



CIEC

# 春季カンファレンス論文集 Vol.15

Proceedings of the CIEC Spring Conference2024

開催日：2024年3月9日（土）

会場：東京理科大学 森戸記念館

CIEC（コンピュータ利用教育学会）

## CONTENTS

◎論文発表・ショートペーパー発表・U-18 発表プログラム	4
◎速報論文（査読あり）	
第二言語学習におけるスピーキング不安を軽減するスピーキング練習支援システムの構築	9
東京工業大学大学院 徳竹圭太郎 公立ほこだて未来大学システム情報科学部 坂部和音 秀明大学 佐久間大	
日本語学習における AI 機械翻訳の活用方法	15
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 寺門芽衣 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行	
子どもの学びとサードプレイスを目指したオンラインプログラムの考察	22
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 鈴木あこ 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 柿沼千尋 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行	
中学校技術・家庭科（技術分野）における生徒の生成 AI の活用	28
筑波大学附属中学校技術・家庭科 多田義男 放送大学情報コース 辰己丈夫 聖心女子大学現代教養学部教育学科 益川弘如	
高校生の自力解決型プログラミング学習における生成 AI に対するフィードバック要求プロンプトの分類と適用	35
秀明大学学校教師学部初等コース 齋藤舞桜 東京工業大学大学院博士課程 徳竹圭太郎 秀明大学学校教師部 佐久間大	
WordNet 収録データの可視化による語彙学習サービスに向けた語彙関係表示システムの開発	41
室蘭工業大学大学院工学研究科/公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科 小野真嗣 公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科 曾我聡起 名古屋大学大学院工学研究科 菊地真人 北海道大学情報基盤センター 田邊鉄	
◎資料（査読あり）	
中高連携を目指した中学校技術科における教科書の用語調査 - D 情報の技術分野に関する抽出 -	47
東大寺学園中学校・高等学校 吉田拓也	
美術科における 3D プリンタの活用にもつた立体作品の制作とその材料に関する考察	51
山形大学学術研究院 臼井昭子 東京学芸大学大学院教育学研究科 登本洋子 秋田大学大学院教育学研究科 長瀬達也 山形大学 大学院 理工学研究科 渡邊洋輔 山形大学大学院理工学研究科 古川英光	
Tag-ISM 法を用いた問題集の特徴分析	56
秀明大学/東京工業大学 佐久間大 早稲田大学政治学研究科 金高右京 東京工業大学 徳竹圭太郎	
◎ショートペーパー（査読なし）	
学級状態に応じた ICT 利活用の授業実践 -児童の心的変容に着目して-	63
帝京平成大学人文社会学部 齊藤勝 創価大学大学院教職研究科 村上剛志 江戸川区立葛西小学校 岡村安浩	
スマートフォンで開発する全円周 360 度 VR 画像によるバーチャルツアーの試み	65
福島工業高等専門学校 布施雅彦	

電子メディア環境における文章読解に関する諸課題.....	69
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行	
◎U-18 (査読なし)	
安価で軽量な超小型ドローンの自動障害物回避システムの開発	
- Python を活用した機械学習に基づく自動障害物回避システム - .....	74
早稲田大学高等学院 黒木勇人	
Raspberry Pi を用いた自作スーパーコンピュータによる熱伝導シミュレーションの開発.....	76
奈良県立奈良北高等学校 亀田樹生・伊藤大和・谷明希翔・安西徳将	
「日本の半導体の未来は高校生に任せろ！」 - オープンソースを採用した拡張性の高いCPUを作ってみた - ....	78
奈良県立奈良北高等学校 前田梨緒・木村倭斗・木村優佑・中田光紀	
数学に関する質問文分類プログラムの比較検証 - TF-IDF を用いた文章のベクトル化と機械学習の実装 - .....	80
早稲田大学高等学院 岡田浩毅	
レゴブロックでロボットを作る - 孤独をなくす, サポートするロボット - .....	82
奈良県立奈良北高等学校 三輪祐聡・村上大心・長田康汰・堀井将虎	
暑さ指数の一般的気象要素に基づく予測モデルの作成と考察.....	84
早稲田大学高等学院 坂本俊一朗	
VR を用いたオンライン授業環境の構築とその効果に関する検討 .....	86
東洋大学附属牛久高等学校 花嶋俊亮・御園彩生・松崎瞬・橋本光太朗	
測位衛星を用いた黄砂検知 - 遅延量から黄砂を割り出す - .....	88
奈良県立奈良北高等学校 宇原清真・江崎陸央・若松将真	
胸部X線画像における側弯症の有無の自動判別を行う深層学習モデルの作成と比較 .....	90
奈良県立奈良北高等学校 和田千寿・北尾慧真生	
長崎県のおごみの状況と海岸漂着分布特徴.....	92
長崎県立長崎南高等学校 菅智哉・山崎環大・山口夏輝・古谷颯之介	
対面会議におけるツール統合システムの開発.....	94
東洋大学附属牛久高等学校 吉田陽光	
System Verilog を用いた RISC-V プロセッサの作成 .....	96
早稲田大学高等学院 竹本伊織	
・ CIEC 研究委員会 .....	98

## プログラム第1フォーラム（一般・ショートペーパー）

Zoom開始、接続テスト（ 9:30～9:50 ）

開会式  
開会挨拶、諸連絡（ 9:50～10:00 ）

筒井	ショートペーパーセッション	頁
シ 洋 ヨ ー （ ト 筒 井 ペ ー ラ ー ニ セ ン ツ グ シ ョ ウ ン b 座 合 同 会 社）	<p>■ショートペーパー（10:00～10:15） 電子メディア環境における文章読解に関する諸課題 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行</p>	69
	<p>■ショートペーパー（10:15～10:30） スマートフォンで開発する全円周360度VR画像によるバーチャルツアーの試み 福島工業高等専門学校 布施雅彦</p>	65
	<p>■ショートペーパー（10:30～10:45） 学級状態に応じたICT利活用の授業実践 -児童の心的変容に着目して- 帝京平成大学人文社会学部 齊藤勝 創価大学大学院教職研究科 村上剛志 江戸川区立葛西小学校 岡村安浩</p>	63
休憩（ 10:45～11:00 ）		
一 大 般 論 文 幸 太 郎 シ ョ ン 1 大 学 座 長	一般論文セッション1	
	<p>■速報論文（11:00～11:20） 中学校技術・家庭科（技術分野）における生徒の生成AIの活用 筑波大学附属中学校技術・家庭科 多田義男 放送大学情報コース 辰巳丈夫 聖心女子大学現代教養学部教育学科 益川弘如</p>	28
	<p>■資料（11:20～11:40） 中高連携を目指した中学校技術科における教科書の用語調査 - D情報の技術分野に関する抽出 - 東大寺学園中学校・高等学校 吉田 拓也</p>	47
	<p>■資料（11:40～12:00） Tag-ISM法を用いた問題集の特徴分析 秀明大学/東京工業大学 佐久間大 早稲田大学政治学研究科 金高右京 東京工業大学 徳竹圭太郎</p>	56
昼休み（ 12:00～13:30 ）		

<b>一般論文セッション2</b>		
一般論文セッション2 菅谷克行(茨城大学)座長	<p>■速報論文 (13:30~13:50)</p> <p>WordNet収録データの可視化による語彙学習サービスに向けた語彙関係表示システムの開発  室蘭工業大学大学院工学研究科/公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科 小野真嗣  公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科 曾我聡起  名古屋大学大学院工学研究科 菊地真人  北海道大学情報基盤センター 田邊鉄</p>	41
	<p>■速報論文 (13:50~14:10)</p> <p>日本語学習におけるAI機械翻訳の活用方法  茨城大学人文社会科学部現代社会学科 寺門芽衣  茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行</p>	15
	<p>■速報論文 (14:10~14:30)</p> <p>第二言語学習におけるスピーキング不安を軽減するスピーキング練習支援システムの構築  東京工業大学大学院 徳竹圭太郎  公立はこだて未来大学システム情報科学部 坂部和音  秀明大学 佐久間大</p>	9
休憩 ( 14:30~14:45 )		
<b>一般論文セッション3</b>		
一般論文セッション3 森夏節(酪農学園大学)座長	<p>■速報論文 (14:45~15:05)</p> <p>高校生の自力解決型プログラミング学習における生成AIに対するフィードバック要求プロンプトの分類と適用  秀明大学学校教師学部初等コース 齋藤舞桜  東京工業大学大学院博士課程 徳竹圭太郎  秀明大学学校教師部 佐久間大</p>	35
	<p>■資料 (15:05~15:25)</p> <p>美術科における3Dプリンタの活用に向けた立体作品の制作とその材料に関する考察  山形大学学術研究院 臼井昭子  東京学芸大学大学院教育学研究科 登本洋子  秋田大学大学院教育学研究科 長瀬達也  山形大学大学院理工学研究科 渡邊洋輔  山形大学大学院理工学研究科 古川英光</p>	51
	<p>■速報論文 (15:25~15:45)</p> <p>子どもの学びとサードプレイスを目指したオンラインプログラムの考察  茨城大学人文社会科学部現代社会学科 鈴木あこ  茨城大学人文社会科学部現代社会学科 柿沼千尋  茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行</p>	22
休憩 ( 15:45~16:15 )		
閉会式 表彰、閉会挨拶 ( 16:15~16:45 )		

## 第2フォーラム（オンライン）

Zoom開始、接続テスト（ 9:30～9:50 ）

開会式  
開会挨拶、諸連絡（ 9:50～10:00 ）

U-18セッション1		頁
鈴木 セッション1 大助（北陸大学） 1座長	■U-18（10:00～10:15） 長崎県の海ごみの状況と海岸漂着分布特徴 長崎県立長崎南高等学校 菅智哉・山崎環大・山口夏輝・古谷颯之介	92
	■U-18（10:15～10:30） 測位衛星を用いた黄砂検知 - 遅延量から黄砂を割り出す - 奈良県立奈良北高等学校 宇原清真・江崎陸央・若松将真	88
	■U-18（10:30～10:45） 暑さ指数の一般的気象要素に基づく予測モデルの作成と考察 早稲田大学高等学院 坂本俊一朗	84

休憩（ 10:45～11:00 ）

U-18セッション2		頁
三浦 靖一 セッション2 徳山工業高等専門学校 2座長	■U-18（11:00～11:15） Raspberry Piを用いた自作スーパーコンピュータによる熱伝導シミュレーションの開発 奈良県立奈良北高等学校 亀田樹生・伊藤大和・谷明希翔・安西徳将	76
	■U-18（11:15～11:30） System Verilogを用いたRISC-Vプロセッサの作成 早稲田大学高等学院 竹本伊織	96
	■U-18（11:30～11:45） 「日本の半導体の未来は高校生に任せろ！」 - オープンソースを採用した拡張性の高いCPUを作ってみた - 奈良県立奈良北高等学校 前田梨緒・木村倭斗・木村優佑・中田光紀	78

昼休み（ 11:45～13:30 ）

三浦靖一郎(徳山工業高等学校専門学校)	<b>U-18セッション3</b>		
	■U-18 (13:30~13:45) 胸部X線画像における側弯症の有無の自動判別を行う深層学習モデルの作成と比較 奈良県立奈良北高等学校 和田千寿・北尾慧真生		90
	■U-18 (13:45~14:00) 安価で軽量の超小型ドローンの自動障害物回避システムの開発 - Pythonを活用した機械学習に基づく自動障害物回避システム - 早稲田大学高等学院 黒木勇人		74
	■U-18 (14:00~14:15) 数学に関する質問文分類プログラムの比較検証 - TF-IDFを用いた文章のベクトル化と機械学習の実装 - 早稲田大学高等学院 岡田浩毅		80
休憩 ( 14:15~14:30 )			
落合純シヨン(新潟経営大学)	<b>U-18セッション4</b>		
	■U-18 (14:30~14:45) VRを用いたオンライン授業環境の構築とその効果に関する検討 東洋大学附属牛久高等学校 花嶋俊亮・御園彩生・松崎瞬・橋本光太郎		86
	■U-18 (14:45~15:00) 対面会議におけるツール統合システムの開発 東洋大学附属牛久高等学校 吉田陽光		94
	■U-18 (15:00~15:15) レゴブロックでロボットを作る - 孤独をなくす, サポートするロボット - 奈良県立奈良北高等学校 三輪祐聡・村上大心・長田康汰・堀井将虎		82
休憩(審査) ( 15:15~16:15 )			
閉会式 表彰、閉会挨拶 ( 16:15~16:45 )			

