021年3月下旬より運用を継続中である。COVID-19禍が継続中であり、週あたりの対面授業日数が限られているため、本画面レベルで問題なく運用できているが、実質上この台数（6台分）がAmbientでの運用上もPC上での一覧表示の上で

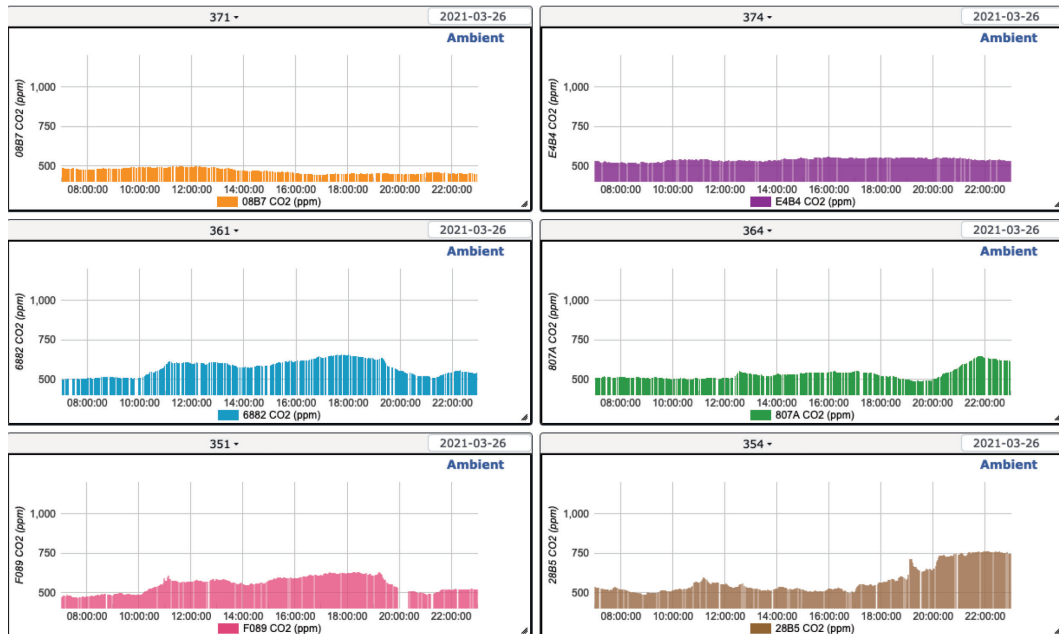


図 6 平時利用の可視化例

も限界と考える（図 6）。

5. 人の室内滞留状況の把握・可視化

図 2 に示す通り、CO2 濃度の増減は換気の度合いだけでなく、その時点の室内の人の滞留状況にも依存する。授業中であれば出席確認により人数把握も簡単であるが、自習室や空き教室の勝手利用に対しては把握が困難である。センシングによる把握の場合、カメラ映像を用いるのが最も確実であるが、プライバシー上の問題や学生の心理的抵抗も考えられ、運用が難しい。人の滞留(在室)を簡易に把握する手段として以下の 3 点を試行した。

- ・騒音センサ（低周波用マイク）を用いた室内の音量変化の検出
- ・人感（PIR）センサによる室内での人の動きの検出
- ・ダストセンサによる埃の舞い上がりの検出

図 7～9 にそれぞれのセンサによる試行結果の例およびセンサ実機の外観を示す。図の例では 10 時～18 時頃に室内に 1 名が滞在して作業を行っている状況であり、それ以外には朝 7 時頃に警備員による巡回があった。騒音センサについては、運用上の感度は 1kHz くらいが上限ではあるものの、人の出入りに加えて打合せ等での会話を通じた滞留状況はある程度把握できそうである。PIR は入退室のタイミングは確認できるものの、着席作業時などはほとんど反応しないため、滞在状況の把握は難しい。ダストセンサの場合は人の滞在場所とセンサとの距離がやや離れていたこともあって人の動きとの相関がほとんど見られず、人の滞在状況把握の用途では難しいことが示唆された。

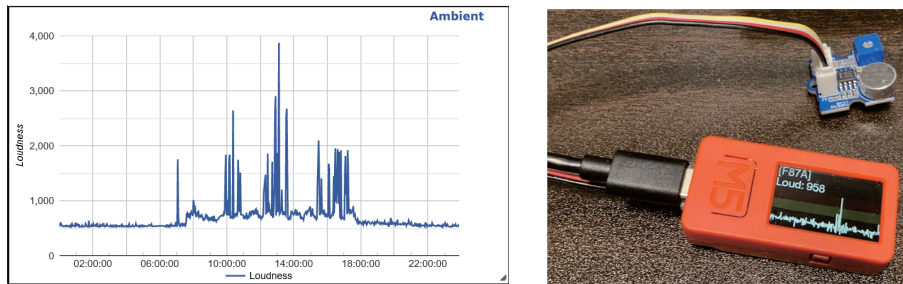


図7 騒音センサによる在室把握

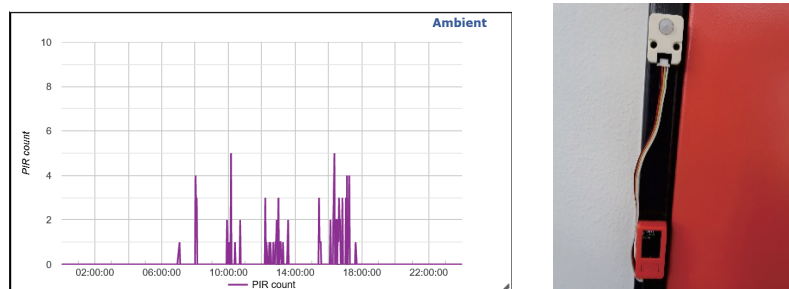


図8 PIRセンサによる在室把握

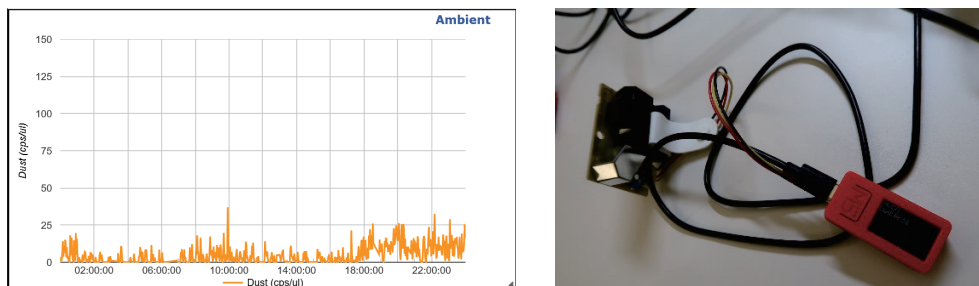


図9 ダストセンサによる在室把握

6. 環境パラメタの分析と最適化制御

上記の可視化にあたっては、センサノードそれぞれにおいて送信先情報（接続先ホスト、チャンネル情報、データ番号）を指定してサーバに送信しており、センサプログラムの運用管理が複雑となる。さらなる台数のセンサを収容して一覧表示するには、表示部の工夫もさることながら、センサからのデータ送信方式の改良も必要となる。

使用したマイコン（M5StickC Plus）の場合、Wi-Fi 通信機能を内蔵していることから、そのMACアドレス（の一部）をセンサノードのデバイスIDとして利用することができる。送信データにこのデバイスIDを含めておくことで、センサノード全体で同じセンサプログラムを使いつつ、受信サーバ側で送信元のセンサの個体識別を行うことができる。

その場合のデータ送信方法について簡単な実装を行った。M5StickC Plusに単機能のセンサ（騒音センサ）を接続し、測定値をデバイスIDとセットで定期的（10秒ごと）に送信するプログラムを作成した。送信はMQTTで行うこととし、エッジサーバとなるノー

```
koko@nanopineo2:~$ mosquitto_sub -h localhost -t "M5/Loud"
{"devices":"F87A","payload":{"loudness":1306}}
{"devices":"D8B9","payload":{"loudness":1471}}
{"devices":"347A","payload":{"loudness":674}}
{"devices":"F87A","payload":{"loudness":1391}}
{"devices":"D8B9","payload":{"loudness":1940}}
{"devices":"347A","payload":{"loudness":616}}
{"devices":"F87A","payload":{"loudness":1421}}
{"devices":"D8B9","payload":{"loudness":891}}
{"devices":"347A","payload":{"loudness":836}}
{"devices":"F87A","payload":{"loudness":1262}}
```

図 10 複数ノードからの送信データの識別例

ドを立ち上げてそこに MQTT ブローカー (mosquitto) をインストールした。送信データは JSON 形式とし、デバイス ID は devices へ、測定データは payload の下にネストして格納している。

3 台のセンサノードを立ち上げ、MQTT クライアントで subscribe した例を図 10 に示す。

台数が増えてもプログラム上の変更は不要で、かつエッジサーバにデータが集約されていることから、様々な前処理を行った上で、必要な部分のみをクラウドに送信、可視化することが可能となる。以上の予備検討に基づき、サーバ適用システム構築に向けた基本仕様の検討を進めていく。

7. 末端ノードのプログラムの開発・配信環境

前章までは末端ノードとしてマイコン (M5StickC Plus) を用いたが、より複雑な機構を持つセンサの収容・制御を想定し、末端ノードとして複数の Raspberry Pi を研究室内ネッ

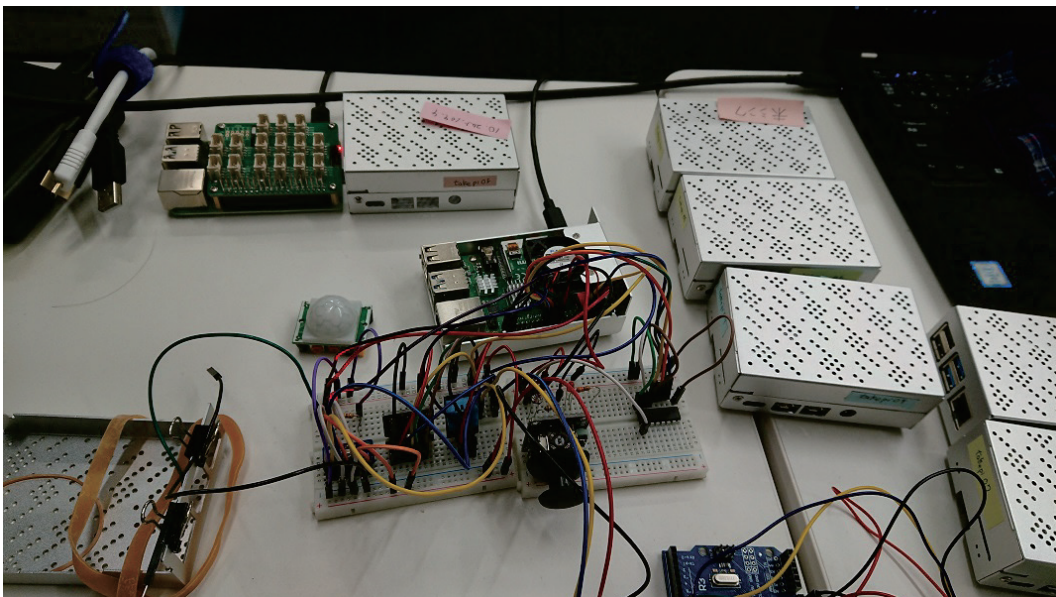


図 11 複数種類のセンサを複数のプロトコルにより収容する複数の末端ノードの一部

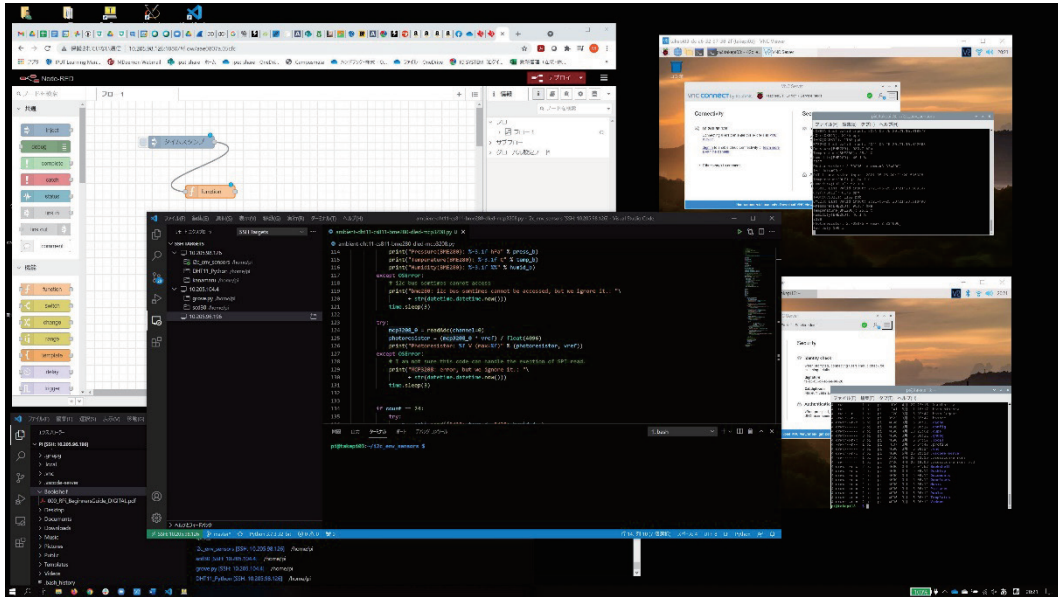


図 12 同一 PC 上での異なる言語でのプログラム開発環境

トワークでネットワーク接続する環境を構築した。図 11 にごく一部の例を示す。本環境では、複数種類のセンサを複数のプロトコルにより収容する複数の Raspberry Pi が動作している。

また、末端ノード上で動作するプログラムの記述言語については、(1)Python を用いる場合の開発・配信環境として PC 上の Visual Studio Code と拡張機能を用いる方法を確認しており、同時に同じ PC 上から、別の制御フロー記述言語である (2)Node-RED を用いての開発・配信方法も確認している。図 12 にプログラム開発中の状況例を示す。

8. 他の課題の対応状況

残りの課題 (4)(5)(6)(7) に対する検討状況について表 1 にまとめる。

表1 検討課題の対応状況

	課題	検討状況
(4)	センシングデータに基づく最適設計・制御、マーケティング観点からの分析	通信効率・電力利用効率の最適設計・制御の数理モデルを作成して、準備した計算機環境での基本動作を確認した。
(5)	モバイルカメラによるセンシングデータを用いる機械学習	室内の人物の存在の判定や動きを追跡することが最終目標であるが、一方監視カメラのように直接人間を撮影することは、被写体となる人の許可を取るなどが必要で、すぐには難しい。そこで、動物体の例として車両を選び、モバイルカメラにより撮影した動画を基に、車両等を機械学習の学習データに設定し、学習とテストデータに設定し認識実験を実施した。10種のクラスの識別で taxi, sedan, van などが 98%以上の精度で認識（識別）できた。
(6)	外界センサ情報を用いたロボットの自律移動技術とオンライン化教育に対応するための遠隔操作技術の構築	車輪型移動ロボットとして研究用ルンバ[7]を用いた自律移動技術の構築を進めている。これまでに Raspberry PI を用いてプログラム開発環境を構築した。プログラム開発においては、ルンバ動作用ライブラリを提供しているロボット用のソフトウェアプラットフォームである ROS (Robot Operating System) を用いた[8]。ルンバ本体前部に搭載された障害物センサと接触センサのセンサ情報取得を行い、これらセンサ情報に基づいた障害物回避や壁検知による接触回避などのプログラム開発と動作確認を行った。更に、Raspberry PI にカメラモジュールを搭載して、ロボットの移動システムに顔検出の機械学習を組み込んだ。顔検出に基づくロボットの移動制御も可能な状況まで開発が進んでいる。
(7)	キャンパス内、及び外部環境が脳波に与える影響の解析	学生の脳波や動画像より、集中度の時間変化の観察、及びその変化点での教師の行動の特定を可能とするシステムを設計した。

9. おわりに

本稿では、不確実な脅威に対してサステイナブルな教育環境の提供する ICT プラットフォーム「Resilience Campus Platform」実現のための第1歩として、プロトタイプを構築し、基本機能の確認を行った。具体的な要件の洗い出しにはまだ多くの課題を解決しないといけないが、実地でのプロトタイピング&評価を継続することにより、「Resilience Campus Platform」の実現に向けて引き続き検討を進めていく。

参考文献

- [1] 文部科学省、大学等における新型コロナウイルス感染症への対応状況について、
https://www.mext.go.jp/kaigisiryoy/content/20200914-mxt_koutou01-000009906_15.pdf (2021年8月31日閲覧).
- [2] 厚生労働省、新型コロナウイルス感染予防のために、https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kenkou-iryousoudan.html#h2_1 (2021年8月30日閲覧).
- [3] 藤原巧未、長尾和彦、IoTデバイスの活用による教室環境と授業集中度の評価に関する研究、FIT2019, 第4分冊、pp. 331-332, 2019.
- [4] 文部科学省、学校環境衛生基準 令和2年文部科学省告示第138号、https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1353625.htm (2021年8月30日閲覧).
- [5] 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準について、<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/> (2021年8月30日閲覧).
- [6] 爰川知宏、CO2濃度の可視化に基づく安心・安全な対面学習／試験環境提供の試み、情報処理学会研究報告、Vol. 2021-GN-114、No.6、May、2021.
- [7] 研究用ルンバ (iRobot Create® 2 Programmable Robot)、
<https://www.irobot.com/About-iRobot/STEM/Create-2.aspx> (2021年8月25日閲覧).
- [8] ルンバ動作用ライブラリ (create_autonomy)、
https://github.com/AutonomyLab/create_robot/blob/indigo-devel/README.md
 (2021年8月25日閲覧).

爰川知宏	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	教授
辻野雅之	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	教授
武本充治	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	教授
山本 裕	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	准教授
大関和夫	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	教授
水上憲明	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	講師
上條浩一	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科	教授

【研究ノート】

音楽を理解するコンピュータ

—人工感性の実現を目指して—

山口直彦

Computer Recognize Music - For Establish Artificial Emotion -

Naohiko Yamaguchi

Abstract : Tonal Pitch Space(TPS) is a kind of theory of computational musicology based on classical theory of harmonics. However, current popular music is primarily composed by the jazz theory. Hence, the development of a new computational musicology based on the jazz theory is indispensable. As a challenge to realize artificial emotions, this article outlines the computational musicology, especially TPS and, furthermore, reports on some current researches on adapting TPS to the jazz theory.

Keywords : Computational musicology, Music informatics, Tonal Pitch Space, Theory of harmonics, Jazz theory, Popular music

1. はじめに

ディープラーニング（深層学習）という革新的技術が誕生し、コンピュータチェスの Deep Blue やコンピュータ囲碁の AlphaGo が大きな成果を残した事、そしてシンギュラリティ（Singularity: 技術的特異点）という言葉が世界をにぎわせた事で、人工知能、あるいは AI(Artificial Intelligence) という言葉はすっかり世の中に浸透した。ロボットの世界でも、人間と同じ空間で動作する協働型ロボットの開発が盛んになっており、多様な環境に柔軟に対応した制御を行うために AI は欠かせないものになっている。

しかし現在の人工知能にはまだまだ足りない部分がある。人とロボットが協働する中で、ロボットを単なる機械ではなく、本当の意味で人間の「仲間」として受け止めるために必要な事、それはロボットに「心」を感じ、お互いを「理解しあえている」という感覚を得られる事である。特に介護・医療・教育の分野でロボットが活躍するためには、ロボットを心から「信頼」するために必須の要素と言えよう。そのためには、ロボットが人間の「心」や「感性」を理解すること、すなわち「人工感性（Artificial Emotion）」の技術が求められるようになる。

本稿では「人工感性」の実現に向けた取り組みとして、コンピュータに音楽を理解させる「計算論的音楽理論」という試みについて概説し、報告者が現在検討している最新のA

アイデアについて解説する。

2. 人工知能と感性

2.1 これからのロボットには「感性」が必要になる

「ロボット」という言葉は、チェコの作家カレル・チャペックが1920年に発表した戯曲『R.U.R (Rossumovi univerzální roboti: ロッサム万能ロボット会社)¹⁾』で生まれ、その語源はチェコ語の「robota (強制労働)」とされる。それ以来ロボットは基本的に「人間の代わりに労働を行うもの」として捉えられてきた。実際、現代においてロボットが大きく活躍しているのは製造現場(工場)や物流(倉庫)などであり、大型のロボットがパワフルに、高速に動作して、人間がまねできない速度・精度で製品を大量生産したり、人間が持ち運べないような大型の荷物を運んだりしている。その代わりに、これら産業用ロボットは安全柵に囲われ、人間を柵の外に追い出して安全を確保している。

その一方で、ソニーのaibo、ソフトバンクのPepper、iRobotのルンバのように、人間の生活空間で人間と共に活動するロボットも増えている。産業用ロボットの世界でも、安全柵を必要とせず、人間と共に動作する「協働型ロボット」が注目を集めている。

人間と同じ空間でロボットが動作する場合、ロボットが動作効率だけを追求した動作をすれば接触事故の危険性が高まる。従って人間に危害を加えないように考慮した動作制御が必要であることは当然である事に加え、人間が「安心して隣にいられる」ような振る舞いが求められる。例えば、人間にぶつからない「完璧な寸止め制御」が実現していたとしても、ボクサーの打撃練習のようにブンブンと猛スピードで動くアームがあれば、隣にいる人間は本能的に恐怖心を覚え、安心して作業ができないだろう。ここで大切なのは実際に人間へ危害を加えるか否かではなく、「人間に恐怖心を与えず、このロボットは(人間に危害を加えないと)信用できる」振る舞いである。「恐怖心」という人間の心情を汲んだ動作制御、言い換えれば「人間に危害を加えない優しさを表現する動作」が求められるのだ。それだけに限らず、用途によっては「安全確実な動作をしつつもキビキビとした動き」や「ゆったりと美しい所作」や「丁寧でおもてなしの心を持った動き」などが求められる事もあるだろう。

そのためには、ロボットに人間の「感性」を持たせる、すなわち「人工感性(Artificial Emotion)」が必要になる。現在の人工知能は人間のように「柔軟に物事を考える」働きを目指して進化しているが、「人工感性」は人間のように「感情を理解し、汲み取る」働きを実現させることを目指す。

そもそも、人間の感性や感情というものが身体内でどのように現れ、コントロールされているのかは、現在の脳科学をもってしてもまだ十分には解明されていない。「人工感性」を実現させようとする試みは、いわばコンピュータ内に感性のデジタルツイン(仮想空間で現実空間を再現すること)を作ることによって「人間の感性」の理解を相対的に深めようとする行為でもある。

2.2 AI 美芸研アジェンダ

人間の感性が機能する場はたくさんある。中でも芸術は「特定の材料・様式などによって美を追求・表現しようとする人間の活動。および、その所産。[3]」と説明されるように、人間に固有の活動と考えられてきた。

美術家で人工知能美学芸術研究会(AI 美芸研)に所属する中ザワヒデキ及び草刈ミカは、従来人間しか成しえないと考えられていた領域まで人工知能が進出しつつある現状を踏まえ、機械と人間による芸術(行為)と美学を表1に示すように4つの領域に分け、第IV領域(機械の美学で作られた機械による芸術)はあり得るのかという問いを人工知能美学芸術研究会の根幹となる問題意識(AI 美芸研アジェンダ)として示している[1, 2]。

もっとも、コンピュータ(電子計算機)と芸術の関係性は今に始まった話ではなく、電子計算機が開発されたかなり初期の頃から、何らかの形でコンピュータが関わる芸術活動というものは模索されている。本稿の主題である音楽に関して言えば、シンセサイザーやシーケンサによる音楽制作・演奏は、表1の第III領域(人間の美学で作られた機械による芸術)に相当するし、アルゴリズムミックコンポジション(一定の手続き(アルゴリズム)により作曲される音楽作品)は表1の第II領域(機械の美学で作られた人間による芸術)の一種とも考えられる。ただしこの場合、アルゴリズムの設計や選定を行っているのは人間自身のため、本当の意味で第II領域に該当すると言えるかどうかは議論の余地がある²⁾。

表1 AI 美芸研アジェンダ [1, 2]

	人間美学 Human Aesthetics	機械美学 Machine Aesthetics
人間芸術 Human Art	I	II
機械芸術 Human Art	III	IV

2.3 音楽情報科学と計算論的音楽理論

2.3.1 音楽情報科学

では、「機械美学」による音楽はどうすれば作る事ができるのだろうか。

コンピュータの知見を通じて「音楽」を取り扱う研究分野を総合して音楽情報科学または音楽情報学(Music Informatics)と呼ぶ。音楽情報科学の歴史は長く、世界初のコンピュータによる自動作曲作品「イリアック組曲」が発表されたのは1957年である。世界初の実用的なプログラム内蔵方式電子計算機であるEDSACが稼働したのが1949年、世界初の汎用電子デジタルコンピュータUNIVAC Iの発売が1951年であることを考えると、電子計算機黎明期からコンピュータを用いた音楽制作の取り組みが行われていた事がわかるだろう。

その後、シンセサイザの性能向上などと連動しながら、コンピュータは主に音楽制作

の道具として進化を遂げた。特に電子楽器の演奏情報を装置の間で転送・共有するための共通規格としてMIDI (Musical Instrument Digital Interface) が開発されたことで、カラオケや携帯電話の着信メロディなど、活躍の場を広げていった。90年代後半から2000年代以降は、インターネットの普及や iPod を筆頭とした大容量の携帯型デジタル音楽プレイヤー・スマートフォンが普及したことにより、個人が大量の音楽を所有・聴取することが当たり前になった。そのような状況から、音楽情報検索 (Music Information Retrieval : MIR) や音楽推薦の研究が盛んになった。また2007年にクリプトン・フューチャー・メディア社から発売された歌声合成ソフトウェア「初音ミク」(ただし歌声合成技術の基盤はヤマハ株式会社が開発した「VOCALOID2」による) [4] が記録的な売り上げを出したことで、歌声合成などの音楽情報科学の研究が大きく広がり、現在に至っている。

後藤真孝によれば、「音楽情報学が学問として目指すものは主に「音楽の理解・鑑賞」「音楽の創作・演奏」「音楽の流通・検索・推薦」「音楽による人間同士のコミュニケーション」「音楽に内在する性質」等を工学 (役に立つモノを作る) あるいは科学 (真理を明らかにする) の立場から明らかにすることである」と説明する。そして具体的な課題として「音楽に関する信号処理、採譜、音源分離、識別、分析、理解、検索、推薦、分類、流通、同期、変換、加工、要約、作曲、編曲、作詞、演奏、伴奏、楽譜認識、楽音合成、歌声合成、生成、支援、符号化、視覚化、インタラクション、ユーザインタフェース、データベース、アニメーション、ソーシャルタグ等の様々な課題が関係する。」と述べている [5]。

2.3.2 計算論的音楽理論

音楽について考える際、「そもそも音楽とは何か」という問いは極めて基礎的な疑問に見えて、実際には非常に答えることが難しい問題である。音楽は (物理現象としての) 音を媒体とした活動であり、複数の音を時間軸及び周波数軸上に分布させたものであるが、それらが全て音楽として知覚されるわけではない。どのように音を選び、並べれば「音楽」という創作物として認識されるのかを示す知識体系を、一般に「音楽理論」という。ただし絶対的に正しい音楽理論というものが存在するわけではなく、その内容は文化背景や時代などによって異なる。現在「音楽理論」といった場合は、ヨーロッパを中心に構築・発展してきた音楽 (いわゆる西洋音楽) に由来する理論 (楽典・和声学・対位法など) を指すことが一般的である。

西洋音楽理論の基本は、いわゆるクラシック音楽を作曲するために体系立てられたクラシック音楽理論である。クラシック音楽理論もまた時代と共に変化し、特に近現代では古典的なクラシック音楽理論からかなり逸脱したのも音楽として受け入れられている。また1990年代初頭から、西洋音楽がアメリカに伝わって黒人文化と交わりジャズとして発展する中で独自の音楽理論を形成し、ジャズ音楽理論 (ポピュラー音楽理論とも) として現代の商用音楽の世界で広く使われている。特にバークリー音楽院において体系的にまとめられた「バークリーメソッド」と呼ばれる理論体系が有名である。

コンピュータによって作曲を行ったり、楽曲の分析を行う場合には、前提知識として「音楽理論」をプログラム上で表現しておく必要がある。しかしこれらの「音楽理論」は、人間が学習して使用する事を前提に構築されてきたものであり、また論理的に構築された理論というよりも、経験則の集合体である。従って定義があいまいであったり、解釈が一意

に定まらなかったり、矛盾する内容が含まれていたりすることもある。そのため、この「(人間用の) 音楽理論」を直接プログラムに翻訳してコンピュータに理解させようとする、問題が生じてしまう。そこで、コンピュータが理解できるような数学的なモデルとして構築し直された音楽理論が必要となる。これを「計算論的音楽理論」という。

代表的な計算論的音楽理論として、以下の3つがある。

暗意 - 実現モデル (Implication-Realization Model) [6, 7]

旋律 (メロディ) を分析対象とし、音高の遷移パターンを3音から成る基本類型に分類する手法。Eugene Narmour が提唱。

生成音楽理論 (GTTM : Generative Theory of Tonal Music) [8]

旋律 (メロディ) を分析対象とし、旋律を木構造に簡約・集約することで上位構造を分析する手法。Fred Lerdahl 及び Ray Jackendoff が提唱。

Tonal Pitch Space (TPS) [9]

和声 (コード) 進行を分析対象とし、和音間の「進行しやすさ・進行の自然さ」に対応した「和音間距離」を定式化する手法。GTTM を補完する理論として Fred Lerdahl が提唱。

本稿ではこのうち、Tonal Pitch Space (以下 TPS) に着目して議論を進める。

3. TPS を拡張する試み

先に示した3つの計算論的音楽理論を含め、従来検討されてきた計算論的音楽理論のほとんどはクラシック音楽理論をベースに構築されていて、ジャズ音楽理論に基づいた理論は少ない。

しかしながら、現在世界中で消費されている音楽の多くはジャズ音楽理論に基づいて作曲されている。従って、より実用的な計算論的音楽理論を構築するにあたっては、ジャズ音楽理論を取り上げることが不可欠であると筆者は考える。そこで本研究は「ジャズ音楽理論」を計算機上に実装することを試みる。ジャズ音楽理論はコード (和声) 進行を中心に考える理論であるため、同じく和音に着目している TPS が大きな参考となる。TPS をさらに拡張する形でジャズ音楽理論に照応する計算論的音楽理論を構築する事を目標とする。

3.1 TPS とは

前提として、TPS の考え方を先に概説しておく。

TPS の中心となる概念は「和音間距離 $\delta(x \rightarrow y)$ 」である。与えられた2つの和音 x, y が $x \rightarrow y$ の順番で鳴らされた (和声進行) した際、その進行の自然さに相当する指標を「和声間距離」という値で定式化する。これにより、和声学でカデンツ (終止形) と呼ばれるパターンを基礎として理論づけられてきた和声進行が、数式によって表されることとなる。

和音間距離を式 (1) で表す。なおここで x, y はそれぞれ与えられた和音、 $\delta(x \rightarrow y)$ は和声進行 $x \rightarrow y$ の和音間距離を表す。(表記は Lerdahl の原著 [9] ではなく、先行研究 [10, 11] に基づいている)。この値が小さければ小さいほど、 $x \rightarrow y$ の進行は自然であるとされる。(この「自然」はあくまでも指標であって、音楽的に許されるコード進行か否かを絶対的

に決定できるものではない。表現上の効果を狙って、あえて和音間距離の大きいコード進行を使用する場合もあるし、逆に和音間距離が小さいコード進行ばかりでは、平坦でつまらない曲となる可能性もある。)

$$\delta(x \rightarrow y) = \text{region}(x, y) + \text{chord}(x, y) + \text{basicspace}(x, y) \quad (1)$$

式(1)で示された和音間距離は、 $\text{region}()$ 、 $\text{chord}()$ 、 $\text{basicspace}()$ という3つのサブ関数の和となっている。

3.1.1 region 関数

region 関数は、和音 x, y がそれぞれ置かれている調を比較し、図1に示すような調の5度圏 [15]³⁾ 上でどれだけ離れた位置に存在するかを region 距離として返す関数である。

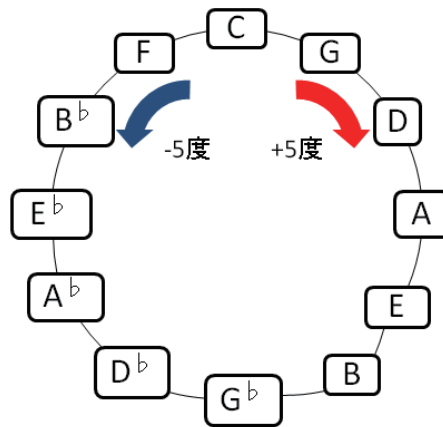


図1 調の5度圏

調の5度圏はC～Bまでの各調の主音が、隣同士完全5度の関係になるよう、円環状に配置したものである。図1では時計回りに1ステップ進むと完全5度上昇、反時計回りに1ステップ進むと完全5度下降するようになっている。これにより、ある調(例えばG)の右隣は属調(Gに対するD)、左隣は下属調(Gに対するC)を表す。

region 関数は、この調の5度圏上で、 x, y の置かれている調が何ステップ離れているかを返す。なお、図1に書かれた調は全て長調であり、短調の場合は平行調⁴⁾の関係を用いて長調に変換する必要がある。

なお、この方法では与えられた和音の置かれた調が遠隔調の関係にある場合、求められる和声間距離が小さくなりすぎるため、さらに調性空間と呼ばれる空間を考慮した算出を行う手法も提唱されている。

3.1.2 chord 関数

chord 関数は、和音 x, y が図2に示す和音の5度圏⁵⁾ 上で、どれだけ離れているかを chord 距離として返す関数である。

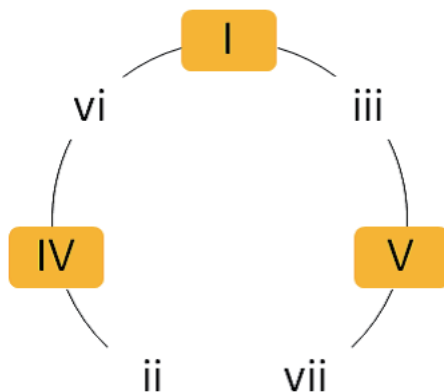


図2 和音の5度圏

和音の5度圏は調を構成する音それぞれを根音とする三和音（ダイアトニックコード）を円環状に配置したものである。図2は調の主音をIとした音度で表記している。

ダイアトニックコードの中でもI（主和音、トニック）、IV（下屬和音、サブドミナント）、V（属和音、ドミナント）は和声進行の根幹を成す重要な和音であり、主要三和音と呼ばれる。和音の5度圏は、主要三和音の間を、副三和音（ダイアトニックコードのうち、主要三和音でないもの）を、隣同士が代理和音の関係となるように並べられている。

和音 x, y が同じ調である場合は、単純に和音の5度圏上の距離を求めれば良いが、両者の置かれている調が異なる場合は、一方を他方の調へ転調した上で距離を比較する必要がある。またその際、距離が求められない場合があり、その場合は十分に大きな値を返すこととする（すなわち、異常な和声進行とみなす）。

3.1.3 basicspace 関数

TPS では、TPS は1つの和音を12次元のベクトルで表現し、これをベーシックスペースと呼ぶ。ベーシックスペースの各要素はC～Bまでの半音階にそれぞれ対応し、Level.a～Level.eの重みを持っている。ベーシックスペースは調名と根音の音度のペアで一意に表現でき、以下根音の音度と太字の英語表記による調名（長調は大文字、短調は小文字）をスラッシュではさんで表記する。図3に、I/C（コードネームではCmaj）を表したベーシックスペースを示す。（原著[9]ではピッチクラス（CからBまでの各半音に割り当てた0～11の数字）を用いてベーシックスペースを図示しているが、読みやすさのため本稿では音名を用いて表記している）。

Level.a	C										
Level.b	C						G				
Level.c	C		E				G				
Level.d	C	D	E	F		G	A	B			
Level.e	C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb

図3 I/Cのベーシックスペース

3.2 TPS をジャズ音楽理論に適用するために

先述の通り、TPS はコード進行を分析対象とした理論であることから、同じくコード進行を中心に考えるジャズ音楽理論と親和性が高い事が考えられる。しかし実際には、TPS を直接ジャズ音楽理論と結びつけて使用するには、以下の問題点が存在する。

非調構成音の扱い あるレベルとなっている音は、それよりも下位のレベルも含まなくてはならない

- すなわち、「和音構成音は調構成音でなくてはならない」ため、ダイアトニックコードや V_7 といった限定的なコードにしか対応できない。
- ジャズ音楽では、和音は一般に 4 和音以上で鳴らされる事が多いが、常用される I_7/C すら、調構成音でない音 (Bb) を含むため、記述できない (ベーシックスペース上では、図 5 内、記号 ϕ で示した部分に「抜け」が生じる。)

和音構成音の重みづけ TPS では、主音、5 度音以外の和音構成音は全て Level.c とされている。

- すなわち、7th などの付加音が、3 度音と同等の重みづけがされている
- 3 度音は和音の響きを決める重要な音であり、7th などの付加音は機能上 Omit 可能であり、これを等価値として良いのか疑問である。

chord 関数の改訂 上記に指摘した「和音構成音の重みづけ」の問題に関連し、chord 関数もまたダイアトニックコードにしか対応していない。

Level.a	C											
Level.b	C				G							
Level.c	C		E		G			Bb				
Level.d	C	D	E	F	G	A	ϕ	B				
Level.e	C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B

図 5 I_7/C のベーシックスペース

表 3 TPS-ExJ におけるベーシックスペースの各レベル

レベル	解説
Level.a	和音構成音のうち、根音が含まれる
Level.b	和音構成音のうち、根音及び 5 度音が含まれる
Level.c	和音構成音のうち、根音・5 度音・3 度音が含まれる
Level.d	和音構成音が含まれる
Level.e	調を構成する音が含まれる
Level.f	C~B まで全ての半音階が含まれる

距離を算出する。その結果を表4に示す。

計算によって得られた距離が最小となったダイアトニックコード（表4で太字で示した部分）と、与えられたコードとを連結し、図7のように和音の5度圏を拡張する。

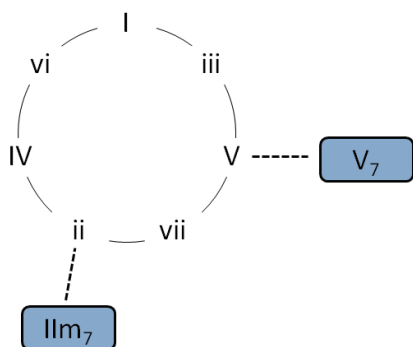


図7 拡張された和音の5度圏

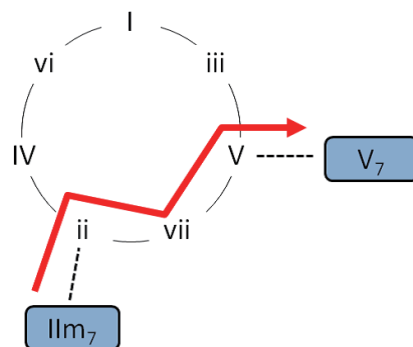


図8 拡張された和音の5度圏での距離算出

拡張された和音の5度圏上で、与えられた和音間の距離を求め、 $\text{chord}(\text{II}m_7/C, \text{V}7/C) = 4$ と出力する（図8）

3.3.3 TPS-ExJの評価と問題点

提案手法をプログラムによって実装して基礎的な実験を行った結果、当初の目的通りTPSが扱える和音の種類は増え、また和音間距離の算出も行う事ができた。これによりTPS-ExJの目的はある程度達する事ができた。その一方で、以下のような問題点がまだ残っている。

分解能の不足 探索空間（表現できる和音の範囲）が広がった分、和音間距離の分解能が相対的に悪くなってしまい、適切な和音進行解釈を行うことが困難になってしまった。特に転調に対するコストが低すぎ、人間の解釈では通常転調と捉えないような進行に対しても、転調を行っているとして解釈する場面が見受けられた。

スケールの導入 ジャズ音楽理論では調とコードの間に入る概念として「スケール」が導入されたり、あるいは（クラシック音楽理論に由来する）調の代わりに「モード」と呼ばれる概念が導入される場合がある（「スケール」「モード」とも、音階（C～Bまでの12半音）の中から、楽曲を構成する音を抽出したものと捉えることができる）。TPS-ExJはこれを適切に表現することができない。TPSの問題点「非調構成音の扱い」への対処として、調構成音でない音が和音構成音となった場合に、ベーシックスペース上一時的にその音を「調構成音」とみなす処置は、この「スケール」「モード」に対する暫定的な対処であるが、十分な対応とは言えない。

心理学的評価の不足 そもそも、TPS及びTPS-ExJが算出する「和音間距離」が、人間の感性が評価する「和音の解釈・評価」とどのように関連するのかという点について、心理学的な検証がまだ不十分である。

4. ジャズ音楽理論に照応する計算論的音楽理論の構築に向けて

ここまでの成果を踏まえ、TPS-ExJ にさらに改良を加えることを検討している。また、TPS-ExJ の実用性について、心理学に基づく実験・評価を行う事を検討している。

4.1 TPS-ExJ の改良 (案)

TPS-ExJ をより実用的にするため、「和音間距離のベクトル化」「任意スケールへの対応」「転回形への対応」の3点について改良を検討している。

4.1.1 和音間距離のベクトル化

前節にて示したTPS-ExJ の問題点として「分解能の不足」を挙げていた。これはそもそも、TPS-ExJ の出力を、和音間距離という1つのスカラー値に集約しようとしているために起こっている事であると考えられる。

昨今の人工知能技術(ニューラルネットワークなど)の状況と照らし合わせて考えれば、和音間距離というスカラー値に集約するのではなく、和音の解釈に関係する個々のパラメータを集めたベクトル値、「和音関連ベクトル」としてとらえた方が、自然な解釈となるのではないだろうか。(ただしベクトルの各成分は、値が大きくなるほど和音進行が「不自然である」と解釈する方向に定義することとする)そして、和音間距離を求める際には、和音関連ベクトルと各成分の重みベクトルを内積した値を得るようにする。このようにしておけば、重みベクトルを調整することでTPS-ExJ の評価を柔軟に調整することができ、機械学習アルゴリズムによって重みベクトルを学習させることも可能になる。

4.1.2 任意スケールへの対応

音のピッチは原則として基本波の周波数で決まり、任意のピッチ(周波数)の音を作る事ができる。西洋音楽理論では楽曲に使用する音として1オクターブ(周波数2倍)の範囲を12等分⁶⁾に離散化して使用する。離散化した12個の音から楽曲中で主に利用する音を、ルールに沿って選び出す。西洋音楽理論においては「調」という概念がこれに相当し、12個の音を主音(中心音)とした長調/短調の2種類が定義されるので全部で24種類の調が存在する。

TPSにおいては、長調/短調の概念がregion()関数やbasicspace()関数に導入されているが、これ以外の音階(スケール)を表現できない。例えばジャズやブルースでは「ブルー・ノート・スケール」と呼ばれるスケール(図9)が利用される。ブルー・ノート・スケールは同主音の長調を基準とし、第3音・第5音・第7音を半音下げた音(ブルー・ノート)を併用するスケールとされている。TPSにおいては、このブルー・ノートが調外音となってしまうため、ルール上記述することができない。TPS-ExJにおいては、和音の中に調外音が存在することを許容しているため記述自体は可能であるが、和音の解釈を行うにあたり、妥当な判断が行えているかは疑問が残る。ブルー・ノート・スケール構成音は同主音の短調(ハ調自然短音階、Cマイナー・スケール)とも構成音が似ており、長調/短調という概念だけではスケールを十分に解釈することができない。

ズ音楽理論ではこれをコード・ヴォイシングという。例えばコード構成音が複数コードに渡って順次上昇（下降）するようにヴォイシングする「クリシェ」という手法（図11）はよく利用される。

図11 クリシェの例

現在の TPS-ExJ ではコード・ヴォイシングを記述することも、ヴォイシングを考慮した分析を行うことができない。和音の構成音だけでなくその積み方も記述・分析できるように改良することで、より実用的な楽曲分析が可能になると考える。

具体的な対応方法として、TPS-ExJ に新しくヴォイシングスペース (VoicingSpace) という概念と、ヴォイシングスペースの距離を求める voicingspace 関数を提案したい。

ヴォイシングスペース (VoicingSpace) として、12次元のベクトルを用意し、ベースシックススペースと同様、各要素を C ~ B までの半音階にそれぞれ対応させる。和音構成音のうち一番低い音（コードネームで最低音が指示されていない時はルート音）に3、二番目に低い音（同第3音）に2、三番目に低い音（同第7音）に1の値を入れ、他は0とする。I/C = Cmaj のヴォイシングスペースを図12に示す。この場合ヴォイシングに対して明確な指示が行われていないため、ルート音であるCを最低音とし、第3音、第7音であるE,Gがその上に積まれるものとする。

Cmaj	3	2	1									
	C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B

図12 Cmaj/C のヴォイシングスペース

また、V/ConB = Gmaj/B のヴォイシングスペースを図13に示す。この場合はベース音がBと指定されているため、最低音がBとなるように転回している。

Gmaj/B		2				1				3		
	C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B

図13 Gmaj/B のヴォイシングスペース

voicingspace 関数は、与えられた 2 つの和音からの変化量を求める関数である。ヴォイシングスペースに示された 3 つの音それぞれの移動量を求め、重みとかけ算したものを合計して voicingspace 関数の出力とする。例えば voicingspace (Cmaj/C → Gmaj/B) であれば、図 14 のように、移動量は最低音からそれぞれ 1,2,0 となるので、重みと積和して

$$\text{voicingspace}(\text{Cmaj/C} \rightarrow \text{Gmaj/B}) = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 7 \quad (3)$$

を得る。

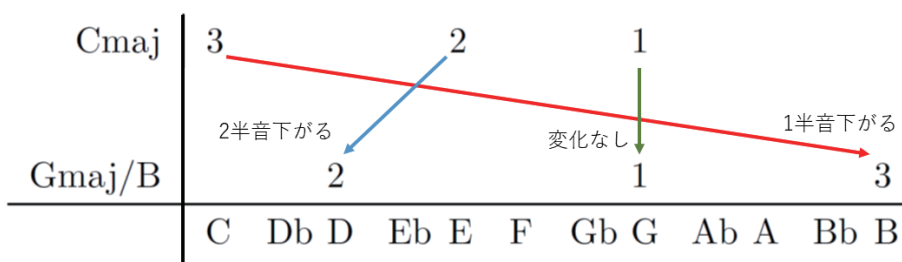


図 14 voicingspace 関数の計算例

ほとんどの和音は 3 つ以上の音で構成されているため、ヴォイシングスペースの扱いは上記の定義で対応できる。ただしロックンロールなどで用いられるパワーコード (3 和音から 3 度音を抜いたもの、omit3 とも表記する) については構成音が 2 つだけになるため、パワーコードにも対応させる場合はどのように処理すれば良いか、検討を要する。

4.2 TPS-ExJ の心理学的実験・評価

4.2.1 音楽の評価と計算美学

TPS は和音間距離 $\delta(x \rightarrow y)$ が小さいほど、コード進行 $x \rightarrow y$ の進行が自然であるという前提であるが、先述の通り和音間距離を最小にすれば良い音楽になるわけではない (仮にそうだとすれば、最初から最後まで和音を変えず、ワンコードで進む曲が最良ということになってしまう)。

音楽の複雑さと快感情に関する関係については、Berlyne (1971) が最適複雑性モデル (optimal complexity model) という考え方を示した。これは複雑さを横軸、快感情 (好感度) を縦軸に曲線をプロットすると、山なりの逆 U 字曲線を描く (すなわち、最大の快感情を得られる最適な複雑さが存在する) というモデルである [16, 17]。