講演論文  
(査読あり)

# 第二言語学習におけるスピーキング不安を軽減する スピーキング練習支援システムの構築

Development of a Speaking Practice Support System to Reduce Speaking Anxiety  
in Second Language Learning

徳竹 圭太郎\*1・坂部 和音\*2・佐久間 大\*3  
Email: tokutake.k1128@gmail.com

\*1: 東京工業大学大学院

\*2: 公立はこだて未来大学システム情報科学部

\*3: 秀明大学

## 抄録

本研究では、中学校及び高等学校において、第二言語学習者がスピーキングに対する不安を感じることも無く、日常的に第二言語を使用したスピーキング練習が出来るシステムを開発した。開発したシステムの特徴は、生成AIによる対話の実現されていること、学習者の習得段階に応じたレベル設定を行ったこと、音声による対話機能が実装されていることの3点である。本研究で開発したシステムの有用性について検討するため、学校現場において試験的に導入し、生徒12名を対象としたアンケート調査を実施した。その結果、本研究で開発したシステムは、対人とのスピーキング練習と比べて不安を感じにくく、日常的に使用しやすいものであることが明らかになった。

©Key Words 第二言語学習, 英語学習, 大規模言語モデル, 生成AI, スピーキング不安

## 1. はじめに

文部科学省が示す中学校学習指導要領外国語編<sup>(1)</sup>及び高等学校学習指導要領外国語編<sup>(2)</sup>では、外国語によるコミュニケーション能力を、「聞くこと」・「読むこと」・「話すこと(やりとり)」・「話すこと(発表)」・「書くこと」の5領域に分けて記述している。特に、「話すこと(やりとり)」については、新たに追加された内容であり、グローバル化が進展する現代社会において、中学校及び高等学校の授業では学習者のスピーキング能力を向上させることが求められている。

一方、文部科学省は平成29年度英語力調査結果の概要において、中学校3年生と高校3年生を対象とした調査において、スピーキング能力が伸び悩んでいることを報告している<sup>(3)</sup>。

Woodrow (2006) は、第二言語に対する不安が、第二言語としての英語を話す学習者のパフォーマンスを低下させることを明らかにしている<sup>(4)</sup>。また、Tsiplakidesほか(2009)は、周囲の学習者からの否定的評価の恐れや、スピーキング能力の低さの認識が、学習者の英語の発話を阻害していることを報告している<sup>(5)</sup>。

このことから、学習者の第二言語のスピーキング能力を向上させるためには、発話に関する学習者の不安や抵抗感を軽減するための取り組みが必要であると考えられる。

中村(1983)は、第二言語に対する不安や自身の能力の認識の変化といった、学習者の内面的な変化は、学習者が自ら努力したことにおいて成功し、それに対する成就感や喜びを感じ、自信を深めることが必要であるとしている<sup>(6)</sup>。

しかし、日常的に英語を使用して会話する機会が少

ないEnglish as a Foreign Language環境(以下、EFL環境)において、英語を使用して意思疎通が出来たという成功体験や、即興でやり取りする機会を得ることが困難である。

こうした問題を解消するため、インターネットを用いたコミュニケーションであるComputer Mediated Communicationの分野での研究が行われている。小林(2021)は、ビデオ通話を活用したスピーキング練習において、PCのカメラを切った状態で、話題を限定した会話を行わせる学習方略を取り入れることにより、学習者の英語のスピーキングに対する抵抗感が軽減されたことを報告している<sup>(7)</sup>。

しかし、上記の実践はオーストラリアの提携校と行った実験的な取り組みであり、教員が授業の一環として学習活動を設計していることから、学習者が日常的にこの方法を用いて英語のスピーキング練習を行うことは困難であると考えられる。

そこで、著者は第二言語学習者がスピーキングに対する不安を感じることも無く、ICT機器を通じて日常的に第二言語を使用した会話練習が出来るシステムを開発することには、一定の意義があると考えた。

## 2. 先行研究

### 2.1 チャットボットの利用による不安感の軽減

Fryerほか(2006)は、外国語学習の授業において、授業の時間不足や学習者の不安感などの要因がペアワークやグループワークの実施を阻害するとしており、こうした問題を解消するためにテキストベースのオンラインチャットボットを利用する取り組みを行っている。その結果、学習者はチャットボットに対する拒絶

意識は少なく、パートナーの学生や教師との会話よりも快適であると評価したことを報告している<sup>8)</sup>。

## 2.2 スピーキングに伴うリスニング力の必要性

外国語による「話すこと（やりとり）」を成立させる上では、他者の発話を聞き取り、理解するリスニング能力が必要であると考えられる。その例として、西垣ほか（2004）は、聞き取れなければ話せないとして、話す力の育成にはその基本として「聞く力の育成」が不可欠であるとしている<sup>9)</sup>。

また、JACET 教育問題研究会（1998）においても、幼児の言語の発達段階をもとに、「聞く」という技能に、「話す」、「読む」、「書く」の3つの技能が積み重なっていくとしている<sup>10)</sup>。

## 2.3 スピーキングの情報処理過程と学習効果

Levelt（1989）は、スピーキングを（1）話す内容の概念化、（2）必要な語彙の取り出し、（3）語順の整理：統語処理、（4）音声による発話の4段階に分けている<sup>11)</sup>。このことから、第二言語習得の過程において、スピーキングを行うことの本質は、新たな語彙の習得よりも、学習者がすでに有している言語知識を活用する機会を与えることにあると考える。

その例として、泉ほか（2016）は、オーストラリアへの短期留学を行った日本人大学生の第二言語習得過程に着目し、語彙などの新たな知識を増加させることよりも、既存の語彙知識の潜在知識化を進展させる効果が大きかったのではないかと考察している<sup>12)</sup>。

## 3. システムの設計

### 3.1 本研究の目的

本研究の目的は、中学校及び高等学校において、第二言語学習者がスピーキングに対する不安を感じる事無く、日常的に第二言語を使用したスピーキング練習が出来るシステムを構築することにある。これを実現するため、大規模言語モデルを用いたスピーキング練習システムを構築するとともに、学校現場に試験的

に導入し、その信頼性、有用性について検討する。

なお、本研究では第二言語の中でも中学校及び高等学校において必修科目として設定されている英語学習を対象として開発を行った。

## 3.2 本研究におけるシステムの設計要件

上記の先行研究を参考に、学習者の第二言語におけるスピーキング練習を支援するシステムの要件を以下に示す。

### <要件1>不安感の軽減のための生成AIを用いたチャットボットとの対話

対人とのスピーキングに対する不安感を軽減するため、生成AIを用いたチャットボットとの対話システムを構築する。

### <要件2>音声によるインプットとアウトプット

学習者のスピーキング能力を向上させるためには、他者の発話の聞き取り及び、学習者自身の発話が必要であると考えられる。そのため、システムへのインプット及びシステムからのアウトプットは音声で行う。

### <要件3>学習者の習得段階に応じた発話の生成

学習者の習得段階を越えた発話がシステムによって行われた場合、学習者が内容を理解出来ずに自身の発話が阻害され、既存の語彙知識の潜在知識化が促進されない可能性がある。そのため、学習者の習得段階に応じた発話の生成を行う。

上記の要件に基づき、スピーキング練習システムの構築を行った。

## 4. 開発したシステムの概観

本研究で開発した第二言語スピーキング練習システムの概観を図1に示す。また、図1には対応する設計要件及び章番号を示す。

システムはwebアプリとして実装されており、ユーザーはweb上で提供されたインターフェイスを通じてスピーキング練習を実施することが出来る。ユーザーの操作は①レベルの設定、②発話後のテキスト確認、

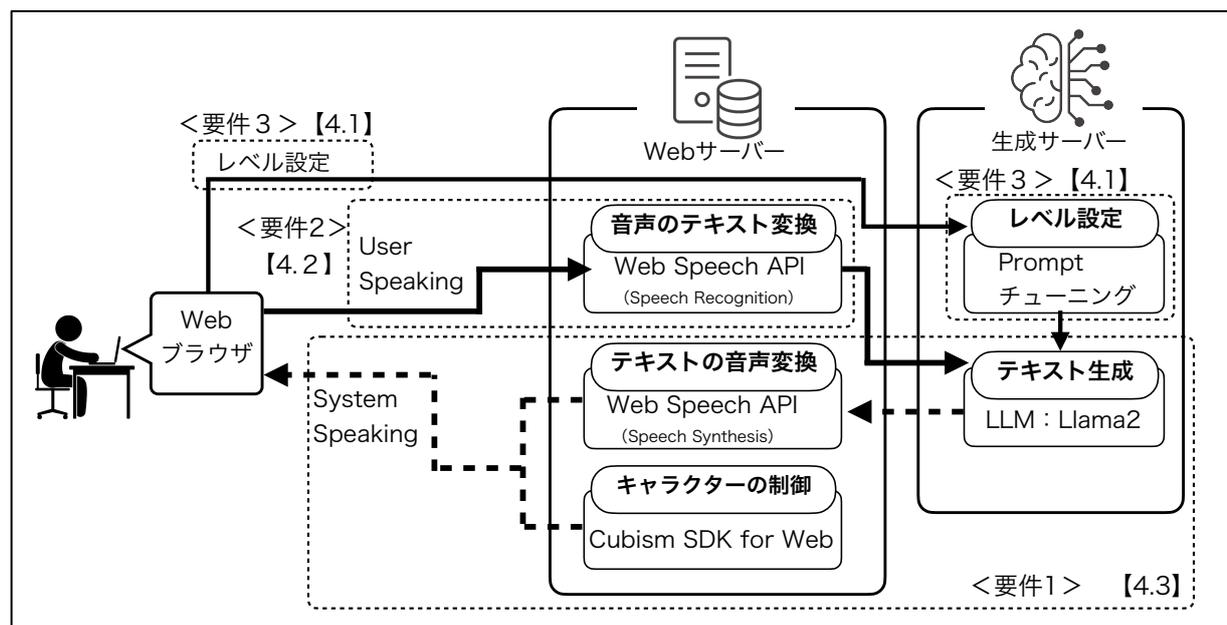


図1 本研究で開発したシステムの概観

③サーバーへのデータ送信の3点である。ユーザーに提供するシステム画面を図2に示す。

なお、文章の生成には、Meta社からオープンソースで公開されているLlama2を使用した<sup>(13)</sup>。

#### 4.1 ユーザーによるレベル設定とプロンプト設定

システムにはユーザーのレベルに応じた会話のレベル設定機能を実装した。レベルは英語での使用を想定し、高校生が受験する機会の多い実用英語技能検定(以下、英検)を設定項目として用意した。

ユーザーは学習前に図2中①の箇所を操作することで自身の取得級ないしは受験予定級を設定し、生成サーバーに送信することができる。生成サーバー側では受け取った設定レベルを会話に反映させるために、学習終了時までプロンプトとして保持する。

本研究では、英検3級、準2級、2級レベルを対象として、プロンプトの調整を行った。プロンプトには、「ユーザーが選択した英検の級」、「1会話の長さの指定」の2点を記述している。1会話の長さは、筆者らが無作為に選出した級別の英検の参考書からリスニング問題の文章を抜き出し、1文に含まれる語数の平均値を暫定的な値として設定した。

ユーザーが選択可能な会話レベルとシステムに投げられるプロンプトの対応関係を以下に示す。

<会話レベル>

- ① ユーザー選択：英検3級レベル  
プロンプト：英検3級レベルの会話  
1文の長さを12語程度に調整
- ② ユーザー選択：英検準2級レベル  
プロンプト：英検準2級レベルの会話  
1文の長さを16語程度に調整
- ③ ユーザー選択：英検2級レベル  
プロンプト：英検2級レベルの会話  
1文の長さを20語程度に調整

#### 4.2 音声によるシステムへのインプット

システムにはユーザーによる音声会話機能を実装した。ユーザーは端末のマイク機能を通して発話を行い、発話内容はシステム側にテキストデータとして送信される。音声のテキスト化は、Speech API Community Groupで提供されているWeb Speech APIの音声認識機能であるSpeech Recognitionを使用した<sup>(14)</sup>。