計算美学を研究した川野洋は、作品を部分要素が n 個並んだ時系列と考え、各要素の持つ個別情報量 (サプライザル) $H_{(t)} (t=1, \dots, n)$ と、みる者の情報知覚容量を C としたとき、作品の美的価値 V は式 (4) で表されるとした [18]。(ここで f は $|H_{(t)} - C|$ に比例して大きくなる関数とする)

$$V = \sum_{t=1}^n f(|H_{(t)} - C|) \quad (4)$$

これはすなわち、各クロックにおける個別情報量 $H_{(t)}$ と情報知覚容量 C の差が小さいほど、 C という能力を持つみる者にとって作品の美的価値が大きくなる事を意味する。音楽

はまさに作品の要素を時系列に沿って提示する芸術であるから、川野の考え方は音楽にも適用できよう。情報知覚容量 C というある種の情報量の最適値が仮定されていることから、最適複雑性モデルとも考え方は矛盾しない。

ただし、川野の著書 [18] では個別情報量と情報知覚容量の差 $|H_{(t)} - C|$ を $t = 1 \dots n$ の範囲で、つまり作品の開始から現在までの情報を全て合計して作品全体の美的価値を求めている。これは同書で川野が主に絵画を対象として考察を行っており、絵画は全体を一度に見ることができるためにこのような式になったと思われる。音楽の場合は時系列ごとに過去の刺激は消失していくため、作品全体の価値を1つの値に定めるのではなく、人間の短期記憶に相当する時間分の情報のみを使って算出した美的価値が時間を追って変化していくと考えた方が自然であろう。実際、川野の別書籍 [18] では、ごく短いながらも音楽を対象とした考察が行われており、そこでは音楽をマルコフ・チェイン⁷⁾とみなしている。これを式 (4) に合わせて数式化すれば、短期記憶可能な時間を T クロックとして (すなわち T 次マルコフ過程として)

$$V(t) = \sum_{\tau=t-T}^t f(|H_{(\tau)} - C|) \quad (5)$$

のように考えるのが望ましいと考える。

4.2.2 TPS-ExJ の心理学的評価方法の検討

さて、TPS-ExJ が算出する和音間距離は、コード進行の自然さに相当する値であって、Berlyne の最適複雑性モデルにおける (音刺激の) 複雑さや、川野の美的価値モデルにおける個別情報量と相関性があると推定される。TPS-ExJ が算出する和音間距離が、人間が感じる音楽的な心地よさや美的価値と相関性を持った評価を出せているのか、またより良い相関を持たせるために TPS-ExJ をどう改良すべきかを検討するため、心理学的なアプローチでの実験・評価が必要となる。

具体的な手法としては、一対比較法 (より正確にはシェッフエの一対比較法 (浦の変法)) を使用する。

被験者に2つの試験和音列 P, Q を順番に提示し、どちらが好ましい (または自然な) 和音列であったか点数をつける (例えば5段階であれば2点・1点・0点・-1点・-2点)。ただし、試験和音列だけを鳴らしてしまうと、調性感覚がつかめないままの評価になってしまう可能性があるため、試験和音列のまえに調性を示すための基準和音列を提示する必

基準和音列

試験和音列

試験和音列

ハ長調 Cmaj

I - IV - V - I

vi - ii - V - I

vi - IV - V - I

ト長調 Gmaj

図 15 試験パターンの例

要があると思われる。図 15 は、ハ長調及びト長調で $vi - ii - V - I$ と $vi - IV - V - I$ という 2 つの試験和音列を比較する試験パターン⁸⁾の例である。試験和音列の前に、それぞれの調性を提示するための基準和音列 $I - IV - V - I$ を付加している。

実験にあたってはできるだけ多くの組み合わせで調査を行いたい。しかし調査対象の調性が K 個、それぞれで N 個の試験和音列を使用すると仮定すると、 $KN(N-1)$ 通りの試験パターンを作ることになる。被験者の負担を考慮し、1 試験パターンあたり回答に 1 分かかるとして、前後の説明や準備も含めて 1 時間程度で納めると仮定すると、調性 2 種類・試験和音列 5 個（試験パターン 40 通り）が現実的な量ではないかと考えられる。

このような対比較法によって得られた和声進行の評価と、TPS-ExJ 評価値を比較することで、TPS による評価値の妥当性が検討できると考える。

5. おわりに

本稿では「人工感性 (Artificial Emotion)」の成立を大きな目標とし、その実現に向けた取り組みとして、コンピュータに音楽を理解させる「計算論的音楽理論」という試みについて概説した。中でも特に Tonal Pitch Space (TPS) という理論に着目し、これをジャズ音楽理論に拡張した TPS-ExJ という理論の解説と、さらなる改良案について解説と検討を行った。

本稿で提示した TPS-ExJ の改良案については、今だ仮説の状態であり、実装の試みや実験・評価などの研究プロセスを進めて妥当性を評価していく必要がある。本稿の内容について、ご意見や有益な情報などあればぜひ筆者にお送りをご希望。また本稿を通じて、音楽情報科学というちょっと変わった研究分野があるという事を知って頂き、その面白さに触れて頂ければ幸いです。

謝辞

本研究は工学院大学大学院において、指導教官である管村昇教授の指導の下行われた筆者の修士論文が元になっています。管村先生には長期間にわたり、仔細に至るまで御指導・御鞭撻頂いたことを深く御礼申し上げます。

本研究を進めるにあたっては、プロベシストである山口康広氏に音楽理論について多くのご教示を頂きましたことを感謝いたします。

情報処理学会音楽情報科学研究会、日本音響学会音楽音響研究会の皆さまには、研究発表の折に有益な情報を多数いただきましたことを感謝いたします。

注

- 1) 「エル・ウー・エル」と読む
- 2) そもそも人工知能美学芸術研究会 (AI 美芸研) の問題提起は、中ザワが「人工知能が作ったアートと今いわれているものは、人工知能ではなくて人間が、人工知能という道具を使ってつくったものに過ぎないではないか！」という怒りを出発点として生まれたと述べている [1, 2]。

- 3) 一般には単に5度圏と呼ばれるが、後述の和音の5度圏と区別するため、このように呼ぶこととする
- 4) 同じ調号を用いる長調と短調の関係
- 5) 先述の調の5度圏と違い、隣り合う音同士の関係は5度ではないため、この図を5度圏と呼ぶ妥当性にいささか疑問が残るが、ここでは文献[10, 11]の表記に沿っている
- 6) 厳密にはこの表現は音律として現在主流の12音平均律を使用した場合のみ成り立つ。これ以外の音律を採用した場合、等分とは言えない
- 7) マルコフ・チェイン、またはマルコフ連鎖は、次ステップの状況が、現在及び有限過去の情報からのみ決定される確率過程（マルコフ過程）のうち、離散時間で表されるものの総称
- 8) この例では適宜和音の転回をして、和音間で音の跳躍が少なくなるようにしている

参考文献

- [1] 中ザワヒデキ、草刈ミカ「対談：「人工知能美学芸術展」をめぐって」、人工知能学会誌、33巻6号、pp.700-710, 2018年11月
- [2] 人工知能美学芸術研究会『人工知能美学芸術展』、人工知能美学芸術研究会、2019年12月
- [3] デジタル大辞泉「芸術」、<https://dictionary.goo.ne.jp/word/%E8%8A%B8%E8%A1%93/#jn-66566>, 2021年8月8日確認
- [4] 剣持秀紀、大下隼人「歌声合成システム VOCALOID - 現状と課題」、情報処理学会研究報告、Vol.2008-MUS-74, 2008年2月
- [5] 後藤真孝「新しい〇〇情報学：5. 音楽情報学」、情報処理、51巻6号、pp.661-668, 2010年6月
- [6] Eugene Narmour『The Analysis and Cognition of Basic Melodic Structures』, The university of Chicago press, 1990
- [7] Eugene Narmour『The Analysis and Cognition of Melodic Complexity』, The university of Chicago press, 1992
- [8] Fred Lerdahl, Ray Jackendoff『A Generative Theory of Tonal Music』, The Massachusetts Institute of Technology, 1983
- [9] Fred Lerdahl『Tonal Pitch Space』, Oxford University Press, 2001
- [10] 坂本鐘期、東条敏「Tonal Pitch Space を用いた楽曲の和声解析」、情報処理学会研究報告、Vol.2009-MUS-80, 2009年5月
- [11] 坂本鐘期「Tonal Pitch Space を用いた楽曲の和声解析」、Master's thesis, 北陸先端科学技術大学院大学、2010年3月
- [12] 山口直彦「非調構成音を含む和音への対応を目的とした TPS の拡張：ジャズ音楽理論への適用を目指して」全国大会講演論文集、2010年3月
- [13] 山口直彦「非調構成音を含む和音への対応を目的とした Tonal Pitch Space の拡張」、Master's thesis, 工学院大学大学院、2011年3月
- [14] 山口直彦「非調構成音を含む和音への対応を目的とした TPS (Tonal Pitch Space) の拡張：ジャズ音楽理論への適用を目指して」、情報処理学会研究報告、Vol.2011-MUS-89, 2011年4月
- [15] 小方厚『音律と音階の科学 新装版 ドレミ…はどのように生まれたか』、講談社ブルーバックス、2018年5月
- [16] 林原理恵、尾田政臣「和音進行の複雑さが快感に及ぼす影響」、映像情報メディア学会技術報告、2009年3月
- [17] 林美都子、ウィリアムズ信介「音楽経験者はもっと複雑な曲を好むのか—音程と好ましさに関する逆U字曲線を探る—」、2019年度日本認知科学会第36回大会、2019年9月

[18] 川野洋『コミュニケーションと芸術』、塙書房、1968年10月

[19] 川野洋『コンピュータと美学—人工知能の芸術を探る』、東京大学出版会、1984年12月

山口直彦 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 助手

【研究ノート】

ビデオゲーム技術がもたらす 「遊び」の現在と未来

齋藤直宏

The Present and Future of “PLAY” Brought About by Video Game Technology

Naohiro Saito

Abstract: There is no doubt that computers have had a great impact on our lives. Not only are computers utilized for food, clothing, and shelter, which are indispensable in our daily lives, but their contribution to the field of entertainment is also remarkable. In this paper, I would like to discuss the current status of video games brought about by the evolution of computers and display devices, and discuss new contents based on video game technology.

Keywords: play, video game, digital entertainment, XR, MR

1. はじめに

コンピュータは防衛といった国家レベルの戦略に基づいて開発された背景を持つが、技術者は早々に「テニス・フォー・ツー」というゲームを開発し一般に公開している。これは米国連邦原子力研究機関であるブルックヘブン国立研究所（BNL）が1958年10月の研究所一般公開に合わせて開発したもので、テニスを横から見たボールの軌跡が表示された簡素なものであった。見学者は何時間も待たされたという事から、コンピュータを使ったゲームコンテンツの可能性を最初に示した事例として興味深い。ただし、「テニス・フォー・ツー」の技術はその後のテレビゲーム開発に対する源流とはなっていない [1]。

Facebook Inc.（当時）がOculus VR, Inc. を2014年3月25日付で買収発表した。この発表において、仮想空間は人々がコミュニケーションするための“*transformative and disruptive technology*（変革的、破壊的技術）”であるとし、その可能性について述べている [2]。そして2021年10月28日にFacebook Inc. は社名をMeta Platforms, Inc. に変え、新しい時代への取組みを発表している [3]。リアル空間とメタバースをつなぐためにHMD（Head Mount Display）が使われ、その表現においてビデオゲームのテクノロジーが使われる。1958年に誕生したテレビゲームが、現代において次の世界を構築するために必要不可欠な技術を提供する産業として成長してきた過程と現状について考えてみる。

2. ビデオゲームについて

ビデオゲームコンテンツは様々な側面を持つ。コンピュータ上で稼働するソフトウェアであるが、その表現は美しいグラフィックスで構成され、流れる楽曲や効果音などは映画にも引けを取らない。迷わず操作できるインターフェースデザインも重要な要素であり、夢中になってプレイするゲームデザインをベースに心を動かすためのストーリーもある。また、ビデオゲームは多くの場合「遊び」のコンテンツとして認識され、社会基盤を構築する生産的なソフトウェアとは異なる存在として位置付けられることが多い^(注1)。大きな産業基盤を持ちながら最新技術の初期における実装フィールドとして扱われることもあり、それが新規性を求めるゲーム開発者と呼応しあいビデオゲームコンテンツを驚くほど進化させてきたことも事実である。この繰り返しがエコシステムを生み、ビデオゲームを構成する他の要素の進化までも引き起こしていると言える。ビデオゲームコンテンツをこのように捉えると、ゲームの進化・ゲーム産業の成長だけでなく関連する技術への影響を生み出している稀有なソフトウェアといえるだろう。

また、近年ではビデオゲームを構成するやストレスのない空間描画技術が新たなサービスや画面に縛られないエンタテインメントコンテンツに適用され始めている。このような広がりもビデオゲームの特徴といえる。

2.1 ビデオゲームの「遊び」について

「遊び」は4つの要素で構成され、様々な遊びは4つの要素の占める割合が異っているという考え方がある。これは社会学者ロジェ・カイヨワが1958年に発表した「遊びと人間」[4]の中で述べており、今でもゲームデザイン (Game Design) において引用されている[5]。それぞれはアゴン (Agon: 競争)・アレア (Alea: 運)・ミミクリ (Mimicry: 模倣)・イリンクス (Ilinx: 眩暈)と定義されている。アゴン、アレアはゲームメカニクスから容易に想像がつくため、ここではミミクリ (模倣)とイリンクス (眩暈)について触れておく。ミミクリは「遊びと人間」の中で“架空の人物となり、それにふさわしく行動する”というところに成立しうる”と説明されている。これはプレイヤーがゲームコンテンツ内のキャラクタとの同一感を持って行動する事と考えられる。また“現実より以上に現実的な現実として、そうした仕掛けを、しばらくの間、信じなければならぬのだ。”とし、現実とは異なる現実 (仮想現実)を受け入れることで成立すると考えられる。イリンクスについては“時には器官の、時には精神の感乱であるこうした忘我の熱狂の、様々な種類を総称するために、私はイリンクスという言葉を提唱したい。”と述べ、その前段で身体を翻弄する様々な事例を挙げている。“空中ぶらんこ、空間へ身を投げ出すこと、あるいは墜落、急速な回転、滑走、スピード、直線運動の加速、あるいはこれを旋回運動との組み合わせといったことがそれだ”と述べている事から身体を動かすことの刺激や予想し得ないような刺激と捉えた。また、別の軸としてパイディア (Paidia: 遊戯)とルドゥス (Ludus: 闘技)が提案され、無秩序な即興的な自由な遊びからルールが厳格な競技といった考え方が適用されている。本稿では技術面の考察であるためこの軸に関して特に言及はしない。

表1 遊びの分類 (抜粋) [4]

分類	遊びの例
アゴン (競争)	サッカーなどのスポーツ競技 チェスなどの頭脳競技 取っ組み合い
アレア (運)	ルーレット 宝くじ じゃんけん
ミミクリ (模倣)	ごっこ遊び 演劇
イリンクス (眩暈)	ブランコ メリーゴーランド スキー

2.2 遊びの分類の技術適用

ビデオゲームはスマートフォンやPCなどの汎用機器、コンソール/ハンドヘルド型の個人ユースのゲーム専用機、そしてゲームセンターなどに設置されるアミューズメントマシンといった様々なプラットフォームで提供されている。アミューズメントマシンを除く機器には一般的な入出力システム（マウス、キーボード、ゲームパッド、タッチスクリーン、スピーカなど）が接続され、これらのデバイスを通じてプレイヤーである人と情報交換が行われる。プレイヤーにビデオゲームを体験させるとき、ソフトウェアと人との間で交換される情報のクオリティを高めることがビデオゲームの「遊び」の向上に繋がる。これはビデオゲームが提供するゲームルールによる楽しさや感動、くやしさといった感情を刺激する情報の場合もあり、驚くほどリアルなグラフィックスやサウンドの場合もある。ゲーム世界でのグラフィックスはリアルなシミュレーションである必要もないため、アーチスティックな世界観に浸りながらストーリーに没頭して体験してもらうことも可能となる。この様なビデオゲームがプレイヤーに提供する情報を生成するソフトウェアはコンピュータ上で動作するため、関連する様々な技術の進化が「遊び」の4要素へ影響を与える。「遊び」の4要素とビデオゲームを構成する技術をマッピングした表が「遊びとビデオゲーム技術」[6]で提案されている。この論文は2005年に執筆しているため、今の状況から見直した技術マップを表2に載せる^(注2)。

表2 「遊び」の4要素への技術マップ

分類	影響を与える技術
アゴン (競争)	ゲーム AI (キャラクタ、メタ) [7](注3)
アレア (運)	データ分析 ゲーム AI (メタ) [7]
ミミクリ (模倣)	3DCG 映像音声表示システム (HMD、立体音響) [8] 入力システム
イリンクス (眩暈)	映像音声表示システム (HMD、立体音響) [8] 稼働筐体

2.3 ゲーム AI

ビデオゲームという「遊び」のコンテンツにおいて、プレイヤーをもてなす(楽しませる)ために敵キャラを状況に合わせて制御する仕組みはゲーム黎明期から存在している。当初はゲームの状況に応じた条件分岐などでの制御が主であり、最近のゲーム AI と比較するとあまりにもシンプルである。その中で 1980 年に発売された「パックマン (PAC-MAN)」をゲーム AI の原点とする考え方がある。「パックマン」ではプレイヤーが操作するパックマンに敵対する 4 種のモンスターとして登場するノンプレイヤーキャラクタ (NPC: Non-Player Character) それぞれに性格付けを行い、プレイヤーのレベルを測定し難易度調整をリアルタイムで行っている。この考え方は近年のゲーム AI におけるキャラクタ AI とメタ AI と定義づけられる [9]。

近年ではキャラクタ AI、メタ AI、スパーシャル AI で構成されるゲーム AI が動的に連携してゲームコンテンツでの「遊び」を進行する [10] が、各 AI の特徴からアゴン (競争) にはキャラクタ AI とメタ AI を、アレア (運) にはメタ AI を表 2 に記している。三宅は論文 [10] においてメタ AI を“ゲーム全体を俯瞰的にコントロールする AI. ゲームのあらゆる要素をコントロールすることが可能である”と定義している事から、ゲームプレイ時のプレイヤーのゲーム攻略に対する「モチベーション (アゴン: 競争)」やプレイ時における「偶然性 (アレア: 運)」といった部分を制御すると考えられる。また、キャラクタ AI を“キャラクターの頭脳、身体を含めたシステム. 特にエージェント・アーキテクチャによって構造化され、認識、意思決定、身体操作などのモジュールを持つ”と定義している。プレイ時に NPC である敵キャラクタの制御に用いられることで、プレイヤーキャラクタと対峙する場面で競争心を煽る事が可能と考える。またビデオゲーム内でチームを編成し Co-op (共同プレイ) をしているときにチーム内メンバがすぐれたキャラクタ AI であれば高度な「遊び」を成立させることも可能であり、現時点でもゲーム AI 研究の興味深い重要なテーマである [11]。

2.4 映像表示システム

当然ではあるがビデオゲームは映像表示装置を必要とする。世界初のビデオゲームである「テニス・フォー・ツー」はベクターディスプレイ (オシロスコープ) を使用し、据置型ゲーム機は主に家庭用テレビに映像や音声を出力している。このようにビデオゲームの世界をプレイヤーに体験してもらうために、またゲームプレイに関連する情報を伝えるために映像表示機器は欠かせない。業務用のビデオゲームは没入感を高めるためにモニタやプロジェクタを含めて筐体デザインをしているものがある。釣り体験を提供するゲームではモニタを平面に設置 [12] して水面を表現し、宇宙空間で対戦する大型システムの場合は 16 台のプロジェクタを使いプレイヤーの周りを 360 度のスクリーンで囲い臨場感を高めている製品がある [13]。このようなシステムデザインは「遊び」の 4 要素であるミミクリ (模擬) をプレイヤーに提供することに繋がると考えられる。高臨場感ディスプレイは様々な開発され実用化されている [14] が、先の事例のように業務用ビデオゲームでは映像表示機器を特殊に設計された没入感を高めるシステムで利用してきた。一般的ディスプレイは解像度やリフレッシュレートの向上 (120fps、VRR) は見られるが人と向き合う限

られた大きさの表示システムであることが多く、設置環境の制限から、業務用のようなシステムデザインでの没入感を高めることが難しい。しかし、近年はゲーム専用機やPC向けに高性能なHMDが比較的安価で入手でき、高い没入感を提供する事が可能になってきている。

2.5 MR (Mixed Reality) エンタテインメント

ビデオゲームは開発者が創作したゲーム世界での体験をプレイヤーに提供する。この時に「遊び」の要素である没入感：ミミクリ（模擬）を向上させるための映像表示デバイスが重要である。近年普及してきたHMDはミミクリを向上させるにあたって従来からのディスプレイを超えた有効な映像表示デバイスであり、HMD向けのVRビデオゲームが家庭用ゲーム機やPC向けゲームで数多くリリースされている。またVRにとどまらずAR/MRといった形で拡張現実世界へのアプローチがビデオゲームでも使われているが、MRの商用エンタテインメントコンテンツはまだ事例が少ない。MRは現実空間に仮想空間世界を重ねて表示した魅力的な複合空間^(注4) 界体験をプレイヤーに提供できるが、MRデバイス^(注5)が高額であることやゲーム内の仮想表示物を現実空間に違和感なく重ねて表示する際の描画手法や現実空間との適切な空間マッチング合成が困難であるなどまだ課題^(注6)が多い[15]。エンタテインメントコンテンツの事例が少ない中^(注7) 商用サービスを行った製品を紹介したい。オーストリア リンツで開催されているアルスエレクトロニカ・フェスティバル2017で展示された「PAC IN TOWN (パック イン タウン)」[16]である。"マイクロソフト社製 HoloLens" を使用しプレイヤー視点の現実空間に仮想ゲームフィールドを重ね、プレイヤーは現実空間（実際は仮想ゲームフィールド）内でプレイする。翌2018年に東京、大阪で一般向けに公開された[17]。1980年にナムコからリリースされた「PAC-MAN (パックマン)」同様にパックマンがドットを食べていくゲームシステムであるが、「PAC IN TOWN」では迷路やドットが複合世界の空間内に表示され (Fig.1) プレイヤーがパックマンになって走り回り (Fig.2)、同時にプレイしている仲間と協力して迷路内のドットをすべて消せばゲームクリアである。共同プレイヤーが目視できることでアイコンタクトなどをしながら「遊び」を共創できることはVRでのプレゼンスとは異なる点である (Fig.3) [18]。一般的なゲームではプレイヤーはコントローラを操作してゲーム空間内のアバターを制御するが「PAC IN TOWN」では自分が複合世界の空間内に存在してゲームが進行するためゲームコントロールデバイスは必要ではなく、高いレベルのミミクリ（模擬）が体験できる。視覚的效果だけではないリアルな体験の提供、これがMRを用いたエンタテインメントコンテンツの大きな特徴である。

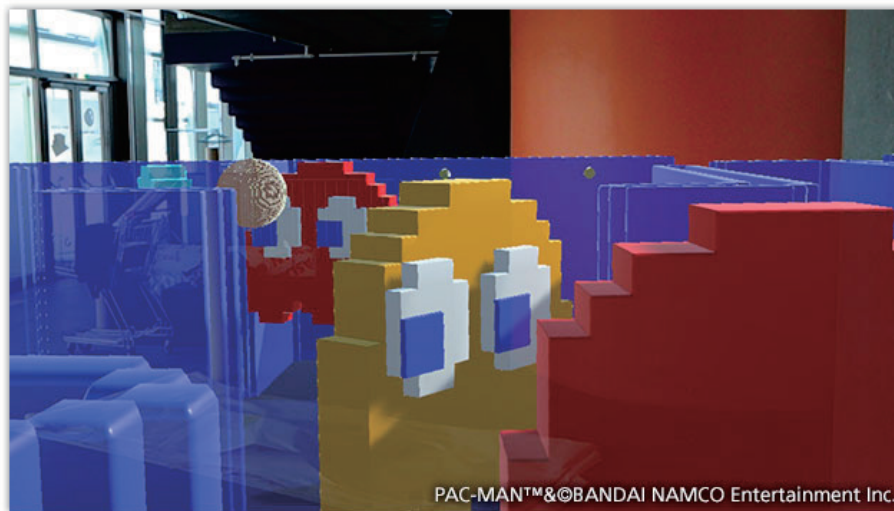


Fig.1 プレイヤーからみたMRでのゲームフィールド



Fig.2 プレイ進行中のゲーム空間



Fig.3 体験しているプレイヤー（実空間のみ）

2.6 学内MR事例

MR デバイスを対象とした学内での実習事例を1件紹介したい。これは「地域共創デザイン実習」という実習授業で、学外クライアントからの問題・課題に対し実践的に解決する手法をPBLで考案・検討することを目的とする本学の特徴的な科目である。2021年度は17の様々なクライアントからの課題に学生が取り組んだが、その中で「XRを用いた教育」という課題に取り組んだチームがある。そのチームは“HoloLens”含むいくつかのXRデバイスの特徴を調査し検討を進めた。最終的には課題を解決するいくつかのアイデアの中から、授業で行われるグループワークでの使用を想定したMRデバイスとセンシングデバイスを組み合わせ他者の身体・心理状態を視覚的に得られるという「ロールシステム」(Fig.4)を提案している。実際のアプリ開発までは実現出来なかったが、オンライン空間でのグループワークが多い今年度ならでは、今後推移するであろうリアル空間コミュニケーションでのグループワークを対象としたユニークなアイデアである。



Fig.4 グループワーク時に参加者の状態が吹き出し形式で表示される

3. ビデオゲーム技術がもたらす空間体験

3.1 仮想空間コミュニケーション

1990年代から普及した3Dゲームでは仮想空間内にプレイヤーのアバターを存在させ(もしくはプレイヤー視点で)ゲームが進行することを特徴とする。この時にゲームソフト間を通信で接続し同じ仮想空間に他者が操作するアバターを存在させ、ゲーム仮想空間内で競争や共同でプレイすることなどが可能となった。2000年代には同様の技術を使ったサービス「セカンドライフ」[19]が登場し、様々な活動が可能な仮想空間が提供され^(注8)、実空間に近いコミュニケーションが仮想空間内のアバター同志で可能となった。この仮想空間での表現は現実世界に似せる必要はないためアバターも自分に寄せる必要もなく、声も話す言語も現実と違って構わない。仮想空間内に存在するアバターの接続先が現実空間の自分であるということが重要であり、物理的距離に依存しない他者とコミュニケーションができるということが仮想空間コミュニケーションの特徴である。ビデオゲームを使ったコミュニケーションは以前から行われていたが、2020年からのCOVID-19感染拡大にとまなう社会活動の変化において新たに注目されている[20]。

HMDが普及し始めたことにより、自分の身体が仮想空間内に存在しているような感覚でのゲーム体験やコミュニケーションが行われている。没入感を向上させるため視覚情報に付加する形で立体音響や嗅覚を付加するシステムも実現され[21]、将来に向けて味覚を電気刺激で再現する研究もされている[22]ことから、将来は今まで以上の高いレベルの没入感が提供されるであろう。HMDを使ったコンテンツはビデオゲーム以外にもショッピングや観光、教育分野での活用[23]やサービスが始まっている。仮想空間を提供したい方へ構築するサービス[24]もスタートしていることから、仮想空間の体験はより身近になるだろう。様々な技術を取り込んで進化してきたビデオゲームでの仮想空間を構築して運営する技術、HMDで体験する際のUIや3D酔い軽減といったコンテンツデザイン手

法などがビデオゲーム以外で使われているという、固有産業技術の一般化の事例である。

しかし様々な課題もあり経済産業省は拡大する仮想空間ビジネスでの課題を報告書にまとめている [25]。仮想空間内での体験を安全・安心に高いレベルで実現するには技術面だけでなく多方面からの整備が必要である。

3.2 現実空間への干渉

プロジェクションマッピングは実際に存在する物体表面へ映像を投影し現実世界での視覚へ干渉する手法である。よく見られる固定物体表面への投影だけでなく、投影対象としての人の動きに合わせた表現 [26] や移動物体に投影するダイナミックプロジェクションマッピング [27]、輝度映像を投影する事で静止画が動くような錯覚表現 [28] もあり広義で複合現実 (MR: ミックスリアリティ) [29] と言える。しかし高輝度や高速駆動のプロジェクタなど大掛かりなシステムになることが多く、パーソナルな環境での環境整備や体験は難しい。その反面 HMD を使った MR は現実と仮想の空間を合成した複合空間を構築でき、運用面においてもパーソナルな環境で使用が可能である。パーソナル環境での体験が可能であっても複合空間を生かした「遊び」を実現するにあたってはいくつか課題がある。第一に仮想空間内に現実空間の精緻な情報を取得しなければならない。この点については現実空間を仮想空間内に取り込むにあたっては文化財保護の観点からの取り組みは多くの事例があり、MR コンテンツも提供され [30] 技術的には可能である。またゲーム開発者が測量会社と取り組んだ報告 [31] もある。だがどちらもビデオゲームのような「遊び」を創造した事例とは言えない。ビデオゲームでの実装を前提とした技術研究 [15] が報告されているが、この研究で示唆された違和感のない描画やプレイヤーの位置による演出などの課題については、高いレベルの没入感が求められるビデオゲームならではのニーズでもあることから着実に解決に進むことを期待したい。

ビデオゲームにとって複合現実に関する技術的な課題解決と共に重要であることが新しい「遊び」の創造である。現実空間という制限の下、仮想空間を合成した複合空間での「遊び」の創造は経験の豊富なゲームクリエイターでも困難である。現実空間に仮想キャラクターが浮かんで表示されコミュニケーションする、敵機が屋内を飛来しシューティングゲームが行えるなどは想像するに難くないアイデアであるが、現実空間に密な干渉がない仮想物体を表示するだけの使われ方であり、複合空間ならではの「遊び」のアイデアとは言えないのではないかと。現実空間の壁が割れる演出などがあれば複合空間らしくなるが、プレイヤーが現実空間に干渉した事で仮想空間の表現に変化あり複合空間で提供されるゲーム進行が変化するなどがあって初めて MR を用いたビデオゲームの「遊び」の提供ができるのではないかと。MR での新しい「遊び」の発明がビデオゲームクリエイターの重要な役割となる。

4. まとめ

技術の進化が「遊び」に影響を与えてきたことについて、ビデオゲームを構成する多くの技術の一部分について振り返ってみた。進化した技術がビデオゲームの機能に着実に組み込まれてきたことが分かる。ここで重要なことは、新しい技術が新しい「遊び」を生み出

実際のゲームクリエイターたちの存在である。“ニンテンドー DS”のタッチパネルや“Wii”の Wii コントローラ、マイクロソフトの “Kinect” といった新しいユーザーインターフェースデバイス（ゲームコントローラ）がプラットフォームから提案されるたびにゲームクリエイターは新しい「遊び」を創造し続けてきた。通信技術を使いゲームセンター内の筐体が繋がってアゴン（競争）要素が進化し、今はインターネットで全世界の人とアゴン（競争）を楽しめる。人とのコミュニケーションそのものは「遊び」の4要素で定義されてないが、人間社会での重要な要素であり4要素と共に欠かせない「遊び」の要素として、インターネットを使ったゲームデザインが多くのビデオゲームで行われている。

VRは物理的な空間から切り離されているゲーム空間へ自分が存在するという、今までにない「遊び」を体験出来るようになった。そしてMRの「遊び」は、サウンドやグラフィックなどの表現の向上や仮想空間の体験といったミミクリ（模擬）の向上だけにとどまらない。ゲームクリエイターの創造したゲーム世界内の仮想空間ではあり得ない、現実世界もビデオゲーム世界の要素となる複合空間での「遊び」である。ここに複合空間での「遊び」を模索している事例がある [32]。建築家である豊田氏とゲームデザイナーである本山氏が現実空間をレベルデザインしている研究では、デジタル空間を異なる立場で捉えつつ同じ言語で語り共創に向けてのアプローチがうかがえて興味深い。

多くの人は地面に溝を掘って水を流す遊びをしたことがあるのではないかと？溝を掘ったことをキャプチャしそのデータをもとに仮想空間で水流表現を創り複合空間で合成する事により、現実空間への干渉で変化する遊びが生み出せる。ウルトラマンシリーズの第15話「恐怖の宇宙線」でガヴァドンという怪獣が登場する話がある。土管に描かれた2次元のラクガキから3次元のカヴァドンが生まれるのだが、このドラマの中で表されたカヴァドンは1999年にSIGGRAPHで発表されたTeddy[33][34]という技術とMRを用いることで複合空間に登場させることが可能である。

現実空間への干渉による「遊び」の創造がどのような形で実現されるか楽しみである。

5. 謝辞

本稿を執筆するにあたり、学内事例を載せるにあたって駒井章治教授とプロジェクトメンバー、特に会議で詳細を伝えてくれた工藤航聖さん、江澤幸紀さん、稲野辺快生さんに感謝いたします。また企業事例紹介にあたってご協力いただいた株式会社バンダイナムコ研究所 本山博文さん、馬場美希さんに感謝いたします。本山さんには今回の執筆にあたり意見交換をさせてもらい大変刺激をうけました。厚く感謝いたします。

注

- 1) ロジェ・カイヨワは「遊びと人間」の序論で「遊びはほかの生産活動とは切りはなされ、孤立の位置をたもっている」と説明している。
- 2) 以前に挙げていた“インターネット”はほぼすべてのビデオゲームが接続されている現状を踏まえ除外とした。また、“ランキングサーバ”はゲームデザイン視点であることから技術

- から除外としている。
- 3) ゲーム AI におけるキャラクタ AI、メタ AI については参考文献を参照されたし。
 - 4) 本稿での複合空間は現実空間と仮想空間の空間のみの物理的な合成を指し、現実・仮想・複合世界はその空間に意味を持たせている場合（ゲームステージ等）を指す
 - 5) ビデオ撮影した現実世界の画像に仮想世界の画像を電子的に合成する方法や眼球の直前に仮想世界画像を映した透過型スクリーンを配置し光学的に合成する方法等がある。
 - 6) 現実空間の光源特性に合わせた PBL、プレイヤーの動きに合わせた仮想物体の表示等。
 - 7) 「PAC IN TOWN」の他に「一網打尽！蚊取りパッチン大作戦（“HoloLens” 使用）」、「羽田出島 | DEJIMA by 1 → 10（“Magic Leap 1” 使用）」がある。
 - 8) それまでの一般的なゲームのような目標（倒す敵がいる、ゴールが設定されている）がない空間。

参考文献

- [1] 赤木真澄著、「それは『ボン』から始まった（P.58-P.61）」、株式会社アミューズメント通信社、2005
- [2] Facebook to Acquire Oculus、<https://about.fb.com/news/2014/03/facebook-to-acquire-oculus/> [アクセス日：2022/02/01]
- [3] Founder's Letter,2021、<https://about.fb.com/news/2021/10/founders-letter/> [アクセス日：2022/02/01]
- [4] Roger Caillois, “Les Jeux et Les Hommes”, Gallimard,1958
ロジェ・カイヨワ著（多田道太郎・塚崎幹夫訳）、「遊びと人間」、講談社科学文庫、1990
- [5] Chris Bateman/Richard Boom, “21th CENTURY GAME DESIGN”, CHARLES RIVER MEDIA INC.
松原健二監訳、「「ヒットする」ゲームデザイン」、オライリー・ジャパン、2009
- [6] 斎藤直宏（株式会社ナムコ）、「遊びとビデオゲーム技術」、感性工学学会、Vol.5 No.3 pp39-42（2005）、https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske2001/5/3/5_3_39/_pdf、[アクセス日：2022/03/17]
- [7] 三宅陽一郎（株式会社スクウェア・エニックス）、「ゲーム AI 技術入門」、技術評論社、2019
- [8] 太田篤志 / 中西哲一（株式会社バンダイナムコスタジオ）、「リアルタイム立体音響シミュレーションではじめる GPGPU」、https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1251、CEDC2014、[アクセス日：2022/02/02]
- [9] 岩谷徹話し手 / 三宅陽一郎聞き手 / 高橋ミレイ構成、「ゲーム AI の原点『パックマン』はいかにして生み出されたのか?」、人口知能、人工知能学会誌、34 巻 1 号（2019 年 1 月）
- [10] 三宅陽一郎（株式会社スクウェア・エニックス）、「デジタルゲームにおけるメタ AI- キャラクタ AI- スーパーチャル AI 動的連携モデル」、人工知能学会、第 34 回全国大会（2020）、https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjsai/JSAI2020/0/JSAI2020_1P4GS701/_pdf-char/ja、[アクセス日：2022/02/02]
- [11] 吉本幸紀（モリカトロン AI ラボ）、「多様な架空人間プレイヤーをパートナーにして学習する DeepMind の「架空協力プレイ AI」とは?」、https://morikatron.ai/2021/12/play-together_ai/、[アクセス日：2022/02/02]
- [12] 釣りスピリッツ公式ページ（バンダイナムコアミューズメント WEB ページ内）、<https://bandainamco-am.co.jp/am/mg/spirits/>、[アクセス日：2022/02/05]、©BANDAI NAMCO Amusement Inc.
- [13] 「大型アミューズメント施設 ナムコ GALAXIAN3」、インターフェース（P.68-P.74、1996.3）、CQ 出版

- [14] 澤田一哉、「多様化する高臨場感没入型視覚ディスプレイ」、映像メディア学会誌、Vol.53,No.7,pp.927~931 (1999)
- [15] 和泉澤稔 / 川上智弘 / 石山英俊 (株式会社 Cygames)、「本当にリアルな Mixed Reality コンテンツを実現するための技術開発」、https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1749、(CEDEC2017)、[アクセス日：2022/02/05]
- [16] 本山博文 (株式会社バンダイナムコスタジオ)、「ミックスドリアリティ・アトラクション『PAC IN TOWN』におけるリアルとデジタルの融合を象徴する新たな遊び "collaborative play" の紹介と VRDC@GDC 2018 に登壇して思ったこと」、https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1799、CEDEC2017、[アクセス日：2022/02/16]
- [17] 4Gamer.net、「「ナンジャタウン」に国内初となる MR 技術を応用したアトラクションが導入。第1弾はリアル・パックマン・アトラクション「PAC IN TOWN」」、<https://www.4gamer.net/games/999/G999905/20180206043/>、[アクセス日：2022/02/19]
- [18] Hirofumi Motoyama、「"The player is the star": futuristic vision for mixed reality world developing mixed reality game - PAC IN TOWN」、SIGGRAPH ADIA 2018 Virtual & Augmented Reality、<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3275495.3275511>、[アクセス日：2022/03/01]
- [19] セカンドライフ公式ページ、<https://secondlife.com/>、[アクセス日：2022/02/18]
- [20] 松井広志、「失われた日常を求めて - 「パンデミック」におけるコミュニケーション思考のビデオゲーム」、マスコミュニケーション研究 (98号、2021)
- [21] コーエーテックモゲームス、「いよいよ本格稼働! 『VR センス』プレイ開始発表会」、<https://www.koeitecmo.co.jp/news/2017/12/vr-vr-1.html>、[アクセス日：2022/02/19]
- [22] 明治大学プレスリリース、「～感染リスクなく味を共有できる技術へ～「任意の味を表現できる味ディスプレイ」を総合数理学部 宮下芳明教授が開発」、<https://www.meiji.ac.jp/koho/press/6t5h7p0000342664.html>、[アクセス日：2022/02/29]
- [23] ReseMom、教育用 VR に関するニュースまとめ一覧、<https://resemom.jp/special/1515/recent/%E6%95%99%E8%82%B2%E7%94%A8VR>、[アクセス日：2022/02/18]
- [24] PRTIMES、「HIKKY、シリーズ A 資金調達を 70 億円で完了」、<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000160.000034617.html>、[アクセス日：2022/02/18]
- [25] 経済産業省、「仮想空間の今後の可能性と諸課題に関する調査分析事業」、<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210713001/20210713001.html>、[アクセス日：2022/02/18]
- [26] 本山博文 (株式会社バンダイナムコスタジオ)、「子供とバーチャルリアリティ - 「屋内砂浜 海の子」による遊具とデジタル技術をミックスしたゲームデザインの新たな方向性について」、https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/1459、CEDEC2016、[アクセス日：2022/02/22]
- [27] 渡辺義浩、「INORI -PRAYER- : WOW・TOKYO・AyaBambi とのコラボレーション」、http://www.vision.ict.e.titech.ac.jp/projects/WOW_TOKYO_AYABAMBI/index-j.html、[アクセス日：2022/02/22]
- [28] 変幻灯 WEB ページ (NTT)、<http://www.kecl.ntt.co.jp/human/hengentou/>、[アクセス日：2022/02/22]
- [29] Dieter Schmalstieg, Tobias Höllerer, "Augmented Reality Principles and Practice"、池田聖他訳、「AR の教科書 (P.53-P.56)」、2018年7月26日、マイナビ出版
- [30] 大日本印刷 WEB ページ、「デジタルアーカイブを活用した新たな鑑賞体験とは? 「BnF × DNP ミュージアムラボ 第2回展 これからの文化体験」の記録」、https://www.dnp.co.jp/biz/column/detail/10161768_2781.html#anchor001、[アクセス日：2022年2月23日]
- [31] 國府力 (株式会社 Cygames) / 林大喜 (株式会社 パスコ)、「空撮フォトグラメトリ技術とレーザースキャン技術の融合による広大な現実空間の 3D データ化方法」、<https://cedil.cesa.or.jp/>

- cedil_sessions/view/1853、CEDEC2018、[アクセス日：2022年2月23日]
- [32] 本山博文（株式会社バンダイナムコ研究所）/ 豊田啓介（株式会社 noiz/ 株式会社 gluon）、「現実空間をレベルデザインする」、https://cedil.cesa.or.jp/cedil_sessions/view/2203、CEDEC2020
- [33] Tekeo Igarashi（University of Tokyo）、「Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design」、<https://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/papers/siggraph99.pdf>、[アクセス日：2022年2月23日]
- [34] 「Teddy のページへようこそ！」、<https://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/teddy/teddy-j.htm>、[アクセス日：2022年2月23日]

Copyright

PAC-MAN™&©BANDAI NAMCO Entertainment Inc.

©BANDAI NAMCO Amusement Inc.

©BANDAI NAMCO Studios Inc.

©BANDAI NAMCO Research Inc.

Microsoft、HoloLens は、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標または商標です。

「Magic Leap」「Magic Leap 1」、Magic Leap のロゴおよびその他のすべての商標は、Magic Leap, Inc. の商標です。

ニンテンドー DS、Wii は任天堂の登録商標です。

Microsoft、Kinect は、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標または商標です。

斎藤 直宏 東京国際工科大学 工科学部

デジタルエンタテインメント学科 教授

【研究ノート】

デジタルゲームにおける 文化記号学的アプローチの可能性

浅野耕一郎

Cultural Semiotic Approach in Digital Games

Koichiro Asano

Abstract: Consideration of developing a new genre of digital games using human abilities treated in cultural semiotics.

Keywords: game design,digital games

まえがき

長らくゲーム制作、運営の現場に携わる中で、何度か新作を一から作り上げる機会に恵まれた。市況を読み、トレンドの先行きを予測して、まだ見ぬ新たなデジタルゲームを作り上げることは、制作者としては血沸き肉躍る体験だ。しかし、一方で物足りなさを感じる経験もいくつかあった。

物足りなさを感じるケースには、共通したニュアンスがある。制作スタッフの間で、どういう体験を提供するゲームなのか、ゲームデザインの核となる部分を共有しないまま、表層的な議論や考察によって進行していってしまうことだ。

例えば「◎◎のようなゲームを作ろう」という場合。こういうことは頻繁にあることなので、そのこと自体に抵抗は無いのだが、肝心の「◎◎のようなゲーム」のゲームデザインとしての核心を掴み、制作メンバーに共有されることがないまま企画が立案されると、詳細な仕様までが、何となくの流れで書かれて行ってしまうことが、ままある。

「高いオリジナリティを持つゲームを作ろう」と宣言された場合でも、やはり核心となるゲーム体験が一体何なのか、そのことについて浅い考察のまま制作が進められれば、同様な結果になる。

デジタルゲームは「ユーザーが遊ぶことで、初めて制作物として完成する。」という性質を持っている。ヒトがデバイスを用いて、画面内のオブジェクトを実際に動かして体験する。という具体的かつ物理的な関わり合いで成立しているからだ（例外はあるが、そうしたゲームにしても「操作しない」というゲームデザインが施されているのである）。

鑑賞者が関わることで完成するのは音楽でも映像でも文学でも同様だ、という考え方もあるが、他のジャンルでは抽象的な関わりであるのに対し、デジタルゲームの場合は具体性の度合いが高い。

これまでゲームデザインに関して、精緻な研究はいくつも行われてきた。それらは過去の名作ゲームに施された素晴らしい仕様設計についての詳らかな分析であったり、デジタルゲームを構成する要素を最小単位まで割り出して「ゲームの作り方」を提示するものであったり、実に様々だ。

本稿では、これまであまり行われなかったアプローチとして、「ヒトがゲームをどのように受容するか」という視点でゲームデザインを考察してみたい。タイトルに表したように、文化記号学的な視座からの考察であるが、何もデジタルゲームに表示される表象を記号として分解するという意味ではない。ヒトに予め備わっている記号学的な能力、すなわち文化的表象を生み出す力に対して、ゲームデザインとしてどう関わるのか、という視点を提示したい。

「ヒトは何故ゲームをするのか」それを解き明かし、その「何故」に呼応するデジタルゲームを制作することができれば、ゲームデザインに対する貢献は計り知れない。その考察の対象はあまりにも広大で深遠であるので、今回はこのアプローチをどのような道筋で進めることが出来るか、その素描またはスケッチとしてお読みいただければ幸いである。

コンピュータの処理能力とコンピュータグラフィックスの表現力の飛躍的な高まり、そしてネットワーク回線の処理能力と高速化の結果、デジタルゲームにおいてはFPSやTPS、バトルアリーナなどの「戦闘」「競争」をゲーム性とした製品が隆盛を極めていて、ヒトの持つ記号的な能力、もっと幅を広く取って言い換えれば想像力に訴求するゲームデザインのノウハウが確立すれば、これまでのデジタルゲーム史上に散見された豊富なイメージネーションを提供したゲームの復権もまた、期待できると考えるからだ。

1. 文化記号学的アプローチについて

用語の混乱を避けるために、本稿で採用する文化記号学の基本的な概念を引用しておきたい。

生物学欠損性つまり環境世界への不適応性をなんとかして補償しようと、人間みずから己れの生産的想像力でもって環境世界とのあいだに張り巡らせた幻想の網 --- それがすなわち人間固有の<表象的次元>であり、<象徴体系>だ。したがって、人間は他の生物とは異なって、環境世界に自分を直接的に適合させるよりはむしろこの象徴体系を介して環境世界の方を自分に適合するように変形するのであって、この逆順応装置として、技術と呪術がともに成立してきたとき、ここにはじめて人間固有の<文化>が誕生したわけである。

竹内芳郎著「意味への渇き 宗教表象の記号学的考察」

人間以外の動物の生存環境は、「本能」によって予め整合性のある世界として現れる。秋になり植物の実が豊富になれば栄養を蓄積して冬眠に備える動物がいれば、繁殖に適する季節になれば適齢期の動物は発情して交配し子を育てる。気温や季節、経年によって代謝が自然にコントロールされているので、まさに「コスモス」的な整合性のある世界だ。

一方人間は、直立二足歩行を採用し頭蓋骨の、特に前頭部が発達し脳の容量を大きく確

保できる外形的特性を獲得し、大脳新皮質を肥大化させ、様々な能力を獲得して行った。その一方で、自然環境、気温や季節によって代謝を変える機能である「本能」は前頭葉の働きで抑制された、というよりも前頭葉でほとぼしる衝動や妄想、そして文化記号を生成する働きを優先的に使用するようになった。

こうして「本能」から遠ざかった人間にとって、自然および世界は「カオス」として現れる。むき出しの自然環境にあっては、強力な爪や丈夫な歯を持たない人間にとって、自然環境と自身の間「文化」という結界を張り巡らせることで生存戦略とした。