図2中②に示された録音ボタンを押下後に発話の入力が可能となり、再度録音ボタンを押下することで録音を停止し、webサーバー側にデータを送信してテキスト化することができる。

本研究で開発したシステムでは、マイクの精度や学習環境等により、意図しない発話内容をシステム側に送信することを防ぐため、発話をテキストに変換した後、図2中③に示されたテキストボックスに発話内容が表示され、ユーザーによる修正ができるように設計した。その後、図2中④に示された送信ボタンを押下することでテキストが生成サーバーに送信される。

#### 4.3 システムからのアウトプット

ユーザーから送信されたテキストをLlama2に渡し、返答となるテキストの生成を行う。この時、ユーザーが設定したレベルに応じて生成されたプロンプトを、ユーザーが送信したテキストと合わせてLlama2に渡すことで、常に設定したレベルでの会話が成立するように設計した。生成されたテキストは、Web Speech APIの音声合成機能であるSpeech Synthesisを用いて音声化した。

本研究で開発したスピーキング練習システムは、音声による対話を前提として設計されている。しかし、ユーザーの習得段階やシステムへの接続環境の影響を考慮し、図2中⑤に示すように、システムとの対話ログを画面上に表示できるように設計した。対話ログは表示・非表示の切り替えをユーザーが状況に応じて切

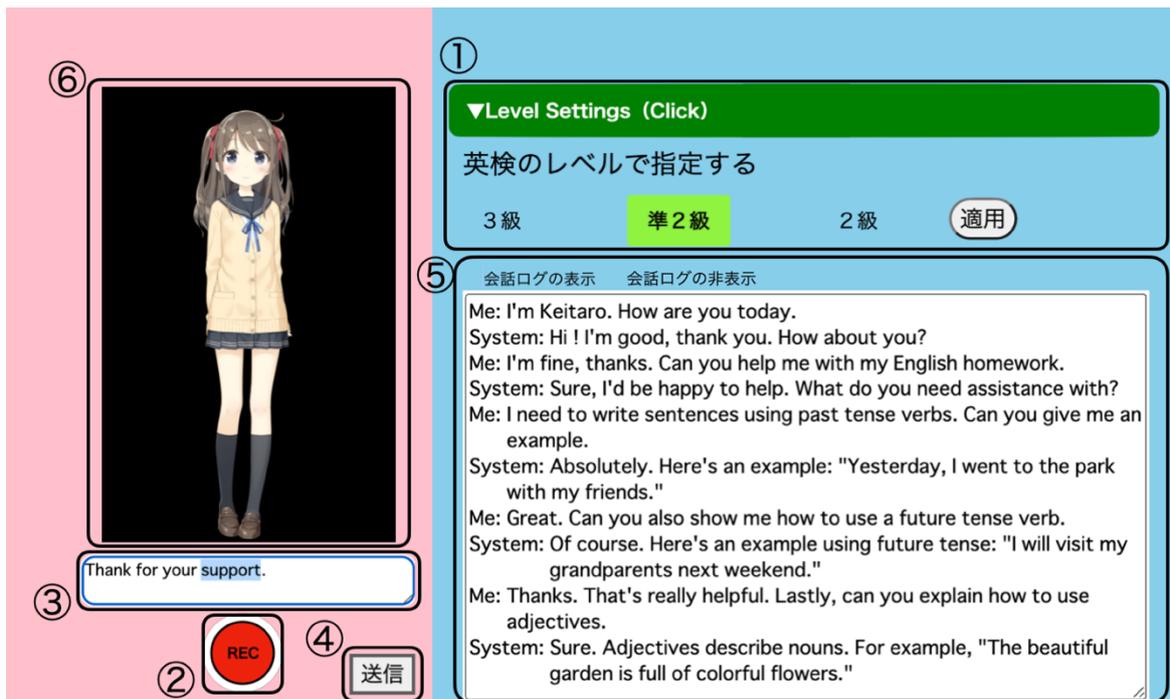


図2 システム画面の全体像

り替えることができる。

また、ユーザーにより現実的な対話環境を提供するため、図 2 中⑥に示すように、システム上に対話相手となるキャラクターを表示させた。対話相手のキャラクターは株式会社 Live2D が提供している Cubism SDK for Web を使用して複数パターンの動きを設定し、ランダムに動きながら対話するように設計した<sup>(15)</sup>。

## 5. 学校現場での試用と有用性の検証

本研究で開発したスピーキング練習システムを、茨城県にある私立高等学校において試験的に導入し、システムの信頼性及び有用性について検討した。

### 5.1 教師によるシステムの信頼性に関する評価

2023 年 10 月に、システムによって生成された文章及び発話の信頼性について、対象校の日本人英語教師 5 名及び、Assistant Language Teacher (以下、ALT) 2 名の計 7 名によるプロフェッショナル評価を実施した。

まず、システムによって生成される文章の内容が、指定の英検のレベルに沿っていることを評価した。この時、評価者の発話内容によって異なる文章が生成された場合、評価の信頼性が損なわれると考え、本研究で使用した生成 AI を用いて、レベル別に 5 文ずつ生成した文章を共通の項目として教師に提示した。

次に、生成した文章を日本人英語教師 5 名に提示し、5 件法 (1. 適切ではない～5. 適切である) で評定してもらい、その平均値を算出した。

次に、生成された文章に基づいて Speech Recognition を用いて生成した音声について、発音及びイントネーションが適切であることを評価した。発音とイントネーションは会話において独立したものではないと考え、個別の項目を用意せず、「発話」として総合的に評価してもらった。評価者の教員は上述の日本人英語教師 5 名に ALT2 名を加えた計 7 名であり、生成された音声について 5 件法 (1. 適切ではない～5. 適切である) で評定してもらい、その平均値を算出した。システムによって生成された文章及び、各文章に対する評価の平均値を表 1 に示す。

内容及び発話の評価について、表 1 を見るとすべての項目で 5 件法の中央値である 3 を上回る評価であることが分かる。また、ALT2 名を対象として、発話内容のテキスト変換に関する検証を行った結果、意図通りの入力が行えることを検証した。

このことから、本研究で設定したプロンプトに基づくレベル設定及び、Llama2 で生成した文章、生成した文章に基づく音声変換、ユーザーの発話のテキスト変換のすべての機能は、英検のレベルに基づくスピーキング練習において適切であると判断した。

### 5.2 生徒によるシステムの有用性の評価

本研究において開発したシステムの有用性を検証するため、プロフェッショナル評価後の 11 月に、対象校の中から実験協力を希望した生徒 12 名を対象として、システムを用いたスピーキング練習を実施した。事前調査として、対象生徒 12 名に対して、対人でのスピーキング練習において不安を感じるか否かを、5 件法 (1. そう思わない～5. そう思う) で回答させた。その結果、

表 1 生成された文章とその評価の平均値

レベル	文章	内容	発話
英検 3 級	1. I like playing soccer on weekends.	4	4.7
	2. My favorite food is sushi.	4	4.6
	3. I often read books before bed.	4.4	3.1
	4. This weekend, I'm going to visit my grandparents.	4.6	4.6
	5. I have a pet dog named Buddy.	4	3.3
英検 準2 級	6. This weekend, I'm going to a concert with my friends in the city.	3.8	4.1
	7. My brother is studying abroad in Australia and he loves it there.	3.2	3.3
	8. I'm thinking of learning how to bake, especially cakes and pastries.	3.2	4.1
	9. We're planning a family trip to the beach during the summer holidays.	4.4	3.3
	10. I'm saving money to buy a new laptop for college next year.	4.6	4
英検 2 級	11. I've been practicing piano for five years and recently started composing my own music.	4.4	3.4
	12. I read an article about renewable energy and it's really changed my perspective on environmental issues.	4.2	3.3
	13. Last weekend, I participated in a 10km run and managed to achieve my personal best time.	3.6	3.6
	14. I'm working on a school project about historical events that shaped our country's culture.	3.6	3.6
	15. Recently, I've started practicing meditation to help manage stress and improve my focus.	3.2	3.6

すべての生徒が 3 以上を選択しており、対象生徒は本実験の対象者として適切であると判断した。

システムを用いた実践は各生徒 5 分間で行い、使用時は生徒を個室に案内して、他者から発話内容や発音についての評価を受けないように考慮した。生徒には自身の英検の取得級を会話レベルとして設定させた。その結果、英検 3 級レベル選択者が 5 名、準 2 級レベル選択者が 5 名、2 級レベル選択者が 2 名となった。

なお、2 級選択者 1 名を除く生徒全員が、会話ログの表示をしながらスピーキング練習を実施した。

#### 5.2.1 評価方法

本研究において開発したシステムの有用性を検証するため、システムを用いたスピーキング練習を実施後に事後アンケートを行った。アンケートの項目を以下に示す。

項目 1: 不安を感じずに練習することができたか。

項目 2: 会話のレベルは適切であったか。

項目 3: AI とのスピーキング練習を継続的に利用したいと思うか。

項目 4: システムの操作は難しいと感じたか。

上記の項目について、5 件法 (1. そう思わない～5. そう思う) で回答させるとともに、それぞれの項目に関する回答理由を自由記述で記入させた。

#### 5.2.2 分析結果と考察

本研究で開発したシステムを評価するため、生徒の評定値に対して t 検定を行った。項目 1 については、事

前調査の回答値との比較を行った。この時、対人でのスピーキング練習で感じる不安が、本研究で開発したシステムの利用によって軽減されることを検証するため、事前調査の評定値は「1. そう思う～5. そう思わない」と入れ替えて比較した。

また、他の項目については、比較のための量的な評価が存在しないため、比較値を5件法の中央値である3と設定し、1標本母平均検定（対応の無いt検定）を行った。その結果を表2に示す。

### 1) スピーキング不安に関する評価

本研究で開発したシステムを用いた学習において、不安を感じることなく練習することができたかという質問項目について、事前調査の結果と事後調査の結果の間に有意な差が見られた ( $t(22)=17.96, p<.01$ )。このことから、本研究で開発したシステムは、ユーザーに不安を感じさせずにスピーキング練習を行わせる環境として適していると評価できる。

次に、本研究で開発したシステムのどういった点がスピーキング不安の軽減に繋がったのかを検討するため、生徒の自由記述の内容について見ていく。以下に生徒の自由記述の内容を示す。

<肯定的な記述>

- ・対人では顔が見えてしまい緊張するが、AI相手であれば緊張せずに自分のペースで話せる。
- ・話す準備が整うまで待ってくれるから。

<否定的な記述>

- ・人じゃないと逆に不安。目線とか合わないから。

生徒の記述内容を見ると、システムに対する肯定的な回答としては、自身のペースで会話を進められることで、不安を感じずに学習を行えたことを評価していることが分かる。これは、本研究で開発したシステムの内、生成AIを用いたこと、ユーザーによる録音・送信の操作機能を実装したことが影響を与えていると考える。

一方で、否定的な回答からは、システムに表示されたキャラクターの挙動の不自然さに不安を感じていることが分かる。そのため、今後の改善にあたっては、システムによって表現されるキャラクターの自然な挙動を実現する必要があると考える。

### 2) 会話のレベルに関する評価

本研究で開発したシステムが生成する会話のレベルの適切さに関する質問項目について、回答値と比較値の間に有意な差が見られた ( $t(22)=5.89, p<.01$ )。このことから、本研究で使用した生成AI及び、レベル別のプ

表2 開発したシステムに対する評価値 (n = 10)

質問項目		平均値	標準偏差	t値
項目1	事前平均	1.42	0.49	17.96**
	事後平均	4.67	0.62	
項目2	比較値	3	0	5.89**
	回答平均	4.33	0.75	
項目3	比較値	3	0	8.18**
	回答平均	4.58	0.64	
項目4	比較値	3	0	5.74**
	回答平均	1.5	0.87	

\*p<.05, \*\*p<.01

ロンプトは、ユーザーのレベルに適した発話内容の生成を実現していると評価できる。

次に、本研究で開発したシステムのどういった点が会話のレベルの適切さの評価に繋がったのかを検討するため、生徒の自由記述の内容について見ていく。以下に生徒の自由記述の内容を示す。

<肯定的な記述>

- ・レベルに合った分かりやすい単語だった。
- ・難しい単語ではなく文法も簡単。

<否定的な記述>

- ・会話のレベルの基準がわからない。

生徒の記述内容を見ると、システムに対する肯定的な回答としては、単語のレベルの適切さを評価していることが分かる。これは、本研究で開発したシステムの内、発話内容の生成時に設定したプロンプトの内容が影響を与えていることが分かる。