人間が持つこの「文化」を創出する能力こそが、本稿で「記号能力」と呼ぶものに当たる。文化を創出する能力を「記号能力」と規定すれば、宗教や言語、生活文化などはその産物である。だとすれば、電子の流路と量を管理し、数学的な計算を行うコンピュータ技術は、世界の三大宗教にも比肩されるべき記号学的体系であると言えよう。

さらに言えば、そのコンピュータ上で演算と描画を行い、ルールと世界観の設計を施して遊戯を構成するデジタルゲームは、ハードウェアからアプリケーションソフトに至るまで、間違いなく文化表象および文化記号の一つの体系だ。

本能よりも文化表象の創出が優先的に作動し、そこまで昇華されない場合は妄想や衝動が駆動してしまう人間という基本性能に対して、デジタルゲームは何を提供するのが適しているのだろうか。

2. ゲームデザインへの応用について

文化記号の能力を持って生まれた「人間」は言語を発明し、宗教的表象を張り巡らせ、農耕や牧畜を行い、あまつさえ都市を形成しインフラストラクチャーを構築し、市場経済を形成して来たことは、歴史を紐解けば容易に理解することができる。

その市場経済の発達の過程において、様々な欲求が商品化されてきた。快適な衣服、快適な住環境、上水道、下水道、好ましい食材、レシピ、流通に必要な運搬手段、自動車、道路、etcetc…。

やがてコンテンツ産業が勃興し、様々な娯楽が提供されるようになる。あるいは映画、あるいは文学、音楽、アニメーション、そしてデジタルゲーム。

本稿においてはそれらを人類の宿痾、「乗り越えられるべき病」として取り扱いたい訳ではない。そもそも「そのように出来てしまっている」人間が、病の外に出る事などは不可能なのだ。それであれば、その妄想や衝動が駆動する世界の外に出られることを夢想するのではなく、少しでも人間同士が永く共存し、極端な主張や行動ではなくそれこそ「持続可能な」社会を形成する助けになるようなことに頭を巡らせるべきと考える。

さて、コンテンツ産業にあって、いわゆるヒット商品はどのような特性を持ったものであるかを、文化記号学的能力の視点から解いていくことで、いくつかのヒントが見出せるであろう。端的に言えば、人間にとって、かつて本能であったものの残滓（身体反応や脳内から出る代謝物質等の総体）は、文化記号を創出する能力を経由して妄想や衝動に転化する。その妄想ないし衝動に対応する商材を生み出し、受け入れられたと考えるのが自然

だ。これまでにどんなコンテンツが多くの人々に受け入れられたであろうか。

・「美男」「美女」への希求

映画産業、テレビ産業等は勃興期から美形の男優、女優を映像に定着させることで広く人々に愛されてきた。近年にあっては、男女問わずアイドルグループとして複数人の異なるタイプのメンバーを揃えることで、幅広く支持者を集める施策が採用されている。

何をもって美男、美女とするか、という点については、それぞれ各地域や時代によって嗜好も変わるだろうし、個人によって様々な嗜好があるだろう。しかしその希求自体は、人間が持つ基本的な能力（そして欲望と衝動）によって支えられているはずだ。

筆者は、「好ましい配偶者を選別したい」欲求の顕在化だと考えている。所属する文化記号の集団によって、好まれる容姿や行動様式が変わることも容易に理解できるし、LGBTQなども含めて個人個人の嗜好によって異なるタイプのキャラクターが求められることだろう。

デジタルゲームやCGアニメーションの発達により、地域ごとにキャラクターのデザインを変更するなどの対応は21世紀になって頻繁に行われるようになった。新たなタイプや嗜好のリサーチと需要の掘り起こしで、今後もこのジャンルは売れ続けることと思われる。デジタルゲームにおいては、キャラクターデザインのみならず、プレイヤーが自身を投影する為に共感しやすい行動原理などもデザインすると、より効果的なデザインワークとなることが期待できる。

映画や放送局が重厚長大産業化する中で、生身の人間がコンテンツ的嗜好に応えようとした時、それを生業とする人物の人生を収奪するようなことがしばしば起こっていたが、願わくば今後そのような事例が減ることを祈る。

・「カワイイ」嗜好

人間はもとより、コンパニオンアニマルに限らず動物の赤ちゃんなども、多くの人を惹きつけて止まない。これはまさに育児や小児保護に関する本能の残滓であろう。

デザインとしての幼体愛護は、例えば「ポケットモンスター」におけるピカチュウの容姿でも具現化されていると言える。アニメーションにも登場するピカチュウの腰や足回りなどはまさしく赤ん坊の頃の人間の丸みであるし、鳴き声の「ピカチュウ！」は幼児の発話のカリカチュアライズと考えるとしっくり来る。

デジタルゲームにおいては、愛護する、育成するなどのゲームメカニクスその他、愛玩する上でのギャラリー機能やデザインバリエーションの豊富さ、ちょっとした仕草をスクリーンショットとしてコレクションするなどのメカニクスを入れると、かなりの需要が続くと思われる。

哺乳類としての育児、小児保護志向が、残滓とはいえ本能的に残っていることはある意味安堵することでもある。このジャンルの志向が多くの人に未永く残っていて欲しいものだ。

・「競争」「戦闘」

これに対する嗜好は、群れの生き物としてのサル時代から存在したであろう、群れあるいはコロニーにおける順位争いで、優位に立ちたいという本能残滓が根源にあると考えると理解し易い。しばらく前に使われ始めた流行語から、定着した感のある「マウンティング」と呼ばれる行為もまた、典型的な、群れの中での順位争いと言えるだろう。

コンテンツに限らず実社会においても、学校でも職場でも当然のこととして行われているため、「競争」はデジタルゲームにおいても根強く採用されている。それこそ、最初に作られたコンピュータゲーム「Tennis for Two」にしても、最初のアーケードゲームである「PONG」にしても、スポーツの形態を採ってはいるが、勝敗のつくゲームだった。

ただ、惜まれるのは、ネットワークの高速化とコンピュータのグラフィック処理能力の向上が、デジタルゲームにおいては「競争」「戦闘」系のゲームの隆盛にばかり寄与していることだ。

ロジェ・カイヨワの「遊びと人間」から引けば、遊びの四分類には<競争><偶然><模擬><眩暈>があり、複数の分類要素を組み合わせることで、より多様な遊びを創出することが可能なはずだ。一つの要素だけが量産される事態は、デジタルゲームの多様性と将来性のために好ましいことではない。

・多様なジャンル創出のために

デジタルゲームもまた、重厚長大路線に傾いており、本来の姿としてアイデアやイメージネーションを幅広く豊かに展開することで進化してきたデジタルゲームが、コンピュータの表現力が向上によって、デザインワークが高負荷化して作りづらくなって来ているのは皮肉なことだ。

一つ二つのジャンルばかりが隆盛を極めることは健全なこととは言えず（「戦闘」系ゲームの他の多作ジャンルは「パズルゲーム」だ）、プレイヤーに飽きられ人心が離れる危険が潜んでいる。これまでもデジタルゲームは、飽和状態が蔓延した時に危機を迎えたところで思わぬ新ジャンルの人気ゲームやプラットフォームが登場することで延命して来た。そろそろ新たなジャンルに登場願いたいところだ。

とはいえ、漫然と期待されるばかりではクリエイターや志望者には迷惑な話であろう。新たなジャンル発想のためのきっかけの一つとして、「人間の持つ文化記号能力」、そして「本能の残滓としての基本的な欲求」の掛け合わせを提案する次第だ。発想の一助となれば幸いである。

参考文献

- [1] 竹内芳郎「意味への渇き 宗教表象の記号学的考察」筑摩書房 1988年刊
- [2] 小山友介「日本デジタルゲーム産業史」人文書院 2016年刊
- [3] 小阪修平、竹田青嗣ほか「現代思想・入門」宝島社刊

浅野耕一郎 東京国際工科専門職大学 工科学部

デジタルエンタテインメント学科 講師

【教育ノート】

オンライン授業の課題設定事例

—比較文化論の場合—

鈴木雅実

A Case Report of Task Setting for Online Lecture on Cross-Cultural Study

Masami Suzuki

Abstract: In this article, after briefly introducing the author's profile, we will look back on the activities for one year and half as a professor of the AI strategy course of the Department of Information Technology of a professional university newly opened in 2020. We report on the cases of the educational content practiced by young students who will lead the next generation in order to give an opportunity to deepen mutual understanding between different cultures by understanding the characteristics of the world and the country and region where they were born and raised, and by comparing them. Finally, we will discuss future issues, especially from the viewpoint of significance on liberal-arts education in professional universities.

Keywords: artificial intelligence, cross-cultural study, liberal-arts education

1. まえがき

筆者は、長く情報通信企業の研究所に勤務し、自然言語処理の応用やヒューマンコミュニケーションの研究開発に携わって来た。そして2020年の4月に開学した専門職大学の情報工学科 AI 戦略コースの専任教授として着任、現在に至っている。そこで諸事情により最初に担当することになった授業が「比較文化論」であった。この科目はデジタルエンターテインメント学科を含む学年全体の学生を対象としており、2020年度の後半から2021年度の前半にかけて各々15回のオンライン講義を行った。この比較文化論は所謂教養科目であり、主として専門科目を学ぶ学生たちの視野を広げ、良き社会人となるために必要な一般教養を身につけることをねらいとしている。

2. 「比較文化論」の実践内容より

この授業科目では、文化と文明の比較から始まり、日本文化を特徴付ける様々な要素について、例を挙げながら紹介するとともに、AIやロボットの受容について各文化圏の間

また、2021年度の授業（情報工学科）では、新型コロナによる非常事態宣言の影響を受け当初計画していた興味深い「トランスレーションズ展」が観覧休止となったことから、最終的にリアルな展覧会として「ファッション・イン・ジャパン」（国立新美術館／[3]）またはバーチャルミュージアムとして開催された「江戸東京リシンク展」（東京都／[4]）のいずれかについてレポート提出の課題設定を行った。

それぞれの年度において提出されたレポート内容から窺い知ることができたのは、未知の世界への好奇心や個人の興味と展示内容の関係に加え、このように実際のミュージアムに足を運んで現地現物で体験することの意義を学生たちが深く認識していたことである。

3.2 異文化コミュニケーションのための創作課題

前記の美術展見学レポートでは、展示内容から直観的に悟った内容であっても、それについて筋道を立てて論述するための思考および文章表現能力を必要とする。これに対して、より感性に基づく想像／創造力を刺激する課題として、次のような状況設定に基づき独自のデジタル画像にテキストを埋め込む創作を指示した。

- ・目的：異文化に属する友人（日本語は解せず日本文化の知識も乏しいと仮定）宛に「日本の冬」または「日本の夏」をテーマとする一種のグリーティング・カードを作成する。
- ・画像部分：オリジナルの写真またはCG 絵画
- ・テキスト部分：英語の（俳句的な）短いフレーズ

この課題に取り組んだ創作例を次の図 2-1 と図 2-2 に掲げる。



図 2-1 「日本の冬」の創作例

テキスト部分：

Western style is over / Japanese style is coming



図 2-2 「日本の夏」の創作例

テキスト部分：

If I was asked, "What's missing" / I would answer, "Shaved ice and you in the Yukata"

上記の創作課題のヒントとしたのは著者の過去の研究である [5]。同論文では、感性コミュニケーションメディアとしての俳句の可能性に注目し、マルチメディア表現（CG 絵画）と組み合わせた場合の印象効果について、CG 絵画単独の場合と、CG に英語俳句を組み合わせた場合の両条件で日本人大学生を対象とする主観評価結果を比較したものである。その際に評価対象としたのが、国内の女子短大生が英語教員の指導の下に作成した「夏の思い出」をテーマとする作品群であり、今回の比較文化論の授業内で学生に例示した。

同研究では、絵画（ビジュアルなコンテンツ）と英語俳句（テキストコンテンツ）の組み合わせによる刺激が被験者（鑑賞者）にもたらす効果について実験的に検証した。その結果明らかになった点を要約すると次のようになる。

- ・CG 絵画から直接読み取れない内容が英語俳句により示されるような作品（俳画）の場合に、絵画だけの場合より共感性が向上する傾向が見られた。
- ・CG 絵画が示す内容と英語俳句が表す内容がほぼ重なるような作品の場合は、絵画だけの場合との共感性の差は少ない。

上記の創作課題においては、事前に例示した作品の特徴について簡単な説明に留めたが、画像とテキスト（英語俳句）の組み合わせにより想像力を刺激する効果を意識したと思われる例（図 2-2 など）も見られた。

4. 考察

前章で述べた2件の課題は、それぞれ異なる観点からオンライン授業で不足がちとなる学生のモチベーションを向上させる意図で導入したものである。提出された課題レポート・創作内容については個別のコメント・フィードバックは限定された範囲に留まるが、学生たちの反応は概ね良好であった。ただし、この種の課題遂行を経験した学生が、シラバスに記されているような学修目標に照らしてどのような達成感を得ることができるかについての検証は困難である。以下では、専門職大学でのAIの教育における比較文化的な視点の重要性およびリベラルアーツ教育との関連性についての考察内容を述べる。

大学教育において専門科目の学修は言うまでもなく重要であり、それは専門職大学においても同様である。ただし、その比重が大きい専門職大学では、一般教養科目が占める割合が相対的に軽くなる傾向は否めない。そのような環境下において、専門分野に閉じた学修のみを通じて「未来社会のデザイナー」たる人財として活躍が期待される広い視野と見識を備えることには限界が存在するものと考えられる。そこで重要となって来るのが、リベラルアーツ教育である。リベラルアーツとは、大学教育における一般教養科目とは異なり、専門教育の下位に位置するものではなく、それ自体がひとつの学問体系として確立されている。リベラルアーツの起源は古代ギリシャ・ローマ時代の自由七科（文法／弁証／修辞／算術／幾何／天文／音楽）に遡るが、人間が自由に生きていくため束縛から解放されるための素養とされていた。単に知識を身につけるだけでなく、実践的な知性や創造力を養うための学問である。専門領域に特化しただけでは、現実にある複合的な答えが無い問題に対処することが難しくなってしまう（東京工業大学リベラルアーツ研究教育院 [6] など）。

これからの時代は、物事を多角的に判断できる幅広い教養を持った人財が求められており、人間の知能の本質に迫る人工知能の研究や応用に携わる上でも重要性が増すと考えられる。そのような幅広い見識を備えた人材を育成する上では、世界各地に存在する文化の多様性（ダイバーシティ）を極力実地に体験することも有意義であり、その点に配慮したカリキュラムに工夫が求められると言える。その意味で、本報告に記した事例は未だ端緒

に過ぎない段階であるが、今後の専門教育との繋がりを考慮しつつ（参考資料として [7]）、リベラルアーツ教育の充実を図ることが望ましいとの結論を再認識するものである。

参考文献

- [1] 日戸浩之・谷山大介・稲垣仁美：「ロボット・AI技術の導入をめぐる生活者の受容性と課題：日米独3カ国調査からの示唆」、知的資産創造、2016.05.
- [2] サントリー美術館：リニューアル・オープン記念展 II 「日本美術の裏の裏」、https://www.suntory.co.jp/sma/exhibition/2020_2/index.html
- [3] 国立新美術館：ファッション イン ジャパン 1945-2020—流行と社会、https://www.nact.jp/exhibition_special/2020/fj2020/
- [4] 東京都産業労働局：江戸東京リシンク展～江戸東京の伝統産業×現代アート（オンライン開催）、<https://edotokyokirari.jp/>
- [5] 鈴木雅実、小林裕一、中井隆洋、吉田香：“Analysis on Empathy-inducing Effect brought by Haiku”, 電子情報通信学会英文論文誌 D（ヒューマンコミュニケーション特集）, Vol.E89-D, No.6, pp.1860-1867, 2006.06.
- [6] 上田紀行：「リベラルアーツについて知る」、東京工業大学リベラルアーツ研究教育院、<https://frompage.jp/ynp/liveralarts/>
- [7] 吉川弘之（監修）：「規範としての民主主義・市場原理・科学技術」、東京大学出版会、2021.

鈴木雅実 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授

【教育ノート】

デジタルツールと三幕構成を用いた デジタルゲームブックの執筆演習に 関する実践報告

小野憲史

A Practical Report on a Writing Exercise for a Digital Gamebook Using Digital Tools and a Three-Act Structure

Kenji Ono

Abstract: The production of Novel Game requires production skills in both game design and scenario writing, but there are few exercise materials and practical reports for beginning students. In addition, there are few teachers who have the skills to teach both skills. Therefore, as an introduction to Novel Game production, I devised and practiced a digital gamebook writing exercise that combines the digital gamebook creation tool "Twine" and the three-act structure of movie scriptwriting. We were able to show some of the possibilities of developing teaching materials in this field.

Keywords: Novel Game, gamebook, game design, game education, narrative design

1. 演習の背景と目的

ノベルゲーム⁽¹⁾は選択肢によって分岐するストーリーを楽しむビデオゲームのジャンルであり、教育分野で以下の可能性を秘めていると考えられる。

- 1) プログラミング未経験者でも手軽にコンテンツを制作・発表できる環境が整っており、初学者向けのプログラミング教育環境に適している⁽ⁱⁱ⁾。
- 2) 良質なノベルゲームを制作するためには、ストーリーの分岐構造と、分岐中で描かれるシナリオとの有機的な結合をもとに、プレイヤーに適切なナラティブを提供することが必要である。そのため、ゲームデザインの教材ツールに適している⁽ⁱⁱⁱ⁾。
- 3) 日本では、ソーシャルゲームにノベルゲーム要素を組み込んだタイトルの人気が高く^(iv)、ゲームシナリオライターの人材教育に貢献できる。
- 4) ノベルゲームはシリアスゲームとして制作されるものもあり^(v)、社会課題の解決にとりくむ人材育成に貢献できる。

一方で後述するように、本分野における人材教育の取り組みや、そこで必要となる教材やカリキュラムは潤沢とは言えない。

そこでノベルゲームのゲームデザインで根幹をなす選択肢構造の作り方と、それに即したシナリオ制作のモデル化ができれば、制作経験の乏しい教員でも、教育現場で活用可能な教材やカリキュラムの開発につながると考えられる。また、ゲーム開発者教育を行う教員や、ゲーム開発者志望以外の学生にとっても有用で、波及効果が期待できる。

こうした問題意識にもとづき、筆者は専門学校の非常勤講師としてノベルゲーム分野の人材育成にとりくみ、独自のカリキュラムや教材開発を行ってきた。その過程でノベルゲームのベースとなったゲームブックと、ハリウッド映画の脚本術として知られる三幕構成を組み合わせ、演習のモデル化を試みてきた。

本稿ではまず、既存のノベルゲームとゲームブックを巡る先行研究について整理する。そのうえで、これまで筆者が実践してきたカリキュラムと教材の内容について解説する。最後に本演習の展開可能性について論じる。

2. ゲームブックとノベルゲームの歴史

ゲームブックは1980年代に世界規模のブームを巻き起こした出版ジャンルである。安田(1987)は元祖ゲームブックとして『The Warlock of Firetop Mountain』(1982)をあげ、コンピュータ・ロールプレイングゲーム(以下RPG)や、そのベースとなったテーブルトークRPGとの関連性について述べている。なお、本書は『火吹き山の魔法使い』(1984)として邦訳され、日本でもゲームブックブームの火付け役となった。

典型的なゲームブックでは、ストーリーがパラグラフによって分割され、本の中でランダムに配置される。各パラグラフには冒頭と末尾に異なる数字が付与されており、読者はこの数字を辿りながら、物語を読み進めていく。パラグラフの中には複数の数字から続きを選択したり、次に進むべき数字を文中の手がかりから推測したりするものもある。これにより読者は主人公になりかわって冒険が楽しめる。

ゲームブックはコンピュータやビデオゲーム機が購入できない、またはビデオゲーム機を購入できても潤沢にゲームソフトを購入できない低年齢層にとって、格好の代替手段となった。そのため急速に出版点数が増加し、多様化が進んだ。近藤(1987)はゲームブックを、目的達成を主としたパズル型小説と、分岐の多様性や展開を楽しむパラレル型小説に分類しつつ、多くのゲームブックが中間の特性を備えていると論じている。また、塩田(2021)はこの時期に日本でビデオゲームやアニメ作品を題材にしたゲームブックが数多く出版され、ブームに貢献したと述べている。

もっとも1990年代に入ると、ビデオゲームの浸透や過当競争などの理由で、ゲームブックの出版点数は世界的に激減していく。その一方で日本では、ゲームブックがビデオゲームと結びつき、ノベルゲームという新ジャンルの形成につながった。『弟切草』(1992 スーパーファミコン)、『零』(1996 PC)は初期のノベルゲームの代表例である。こうした経緯にともない、多くのノベルゲームでパズル型小説とパラレル型小説の双方の特徴が見られる。

その後もノベルゲームはアニメ文化やライトノベル文化などと結びつき、独自の進化を

遂げていく。また、2010年代に入ると、インディ（独立系）ゲームを中心に、海外でもノベルゲームの開発事例が増加するようになった。あわせてゲームブック自体も2010年代に入り、電子書籍の市場拡大を受けて、再評価の気運が高まっている。

3. ノベルゲームの定義

ノベルゲームの定義は市場や立場で異なる。江（2019）は先行研究^(vi)における定義で共通する要素として下記の4点をあげている。そのうえで、ノベルゲーム以外でも下記の定義に当てはまるものが存在すること。また、ノベルゲームであっても、ここに挙げられている特徴から逸脱するものが存在すると断っている。

- 1) 物語自体の楽しみを重視し、作品の内容は多岐にわたる。
- 2) 画面構造として主に前景となるテキスト、立ち絵と背景で構成されている。
- 3) 物語の進行に応じ色々な要素で物語が「演出」される。画面上の演出として立ち絵の表情と位置の変化、場面となる背景、CGイラストの切り替え、画面エフェクトなどがあげられる。画面上の演出と同時にBGM、キャラクターのボイス、音声エフェクトといった音声面上での演出がされている。
- 4) プレイヤーは選択肢を選ぶことで物語に介入し、マルチシナリオ・マルチエンディングを「読む」体験ができる。

他にインディ（独立系）ゲームのローカライズを手がける水谷（2018）はゲーム開発者向けの講演で、海外市場では日本ではノベルゲームに含まれない、ギミック重視のアドベンチャーゲーム（以下AVG）も範疇に含まれると解説している。徳岡（2018）も、日本では「キャラクターの立ち絵+背景+メッセージウィンドウ」を用いて、選択肢付きの分岐型ストーリーを提供する例が主流だが、海外市場ではそれだけに留まらない多様性があると報告している。

そこで本稿ではこうした状況を鑑み、ノベルゲームを「選択肢によって分岐するストーリーを楽しむビデオゲームのジャンル」と広義の意味で定義する。

4. ノベルゲームとゲームブックに関する先行研究について

ノベルゲームには他のゲームジャンルと比べて、キャラクターを魅力的に表現することや、ストーリーをプレイヤーに的確に伝えることが容易であること。また、開発に要する技術が相対的に低く、制作コストが安価であること、などの特徴がある。そのため1990年代後半から今日まで、インディ（独立系）ゲーム、アニメ原作ゲーム、美少女ゲーム、乙女ゲームなどで、数多くのタイトルが発売されている。

こうした経緯からノベルゲームに関する先行研究では、東（2001）をはじめ、ノベルゲームをポストモダニズムや日本のキャラクター文化、オタク文化と結びつけて、社会学的な見地から論じるものがみられる。七邊（2006）は同人ゲーム開発者のインタビュー調査を通して、同人ゲームとゲーム産業の関係性や、同人ゲーム開発者の制作動機などを論じて

いる。

ゲームデザイン面では、八尋（2005）が赤川次郎の『夜光虫』を例に、原作小説とノベルゲーム版（1995 スーパーファミコン）の構造分析を行いつつ、両者の違いについて分析している。鏡（2009）はノベルゲームにおける UI デザインの見地から、小説とノベルゲームにおけるシナリオの違いについて論じている。江（2019）はゲームプレイにおけるプレイヤーと主人公の関係性に着目し、ノベルゲームならではの物語体験について論じている。

本稿のテーマでもあるノベルゲームの選択肢構造では、塩田（1988）が『街』（1998 セガサターン）の構造分析を行いつつ、選択肢の類型化を試みている。他に涼元（2009）は実務家の立場から、ノベルゲームの選択肢のデザインについて、さまざまなテクニックを紹介している。Lebowitz & Klug（2011）はノベルゲームに留まらず、RPG や AVG にまで論を広げて、ビデオゲームにおけるストーリー構造を 6 種類に類型化している。ゲームブックについても安田（1990）が、『The Warlock of Firetop Mountain』をはじめとした『ファイティング・ファンタジー』シリーズの主要タイトルについて、パラグラフの全体像を示しつつ、ストーリーとの関係性について考察している。

他にゲーム教育の観点では、竹田（2015）がノベルゲーム制作をゲームデザインの初学者向け演習課題に活用した例を報告している。また、小池・藤川・陳・鈴木（2019）のように、教員養成学部の学生が小学生向けの外国語学習ノベルゲームを開発・実装し、模擬授業を行った事例も存在する。

5. 演習の仮説設定について

これまで見てきたように、ノベルゲームについては日本でも海外でも、さまざまな論点から研究が行われてきた。一方でノベルゲームの制作技法、特に選択肢の設定基準について、人材教育の観点から論じられたものは見受けられなかった。

すでに述べてきたように、ノベルゲームは選択肢によって物語が分岐していく点に特徴がある。そのため制作においては、プレイヤーに適切なナラティブを提示することを念頭に、分岐構造とシナリオを同時にデザインしていく必要がある。しかし、この点が本ジャンルの初学者にとって難解に感じられる点である。

また実装面では、ノベルゲームエンジンの学習もあわせて進める必要がある。そのため、以下の 3 点に留意した演習を実施することが効果的だと考えられた。

- 1) ノベルゲームではなくデジタルゲームブックを制作する。
- 2) 選択肢と分岐構造に既存のフレームワークを援用する。
- 3) オリジナルのストーリーではなく、既存のストーリーを改変する

本演習では 1) について、デジタルゲームブック制作支援ツール「Twine」を使用した。2) についてはハリウッド映画の脚本術として知られる三幕構成を援用した。3) については民話・神話・伝承などをベースとした。これらにより、限られた時間内で学生の学習効果が高まるように配慮した。なお、演習は 1 回 90 分、全 12 回のカリキュラムで実施し、受講した学生は 5 名で、学生はみな作家や脚本家を志望しており、プログラミング経験のあ

る学生は皆無だった。

一方で本演習では学生のスキルなどを考慮して、パズル性やメカニクスの導入は最小限に抑えた。そのうえで簡易的なノベルゲームの制作、そしてより複雑な要素を導入した、本格的なノベルゲームへと授業展開が可能なように、構成を工夫した。

6. 使用ツール「Twine」について

Twine (図1) は JavaScript で制作された、オープンソースのデジタルゲームブック執筆支援ツールである。本ツールではパッセージと呼ばれるブロックを矢印で接続しながらプロットを記述していく。各々のパッセージには複数の矢印を設定でき、これが選択肢に相当する。パッセージにはテキストを入力することができ、完成したデータを HTML に変換して Web サーバ上に公開できる。これにより、制作者はパッセージの全体像を可視化しながら、プログラミング不要でデジタルゲームブックを制作できる。

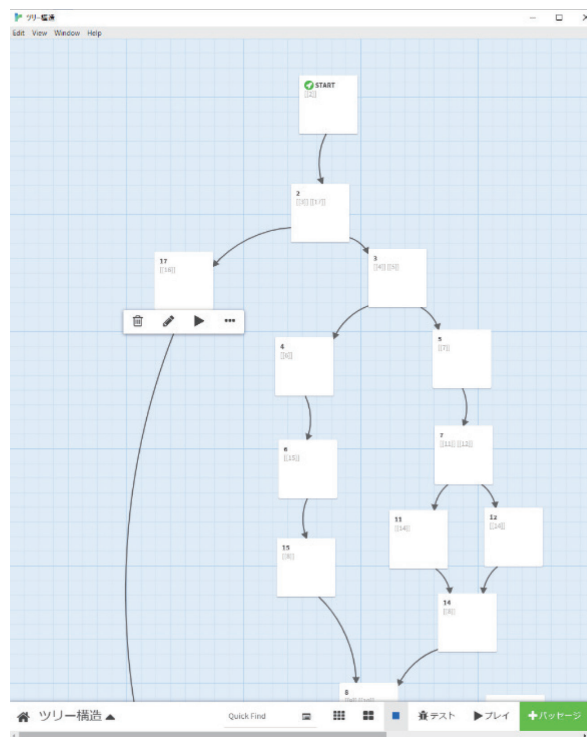


図1 Twine (筆者作成)

7. 三幕構成について

三幕構成は映画脚本家の Field (1979) によって体系化された、多くのハリウッド映画に共通してみられる物語構造である。三幕構成ではストーリーは3つの幕(部分)に分かれる。それぞれの幕は設定、対立、解決の役割を持ち、3つの幕の比は1:2:1である。幕と幕はターニングポイントで接続され、主人公に行動を促し、ストーリーを異なる方向

に転換させる役割を持つ。他にストーリーの中央部に前半と後半の内容を分けるミッドポイントが存在する。

三幕のうち第一幕（設定）では、主人公の日常を激変させる出来事（インサイティング・インシデント）と、主人公が解決しなければならない問題（セントラルクエスト）が提示される。第二幕（対立）で主人公はセントラルクエストの解決のために、さまざまな行動を行う。第三幕（解決）では行動の結果、セントラルクエストが解決する。これにより主人公が精神的な成長をとげ、世界も大きく変化する^(vii)。

例として太宰治『走れメロス』^(viii)のストーリーを三幕構成で構造分解すると、下図のようになる。

三幕構成の段階	内容
設定	シラクサの街で王の凶行について知ったメロスは王宮に乗り込む。
ターニングポイント 1	三日以内の帰還を約束したメロスは、親友を身代わりにして村に戻る。
対立 1	村で妹に結婚式をあげさせたメロスは、街に向けて出発する。
ミッドポイント	街への道中、大雨で川の橋が流されていることを知り、メロスは濁流を泳ぎ切る。
対立 2	山賊の襲撃と直射日光で疲労痕倍し、ふてくされたメロスは、その場で倒れこみ、眠ってしまう。
ターニングポイント 2	眠りから覚め、湧き水を飲み、肉体的・精神的疲労から復活したメロスは、再び走り始める。
解決	メロスは約束を達成し、親友は解放され、王は改心する。

8. 演習の詳細

上記で述べたように、三幕構成ではストーリーが大きく変化するタイミングが3つある。これらの変化は主人公の選択の産物であり、鑑賞者は主人公に感情移入しながらストーリーを楽しむ過程で、同様の選択を脳内で行っていると考えられる。そのため三幕構成をベースとしたストーリーを作成し、ターニングポイント 1、ミッドポイント、ターニングポイント 2 に選択肢を設定して、サブシナリオとエンディングを追加することで、無理なくゲームブックが制作できると考えられる。

そこで本演習では、既存の神話・民話・伝承などをもとに、その内容を三幕構成で構造分解し、不足要素を追加させることで、物語論の初学者でも容易にオリジナルのストーリーに改変できるようにした。その際、内容はそのままに世界観や時代設定を変化させる、世界観だけを活用してストーリーを改変させる、などの工夫を試みた。なお、ストーリーの分岐構造では、金子&長尾（2008）による分割法を採用した。

また、Lebowitz & Klug（2011）は、選択肢をその後続くサブシナリオの種類にもとづき、

大分岐・中分岐・小分岐に分類している。大分岐はメインシナリオに準じる規模のサブシナリオが展開する起点となる分岐。中分岐はある程度の規模のサブシナリオが展開した後、メインシナリオに合流する起点となる分岐。小分岐はメインシナリオにすぐに合流する、小さなサブシナリオが始まる起点となる分岐の意味である^(ix)。

そのため、ターニングポイント1を大分岐、ミッドポイントを中分岐、ターニングポイント2を小分岐とし、大まかなツリー構造をデザインしたあとで、細かい選択肢とサブプロットを追加していくことで、制作の効率化が図れるように配慮した。

なお、図2に『走れメロス』における、三幕構成にもとづく選択肢とサブプロットの作成例を記す。

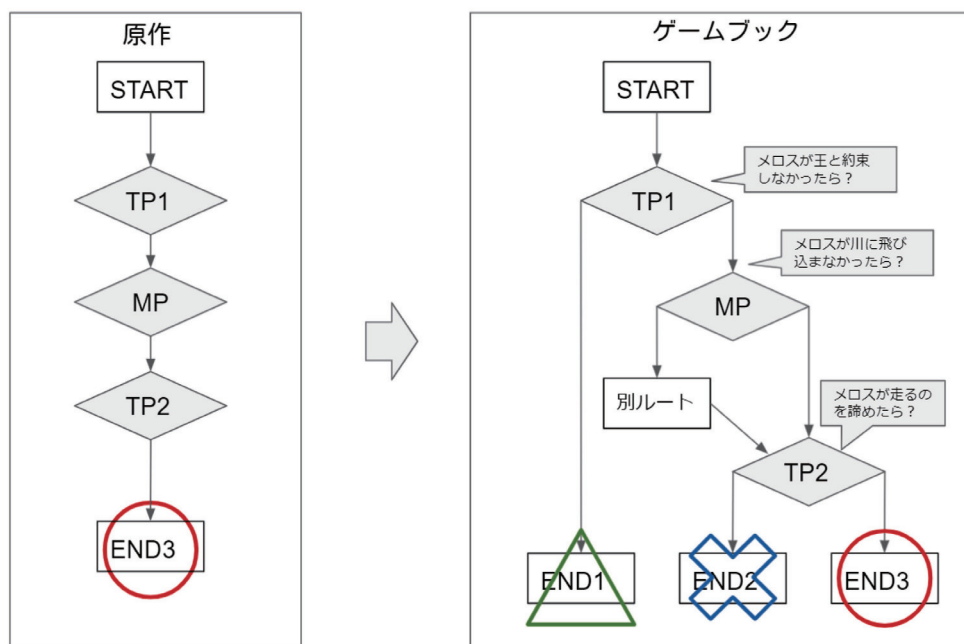


図2：『走れメロス』の原作と、三幕構成にもとづく選択肢とサブプロットの作成例

他にストーリー制作では、プロットに加えてキャラクターも必要になる。本演習ではベースとなるストーリーを選定した時点で、登場するキャラクターの概要が決定している。もっとも、そのままでは三幕構成上で必要なキャラクターが不足していたり、それぞれの役割が不明瞭であったりすることも多い。そこで沼田&金子(2011)のキャラクター類型を活用した。

最後に文字数について、Twineのパスページ総数を50前後、各パスページの文字数は100～200文字とした。これにより総文字数が5千～1万文字の作品になるように指導した。これは一般の短編小説にあたり、シナリオ系専門学校の学生にとって、適当な文字量だと考えられた。

9. 演習内容

本授業は1年生・2年生の合同授業で進められ、途中で2年生向けのイベントなども挟まった関係上、12回すべてを本演習に使用できなかった。そのため以下にカリキュラムの要旨を記す。

No	作業のテーマ
1	学生に神話・民話・伝承などから、ベースとなるストーリーを選定させる。
2	選定したストーリーを三幕構成で構造分解させ、それぞれの内容を記述させる。この段階で不足している要素があれば、自由に書き加えさせる。キャラクターについても同様に、必要に応じて追加・修正を行う。
3	世界観や時代設定などの改変を含めて、デジタルゲームブックのストーリー原案を完成させる。
4	ストーリー原案を「ターニングポイント1」「ミッドポイント」「ターニングポイント2」で分割し、それぞれを選択肢として、パッセージ構造の全体像をイメージさせる。
5	ターニングポイント1から大分岐するサブプロット、ミッドポイントから中分岐するサブプロット、ターニングポイント2から小分岐するサブプロットを、それぞれ構想させる。
6	ストーリー原案をもとに作成したメインプロットと、5で作成したサブプロットをもとに、Twineで全体のパッセージ構造を記述させる。
7	メインプロット、サブプロットの内容にもとづき、各パッセージにメインシナリオとサブシナリオのテキストを記入させる。
8	Twineでテストプレイを行い、細部を修正して、完成させる。その後、学生同士でピアレビューを実施する。

10. 結果

今回の演習で制作されたデジタルゲームブックと、ベースとなった神話・民話・伝承の関係を以下に示す。このうち完成したのは1と5で、2、4はテキストが未完成に終わった。また3は、テキストは完成したが、Twineにおける問題（バグ）が修正できず、同じく未完成に終わった。なお、1と5は下記URLからプレイできる。

No	タイトル	元になった物語他	URL
1	二代目桃太郎の鬼退治	桃太郎	https://bit.ly/2XWny0l
2	ときのしずく	かぐや姫	
3	マーリンの苦勞譚	アーサー王伝説	
4	出稼ぎ道中うっちゃり壺割り端	杜子春	
5	トウユウ 現代英雄演義	西遊記	https://bit.ly/2UVmf0H

このうち、『トウユウ 現代英雄演義』のゲーム画面の一部を図3、Twineによるパッセージ構成図を図4に記す。

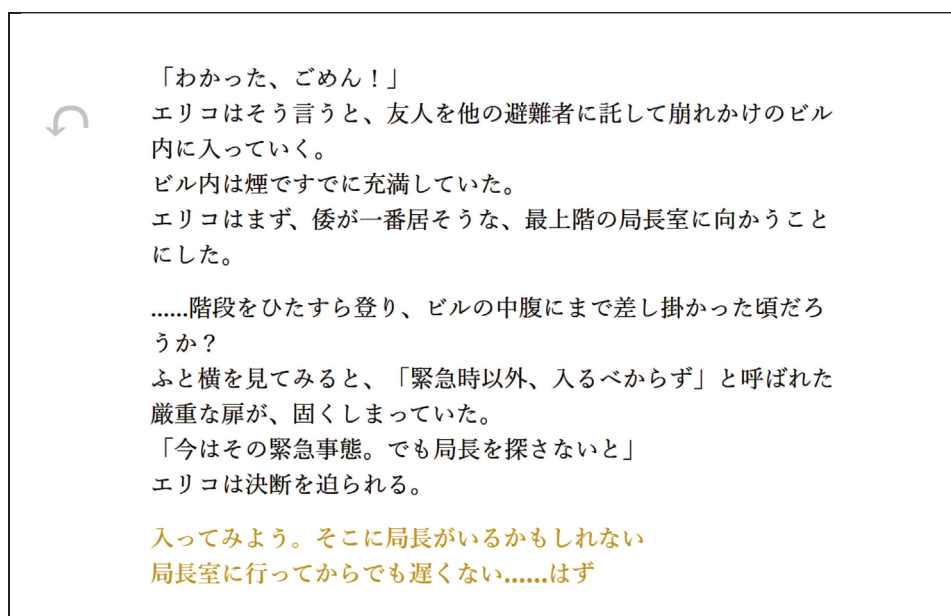


図3 『トウユウ 現代英雄演義』テキストの一部（印刷のため白黒反転処理済み）

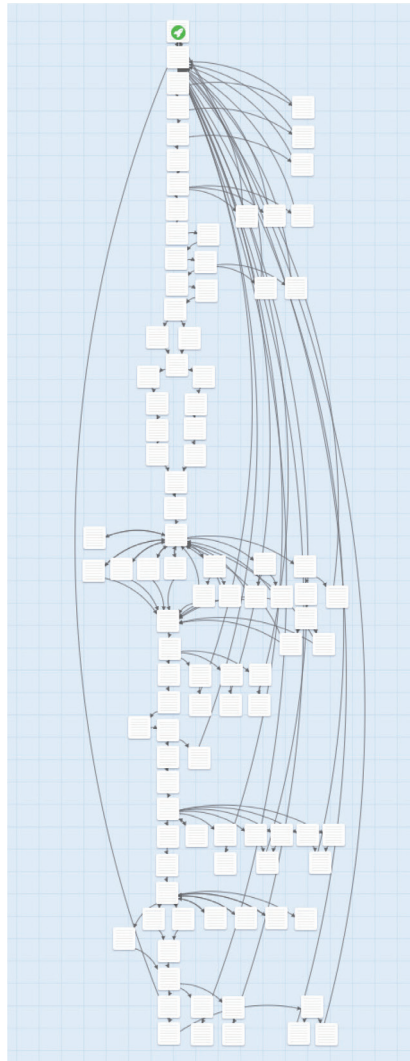


図4 『トウユウ 現代英雄演義』のTwineによるパッセージ構成図

11. 考察・結論

本稿ではプログラミング経験のない作家志望の学生を対象に、神話・民話・伝承などの原作を三幕構成でリメイクし、一定の基準にもとづいて分岐構造を設定し、Twineで記述させることで、デジタルゲームブックを制作させるプロセスについて解説した。もっとも、本稿は演習の実践報告に留まっており、その有効性や妥当性は検証されていない。今後は教育工学的な見地からの検証を進めていきたい。また、デジタルゲームブックとノベルゲームの制作演習の接続についても、今後の課題となる。

最後に本演習のゲーム・リテラシー教育における展開可能性について補足しておく。ゲーム・リテラシーは2000年代に生まれた概念で、メディア・リテラシーのサブリテラシーに位置づけられる。メディア・リテラシーについて、中橋(2021)はメディア・テキストの「読解力・表現力・考察力」の重要性について論じている。また、メディア・リテラシー

は「教え込み型の教育方法では身に付かない」とも指摘している^(x)。

ゲーム・リテラシーも同様に、Zagal (2008) は「ゲームをプレイするための能力」「ゲームの意味を理解するための能力」「ゲームを作るための能力」と定義している。Burn (2009) もイギリスの2校の中学校で実践した研究プロジェクト「Making Games」(2002～2006)をもとに、ゲーム・リテラシーについて「ゲームを作る能力」が含まれると示唆している。

一方で日本では坂本 (2006)、馬場 (2008)、松木&松原 (2010) が論じたように、ゲーム・リテラシーは「デジタルゲームとの付き合い方」として受容されてきた。しかし、今後はプログラミング教育の進展と共に、我が国においても消費者視点だけでなく、制作者視点での議論が補完されていくと考えられる。

こうした中、本校で論じた「学習者がベースとなるストーリーをもとに、分岐型ストーリーへと再構築していく」演習は、日本におけるゲーム・リテラシー教育の補完にもつながる。本演習の発展・研鑽を通して、ゲーム・リテラシー教育全般の可能性についても考察していきたい。

注

- (i) 他にビジュアルノベルゲーム、サウンドノベルなどのジャンル名があるが、本稿ではノベルゲームで統一する。
- (ii) 東京国際工科専門職大学の2021年度デジタルエンタテインメント学科科目「ゲームプログラム構成論Ⅰ」においても、一年生向けに「吉里吉里」を用いたノベルゲームの制作演習が実施されている。
- (iii) ノベルゲーム要素を組み込んだソーシャルゲームの例として、『Fate/Grand Order』(2015 スマートフォン)がある。本作はノベルゲーム『Fate/stay night』(2004 PC)の世界観をベースとしており、『Fate/stay night』と同じく、選択肢によるストーリー分岐という構造をそなえている。
- (iv) 詳細は参考文献に挙げた竹田 (2015) を参照。
- (v) 米研究公正局が研究倫理教育用途で開発したシリアスゲーム『THE LAB』(2015 PC)では、一般的なノベルゲームが分岐内のストーリーを文章で表現しているのに対して、実写映像によって表現している。そのため広義の意味でノベルゲームとみなせる。
- (vi) 引用した江 (2019) では、Cavallaro (2009)、Lebowitz & Klug (2011)、東 (2001)、七邊 (2006)、涼元 (2008) の定義が参照されている。
- (vii) 三幕構成については、参考文献の『Screenplay: The Foundations of Screenwriting』と共に、Wikipediaの三幕構成の内容を参照しつつ、概要をまとめた。三幕構成で用いられる用語も文献によって違いが見られるが、Wikipediaの内容に準拠した。
- (viii) 三幕構成は映画に共通して見られる構成であり、太宰治が三幕構成をもとに『走れメロス』を執筆したわけではない。ただし、物語の構成は三幕構成で綺麗に説明できる。本論では三幕構成の説明のために引用しているに過ぎない。
- (ix) このほか、小分岐にはエンディングに直結する分岐も含まれると考えられる。
- (x) NAMLE (全米メディア・リテラシー教育学会)、CML (Center for Media Literacy)、EU、ユネスコによるメディア・リテラシーに関する定義でも、読解力・考察力と共に、表現力が含まれている。

参考文献

- [1] 安田均：SFゲームへの招待 スター・デザイナー群像、ウォーロック、第3号、社会思想社

- (1987) .
- [2] 近藤功司：ゲームの殿堂／ヒーローと意外性と選択肢の軽さと、ウォーロック、8月号、社会思想社(1987) .
- [3] 塩田信之：ルパン三世ゲームブック さらば愛しきハリウッド 復刻版【資料編】、双葉社、pp.245-247 (2021) .
- [4] 江葉航：ビジュアルノベルにおける構造とそのリアリティー—ゲームデザインとゲームプレイをめぐる一、Core Ethics Vol.15、pp.35-46 (2019)
- [5] Cavallaro, Dani, Anime and the Visual Novel: Narrative Structure, Design and Play at the Crossroads of Animation and Computer Games、Mcfarland & Co Inc Pub. (2009) .
- [6] 小野憲史：海外のビジュアルノベルゲームはギミック重視～SIG-GS「世界のビジュアルノベルゲームは今。【第1回】」レポート(オンライン)、入手先 <<https://www.igda.jp/2018/08/13/8832/>> (参照 2021-08-27)
- [7] 小野憲史：世界は小さな物語を小さく語りはじめた～SIG-GS「世界のビジュアルノベルゲームは今。【第2回】」レポート(オンライン)、入手先 <<https://www.igda.jp/2018/08/13/8843/>> (参照 2021-08-27)
- [8] 東浩紀：動物化するポストモダン—オタクから見た日本社会、講談社(2001) .
- [9] 七邊信重：ゲーム産業成長の鍵としての自主制作文化、博士論文、東京工業大学(2013) .
- [10] 八尋茂樹：テレビゲーム解釈論序説 / アッサンブラージュ、現代書館、pp. 214-238 (2005) .
- [11] 塩田信之、CB's Project：街 スペシャルガイド サウンドノベルシナリオ入門、リクルート(1998) .
- [12] 涼元惣一：ノベルゲームのシナリオ作成技法 第2版、秀和システム(2009)
- [13] Josiah Lebowitz, Chris Klug: Interactive Storytelling for Video Games: A Player-Centered Approach to Creating Memorable Characters and Stories、Routledge(2011). 塩川洋介(監修)、佐藤理絵子(翻訳)、おもしろいゲームシナリオの作り方 41 の人気ゲームに学ぶ企画構成テクニック、オライリー・ジャパン(2014) .
- [14] 安田均：ゲームブックの楽しみ方—ファイティング・ファンタジー、社会思想社(1990) .
- [15] 竹田章作：現実世界からのゲーム化、日本デジタルゲーム学会 年次大会 2015 予稿集、pp. 44-47 (2015) .
- [16] 小池翔太、藤川大祐、陳卓君、鈴木織江：教員養成学部授業におけるノベルゲーム開発ツールを用いた学生自身によるアプリ教材実装の試み—小学校外国語の事例—、人工知能社会における教育に関する実践的研究、pp.47-56 (2019) .
- [17] Chris Killmas: Twine (online) <<https://twinery.org/>> (参照 2001-08-27) .
- [18] Syd Field: Screenplay: The Foundations of Screenwriting、Dell Publishing Company(1979) . 安藤紘平(翻訳)、加藤正人(翻訳)、小林美也子(翻訳)ほか、映画を書くためにあなたがしなくてはならないこと シド・フィールドの脚本術、フィルムアート社(2009) .
- [19] 金子満、長尾康：シナリオライティングの黄金則 — コンテンツを面白くする、ポーンデジタル(2008) .
- [20] 沼田やすひろ、金子満：超簡単！売れるストーリー&キャラクターの作り方、講談社(2011) .
- [21] 中橋雄：メディア・リテラシー論——ソーシャルメディア時代のメディア教育、北樹出版(2021)
- [22] Andrew Burn: Making New Media: Creative Production and Digital Literacies、Peter Lang Publishing(2009) . 奥泉 香(編集)、石田 喜美(翻訳)、田島 知之(翻訳)ほか、参加型文化の時代におけるメディア・リテラシー 言葉・映像・文化の学習、くろしお出版(2017)
- [23] Jose P. Zagal : A Framework for Games Literacy and Understanding、Futureplay 2009 Edition of Loading... Vol. 3 No. 5 (2009) .