このことから、今後システムの信頼性をさらに向上させるためには、英検の級別の単語や文法、慣用句などの出現頻度を調整する必要があると考える。

一方で、否定的な記述に見られるように、ユーザー側が英検の級別の難易度を認識していない場合、適切なレベル設定になっていることを評価しにくいことが考えられる。そのため、今後の改善にあたっては、ユーザーに対してシステムが返す発話内容の質的な違いを明示した上で、レベル設定を行わせる機能を検討する必要があると考える。

### 3) システムを用いた学習の快適さに関する評価

本研究で開発したシステムを用いた学習を継続的に利用したいかという項目について、回答値と比較値の間に有意な差が見られた ( $t(22)=8.18, p<.01$ )。このことから、本研究で開発したシステムは、日常的なスピーキング練習を実現する環境として適していると評価できる。

次に、本研究で開発したシステムのどういった点が快適さの評価に繋がったのかを検討するため、生徒の自由記述の内容について見ていく。以下に生徒の自由記述の内容を示す。

<肯定的な記述>

- ・話を合わせてくれるので話しやすい。好きなトピックで学べる。

- ・聞き取れなくても文字に起こしてくれるから良い。

<否定的な記述>

- ・会話をリードしてほしい。

生徒の記述内容を見ると、システムに対する肯定的な回答としては、好きなトピックでの練習が可能なこと、文字起こしによる緊張感の緩和、間違いの修正が行われなことを評価していることが分かる。これは、本研究で開発したシステムの内、生成AIを用いたこと、会話ログを残したことが、影響を与えていると考える。

一方で、否定的な回答からは、会話の方向性をユーザー側がリードすることに負担を感じていることが分かる。これは、システムによって生成される発話の多くが、肯定文での返答されるためであると考えられる。そのため、今後の改善にあたっては、システム側から話題を提供するような会話の生成が必要であると考えられる。

#### 4) システムの操作性に関する評価

本研究で開発したシステムの操作性を評価する項目について、回答値と比較値の間に有意な差が見られた ( $t(22)=5.74, p<.01$ )。このことから、本研究で開発したシステムは、教師が不在の環境であってもユーザー自身で実施できる学習方法として適切であることが評価できる。

次に、本研究で開発したシステムのこういった点が操作性の評価に繋がったのかを検討するため、生徒の自由記述の内容について見ていく。以下に生徒の自由記述の内容を示す。

<肯定的な記述>

- ・ 操作方法がシンプルで分かりやすかった。
- ・ 文字の修正が出来るのがいい。

<改善を求める記述>

- ・ 声をもう少し人間っぽくしてほしい。
- ・ ロード画面が長い。
- ・ キャラの動きが少ない。

生徒の記述内容を見ると、システムに対する肯定的な回答としては、操作性のシンプルさ、自身の発話内容の修正が可能であることを評価していることが分かる。これは、本研究で開発したシステムのユーザーインターフェース及び、実行環境や習得段階を考慮してユーザーの操作が可能なテキストボックスを実装したことが影響を与えていると考える。

一方で、改善を求める記述からは、システムから発声された音声やキャラクターの動作について違和感を感じていることが分かる。そのため、今後の改善にあたっては、読み上げ速度の調整や音声変換を用いた自然な発話機能の実装が挙げられる。また、生成AIからのレスポンスの遅延については、webサーバー及び生成サーバーにおける処理過程の改善が挙げられる。

#### 6. まとめと今後の展望

本研究では、中学校及び高等学校において、第二言語学習者がスピーキングに対する不安を感じることも無く、日常的に第二言語を使用したスピーキング練習が出来るシステムの開発を行った。

開発したシステムの信頼性について検証するため、日本人英語教師及びALT 教員によるプロフェッショナル評価を行った。その結果、本研究で開発したシステムによって生成される内容のレベル及び発話は、英語のスピーキング練習において適切なものであることが明らかになった。

また、システムを用いた学習の有用性について検証するため、学校現場に導入して生徒を対象とした試用実験を行った。その結果、本研究で開発したシステムは、対人とのスピーキング練習に比べて不安を感じにくく、日常的に使用しやすいものであることが明らかになった。

今後の課題としては、以下の5点が挙げられる。

- ①システムの挙動をより自然なものにすること。
- ②システムからのレスポンス速度を向上させる。
- ③スピーキングに対して、より適切な表現を例示するなど、肯定的なフィードバックを検討する。

④他言語での文章、発話生成の実装と評価を行う。

⑤システムを用いた学習が、実場面でのスピーキングに与える影響について検証する。

#### 参考文献

- (1) 文部科学省：“中学校学習指導要領（平成30年度告示）解説 外国語編”，pp.5-9，文部科学省（2018）。
- (2) 文部科学省：“高等学校学習指導要領（平成30年度告示）解説 外国語編 英語編”，pp.6-11，文部科学省（2018）。
- (3) 平成29年度英語力調査結果（中学3年生・高校3年生）の概要：[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kokusai/gaikokugo/\\_icsFiles/afieldfile/2018/04/06/1403470\\_01\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/kokusai/gaikokugo/_icsFiles/afieldfile/2018/04/06/1403470_01_1.pdf)，（2023年11月14日閲覧）。
- (4) Woodrow, L.：“Anxiety and speaking English as a second language”，RELC Journal, 37, (3), pp.308-328 (2006)。
- (5) Tsiplakides, I. & Keramida, A.：“Helping students overcome foreign language speaking anxiety in the English classroom: Theoretical issues and practical recommendations”，International Education Studies, 2, (4), pp.39-44 (2009)。
- (6) 中村嘉宏：“英語の学習意欲”，pp.26-57，大修館書店（1983）。
- (7) 小林翔：“英語でのスピーキングに対する抵抗感の変化-ICTを活用した協働型国際交流に焦点をあてて-”，全国英語教育学会紀要, 32, pp.161-176 (2021)。
- (8) Fryer, L., & Carpenter, R.：“Bots as language learning tools”，Language Learning & Technology, 10, (3), pp.8-14 (2006)。
- (9) 西垣知佳子，中山博：“実践的英語コミュニケーション能力の養成のための理論と実践”，教科教育学研究, 22, pp.17-30 (2004)。
- (10) JACET 教育問題研究会：“英語科教育の基礎と実践-新しい時代の英語教員を目指して-”，pp.77-78，三修社（1998）。
- (11) Levelt, W. M. J.：“Speaking：From Intention to Articulation”，pp.8-12，The MIT Press（1989）。
- (12) 泉恵美子，門田修平：“英語スピーキング指導ハンドブック”，pp.320，大修館書店（2016）。
- (13) Introducing Llama2：<https://ai.meta.com/llama/>，（2023年11月14日閲覧）。
- (14) Speech API Community Group：<https://www.w3.org/community/speech-api/>，（2023年11月14日閲覧）。
- (15) Cubism SDK for web：<https://www.live2d.com/en/sdk/download/web/>，（2023年11月14日閲覧）。

（2023年11月30日 受付）

（2024年1月15日 採録）

# 日本語学習における AI 機械翻訳の活用方法

## How to use AI machine translation in Japanese language learning

寺門芽衣\*1・菅谷克行\*1

Email: 2011085y@vc.ibaraki.ac.jp

\*1: 茨城大学 人文社会科学部 現代社会学科

抄録

近年、機械翻訳の性能が向上し、さまざまな場面で活用されている。言語習得学習における活用も検討がなされており、例えば機械翻訳の利用が英語学習に対してポジティブな影響を与えること等の報告がある。また国内における日本語学習者数は増加傾向にあり、出身国・地域や母語・使用言語も多様である。そのため、多言語に対応した日本語学習教材や教育環境の提供・必要性が高まっている。そこで本研究では、機械翻訳の利用が日本語学習にどのような影響を与えるのかを実践を通じた調査により明らかにし、日本語学習における機械翻訳の有効な活用方法を検討・提案することを目的とした。作文・読解・聞き取りの各課題による実践調査の結果、それぞれの技能において機械翻訳を利用することにメリットがあることが示唆された。その結果から、文章を書く際には機械翻訳を利用して日本語の文章の確認や添削を行うことで正しい表現や単語等を知ることができること、機械翻訳を使えば記事や小説などの多くのコンテンツを教材として利用できるようになること、機械翻訳の音声出力機能を利用することで、発音を確認して読むだけでなく耳で聞いてより自然な発音を知ることができることを、日本語学習における AI 機械翻訳の有効な活用方法として提案した。

◎Key Words 機械翻訳, 日本語, 言語学習, AI 翻訳

### 1. はじめに

機械翻訳における翻訳性能の向上が進んでおり、特にニューラルネットワークを用いたニューラル機械翻訳の登場は翻訳性能を大きく向上させた<sup>(1)</sup>。翻訳性能の向上により、機械翻訳の活用場面も広がっており、語学教育や言語習得学習における活用方法も検討されている。例えば、安藤<sup>(2)</sup>は、機械翻訳システムの利用が学生の英語学習に非常に効果があり、学生の心理的な抵抗感をなくすこと、論理的な思考訓練にも役立つこと、思いがけない解釈が成立することを知ることができること等の利点があると報告している。また、佐良木<sup>(3)</sup>は、機械翻訳ソフトの翻訳能力が不十分だからこそ、英語の表現構造を考えるきっかけとなると報告している。さらに、学習者を辞書引きの苦行から解放することで、学習意欲が向上すると述べている。

これらの先行研究で述べられている機械翻訳はニューラル機械翻訳とは異なる仕組みのものであるが、ニューラル機械翻訳を用いた研究として、近藤ら<sup>(4)</sup>は正課英語授業に機械翻訳を導入し、作成した英文に対する学生の意識調査を行ったところ、学生は機械翻訳を活用して作成した英文を気に入る、自信をもって英文を発信できるようになったことを明らかにしている。また、一部の教育機関では、ChatGPT を使用することで自然な英語表現を身につけることができるといった理由から、ChatGPT を教育ツールとして積極的に活用しようとする動きも見られている<sup>(5)</sup>。このように、英語学習において機械翻訳を利用することにはポジティブな影響が見られている。そこで、英語学習と同様に日本語学習においても機械翻訳を利用することにポジティブな影響が見られるのではないかと考えた。

令和4年度の日本語教育機関実態調査<sup>(6)</sup>によると、日本語教育機関に在籍している学生数は 27,609 人で、

新型コロナウイルス感染症に関する水際対策の見直しや入国制限の大幅緩和により、学生数は前年よりも 13,029 人増加している。日本語教育機関に在籍していない日本語学習者を含めると数はさらに増えると考えられる。そして、出身国・地域や母語・使用言語も多様である。しかしながら、多言語に対応した日本語学習教材や教育環境は十分ではない。国際交流基金が行った日本語教育機関調査によると、日本語教育上の問題点として最も多くの機関が挙げたのは「教材不足」であり、日本語教育があまり行われていない地域では特に問題となっている<sup>(7)</sup>。

そこで本研究では、日本語学習の際に機械翻訳を利用することにどのようなメリットがあるのかを明らかにし、日本語学習の際に機械翻訳をうまく活用する方法を検討・提案することを目的とする。調査方法としては、日本語学習者に協力してもらい実践を通じた調査を行う。事前アンケートに加え、作文・読解・聞き取りの課題に取り組んでもらい、そこから集めたデータをもとに分析・考察をする。

### 2. 事前アンケート調査

実践を行う前に、調査に協力してもらい日本語学習者に事前アンケートを回答してもらった。

#### 2.1 調査方法

##### 2.1.1 調査参加者

事前アンケートの対象者は、国内の日本語学習者 17 名である。大学の留学生と現在筆者が所属しているボランティア先の社会人に協力していただいた。参加者の性別・国籍・レベル等の内訳を表 1 に示す。