- [24] 坂元章：家庭でのテレビゲームのルール、産経新聞、2006年12月26日
- [25] 馬場章：ゲーム学の国際動向～ゲームの面白さを求めて～、映像情報メディア学会誌、Vol.60、No.4、pp.491-494 (2006) .
- [26] 松木裕作、松原仁：ゲームリテラシーの概念の分析と新しい視点の提案、日本デジタルゲーム学会 2010年大会予稿集、pp.14-18 (2010) .

小野憲史 東京国際工科専門職大学 工科学部 デジタルエンタテインメント学科 講師

【総 説】

専門職大学の教育に向けた IT インフラの設計と構築

藤井竜也

Design and Construction of IT Infrastructure for Newly Established Professional University

Tatsuya Fujii

Abstract: This paper introduces the IT infrastructure of the International Professional University of Technology in Tokyo (IPUT). To start the IPUT established in April 2020, a task team carefully designed the architecture of the IT infrastructure to install the dedicated IT systems to the existing fundamental IT systems including IP communication network systems already built and shared with the other schools in the same premise. These IT systems required for both conducting the school courses and managing the operations of the professional university, are combined using various kind of servers in the school premise and cloud services on the Internet. To reduce the maintenance labor cost to run the infrastructure, cloud services on the Internet and applications are carefully compared and selected. Eventually, the significant part of the IT infrastructure, such as a learning management, social networking for information sharing, video conference for remote schooling, are constructed by major cloud services. The other part of IT systems, including file servers and AI-servers has been constructed in the school premise. The criteria of the selection depend on if these servers consume too much bandwidth of the IP networks systems or not. The servers on the premise require transmitting large size files such as video/image contents and training data for AI processing used in the school curriculum. In future, continuous improvement of the IT infrastructure is mandatory to enhance the efficiency of school and satisfaction of both students and faculty.

Keywords: School IT, IT infrastructure for education, Professional university

1. まえがき

東京国際専門職大学は 2019 年 9 月の認可を受けて 2020 年 4 月 1 日に開学した [1]。その準備として専門職大学としての教育のための情報インフラ整備を計画し、開学に前後して情報システムを構築してきた。それらのインフラ設備としての情報システムは、授業科目で直接使用される教具としての情報システムと、運用を円滑に進めるための情報システムに大別される。校舎としては同じ経営母体である日本教育財団の各種の専門学校が存

在する高層ビル [2] に同居する形となるので既存の情報システムの共用化も重要な課題であるが、専門学校とはカリキュラムが異なるのはもちろんのこと、期末試験のある大学と授業期間中に評定が行われる専門学校との授業の進めかたの基本的な違いなどから、新規に独自に構築すべき IT システムが多数になると考えられた。また、授業における出席管理や課題管理の省力化についても、専門職大学での工科学部の教育にふさわしいオンライン化の先行事例とするために積極的に導入を進めた。

本稿では、開学時に導入した授業に直接関わるサーバなどのインフラ設備の導入経緯と、授業を効率的に行うために選定したクラウドサービスを中心にその導入理由と構築内容について説明する。以下、2章では、インフラ構築に関する基本的な設計方針について説明する。3章では、学内に構築したシステム（イントラシステム）についてその目的と選定した理由を、4章では、学外のクラウドサービスを選定と活用について述べる。開学後にも順次導入しており、5章では、ここまで2年間の運用を行った結果と課題について述べる。

2. 設計方針

本学の定員は 200 名であり、4 年目の完成年度を迎えても学生定数は 800 名、教職員と定員超過分を含めても 1000 名の規模感にとどまる。従って独自の大規模な情報システムを学内に構築しても運用する人的リソースが不足することは自明であった。従って外部サービスを利用することは当然の帰結であり、これを中心に据えて不足する機能を学内に限定的に構築するように、以下のような方針で情報システムを構築した。

1. 外部クラウドサービスの最大限の活用
2. 通信ネットワークの共用化
3. 大容量データ処理に向けた学内での情報システムの実現
4. 学内基幹システムとの情報連携
5. GPU とメモリ性能を重視した PC 教室の構築
6. 学生 PC の活用

以下、それぞれについて説明する。

2.1 外部クラウドサービスの最大限の活用

最初に検討を行ったのは LMS (Learning Management System) の導入である。本学の特徴として、各科目での出席率 80% 以上と課題提出率 80% 以上が、単位取得のための前提条件となっている。従って特に正確な出席率の把握が重要な管理項目となっている。従来型の点呼による出席管理では稼働が高止まりするため、LMS の導入と学生自信により出席登録を行える機能の導入が切望された。LMS の本来機能である、授業の説明、授業資料の提示 (ダウンロード)、課題の提出管理と採点等は、導入によって必然的に利用することとなった。その他に SLACK や ZOOM などのクラウドサービスを導入しているが、これらについては 4 章で述べる。

2.2 通信ネットワークの共用化

学内の教育系ネットワークは、校舎ビルで共通的に構築されており、他の専門学校等と

共有している。学校別フロア別に L3 接続のセグメントを形成しているが原則的に校舎内で IP-Reachable な設計となっておりインターネットへの接続も可能だが、セキュリティの観点から外部インターネットから学内の教育系 LAN に向けての接続は行っていない。全学生が同時に IP 接続を使用すること、コンテンツの転送などバースト伝送的な使われ方も多いことから、教室内でのネットワーク利用は有線 LAN 接続を基本としている。

従来の校舎では有線 LAN ポートの無い教室に補完的に WiFi アクセスポイントを配置していたが、教室設備の本学利用への移行に伴い、有線 LAN のある教室についても WiFi の有線無線 LAN の同時利用が出来るようにアクセスポイントの増強を進めた。学生は常に自分のノート PC を携帯しており、それに加えてスマートフォンによる LMS へのアクセスや、ボードコンピュータのような IP 接続を必要とする教具教材の同時使用が授業で行われるため、学生一人に対して 2～3 の IP 接続を担保する必要があるためである。

2.3 大容量データ処理に向けた学内での情報システムの実現

本学のカリキュラムの中には、大量のデータを個人の PC や学内の PC 教室の PC 群、サーバシステムとの間で大量のデータを授受する必要がある授業が存在する。その代表的な例は、映像編集におけるビデオデータ、CG 制作における各種コンテンツのデジタルデータ、そして AI 関連の授業における学習データである。これらをクラウドに置くことは容量的には可能であるが、校舎のインターネット接続点に過大な負荷をかけることになるので、このファイルの授受には学内に専用のファイルサーバを設置した。図 1 は本校舎に増設したサーバシステム群のラックで、奥には建屋内の各校で共通のファイルサーバや IP ネットワーク機器などのインフラ装置が配置されている。



図 1 本学専用増設したサーバシステム群

2.3.1 ファイルサーバ

当初、ファイルのアクセス権限の付与方法について異なる 2 種類のファイルサーバを用意した。1つは、厳格に学生ごとにアクセス許可属性を設定して、各学生のフォルダは学生の本人と教師しかアクセスできない用にしたファイルサーバであり、他方は、授業科目

ごとにフォルダを設けて、教員と受講する学生で共有している単純な設定を行ったファイルサーバである。課題提出等では前者が、教師による大容量サンプルデータの提示には後者が適しているなど特性が異なることから、現在も授業を進めながらファイルサーバの利用形態を検討している。

2.3.2 AI サーバ

AI の授業において機械学習の理解が重要な項目であり、深層学習の学習と推論に関する演習を行うためには、高性能の GPU が必須である。後述するように学生に GPU の内蔵されたノート PC を用意することを推奨しているが、大量のデータを使って学習する課題を想定すると、ストレージ容量と AI 処理性能がともに高いサーバ構成の AI 処理システムが必要である。システム仕様としては、AI の学習・推論のアクセラレータとして世界的に最も使用され CUDA ライブラリが利用可能な NVIDIA 社製の GPU が唯一の選択肢と考え、導入決定時に最速であった V100 プロセッサ [3] を複数搭載しているサーバから選定した。その上で Anaconda、TensorFlow 等の国際的に共通的な各種の AI 処理ソフトウェアライブラリが Linux-OS 上で稼働することを必須条件とした。

2.3.3 レンダリングサーバ

本学はセキュリティのために基本的に 21 時 30 分を以て学生全員が下校する規則となっているため、PC 教室のデスクトップ PC や個人の PC を用いて長時間の計算機処理をすることが難しい。特別措置で夜に残留する方法も検討しているが、容易に長時間の計算機処理が出来るように、サーバ室で昼夜連続稼働する GPU サーバを導入した。AI サーバと同様に NVIDIA 社製の GPU を搭載することが必須条件だが、さらに CG 系のソフトウェアを動作させるために Linux ではなく、Windows10 を OS として、レイトレーシングのアクセラレータ機能を有するグラフィックボードと対応するアプリケーションを搭載できるようにしたことが前述の AI サーバとは異なる点である。

2.3.4 HCI

汎用的なサーバシステム構築のために HCI(Hyper Converged Infrastructure) システムを導入した。利用目的としては PC 教室やファイルサーバ等の管理機能をもったサーバの稼働と、授業で直接に学生に使わせる仮想マシン (VM) の作成である。前者の目的で当初から稼働しているのはライセンス管理のためのサーバ類である。最近の傾向としてソフトウェアのライセンス管理はクラウドサービスで管理される傾向にあるが、PC 教室にインストールする CG ソフトウェアは不特定の学生が使用することからライセンスサーバを学内に必要としている。Windows-PC 機からファイルサーバにアクセスする SAMBA サーバもこの HCI 上の VM として構成されている。

後者の授業目的については、3 年次以降のコンピュータ・ネットワークに関する授業科目や各種の実習や卒業研究に向けた Linux-OS の計算機リソース提供を想定している。授業では一時的に Linux-VM を多数必要とするなど、柔軟な仮想マシンの運用が必要なことから、Windows と Linux の VM を容易に立ち上げられる柔軟性を持つ HCI を選定した。

2.4 学内基幹システムとの連携

学籍簿を管理する基幹システムは、大学を運営する法人組織が他の専門学校と共有しており、本校で述べている大学固有の学習管理システムとは並立している。多数の個人情報や長期間維持する基幹システムはオンプレミス（イントラシステム）で構築されている。一方で、年度毎の短中期的な情報しか扱わない代わりに学校内外からのアクセス性が重要な情報の管理はクラウド利用が適しているためである。上述したように出席率と、授業中に出された課題の提出率を厳密に管理する必要があり、LMS に蓄積されるため、継続的にデータを転送する必要性があり、現在は人が介在してのコピー処理を行っている。効率的な課題があるが、その転記のプロセスで教員による事後チェックも行っているため、どのように情報共有を自動化するかは、今後に急いで解決すべき課題である。

2.5 GPU とメモリ性能を重視した PC 教室の構築

本学の開設にあたりサーバ系、クラウド利用系のシステム構築に並んで重要視したのはデスクトップ PC を一人一台用意した PC 教室の構築である。デジタルエンタテインメント学科におけるゲーム・プログラミング、CG における画像・ビデオの制作、情報工学科 AI 戦略コースの機械学習・深層学習の演習等では、高速な CPU と GPU を備え、主記憶容量は十分大きな PC が必要となる。PC の仕様として CPU はシングルで 8 コア以上、主記憶は映像コンテンツや AI 処理のために 64GB とした。モニターは 4K 解像度に統一し、レイトレーシングのアクセラレータ機能を備えたグラフィックカードも必須とした。図 2 は開学と同時に約 100 台の Windows10 機で構築した PC 教室の外観である。2 席の間にある小型モニターは教員の画面を分配配信して表示するためのセカンドモニターで、PC のファン音で聞き取りにくい教員の音声を再生する機能を持つ。同様な仕様の PC 教室を 3 教室分、約 300 台の PC を導入した。



図 2 PC 教室の外観

2.6 学生 PC の最大活用

本学の入学生に対しては、本学のカリキュラムを履修する上で、個人所有のノート PC を持参することが必須であると明言している。PC 教室を使わない授業でも Windows-PC のアプリケーションを使用することは多い。特に情報工学科では、Raspberry-Pi や Arduino といったボードコンピュータを使用してプログラミングを行う授業、ロボットの制御、Visual Studio Code や Google Collaboratory などを利用したプログラミングを授業中に行うためである。授業中や家に帰ってからも予習復習が出来るように学生に対してもある程度の CPU/GPU 性能を備えた PC を推奨している。特に情報工学科の AI 戦略コースとデジタルエンタテインメント学科については PC 教室での機種選考と同様な理由で NVIDIA 社製の GPU と 16GB 以上の主記憶メモリを有したノート PC を推奨しており、過半数の学生はそれ準じた PC を購入して携帯しており、常時授業に用いている。

3. 学内に構築したサーバシステムの実際

2章で説明した利用目的と要求仕様から、IT システムの機種選定を行い、順次導入してきた。ハードウェアと基本的なアプリケーションソフトウェアは構築済みであるが、今後の授業の進行に伴い、HCI で生成する Linux 仮想マシンの授業での積極的な利用など、より高度な利用の検討を進めている。

3.1 ファイルサーバ

ファイルサーバとしては、NetApp 製の FAS2000 シリーズを採用した。NAS の専業ベンダとしての実績をみて選定した。総容量は 100TB あるが、バックアップ系と 2 分しているため実効容量は 45TB である。ここに実習授業で使用した素材や制作したコンテンツを長期保管が必要なデータの蓄積を見込んで、データの安全性を第一にした構成としたが、ワークスペース用に少し利用効率を高めたストレージの増設が今後の課題である。

3.2 AI サーバ

日立製作所製の SR24000/DL1[4] を 5 台導入した。一台あたり V100-GPU を 4 台搭載して 31 テラ FLOPS の単精度浮動小数点の演算が可能であり、2 つの POWER9-CPU の計 40 コアのプロセッサ上で Ubuntu-Linux が動作してデータ処理を行う。外観を図 3 に主な仕様を表 1 に示す。専門職大学では 1 つの授業は最大 40 名なので、授業時間内であれば 1 つの V100-GPU を 2 名で利用することが出来るが、完成年度に向けて学生が増えたときの増強は今後の課題である。



図3 AIサーバSR24000/DL1

表1 AIサーバ諸元 (SR24000、5台構成)

構成品	デバイス名称	数量	記憶域総容量
GPU	NVIDIA V100	4GPU x5	320GB
CPU	IBM POWER9	2CPU (計 40 コア) x5	2560GB
Storage	SSD	4TB ドライブ x5	19.2TByte

3.3 レンダリングサーバ

機種選定では、レイトレーシング処理の高速アクセラレータ機能を備える NVIDIA 社製の RTX シリーズの GPU を搭載した Windows10 系の PC サーバであることが必須条件であったが、Zeon プロセッサによるマルチ CPU 対応や、Quadro シリーズを用いた高階調処理は必要としないという判断から、Core 系の Intel 製 CPU と GeForce 系の GPU を用いて廉価なデスクトップ用のマザーボードを組み合わせたことでコスト面に優れるラックマウント機を選定した。その ngc 社製 ATUM 2101-GX サーバ [5] の外観を図4、主な仕様を表2に示す。



図4 ATUM2101-GX 外観

表2 レンダリングサーバ諸元 (ATUM2101-GX、5台構成)

構成品	デバイス名称	数量	記憶域総容量
GPU	NVIDIA GeForce RTX2070Super	x5	40GB
CPU/MEM	Intel Core i9 7920	12 コア x5	320GB
Storage	HDD	x5	2.5TByte

3.4 HCI (Hyper Converged Infrastructure)

システム選定においては HCI のリーダ的ベンダである Nutanix 社製 NX1000 シリーズを採用し、総 CPU 数は 6 個 (計 60 コア)、総ストレージ容量は約 40TB である。授業用に小規模な Linux-VM を各コースの定員上限である 2 クラス 80 名分の VM を生成できるように、ストレージに対して多めの CPU コア数としている。

3.5 PC 教室

PC の選定では、テーブルの足下に設置できること、2 スロットサイズのグラフィックカードを搭載できること、64GB のメモリを搭載できること等の条件から外形はミニタワー型に決まった。具体的には表 3 に示すように Lenovo 社製の PC 機を選定した。グラフィックカードはレイトレーシングの高速化機能を備えた RTX シリーズを条件として、第一期では 8bit 系の GeForce を搭載して約 100 台を導入し、第二期では 10bit の高階調輝度表現の可能な Quadro シリーズを選択して 2 教室分の約 200 台を導入した。

表 3 PC 教室のマシンスペック

構成品	第一期構築	第二期構築
モデル名	Lenovo Think Station P330	Lenovo Think Station P340
CPU	Intel Core i9-9900	Intel Core i7-10700
OS	Windows10 Pro	Windows10 Pro
SSD	1TB	1TB
主記憶メモリ	64GB	64GB
グラフィック	GeForce RTX 2070/mem8GB	Quadro RTX4000/mem8GB

4. クラウドサービスの多面的利用

本学の開校に際しては、SDGs に対応するためにも紙ベースの資料管理を可能な限り廃する方向でシステムを設計した。授業の管理、特に出欠管理等を紙書類ベースで行うと管理可能が過多となるため、出席登録を行える LMS を導入することが最初の目標となった。開学直前に始まったコロナ禍により、それまで想定していなかったオンライン授業や在宅勤務を円滑に行うために更にオンライン授業に適したクラウドサービスの利用を加速させた。

4.1 LMS (Learning Management System) の導入

インフラ構築でサーバ系の次に検討したのが LMS の導入である。本学では、履修の際の成績評価の前提として出席が 80% 以上であること、課題提出がある場合はその提出数が同じく 80% を超えていることを前提と置いている。したがって、出席管理と課題提出管理を正確かつ効率的に行うことが必須の要件になっている。また、授業の途中で欠席が増えてきた等の学生の履修態度の変化を迅速に把握することも重要になっている。そこで出席管理と課題提出管理に有効な LMS システムの導入に向けて選定作業を行った。いくつかの製品を比較検討した結果、Open LMS[6] (導入当時のサービス名は Black Board

Open LMS) を選定した。

オープンソースであり世界的に利用されている Moodle をカスタマイズして AWS 上で運用してサービス提供されているもので、学内での運用が不要であること、出席管理や課題の管理機能があり、参考文献も豊富なことから選定した。他サービスでは、想定規模（契約時の最小学生数）が大きく、本学の規模ではコストが超過になる問題や、サーバを自営で構築して運用する必要がある製品、授業の進捗管理よりも授業用コンテンツ制作に重点のある製品などであり、上述の選択となった。



図5 LMSのエントリーWebサイト

4.2 SLACK による連絡網の構築

経営体が共通で運用している学生の方簿管理とメール、掲示板を統合した学生ポータルと称する Web システムが存在するが、より多くの情報を学生に提示して、相互的な連絡も出来るように SNS の導入を進めた。特に、学外からのアクセス性の良さと、最終的には 1000 人程度の学生と教職員が使用する観点から、クラウドサービスの導入することを当初から決めており、SLACK を採用した。これまでも多くの運用実績があり、実務家教員が様々な前職においても最も使われており、経験者の評判が良かったことが採択の理由である。開学以来、全ての学生告知、授業に関する諸処の連絡、学生からの問い合わせは、SLACK に集約されており、e-Mail による連絡は極めて限定的になっている。ただし SLACK の特性上、つまり掲載したのが順次見えにくくなること、ファイル容量に制限があることから、授業テキストなどの長期掲載が必要なファイルや大容量のものは LMS に提示するようにルール化している。

4.3 Zoom の導入

2020 年 1 月頃から顕在化してきたコロナ禍は、本学の開学時の授業運営にも多大な影響をもたらした。入学式やオリエンテーションの実施をオンラインで行うことが開学直前に決まり、TV 会議システムのいずれかを選定する必要があった。当時、ZOOM[7] 社は教育機関向けに参加人数と持続時間の制限を緩和した無料アカウントを提供したことが非常

に有益だった。授業やウェビナーにおける設定項目の豊富さや、テキスト類などの静止画像を画面共有したときの画質、クラウド上で録画できるビデオデータの圧縮効率の高さの観点では、他サービスより勝っており、これまでの2年間と、当面の授業の実施において必要不可欠なサービスとなっている。オンライン授業では SLACK 上に科目毎のチャンネルを設け、そこに会議 ID とパスワードを教員が入れることで授業が開始し、LMS にアクセスして教材と出欠管理にアクセスするという手順が早期に確立して現在に至っている。

4.4 学生向けクラウドアプリケーション

Microsoft 365[8] と Adobe Creative Cloud[9] の教育機関向け製品を採用して、両社のアカウントを全学生に配布して利用している。主な目的は Microsoft Office や Adobe 社のコンテンツ制作ツールのデスクトップアプリケーションのインストール利用だが、毎日携帯しているノート PC のユーザ領域のバックアップとして OneDrive 等の付帯ストレージサービスを用いている学生も多い。ただし、クラウドサービスの部分利用ではオンラインストレージ利用が専らで、Teams などコラボレーション系のアプリケーション利用の検討が進んでいない。映像系の配信は ZOOM の利用意向が教員側に非常に強く、Teams には移行し難いことが大きな理由となっている。

5. 課題

開学以来2年が経過して当初に予定していた IT インフラ設備の構築は完了した。各種のシステムやクラウドサービスを独立して選定して構築を進めてきたため、データ流通などの点で課題が明確になってきたので、今後はデータ連携のための細かなシステムの改良が必要になる段階に入ったと考えている。現在までに認識されている課題やその解決について以下に説明する。

5.1 コロナ対策としてのオンライン化

開学時からの最大の関心事はコロナ対策をしながらの授業運営であった。当初は教職員・学生ともに不慣れで準備期間も必要なことから、以下のように漸進的にオンライン化を進め学生の困惑をできる限り軽減するように留意した。

1. オンデマンド配信でいつでも時間を自由に選んで授業を聴講、ただし一方向。
2. 講義は一方向のままリアルタイム化、質問しやすいように後付けでミーティングモードによるインタラクティブな Q & A を実施
3. ミーティングモードでのリアルタイム・インタラクティブ授業

2020年4月から開始して6月の中旬には第3段階の通常のインタラクティブ授業に到達、前期の授業を期間内に終わらせることができた。

今後も当面はオンライン授業を全廃することはできないと考えている。入学直後の学生に対して、SLACK を活用した学事・授業に関する情報入手を行い、ZOOM 授業への参加に対応することを求めるので、入学オリエンテーションでの IT リテラシの教育が非常に重要になってくる。一般的に高校生のうちスマホによる IT サービスの利用には十分ななれているが、PC 特にキーボードを使っての細かな操作に対して不慣れな学生が無視で

きないので注意が必要である。

5.2 学生への情報伝達

情報伝達は SLACK に集約して情報伝達ルートを簡素化したのは効果的だったが、掲示板に相当する一定期間掲げておきたい情報をオンラインで固定しておく手段に欠けている。期限がしばらく後のイベント告知を見ているながらも期日の近くでは忘れていた場合が見受けられる。授業の課題は LMS から期限のアラートを飛ばすことが可能だが、授業外の届出書類の締め切りといったイベントでは提出忘れが生じ易い。現在は SLACK 上に再投稿することで対処しているが、デジタルサイネージなど情報提示を固定化できる手段を早急に追加する必要がある。

5.3 IP ネットワークの容量問題。

本校舎では、各学校のオンライン化によって IP 通信トラフィックの輻輳が常態化している。各学校の教員が郊外に向けてビデオストリームを送信している他に、学内のネットワーク接続環境を当てにして学内で受講する学生も少なくないので、入りも出も両方向とも混雑している。学内のサーバ活用のために校舎内の基幹 LAN は 10GbE 化が完了しているが、YouTube などを教材として利用する授業など、インターネット接続が前提の授業が増えるためこの増速は緊急の課題となっている。