なお、本研究では、日本語能力試験<sup>(8)</sup>を参考に、N5~4 レベルの学習者を初級者、N3~2 レベルの学習者

を中・上級者と分類した。

表1 事前アンケート参加者の内訳

国籍	性別	レベル	所属
インドネシア	女	初級	学生
インドネシア	女	初級	学生
ベナン共和国	女	初級	学生
ブルネイ	男	初級	学生
インド	女	初級	社会人
アメリカ	女	初級	社会人
台湾	男	中・上級	学生
台湾	女	中・上級	学生
ベトナム	女	中・上級	学生
ベトナム	女	中・上級	学生
ベトナム	男	中・上級	社会人
ベトナム	男	中・上級	社会人
アメリカ	男	中・上級	学生
イギリス	女	中・上級	学生
ドイツ	男	中・上級	学生
フィリピン	男	中・上級	社会人
フィリピン	男	中・上級	社会人

## 2.1.2 調査項目

事前アンケートの目的は学習者の出身地および使用言語、日本語や日本語学習に関する意識、普段の機械翻訳の使用について調査することである。

アンケートの調査項目は以下の通りである。

- ① 学習者の出身地
- ② 学習者の使用言語
- ③ 好きな日本語の学習
- ④ 嫌いな日本語の学習
- ⑤ 週に何日日本語を勉強するか
- ⑥ 日本語が好きか
- ⑦ 日本語の勉強は楽しいか
- ⑧ 自分の日本語は上手だと思うか
- ⑨ これからも日本語を勉強したいか
- ⑩ 機械翻訳をよく使うか

①と②の項目は記述式、③、④、⑤の項目は選択式で回答してもらった。その他の項目は1から5の選択肢(5件法)で回答してもらった。

## 2.2 アンケートの結果

学習者の出身地および使用言語の内訳を表2に示す。

表2 学習者の出身地と使用言語

出身地	使用言語	人数
台湾	中国語	2人
ベトナム	ベトナム語	4人
インド	マラヤーラム語	1人
フィリピン	タガログ語	2人
アメリカ	英語	2人
ドイツ	ドイツ語・英語	1人
イギリス	英語	1人
インドネシア	インドネシア語	2人
ベナン共和国	フランス語	1人
ブルネイ	マレー語	1人

アンケート項目で、日本語の学習において「話す」「聞く」「書く」「読む」の4技能のうち、好きな学習を複数回答可で回答してもらった。その結果を図1に示す。好きな学習で最も多かった回答は「話す」であり、全体の52%を占めていた。

また、嫌いな学習も同様に複数回答可で回答してもらった。その結果を図2に示す。嫌いな学習で最も多い回答は「書く」で、全体の61.9%を占めていた。

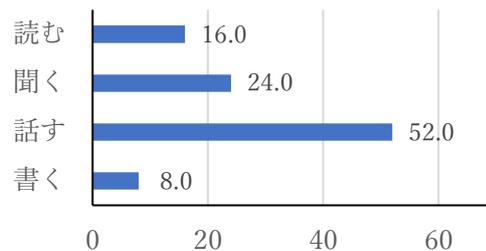


図1 学習者が好きな日本語の学習 (%)

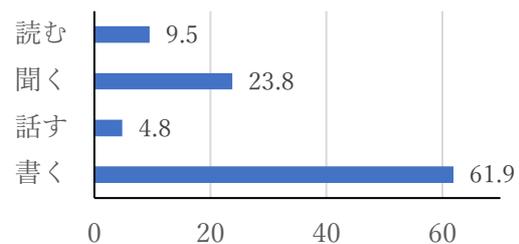


図2 学習者が嫌いな日本語の学習 (%)

このことから、「書く」学習に苦手意識を持っている学習者が多いことがわかった。日本語のレベルを測る日本語能力試験においても、認定の目安は「読む」「聞く」の2つの言語行動で表されており<sup>(8)</sup>、日本語で文章を書くことに慣れていないことが苦手意識を持つ原因の一つではないかと考えた。

## 3. 実践を通じた調査

本研究では「書く」「読む」「聞く」の3つの技能に関する実践調査を行った。事前アンケートの結果、「話す」学習に苦手意識を持っている学習者は少ない

ことがわかった。また、本研究では学習者が自分自身（個人）で学習する際に機械翻訳を活用する方法を提案したいと考えた。「話す」に関しては個人の学習ではなく、話し相手とのコミュニケーションが必要不可欠であると考えたため、「話す」に関する実践は除いた。

### 3.1 「書く」に関する実践

#### 3.1.1 実践方法

##### 実践参加者

調査参加者は、初級者4名、中・上級者11名の計15名である。参加者の内訳を表3に示す。事前アンケートを回答した17名の学習者全員に同じ課題に取り組んでもらったわけではなく、学習者の日程やレベル等の理由により取り組んでもらう課題をこちらで指定した。課題を指定する際は、初級者、中・上級者どちらのデータもとれるように考慮した。

表3 「書く」に関する実践参加者の内訳

出身地	レベル
インドネシア	初級者
インドネシア	初級者
ベナン共和国	初級者
ブルネイ	初級者
ベトナム	中・上級者
フィリピン	中・上級者
フィリピン	中・上級者
イギリス	中・上級者
アメリカ	中・上級者
ドイツ	中・上級者
台湾	中・上級者
台湾	中・上級者

##### 実践手続き

「書く」に関する実践では、作文の課題を実施した。作文の課題では、こちらから提示した「旅行の思い出」と「地元の紹介」という2つのテーマについて、学習者に日本語で文章を書いてもらった。これらのテーマのうち一方は、文章を書く際に機械翻訳の使用を可とし、もう一方は機械翻訳の使用を不可とした。ただし、機械翻訳を使用してはいけない場合でも、単語や漢字を辞書や教科書等を使用して調べることは許可した。機械翻訳を使用する際は、学習者自身が普段使用しているものを使用してもらうため、機械翻訳ソフトや使用する端末等は指定しなかった。辞書や教科書等も同様、学習者自身が普段使用しているものを使用してもらった。また、テーマの難易度による差をなくすため、各テーマと機械翻訳の使用有無の組み合わせを学習者

によって変えている。

作文を書いた後には、課題後アンケートに回答してもらった。機械翻訳を使用した場合と使用しなかった場合を比較し、学習者が書いた文章や文章を書く際の心理にどのような違いがあったか考察する。さらに、学習者が書いた文章を機械翻訳に入力し、学習者の使用言語で訳出した文章をもう一度日本語に訳出して作成した文章を、元の学習者の文章と比較した。機械翻訳は、対応言語数が多いGoogle翻訳を使用した。

#### 3.1.2 結果と考察

まずは、初級者が書いた文章と機械翻訳で作成した文章を表4に示す。表4の左欄は初級者が書いた文章の一部であり、右欄は機械翻訳で作成した文章の一部である。文章は比較した際に差が出た学習者の文章を抜粋しており、重複している学習者もいる。

表4 初級者が書いた文章と機械翻訳で作成した文章

学習者（初級者）	機械翻訳
私のいちばんすき旅行の思い出はとうきょうの旅と 생각합니다。	私の一番の旅行の思い出は東京への旅行だと思います。
とうきょうで友だちとしぶやに行ったり、やきにくをたべたり、ゲームセンターであそびました。	東京では友達と渋谷に行き、焼肉を食べたり、ゲームセンターで遊んだりしました。
みんなはいつもおたがいたすけてあげます。	みんなはいつもお互いに助け合っています。
私と友だちいっしょにうみに行ききました。	友達と私は海に行きました。
インドネシアのきれいな場所もたくさんあります。	インドネシアには美しい場所がたくさんあります。

初級者の文章はひらがなで書かれている単語がかなり多いことがわかる。「東京」や「食べる」、「海」といった単語がひらがなで書かれているが、これらの漢字は初級者もすでに学んでいる漢字である。機械翻訳で作成した文章では、ひらがなで書かれた単語は基本的に漢字に直された。さらに、「渋谷」や「焼肉」など日本語能力試験や教科書で扱われない単語も漢字に直された。これらの結果から、機械翻訳で文章を作成することで、漢字の復習や、新しい漢字を知ることができると考えた。

学習者が書いた文章には文法的な間違いも見られた。例えば、「とうきょうの旅と 생각합니다」という文章の場合、「東京の旅だと思います」が正しい表現だと考えられる。機械翻訳で作成した文章では、「旅」という単語も「旅行」というより自然な単語に変わっており、「東京への旅行だと思います」という文章になった。また、「私と友だちいっしょにうみに行ききました」や「インドネシアのきれいな場所もたくさんあります」の文章では、助詞の抜けや間違いが見られた。機械翻訳が作成した文章では、「友達と私は海に行きました」、「インドネシアには美しい場所がたくさんあります」

となった。これらの結果から、機械翻訳を通して文法的な間違いを理解し、正しい表現を知ることができると考えた。

ただし、ひらがなで書かれた文章は誤訳が起きやすい点に注意しなくてはならない。

- ・私ともだちはたくさんしゃしんをとりました
- ・からいとあまいとすっぱいと言います

これらは学習者が書いた文章を機械翻訳で訳出した際に、誤訳が起きた文章の例である。機械翻訳に入力する際に修正を加えなかった場合、「私ともだちはたくさんしゃしんをとりました」という文章は、「友達と私はランチをたくさん食べました」という意味が大きく異なる文章に翻訳された。「しゃしん」を漢字に修正すると、「友達と私はたくさん写真を撮りました」と正確に翻訳された。「からいとあまいとすっぱいと言います」という文章は、修正を加えなかった場合、「カラ、スイート、サワーと呼ばれています」という不自然な文章になってしまった。こちらも先ほどの文章と同様、正しく認識されていない「からい」の部分を漢字に修正すると、「辛くて甘酸っぱいと言われています」という自然な表現の文章に翻訳された。初級者が書く文章はひらがなが多く、短い簡単な文であるため誤訳が起きやすい。機械翻訳を通して文章を確認する際は、翻訳された文章の意味を確認し、単語を漢字で表記する、誤字を直すなど自分自身で修正を加える必要がある。初級者の場合、日本語の文章を修正するのが難しいこともある。その際は、学習者の使用言語で翻訳した文章を確認し、修正することで正しい日本語の文章を確認することができる。ただし、学習者が自身の使用言語で作成した文章を日本語に翻訳すると、難易度の高い単語や表現が多用された文章となってしまう可能性がある。まずは自分自身で日本語の文章を書いてみるのが重要だと考えた。

続いて中・上級者についてである。中・上級者が書いた文章と機械翻訳で作成した文章を表5に示す。表5の左欄は中・上級者が書いた文章の一部であり、右欄は機械翻訳で作成した文章の一部である。

表5 中・上級者が書いた文章と機械翻訳で作成した文章

学習者 (中・上級者)	機械翻訳
ハイフォンは一言でいえば、有名できれいな海がある市です。だからこそ、ハイフォンも海鮮が有名です。	つまり、ハイフォンは有名できれいな沿岸都市です。そのため、ハイフォンはシーフードでも有名です。
夏に多くのワインの祭りがあります。	夏にはワインフェスティバルがたくさん開催されます。
4年前初めて日本に旅行することです	4年前の初めての日本旅行です
あまりにぎやかではない町です	活気のある街ではありません。

初級者同様、ひらがなで書かれた単語が漢字に直された。また中・上級者は初級者に比べ、漢字の使用が多く、「海がある市」が「沿岸都市」、「日本に旅行する」が「日本旅行」というように、漢字熟語に直されたものがある。熟語は学習者が書いた単語よりも難易度が高い単語であるため、機械翻訳を通して新しい単語を知ることができると考えた。

また、「海鮮」や「祭り」といった単語が、機械翻訳で作成した文章では、「シーフード」、「フェスティバル」というカタカナ語に翻訳された。カタカナ語は授業でも扱われにくい分野である。中山ら<sup>(9)</sup>は、カタカナ語は日本の語彙であるが、日本語教育の現場では他の文字や他の語彙とは同等に扱われていないことを明らかにした。そのため、現代の日本社会においてカタカナ語は避けては通れない分野にも拘わらず、カタカナ語を苦手とする学習者が多いことを指摘している。そこで、機械翻訳を通して新しい単語、特にカタカナ語を知るきっかけとして有効なのではないかと考えた。今回は、翻訳に Google 翻訳を利用した。Google 翻訳では訳した文章内でカタカナ語を見かけることがよくある。他の翻訳ソフトでも同様にカタカナ語が使用されるか比較するため、Google 翻訳においてカタカナ語に翻訳された文章を、他の翻訳ソフトに入力し、同様に日本語の文章を作成した。