5.4 データ連携

構築時に想定外だったものとして、LMS に蓄積された出欠データ等のハンドリングに手間がかかることがある。クラウド内の SQL 処理で所望のデータを抽出できるはずだが安定性に欠ける傾向があるので、全データをダウンロードしてからローカル処置が必要なデータを抽出する運用を行っている。そのデータを整形して学内の基幹システムに投入するのに稼働がかかっている。学生の授業参加での変調を早期に知るためには即時性が重要なデータなので、基幹システム投入の迅速化と、投入後のチェックが簡易にできるインタフェースの重要性を認識した。

5.5 ID 連携

学生には、学内の IT インフラの ID（メールアドレス）をベースに、各種のクラウドサービスを使っているが、パスワードの管理は別々になる。パスワードを忘れた、別のサービスのパスワードを入れていた等のトラブルが非常に発生しやすい。シングルサインオン導入できれば解消するが、クラウド利用もマルチベンダなので導入は容易ではない。当面は学生への教育を充実させる方向で対処する。

6. まとめ

本稿では、全学共通で使用する IT インフラについて説明した。構築は完了し運用の効率化を進めているところであるが、今後の改良のための課題も見えてきた。限られた教職員の人員で運営していくためにもデータ連携は重要である。2023 年 4 月までは 1

学年ずつ学生が増加し、最終的には現在の2倍の学生数となるため、あらたに顕在する課題が現れることも容易に想定できるが、逐次対処して改良を進めていきたい。

本学内にはこの他に個別の授業で必要な特定用途向けの教室設備を導入している、例えば、映像編集システム、Motional Capture/Facial Capture システム、様々な形態の産業用ロボットなどがある。これらについては関連科目の実施後の担当教員からの報告を期待している。

謝辞：

開学までのITインフラ設計では、各種のサーバ、クラウドサービスの選定で助言と協力をいただいた大関和夫教授、渡部健司教授、斎藤直宏教授、二村忍教授、山本浩司准教授に感謝いたします。またその後のITインフラの運用に日頃尽力されている専任教員の皆様にも感謝いたします。

参考文献

- [1] ニュースリリース、「2020年4月開学決定・願書受付開始のお知らせ」2019/09/17
<https://www.iput.ac.jp/tokyo/topics/21337>
- [2] 丹下都市建築設計、「モード学園コクーンタワー」
<https://www.tangeweb.com/project/modegakuen/>
- [3] nVidia、V100 プロセッサ <https://www.nvidia.com/ja-jp/data-center/v100/>
- [4] 日立製作所スーパーテクニカルサーバ SR24000/DL1
https://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/hpc/SR_series/sr24000/index.html
- [5] ngc、レンダリングサーバ <https://www.ngc.co.jp/atum/>
- [6] アシストマイクロ、OpenLMS <https://www.assistmicro.co.jp/service/openlms>
- [7] ZOOM、<https://zoom.us/>
- [8] 教育機関向け Microsoft365
<https://www.microsoft.com/ja-jp/education/Products/microsoft-365>
- [9] 教育機関向け Adobe Creative Studio
<https://www.adobe.com/jp/education.html?marketSegment=EDU>

藤井竜也 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授

【調査報告】

専門職大学・専門職短期大学の 設置認可申請における 審査意見に関する考察

斎藤亜希

Consideration on Examination Opinions in Application for Approval to Establish a Professional University and Professional University Junior College

Aki Saito

Abstract: Beginning in 2019, professional universities and professional junior colleges were created for the first time in 55 years. However, professional universities are not widespread due to the suggested high standards of examination. Therefore, this study attempts to clarify the criteria for the establishment of universities by using the review opinions disclosed by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The study found that professional universities approved in the first year of the system did not receive any “warning”. On the other hand, all applications that were approved after the second year of the system received “warning”. The first year's standards were so high that the next year's standards may have been set low. In addition, we examined the academic discipline of the university and the background of the corporation. The results suggested that medical university applications were more challenging. And the corporation operating the university was found to be more likely to be approved. In the future, we would like to conduct research that goes into the content of the review opinions disclosed by the MEXT.

Keywords: Professional University, University Establishment Standards, MEXT

1. 背景・目的

人生100年時代に向け、より実践的な職業教育を行う新たな高等教育機関として2019年より55年ぶりとなる専門職大学・専門職短期大学等が創設された。制度開始初年度は短期大学と学科まで合わせ17校の申請があったが、延長審議を経た学校を含めても3校のみの認可に留まった。そのため、文部科学省や大学設置・学校法人審議会のコメント[1]やニュースや新聞記事をみれば、設置計画が不十分であるという申請側の準備不足が指摘され、さらにはたった2ヶ月しか準備期間を用意することができなかった文部科学省側を指摘する意見も並ぶが[2],[3],[4]、審議の具体的内容まで深く考察・分析した報告はなさ

れてはいない。そもそも専門職大学・専門職短期大学自体が新しい制度であるため、専門職大学にフォーカスを当てた先行研究は、例えば石井氏（2020）[5]等があるが、専門職大学における教育効果や教員構成の変化を理論的に明らかにする研究であり、大学設置認可における審査意見に着眼点を持った研究報告ではない。国外においても同様に、例えば Epple and Romano（1988）[6]は公立と私立学校の競争環境の分析を行っているが、これも専門職大学や認可審査基準といった観点での研究報告はない。一方で文部科学省の対応について考察する先行研究は塩野氏（2021）[7]等によって行われているが、塩野氏は日本の行政過程の特色そのものを素材としているため、やはりこれも大学設置・学校法人審議会の審査意見に着目した報告ではない。

そこで、本研究では新設大学認可申請書類の内、認可に至る基準に達していない部分が具体的に指摘されている大学設置・学校法人審議会からの審査意見について、新たな制度専門職大学・専門職短期大学を中心に分析することによって、大学設置基準等では明文化されていない文部科学省（大学設置・学校法人審議会）が意図する設置基準を明らかにし、良質な大学設置の認可申請書の作成に寄与する事を目的とし調査を行う。

2. 方法

2019年度以降に新設大学として開学した専門職大学について、大学設置・学校法人審議会から付された審査意見を用い、審査意見の数による分析と警告有無について調査を行った。調査対象となる審査意見の資料は文部科学省高等教育局高等教育企画課大学設置室による“大学などの認可申請書類等の公表ページ（<http://www.dsecchi.mext.go.jp/index.html>）”から収集した。なお、審査意見の総数を考察するため、専門職短期大学および学科単独申請に係る審査意見は除外し全24の申請のみを取り扱った。

審査意見は審査対象となる学科ごとに付与されるが、その審査意見には通し番号の他に以下4つが付されている。

- 1 審査意見のレベル（「是正事項」か「改善事項」か）
- 2 審査意見のタイトル（意見内容を1文章に要約したようなもの）
- 3 審査意見の内容（審査意見の詳細説明文）
- 4 設置全体計画への意見（「警告」が付されているか否か）

今回の調査では（1）と（4）に着目しデータを集積した。その結果を表1に記す。なお、この表の二次とは延長審議となった学科である。

次に、申請する学校の学問分野と年度を跨いだ再申請の有無、そして申請時における法人別の高等教育機関運営有無を通学制大学・専門学校別にデータを集積した。その結果を表2に記す。なお、表1と表2のアルファベットは同一であり、延長審議となっているものを塗りつぶしている。

3. 結果

表1から、以下が示唆できると考える。

- 1) 制度1年目に認可された専門職大学は総じて「警告」が付されていないかった。よって、「警告」が付された大学は一様に認可に至らなかったのではないか。
- 2) 制度2年目以降、認可に至った申請には全て「警告」が付されているため、専門職大学の申請において「警告」が付されなかった大学はそもそも存在しないのではないか。
- 3) 制度2年目以降は「警告」が初回申請時に付されていても認可されているため、制度1年目は審査基準が厳しかったか、2年目以降審査基準が緩和されたのではないか。もしくは、申請者側が審査意見の内容を理解し短期間で申請書の修正に成功しているのではないか。
- 4) 審査意見の総数の推移だけでは一様に認可になると判断は難しいが、審査延長となるボーダーラインは是正意見が1つでも残る場合であるという前提に立つと、一次審査が終わった段階で是正意見が5つを超えて残ると延長審議に進めないのではないか。
- 5) 公立の専門職大学の申請は二次審査に進まない可能性が高いのではないか。

表1 専門職大学学科別「警告」の有無及び審査意見数

	区分	開設年度	初回申請				一次			二次		
			警告	是正	改善	合計	是正	改善	合計	是正	改善	合計
A	私立	平成31年	無	28	3	31	10	4	14	2	3	5
B	私立	平成31年	無	29	3	32	11	4	15	2	3	5
C	私立	平成31年	無	30	3	33	11	4	15	2	3	5
D	私立	平成31年	無	30	3	33	11	4	15	2	3	5
E	私立	平成31年	無	15	5	20	8	2	10	—	—	—
F	公立	令和2年	有	20	0	20	8	1	9	—	—	—
G	私立	令和2年	有	17	4	21	6	1	7	1	1	2
H	私立	令和2年	有	13	1	14	2	1	3	—	—	—
I	私立	令和2年	有	14	0	14	2	1	3	—	—	—
J	私立	令和2年	有	37	2	39	12	2	14	2	2	4
K	私立	令和2年	有	37	2	39	12	2	14	2	2	4
L	私立	令和2年	有	20	1	21	3	3	6	—	—	—
M	私立	令和2年	有	23	1	24	9	2	11	1	1	2
N	私立	令和2年	有	27	3	30	10	2	12	—	—	—
O	私立	令和2年	有	29	2	31	9	3	12	—	—	—
P	私立	令和2年	有	27	2	29	11	1	12	5	1	6
Q	私立	令和2年	有	26	2	28	11	1	12	5	1	6
R	公立	令和3年	有	19	1	20	14	2	16	—	—	—
S	私立	令和3年	有	20	0	20	7	2	9	—	—	—
T	私立	令和3年	有	28	1	29	11	5	16	—	—	—
U	私立	令和3年	有	13	0	13	7	1	8	—	—	—
V	私立	令和3年	有	27	1	28	14	4	18	—	—	—
W	私立	令和3年	有	13	0	13	7	2	9	—	—	—
X	私立	令和3年	有	17	1	18	6	1	7	1	0	1

表2からは、以下が確認できた、もしくは示唆できると考える。

- 6) 通学制の大学を持つ学校法人の申請は年度を跨いだ再申請にはなっていない。
- 7) 私学は全て専門学校を持つ学校法人の申請である。
- 8) 延長審議となった申請のうち、凡そ半数が医療系の専門職大学の申請であるから、医療系の専門職大学の申請は他の学問分野に比べて難易度が上がるのではないか。
- 9) 年度を跨いだ再申請を行った専門職大学の内、延長審議となったのは医療系の専門職大学のみであり、8)と同様、医療系の専門職大学の申請は他の学問分野に比べて難易度が上がるのではないか。

表2 専門職大学学科別学問区分、再申請の有無及び法人の高等教育機関運営有無

	区分	開設年度	医療系	再申請	通学制大学を持つ法人	専門学校を持つ法人
A	私立	平成31年				○
B	私立	平成31年				○
C	私立	平成31年				○
D	私立	平成31年				○
E	私立	平成31年	○		○	○
F	公立	令和2年				
G	私立	令和2年				○
H	私立	令和2年		○		○
I	私立	令和2年		○		○
J	私立	令和2年	○	○		○
K	私立	令和2年	○	○		○
L	私立	令和2年			○	○
M	私立	令和2年			○	○
N	私立	令和2年	○		○	○
O	私立	令和2年	○		○	○
P	私立	令和2年	○	○		○
Q	私立	令和2年	○	○		○
R	公立	令和3年				
S	私立	令和3年				○
T	私立	令和3年		○		○
U	私立	令和3年		○		○
V	私立	令和3年		○		○
W	私立	令和3年		○		○
X	私立	令和3年	○	○		○

4. 考察

専門職大学における設置認可の可能性について、文部科学省高等教育局高等教育企画課大学設置室が開示する審査意見の推移と警告の有無を用い、中身の精査に踏み込まない範

囲で考察を試みたが、取り下げとなった申請の審査意見がそもそも開示されないということ、サンプル数が少ないということ等から全ての結果において示唆にとどまった。しかし、教育・研究する予定の学問分野や、再申請の有無、そして法人の多種教育機関の運営などに調査の幅を広げた結果、今後さらなる精査は必要なものの、通学制の大学を持つ学校法人の申請は年度を跨いだ再申請にはなっていないということと、私学は全て専門学校を持つ学校法人の申請であるということが分かった。このことから、通学制の大学と通信制の大学の申請ではどのような差異があるのか、そして、専門学校を持たない学校法人による専門職大学の申請における審査の経緯は注目すべきであろう。

今回は専門職大学の審査意見のみで調査を行ってきたが、今後は専門職短期大学や専門職学部・学科に対する審査意見は勿論の事、従来の大学についても調査したいと思う。そして審査意見の内容にも踏み込んだ研究も行うことで、最終的には専門職大学と従来の大学における審査基準と審査意見の差異を分析し、行政処理における審査基準を明確にし、認可に至る新設大学、特に専門職大学・専門職短期大学の傾向を明らかにしたいと思う。

5. あとがき

筆者は3年に渡り専門職大学の設置認可申請に深く携わってきたが、専門職大学・短期大学の認可率の低さは、結局、『文部科学省（審議会）側と申請者側の認識の相違』であると考えている。申請書類は学校の規模にもよるが、総じて本当に膨大なページ数にのぼるし、多くの人や企業を巻き込んでいるため、申請する学校法人は勿論、認可する文部科学省側も、認可がされないことを端から望んでいるはずはないだろう。一方で、審査項目は文部科学省や総務省が開示する関係法令・審査基準等[8]で明記があるため最低限の理解はできるが、膨大な申請書のどの部分と合致しているのかまでは紐解くのが難しく、さらに、そこに含まれる行間を掴むことが申請者に求められていることは否めない。

極端であるしジャストアイデアでしかないが、例えば昨今東京で開催されたオリンピック競技のように、審議された内容も具体的に点数化され公表されれば、少なからず開学を目指す法人側は認識のズレを持たずに設置計画を進めることができるのではないだろうか。そうすれば10年以上前の大学設置・学校法人審議会会長のコメント[9]にもあるように、申請側だけでなく審査側も苦慮の局面が減るのではないか。もちろん、数値化することが全てではないし簡単なことではないという事は容易に想像できるが。

教育現場、特に専門職大学のさらなる発展を願い、この研究を続けていこうと思う。

参考文献

- [1] “専門職大学等の審査結果について”、文部科学省、(平成30年10月5日)、https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/daigaku/toushin/attach/1409977.htm、(参照2022年3月11日)
- [2] 西川龍一 解説委員、“「初認可1校 専門職大学と文部科学行政の行方」(時論公論)”、NHK、(2018年10月19日)、https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/daigaku/toushin/attach/1409977.htm、(参照2022年3月11日)
- [3] Between 情報サイト、“「申請17件中、認可は1校」の専門職大学—何が問題視されたのか?”、

- 株式会社進研アド、(2018年10月16日)、<http://between.shinken-ad.co.jp/univ/2018/10/senmonsyokudaigaku.html>、(参照2022年3月11日)
- [4] 日刊工業新聞、“申請の8割が取り下げ、“専門職大学”のハードルはどこ？認可は高知学園の「高知リハビリテーション専門職大学」のみ”、(2018年10月11日)、<https://newswitch.jp/p/14803>、(参照2022年3月11日)
- [5] shii, Takaharu、“専門職大学と従来の大学に関する基礎的考察 (Competition between Professional and Existing Schools, Professional –Researcher Teachers Ratio and Years of Professional Teachers)”、February 2, 2020. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3530388> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3530388>
- [6] Dennis Epple and Richard E. Romano, “Competition between Private and Public Schools, Vouchers, and Peer-Group Effects”, *The American Economic Review*, Vol. 88, No. 1, pp. 33-62 (1998)
- [7] 塩野宏、“行政法学から見た日本学士院”、*日本学士院紀要*、75巻、2号、p.81-101、(2021)
- [8] “関係法令・審査基準等”、文部科学省、(平成21年以前)、https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/ninka/hourei.htm、(参照2022年3月20日)
- [9] “11月答申の提出に当たって [大学設置・学校法人審議会会長コメント]”、文部科学省、(平成19年11月27日)、https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/daigaku/toushin/t_d20/07112914.htm、(参照2022年3月20日)

斎藤亜希 東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 助教

編 集 後 記

本学初めての紀要を発行いたします。著者の先生方にはお忙しい折、予想を超える件数の原稿が集まり、喜びにたえません。本学の紀要の特徴は、論文や研究ノートなどの通常の学術文献に加え、教育ノートや研究資料などの展開を重視し、教員の外部発信の機会を多様化していくことを目指しています。学会などの学術論文誌は伝統的な枠組みから有する価値がありますが、大学の紀要は、大学からの情報発信として学術論文と異なる範囲でその存在価値が見込まれると考えています。

今回も、論文に加え、研究ノートとして新しい研究の試みや構想が発表されています。また、教育ノートは授業での実践的な活動データの記録や報告が発表されています。また総説では開学に当たり検討してきた計算機設備やネットワーク環境などの考察が解説されています。このような著述を元に、内外の議論が活性化し、教育研究のさらなる発展や展開が進んで行くことが期待できます。

本学は専門職大学として学生は卒業まで 600 時間もの実習時間があり、この間企業からの実践的な刺激が与えられ、現在の産業に取り組む力や、将来のイノベーションを考える力が醸成されていくのが、目の当たりに体感することができるようになってきており、実習の有効性が認識され始めています。この実習に関する著述も今後増えていくことが期待されます。若者の産業に貢献する力や意欲を向上させることは、東京国際工科専門職大学の目指すところではありますが、本学紀要が、このような観点を重視した上で、学会論文誌とは異なる自由な形で情報発信を続けることで、其の目的が少しずつ今後も実現されて行くことを祈念しております。

編集委員 大関和夫

著作権について：

本紀要に掲載する著作物の著作権は、各著者に帰属します。ご利用にあたっては、著作権法を遵守して行って下さい。

『東京国際工科専門職大学紀要』規定

(名称及び発行)

第1条 東京国際工科専門職大学紀要と称し、英語名を Bulletin of International Professional University of Technology in Tokyo とする。

(委員会の設置)

第2条 東京国際工科専門職大学は紀要を発行するため紀要委員会（以下「委員会」という）を設置する。

2 委員会は編集委員長および編集委員若干名から構成される。

(投稿者・分野)

第3条 投稿者は東京国際工科専門職大学の常勤あるいは非常勤の教員、助手、ティーチングアシスタント、その他学部長が認めた者とし、分野は各研究分野を主たる対象とする。共著者は他の研究機関等に所属する者も可能とする。

2 投稿された原稿の分類は、論文、総説、研究ノート、調査報告、研究資料等とする。

(執筆要項)

第4条 投稿は、別に定める執筆要項に基づかなければならない。

(査読及び採録)

第5条 投稿された原稿は、論文については原則的に査読を受ける。この結果を踏まえて委員会は、全ての原稿の採録可否の決定及び編集を行う。

2 査読の方法は別に定める。

3 査読者は1名以上とする。

(投稿原稿について)

第6条 投稿する論文原稿は、未発表のものに限り、他の学術誌等にすでに掲載されたもの、または投稿中のものと同一あるいは類似した内容の原稿は掲載できない。ただし、総説、研究ノート、調査報告、研究資料等はこの限りではない。また、学会等での口頭発表の原稿に加筆修正を加えたものはその旨を記載しなければならない。

2 一度提出した原稿は、発行までの過程において、大幅に変更することはできない。

(発行及び公開)

第7条 発行は原則として年に1回とする。

2 公開は紙媒体や電子媒体とする。

(著作権等)

第8条 原稿の著作権は、投稿者（著者）に帰属する。他誌などにその全部または一部を使用する場合には、出典が本紀要であることを明記する。

- 2 前項のうち複製権、公衆送信権については、東京国際工科専門職大学に帰属する。
- 3 第三者の有する知的所有権については、投稿者の責任において、著者・発行者等の知的所有権者と交渉して当該問題を処理し、各種権利処理の状況を編集委員会に報告する。

付 則

この規定は、令和3年4月1日より施行する。

『東京国際工科専門職大学紀要』執筆要項

原稿の長さ

1. 原稿の長さは原則として以下の範囲内とする。なお、文字数には要約、注、参考文献、図表等を含める。制限字数を大幅に超えたものは受理しない場合がある。
 - ・ 論文、総説：20 ページ以内
 - ・ 研究ノート：20 ページ以内
 - ・ 調査報告：15 ページ以内
 - ・ 研究資料：15 ページ以内

要約とキーワード

1. 論文には英文要約（原則 300 語以内）とキーワード（原則日本語または英語 3～5 語程度）を置く。

書式

1. 執筆原稿は日本語または英語とする。
2. ファイルを提出する形式は原則として pdf とする。
3. 原稿は A4 版、1 頁全角文字の場合 40 字×40 行とした 1,600 字が最大となる、横書きを原則とする。
4. 論文は表題（日本語と英語）、英文要約、キーワード、本文、注、参考文献の順とする。論文以外の原稿は表題、本文、注、参考文献の順とする。
5. 図表は原稿の該当箇所にあらかじめ挿入しておく。図は下にキャプションを付ける。表は上にキャプションをつける。
6. フォントおよびフォントサイズは下記の通りとする。
7. 句読点は、和文は、「、」「。」、英文は、「,」「.」とする。

	表題	著者名	要約と キーワード	本文	注と 参考文献
和文	和文： ゴシック 18pt 英文： Times 14pt	和文： 明朝 14pt 英文： Times 12pt	和文： 明朝 10.5pt 英文： Times 10.5pt	明朝 10pt	明朝 9pt
英文	ゴシック 18pt	Times 14pt	Times 12pt	Times 10pt	Times 10pt

投稿方法

1. 投稿の締め切りは原則として毎年 5 月末とする。
2. 依頼原稿を除き、ファーストオーサーは投稿資格を有する者に限られる。
3. 投稿者は、紀要委員会が配布する投稿申込書に必要事項を記入し、原稿と併せて提出する。
4. 投稿申込書および原稿の投稿は原則として pdf 形式での提出とする。

5. 文章はわかりやすく書くこととする。例えば、専門用語、略語などは、詳しい説明を付する。

校正

1. 校正は原則として2回までとし、著者が責任をもって行うものとする。
2. 査読の結果、論文の修正・再提出がある場合、執筆者は指定の期日までに修正箇所を明記する形で論文を再提出する。
3. 原稿が発行過程で著しく遅延した場合、次号への投稿扱いとする。

著作権

1. 第三者の有する知的所有権については、投稿者の責任において、著者・発行者等の知的所有権者と交渉して当該問題を処理し、各種権利処理の状況を編集委員会に報告する。
2. 複製権、公衆送信権については、東京国際工科専門職大学に帰属する。

執筆者一覧

吉川弘之	東京国際工科専門職大学	学長	
上條浩一	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
大関和夫	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
鈴木雅実	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
斎藤亜希	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
爰川知宏	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
辻野雅之	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
武本充治	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
山本 裕	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
藤井竜也	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
水上憲明	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
山口直彦	東京国際工科専門職大学	工科学部	情報工学科
斎藤直宏	東京国際工科専門職大学	工科学部	デジタルエンタテインメント学科
浅野耕一郎	東京国際工科専門職大学	工科学部	デジタルエンタテインメント学科
小野憲史	東京国際工科専門職大学	工科学部	デジタルエンタテインメント学科

編集委員

大関 和夫
武本 充治
水上 憲明
水上 恵太
山根 信二
三宅 茂樹
鈴木 雅実
中村 夏美

東京国際工科専門職大学 紀要 第1号

2022年3月31日 発行

発行 東京国際工科専門職大学
東京都新宿区西新宿 1-7-3
電話 03-3344-5555 (代表)

編集 日本アスペクトコア株式会社
東京都港区赤坂 4-9-9