使用した翻訳ソフトは DeepL 翻訳、Papago、Microsoft 翻訳である。「海鮮」や「祭り」など単語で入力した際はカタカナ語ではなく、そのまま「海鮮」、「祭り」と訳されることが多かった。しかし、文章全体を入力すると、Google 翻訳と同様にカタカナ語に翻訳される単語も見られた。そのため、Google 翻訳以外の翻訳ソフトもカタカナ語を知るきっかけとして利用できると考えた。

また初級者同様、中・上級者においても文法的に間違いが見られたところは正しい表現に直された。中・上級者が書いた文章の中で、文法の誤りや不自然な表現が見られた文章と機械翻訳で作成した文章を表6に示す。

表6 中・上級者が書いた文法誤りや不自然な表現の文章と機械翻訳で作成した文章

学習者 (中・上級者)	機械翻訳
もし来たら、10月から、3月までおすすめてです。	来るなら10月から3月がおすすめてです。
関西で観光しました。	関西を観光しました。
日帰り旅行が欲しかったら、ハイフォンは適切な選択です。	日帰り旅行なら、ハイフォンがおすすめてです。

中・上級者の学習者にも、助詞の間違いは多く見られた。「10月から、3月までおすすめてです」や「関西で観光しました」の文章では、助詞の抜けや誤用が見られた。これらの文章も機械翻訳で作成した文章では適切な助詞に直されている。

また、文法的に間違っているわけではないが、少し

不自然な表現になっている文章も、機械翻訳で作成した文章だとより自然な表現になる場合があった。「適切な選択です」は間違いではないが、少しかたい表現である。機械翻訳で作成した文章では「おすすめです」となっており、より自然な表現に言い換えられた。実践後、インタビューに協力してくれた7名の学習者に機械翻訳で作成した文章を見てもらい、その文章を気に入ったか否か質問した。すると7名中6名の学習者が機械翻訳で作成した文章を気に入ったと回答した。学習者の中には、自分が書いた文章よりも機械翻訳で作成した文章の方が好みだと回答した学習者もいた。気に入った理由としては、「正しい漢字や単語を知ることができる」、「自然な文章である」などが挙げられた。学習者自身も機械翻訳で作成した文章に対して、好印象を抱いていることがわかった。

しかし、1名の学習者は機械翻訳で作成した文章があまり好みではないと回答した。理由として「機械翻訳が作成した文章は機械的であり、文章に自分らしさがなくなってしまうから」と述べていた。実際、機械翻訳で作成した文章の方が元の文章よりも不自然な表現であることがある。学習者が書いた「いちばんのしかたりょこうは」という文が、機械翻訳で作成した文章では「最も興味深い観光地は」となっていた。この場合、元の文章の方がより自然な表現であると考えられる。中・上級者の書く文章は初級者に比べレベルが高く、機械翻訳で作成した文章よりも自然な表現が多く見られた。そのため、機械翻訳の文章の方が良いとそのまま受け入れるのではなく、自分が書いた文章と比較し、よりよい表現を自分自身で選択する必要があると考えた。

また中・上級者においても、初級者と同様に誤訳が起きる場合がある。学習者が書いた「ロミはいちばんゆめいなたべものです」という文章が、機械翻訳では「ロミは最も夢のある食べ物です」と翻訳されていた。ひらがなで書いてある上に、「有名」が「ゆめい」と間違っただけで表記されており、それが原因で誤訳が起きたと考えられる。中・上級者の場合、日本語の文章を見ながら、翻訳した際に意味が正しく認識されていない部分を確認することができると考えた。そのため、誤訳が起きてしまった日本語の文章を自分で確認しながら、正しい意味に翻訳されるように修正することができる。日本語の文章を自分で修正することで、日本語の文章力を身につけることができるのではないかと考えた。

## 32 「読む」に関する実践

### 32.1 実践方法

#### 実践参加者

調査参加者は、初級者4名、中・上級者7名の計11名である。参加者の内訳を表7に示す。

表7 「読む」に関する実践参加者の内訳

出身地	レベル
インドネシア	初級者
インドネシア	初級者
ベナン共和国	初級者
ブルネイ	初級者
ベトナム	中・上級者
ベトナム	中・上級者
イギリス	中・上級者
アメリカ	中・上級者
ドイツ	中・上級者
台湾	中・上級者
台湾	中・上級者

#### 実践手続き

「読む」に関する実践では、読解の課題を実施した。読解の課題では、学習者にふりがながある文章とふりがながない文章、計2つの文章を読んでもらった。学習者に読んでもらう文章は、「たどくのひろば」の「ちょっとストーリーズ」を使用した<sup>(10)</sup>。このサイトでは、さまざまなレベルの文章が無料で提供されており、ふりがなの有無も選択できる。今回は初級者と中・上級者それぞれ文章の長さや難しさが同じになるように文章を選択した。ふりがながない文章は、単語の読み方を機械翻訳で確認してもらった。こちらも作文の実践と同様、機械翻訳で調べる際は学習者自身が普段使用している翻訳ソフト、端末を使用してもらった。また、文章の難易度による差をなくすため、ふりがながある文章とふりがながない文章の組み合わせを学習者によって変えている。読み方を確認した後、文章を声に出して読み上げてもらい、その音声を録音した。録音データをもとに、ふりがながある文章とふりがながない文章を読む際に違いがあるか分析する。

各文章を読み終わった後、初級者には内容をどの程度理解できたかアンケートで回答してもらった。アンケートに回答してもらった際、英語に翻訳した文章を学習者に提供し、内容を確認してもらった上で、日本語の文章を正しく理解できたか回答してもらった。中・上級者には、内容理解に関する正誤問題を解いてもらい、ふりがながある文章とふりがながない文章で内容理解に差が生じるか調査した。

### 3.2.2 結果と考察

初級者、中・上級者ともに、ふりがながある文章とふりがながない文章、どちらもほとんど問題なく読むことができていた。

ただし、「三角形（さんかくけい）」を「さんかくかたち」や、「数（かず）」を「すう」などの読み間違いがいくつか見られた。読み方を確認する際、単語ではなく漢字のみを入力してしまうと、単語の正しい読み方が確認できないことがある。「三角形」の場合も、「三角」と「形」に単語を分けて入力した場合、読み方は「さんかく」、「かたち」となってしまう。カメラ入力を使用したり、「三角形」と単語を入力したりす

ると「さんかくけい」と正しい読み方になる。また、ふりがながない文章の場合、すでに知っている漢字は読み方を確認しないことがあるため、複数ある漢字の読み方を間違えてしまう場合があった。例に挙げた「数」も、「かず」や「すう」など複数の読み方がある。ふりがながない文章を読む際には、文章全体の読み方を確認する必要があると考えた。

初級者に日本語の文章を読んで内容をどれくらい理解できたか、1（理解できなかった）から5（理解できた）の5件法で回答してもらったところ、ふりがながある文章とふりがながない文章どちらの平均値も2.75と変化が見られなかった。ふりがながない文章の方が数値が低い学習者もいたが、英語訳を読んだ上で内容をどれくらい理解できたかという項目に関しても同様に数値が低くなっており、ふりがながないことで内容理解に対する評価が下がったとは言えないと考えた。

また、中・上級者に計3問の正誤問題に回答してもらった。ふりがながある文章の平均点が2.86であるのに対し、ふりがながない文章の平均点2.57であった。2つの文章で点数に変化があった学習者は7名中3名であり、そのうち1名はふりがながある文章の方が点数が低かった。平均点には多少差が見られたが、ふりがながないことで内容の理解度が下がったとは言いきれないと考えた。

このように内容理解に関しては、ふりがながある文章とふりがながない文章どちらもほとんど変化がなかった。読み方を確認する際に単語の意味も確認することができるため、知らない単語が文章中にあったとしても、辞書等を使用せずにすぐに単語の意味を確認することができる。そのため、ふりがながない文章でも、機械翻訳で読み方を確認すれば問題なく文章を読むことができると考えた。

### 3.3 「聞く」に関する実践

#### 3.3.1 実践方法

##### 実践参加者

実践参加者は初級者2名、中・上級者2名の計4名である。参加者の内訳を表8に示す。

表8 「聞く」に関する実践参加者の内訳

出身地	レベル
アメリカ	初級者
インド	初級者
フィリピン	中・上級者
フィリピン	中・上級者

##### 実践手続き

「聞く」に関する実践では、聞き取りの課題を実施した。単語の読み方を機械翻訳の音声で流し、単語の聞き取りテストを行った。単語を聞き取った後、学習者に単語を読み上げてもらい、その音声を録音した。録音データをもとに単語の発音やイントネーションを確認した。単語は、できるだけ学習者が知らない単語にするため、NIレベルの単語を選出した。機械翻訳の

音声のみで正確な読み方を聞き取ることができるか否かを明らかにするためである。

### 3.3.2 結果と考察

初級者の場合、単語の読み方を音声のみで聞き取るのは難しかった。テストの正答数は1名が5問中1問、もう1名が5問中2問であった。例えば、「手際（てぎわ）」の読み方を「えぎわ」や「てぎ」と書いており、読み方を正確に聞き取れていなかった。漢字をあまり学習していない初級者にとって、音声のみで単語の読み方を理解するのは少し難易度が高いと考えた。

中・上級者の場合は、音声のみでも単語の読み方を正しく聞き取ることができており、テストの正答数は2名とも5問中4問であった。初級者と違い、ある程度漢字を学習している中・上級者は単語の読み方を音声のみでも理解することができると考えた。

ただし、機械翻訳の音声は単語によって発音やイントネーションに違和感があることや聞き取りづらいことがある。初級者はもちろん、中・上級者も単語の正しい読み方をきちんと確認する必要がある。そのため、読み方をあらかじめ調べた上であれば、自然な発音を学習するために利用することができると考えた。

## 4. 日本語学習における機械翻訳の活用方法

分析結果に基づき、日本語学習における機械翻訳の活用方法として、以下の3つを提案する。

1つ目は、日本語で文章を作成する際、機械翻訳で作成した日本語の文章と比較することで、正しい文法や単語を知るだけでなく、カタカナ語や熟語といった新しい単語を知るのにも役立つのではないかと考える。ただし、機械翻訳の文章が完全に正しいというわけではなく、誤訳が起きることや不自然な表現になることがある。そのため、機械翻訳で作成した文章をそのまま受け入れてはいけない。重要なことは、自分が作成した文章の表現は正しいか、言いたいことをきちんと文章にできているか、より良い表現はあるかなど、自分自身で確認することである。それらを確認する際の手助けとして機械翻訳を利用するのがよい活用方法だと考える。

2つ目は、日本語学習者の出身地や母語・使用言語は多様であるため、言語によっては教材が十分対応していないこともある。この点については、機械翻訳を利用することで、より多くの学習者が身の回りの日本語で表記されたものを教材として利用することにより改善できると考える。今回の実践では、機械翻訳を利用することで、ふりがながない文章も問題なく読むことができていた。このように機械翻訳を使用することにより、既存の教材に加え、ニュース記事や小説など、より多くの日本語のコンテンツを教材として使用することができるようになるのではないかと考える。

3つ目は、機械翻訳の音声により単語の自然な発音を知ることができるのではないかと考える。現在、言語学習アプリにおいて、発音の習得に特化したものも登場している。発音の正確さや確認をする上では、機械翻訳の音声は劣るかもしれないが、翻訳ソフトによ

っては幅広い言語に対応している。こちらも教材同様、学習アプリで対応されていない言語圏の学習者も気軽に利用できるため、機械翻訳を活用することができるのではないかと考える。

## 5. おわりに

本研究では、日本語学習における機械翻訳の利用について、実践を通じた調査を行い、機械翻訳の有効的な活用方法を検討・提案することを目的とした。分析の結果、機械翻訳を利用することで日本語学習にある程度ポジティブな影響を与え、特に文章を書くことと読むことの学習において、機械翻訳活用のメリットが大きいことが示唆された。

そして、日本語学習における機械翻訳の有効な活用方法として、文章を書く際には機械翻訳を利用して日本語文の確認や添削を行うことで正しい表現や単語等を知ることができること、機械翻訳を使えばニュース記事や小説などの多くの日本語コンテンツを教材として利用できるようになること、機械翻訳の音声出力機能を利用することで発音を確認して読むだけでなく耳で聞いてより自然な発音を知ることができること、以上の3つを提案した。

今後の課題としては、さまざまな学習者や状況・場面において機械翻訳の有効的な活用方法を考察することや、実際に機械翻訳を利用した場合に、学習者の言語習得・活用能力にどのような影響を及ぼすのかを実験・調査を通じて明らかにしていきたい。また、対象を日本語学習だけでなく、他の言語を学習する際にも同様の方法で機械翻訳を活用できるのか否かについても考察していきたいと考えている。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くのご助言をいただいた茨城大学の瀬尾匡輝氏およびご支援いただきましたすべての方々に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- (1) 中澤敏明：“機械翻訳の新しいパラダイム：ニューラル機械翻訳の原理”，情報管理，60巻，5号，p.299-306 (2017)
- (2) 安藤進：“機械翻訳 (MT) とサーチエンジンを英語学習に活用する”，情報処理学会研究報告.DD, [デジタルドキュメント]，8巻，p.9-15 (1997)
- (3) 佐良木昌：“機械翻訳を活用した英語学習指導”，コンピューター&エデュケーション，3巻，p.95-102 (1997)
- (4) 近藤雪絵，木村修平，坂場大道，豊島知穂，中南美穂，山下美朋，山中司：“AI機械翻訳の英語正課授業への大規模導入とその課題 - 英語発信力向上のための機械翻訳活用に向けて -”，CIEC春季カンファレンス論文集，14巻，p.41-44 (2023)
- (5) 松尾研究室：“AIの進化と日本の戦略” (2023)  
[https://note.com/akihisa\\_shiozaki/n/r4c126c27fd3d](https://note.com/akihisa_shiozaki/n/r4c126c27fd3d) (2023年11月26日閲覧)
- (6) 文化庁：令和4年度の日本語教育の概要，  
[https://www.bunka.go.jp/tokei\\_hakusho\\_shuppan/tokeichosa/nihongokyoiku\\_jitai/r04/](https://www.bunka.go.jp/tokei_hakusho_shuppan/tokeichosa/nihongokyoiku_jitai/r04/) (2023年11月6日閲覧)
- (7) 国際交流基金：2012年度日本語教育機関調査 結果概要

[https://www.jpf.go.jp/project/japanese/survey/result/dl/survey\\_2012/2012\\_s\\_excerpt\\_jpdf](https://www.jpf.go.jp/project/japanese/survey/result/dl/survey_2012/2012_s_excerpt_jpdf) (2024年1月23日閲覧)

- (8) 日本語能力試験：N1-N5認定の目安，  
<https://www.jlpt.jp/about/levelsummary.html> (2023年11月6日閲覧)
- (9) 中山恵利子，陣内正敬，桐生りか，三宅直子：“日本語教育における「カタカナ教育」の扱われ方”，日本語教育，138巻，p.83-91 (2008)
- (10) たどくのひろば Extensive Reading in Japanese：どんどん増える！日本語ちょっとストーリーズ  
<https://tadoku.info/stories/chottostories/> (2024年1月23日閲覧)

(2023年12月1日 受付)

(2024年2月5日 採録)

# 子どもの学びとサードプレイスを目指した オンラインプログラムの考察

Considerations of online program for children's learning and third place

鈴木あこ\*<sup>1</sup>, 柿沼千尋\*<sup>1</sup>, 菅谷克行\*<sup>1</sup>  
Email: 2011063g@vc.ibaraki.ac.jp

\*1: 茨城大学人文社会科学部現代社会学科

## 抄録

認定特定非営利活動法人カタリバは、コロナ禍にオンライン教育サービスである「オンライン放課後プログラム（旧カタリバオンライン）」を開始し、休校措置に見舞われた2020年から現在に至るまで、子どもたちの創造性ある学びを目指した活動を行ってきた。著者はこのプログラムの中で、伴走スタッフとして安心できる居場所づくりを目指して子どもたちのサポートを実施してきた。本論文ではその内容と実践の結果を報告する。具体的には、振り返りミーティングデータの発言内容についてカテゴリー分けし、その発言回数や割合等の推移に基づき、スタッフであるキャスト同士のコミュニケーションを分析した。文面で記録されたデータのうち、2021年7月から2022年12月までの期間を対象に分析した結果、月ごとの合計発言数は時間が経過するにつれて減少し、キャストの人数も同様に減少していることがわかった。それに伴い、議題を立てて話し合いをしながら子どもやプログラムへの向き合い方を深めるコミュニケーションが減少したことが明らかになった。一方で、互いを称賛するコミュニケーションは、時期を問わず一定量の発言があった。

◎Key Words オンラインプログラム, サードプレイス, 学び支援

## 1. はじめに

本論文では、認定特定非営利活動法人カタリバが2020年に開始したオンライン教育サービス「オンライン放課後プログラム（旧カタリバオンライン）」にて、著者が伴走者としてボランティア活動を行ってきた内容と実践の結果を報告する。

2022PCカンファレンスで著者らが発表した「コロナ禍における子どもの学びと居場所づくりを目指したオンラインプログラムの実践」<sup>(1)</sup>では、ICTを活用した完全オンラインの活動を行う上で、スタッフである「キャスト」がオンラインコミュニケーションの不足部分を補うような効果的な関わり方をしているのではないかとこの点に着目した。振り返りミーティング記録データの分析から、情動の伝達が困難なオンライン上のコミュニケーション<sup>(2)</sup>において子どもたちとの信頼関係を構築するために、キャストが子どもの肯定的な要素をピックアップしていることがわかった。

また、同じく2023PCカンファレンスにて著者らが発表した「子どもの学びと居場所づくりを目指したオンラインプログラムの実践」<sup>(3)</sup>では、新たな期間の記録データを入手し分析した結果を報告した。2022年度上半期で特徴的な内容の発言が多かったのは6月であったほか、イベント等を通してキャストと子どもが共に刺激を得ながら成長している様子を明らかにした。

著者らがオンライン放課後プログラムで活動を継続する過程においてさらに新しい記録データ及び過去の記録データを得た。そこで今回は、これまでの分析範囲と合わせた2021年7月~2022年12月までの約1年半分を分析対象とし、このプログラムが該当期間に辿った変遷を分析した結果について報告する。

著者が活動を続ける中でキャストの人数が減少し、ミーティングの内容も簡略化されていった体感を得ていたため、発言の数は徐々に減少するという結果が出るのではないかと予想した。

分析の結果、仮説のとおりキャストの人数や月ごとの合計発言数は時間が経過するにつれて減少していた。発言内容に着目すると、特に議題を立てて話し合いをしながら子どもやプログラムへの向き合い方を深めるコミュニケーションが顕著に減っていた一方で、時期や人数に関わらず常に多く発言されているカテゴリーもあった。

なお、本研究におけるオンラインプログラムとは、「オンライン放課後プログラム」が提供し子どもたちが参加する活動の内容および日程のことを指し、コンピュータのプログラム・アプリケーション等を指すものではない。

## 2. オンライン放課後プログラムの活動概要

### 2.1 オンライン放課後プログラムとカタリバ

オンライン放課後プログラムは、認定特定非営利活動法人カタリバ（以下、カタリバと表記する）<sup>(4)</sup>が2020年に開始したオンライン教育サービスである。カタリバは2001年から、多様な出会いと学びの機会を届け、社会に10代の居場所と出番を作るための活動に取り組んでいる。特に貧困や被災によって生まれる「きつかけ格差」を是正する取り組みを行ってきた。2021年には、経済産業省「未来の教室」実証事業の一環として、カタリバが運営するメタバース上の居場所「room-K」を立ち上げた。<sup>(5)(6)</sup>2023年度はカタリバ内のオンラインサービスにおける境界線が少なくなり、room-K、オンライン

放課後プログラムなどがひとつのメタバース空間で運営されるようになるなど、変化を遂げている。

## 2.2 活動内容とキャストの役割

分析対象期間中の活動においては、平日放課後の時間帯にオンライン会議システム「Zoom」でルームを開室し、運営者・キャスト・子どもたちが入って共にプログラムに参加している。キャストは筆者と同年代の大学生のほか、20代～50代の社会人も所属していた。大人・子どもも含め全員がオンライン上でのみ参加する、完全オンライン形式の活動となっている。現在はメタバース空間「MetaLife」での実施に移行し、一部のプログラムのみ「Zoom」を用いて運営を行っている。

プログラムの内容は、英語、イラスト、ゲームやWebツール、ヨガ、ダンス等のほか、子どもたちが自主的にプログラムを企画する時間である「自主企画」も設けられており、キャストが子どもと話し合ったりやりたいことを実現するための計画・実施サポートを行っている。運営者とキャストは、プログラム実施前後にミーティングを行っていた。事前ミーティングでは当日の流れを確認し、子どもたちに関する情報共有を行ったり目標を設定したりしていた。事後ミーティングではプログラムを振り返って意見や感想を述べ、その内容はチームコミュニケーションツール「Slack」上で毎回共有されていた。人員配置の都合上、曜日ごとに参加するキャストのメンバーが異なるため、子どもの様子や気になる点を異なる曜日担当のキャスト間で共有することを目的として、文面での記録を行っていた。なお、「Slack」はカタリバの組織全体の指定共通ツールとして用いられており、オンライン放課後プログラムのキャストに加入した段階で、まずはSlackへ参加し運営との連絡を行っていた。

## 3. キャストの関わり方の特徴及びその変遷

### 3.1 研究目的及び研究方法

本研究では、キャストがプログラム後に行っていた事後ミーティングにおいて発言された内容の記録を分析し、2021年から2022年にかけてサービス及びキャスト内のコミュニケーションがどのように変化したかを明らかにする。

事後ミーティングの記録は曜日ごとにルーム管理を担当する運営者が行っていた。本研究では、運営者によって記録および「Slack」への投稿がなされたデータ、及び運営者がミーティング時不在だった場合に個人によって入力された記録のデータを対象とする。対象期間は、記録が開始した2021年7月20日から2022年の最終活動記録日である2022年12月23日までである。

「Slack」上の文面から、日付、記録者（その日の運営者）、発言者、発言内容を抽出した。発言内容については、キャスト同士でどのような情報共有が行われているのかを明確にするため、筆者らが独自にカテゴリー分けを行った。カテゴリーの名称および分類基準は、**エラー！参照元が見つかりません**。のとおりである。

新たに対象に加えたデータの中には、2023PCカンフ

ァレンス発表時<sup>9)</sup>のカテゴリーに該当しない発言があったため、「議題・問いかけ・深掘り」「普段からの考え・意識」「目標」「要望」の4カテゴリーを新たに追加して分類した。また、プログラム名がわからないが発言者がわかるプログラム評価に関しては、2023PCカンファレンス発表時のカテゴリー「プログラム評価（発言者不明）」と同じカテゴリーとして集計し、「プログラム評価（発言者/プログラム不明）」と名称を変更した。この二つを同じカテゴリーとした理由は、プログラム名が不明であると実施者が誰なのかも明らかにならず、プログラムを評価した人がキャストなのか実施者なのかが不明確であるという点で、発言者不明と同義であると判断したためである。

今回のデータ分析において留意したのは、これまで著者らが発表した論文における課題点及び疑問点を踏まえたものとした点である。具体的には

- I. カテゴリー別発言数の割合を算出する
- II. キャスト同士のコミュニケーションを表すカテゴリーに着目する

の二点である。Iについては、分析過程において、新たな期間のデータを入手可能となった場合に追加カテゴリーが必要となる可能性を鑑みて、これまでカテゴリーごとの割合を算出していなかった。またIIに関しては、2022PCカンファレンスでの発表時において、キャスト同士の「称賛」や「感謝」が多く発言されているのではないかと予想していたが、実際はそれほど多くなかったという結果が出た<sup>(1)</sup>。

運営上の都合で2022年度から各曜日に振り分けられる人員が減ったため、キャスト同士のコミュニケーションが以前よりも減少していることを示しているのではないかと考察したため、本研究ではさらに対象期間を拡大したデータでその検証を行う。

### 3.2 データの概観

まず初めに、月ごとに各カテゴリー全てを合わせた合計発言数を算出したところ、**エラー！参照元が見つかりません。エラー！参照元が見つかりません**。のような結果となった。記録当初から時間を経るにつれて緩やかに発言数が減少していることがわかる。考えられる理由としては、携わるキャストの人数の減少や、初期のほうが活発な話し合いや記録が行われていたことなどが挙げられる。

次に、記録データの発言者の人数を集計した。月ごとに1回でも発言・記録されていれば1人として数え、発言・記録の回数は問わないものとした。その結果、キャストの人数も合計発言数と同様、緩やかに減少していることが見て取れる（図1）。キャストの人数と合計発言数の相関係数を求めたところ、 $r=0.92$ となり、強い正の相関があることが示された。

次に、合計発言数に対して、各カテゴリーの発言数が占める割合を月ごとに算出し、数値が多い順に順位付けした。発言数が同数の場合は同率順位とした。

順位の変動と傾向を見るため、全28カテゴリーある中から上位14カテゴリーを上位群（14番目が同率で複数の場合は上位群を含む）、残りを下位群とした。

表 1 カテゴリー名称及びその分類基準

カテゴリー	発言者	発言対象 (人・プログラム)	発言対象 (時系列)
子どもの輝いていた点	全員	子ども	当日
子どものプログラムへの姿勢・取り組み	全員	子ども	当日
子どもの近況について	全員	子ども	当日(過去数回を含む)
子どもについて心配なこと	全員	子ども	当日(過去数回を含む)
子ども同士の相互的なコミュニケーション・雰囲気	全員	子ども	当日
運営上の報告	全員	プログラム	当日
参加状況	全員	自身	以前～当日まで
キャストプログラム評価	キャスト	プログラム	以前～当日まで
実施者プログラム評価	プログラム実施者	プログラム	以前～当日まで
推察	全員	子ども	当日
反省	全員	自身	当日
感想	全員	自身	当日
対応	全員	自身	当日
対応における課題	全員	全体	今後
感謝	全員	キャスト	当日
称賛	全員	キャスト	当日
同意	全員	キャスト	当日
応答	全員	キャスト	当日
フォロー	全員	キャスト	当日
進め方の提案	全員	プログラム	今後
関わり方の提案	全員	子ども	今後
プログラム評価(発言者/PGM 不明)	不明	プログラム	以前～当日まで
子どもからの提案	全員(子どもからの伝達)	全体	以前～当日まで
子どもからの提案を受けた反応	全員	全体	以前～当日まで
(新)議題・問いかけ・深掘り	運営者・ミーティングの司会者など	全体	全て
(新)普段からの考え・意識	全員	自身	以前～当日まで(特定の時系列を指定していない)
(新)目標	キャスト(司会者などに尋ねられての発言)	自身	今後
(新)要望	運営者・プログラム実施者	キャスト	今後

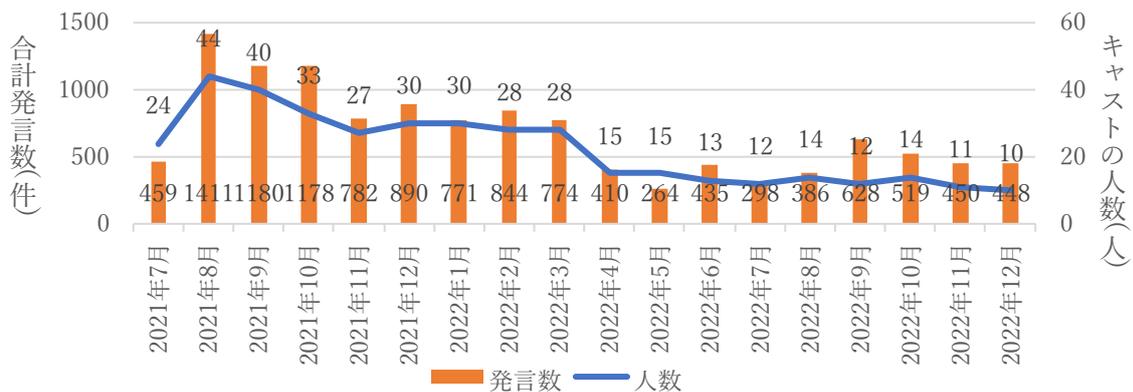


図 1 合計発言数とキャストの人数

### 3.3 データの結果と考察

月ごとにカテゴリーを順位付けした結果、「子どものプログラムへの姿勢・取り組み」は18カ月間を通して常に1位であり、最も多く発言されていたことがわかった。次に「運営上の報告」は2022年6月以降全て2位であり、順位の平均値が「子どものプログラムへの姿勢・取り組み」の次に高かった。この二つは、子どもの様子やプログラムの内容・参加人数等、主観を含まない事実を述べているという共通点がある。

このカテゴリー順位に基づき月ごとに上位群と下位群に分けた結果、18カ月間全てにおいて上位群に入っているカテゴリーは、先述の「子どものプログラムへの姿勢・取り組み」に加え、「子どもの輝いていた点」であった。次いで「運営上の報告」「感想」「進め方の提案・展望」が、1つの月以外全て上位群に入っていた。(エラー! 参照元が見つかりません。)表上の数字のうち、塗りつぶしがあるものが上位群である。

表2 上位群に多く入るカテゴリーとその順位の推移

	子どものPGMへの姿勢・取り組み	運営上の報告	子どもの輝いていた点	感想	進め方の提案
2021年7月	1	5	3	2	13
8月	1	11	4	2	18
9月	1	17	11	9	3
10月	1	6	7	4	10
11月	1	4	11	2	6
12月	1	2	14	8	12
2022年1月	1	3	8	7	4
2月	1	4	8	4	2
3月	1	4	3	2	11
4月	1	3	2	7	5
5月	1	4	1	7	7
6月	1	2	3	7	6
7月	1	2	3	16	9
8月	1	2	3	4	11
9月	1	2	4	5	11
10月	1	2	3	5	8
11月	1	2	3	5	14
12月	1	2	4	7	11

キャストの人数が多かった2021年度と、人数が減少し運営に変更があった2022年度、それぞれ9カ月ごとに比較すると、いくつか特徴的な傾向が見られたカテゴリーがあった(表3)。

表3 年度で平均順位に変化があったカテゴリーとその順位の推移

	議題・問いかけ・深掘り	普段からの考え・意識	目標	子どもの近況について	子どもについて心配なこと
2021年7月	11	10	25	16	21
8月	8	13	12	16	26
9月	7	26	12	14	20
10月	2	17	5	16	21
11月	3	10	5	13	23
12月	7	5	13	17	22
2022年1月	9	5	13	18	19
2月	7	14	19	17	20
3月	8	15	16	14	22
4月	21	21	21	15	13
5月	22	22	22	10	12
6月	19	19	19	8	13
7月	19	19	19	12	15
8月	22	22	22	14	17
9月	23	23	23	15	20
10月	23	24	24	8	16
11月	19	19	19	10	7
12月	18	20	20	13	13

まず、2021年度から2022年度にかけて平均的な順位が下がる傾向にあったのは、「議題・問いかけ・深掘り」「普段からの考え・意識」「目標」の三つである。「議題・問いかけ・深掘り」は2021年度の9カ月全て、「普段からの考え・意識」「目標」は6カ月分において上位群に入っているが、2022年度においては全ての月において下位群となっている。

次に、2021年度から2022年度にかけて順位が上がる傾向にあったのは「子どもの近況について」「子どもについて心配なこと」の二つであった。上位群に入った月はそれぞれ増加している。どちらも発言対象が子どもであるということが共通している。

2021年度は、運営者が議題を投げかけてキャストが答えたり、意識していることを語ったり、次に向けた目標を宣言したり、コミュニケーションを大いに活性化していた。時には、その日の出来事に関係ないことも喋ったり記録したりしていた。これは、キャストの目線が常に子どもたちに向いていた証左であり、活動全体が良い影響を与えていた要因だと考えられる。しかしながら、2022年度においては、それらに類するコミュニケーションの活性化はあまり見られず、その日の子ども

もの様子のみ記録されることが多くなっていた。これらは活動経験を重ねたことによるキャスト側の慣れと、活動の中で不安定な様子を見せる子どもが徐々に減ってきたことの両方が要因として考えられる。その結果として、2021年度から2022年度におけるカテゴリー順位の変化に現れてしまったのではないかと考える。ただ「子どものプログラムへの姿勢・取り組み」が割合としては常に最多であったことから、期間を通じて、キャストが子どもたちの活動を大切に见守っていたことは明らかである。

加えて、2021年度に比べて2022年度は上位群の変動が少なく、ミーティングで話される内容が固定化されつつあるという特徴も見られた。

次に、特定のカテゴリーからキャスト同士のコミュニケーションについて分析する。

本稿3.1にて言及した「感謝」「称賛」のカテゴリーに関して集計したデータのうち、順位の変動を表したグラフが表4、割合の変動を表したグラフがエラー! 参照元が見つかりません。、図3である。

表4 「感謝」「称賛」の順位の変移

	感謝	称賛
2021年7月	19	6
8月	14	3
9月	22	3
10月	19	9
11月	20	15
12月	19	6
2022年1月	21	20
2月	24	18
3月	17	5
4月	12	13
5月	12	18
6月	16	15
7月	17	12
8月	19	7
9月	19	15
10月	13	8
11月	19	15
12月	16	8

やはり割合の変動を見ても常に高い様子ではなく、数値が乱高下しながら緩やかな右肩下がりのグラフになっている。しかし順位の変動を見ると、「称賛」に関しては上位群に入る回数が多いと、その時期に偏りが無いということもわかる。このことから、キャスト同士で互いに「称賛」するコミュニケーションは、数と

して多くはないものの、時期を問わず一定量の発言がなされていると言える。キャスト同士のコミュニケーションは子どもたちと同様オンライン上でのみ行われているため、このような結果が多く見られた可能性がある。加えて、キャスト加入時に運営者がキャストの子どもとの関わり方を見て良かった点を述べていた場面が多く、その風潮がキャストにも引き継がれている可能性もある。

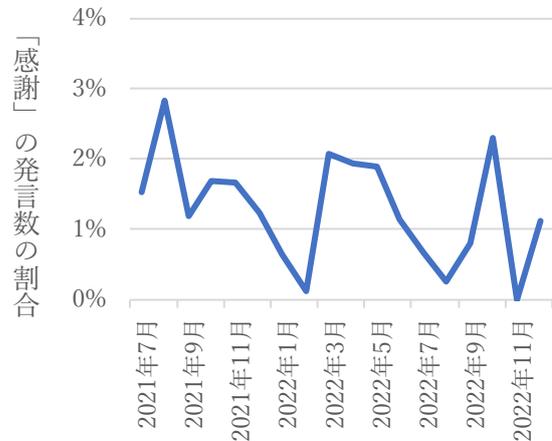


図2 「感謝」の発言数の割合推移

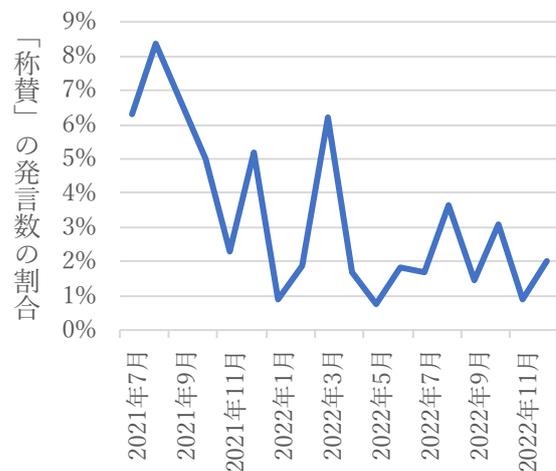


図3 「称賛」の発言数の割合推移

### 3.4 考察のまとめ

本稿においては、以下の二点に特に留意して分析を行った。

- I. カテゴリー別発言数の割合を算出する
- II. キャスト同士のコミュニケーションを表すカテゴリーに着目する

分析の結果として言えることは以下の通りである。

- 月ごとの合計発言数は時間が経過するにつれて減少していた
- キャストの人数は2021年8月をピークに減少していた
- 合計発言数とキャスト人数との間に正の相関関係があった
- 「子どものプログラムへの姿勢・取り組み」は時

- 期や人数に関わらず常に多く発言されていた
- キャストの減少によって、議題を立てて話し合いをしながら子どもやプログラムへの向き合い方を深めるコミュニケーションが顕著に減っていた
- 2021年度と比較して、2022年度は発言内容が固定化されている傾向にあった
- 「称賛」は時期や発言者の人数を問わず一定量の発言があった

#### 4. おわりに

本研究においては、著者らがこれまで発表してきた内容からさらにデータ分析の対象範囲を拡大し、オンライン放課後プログラムのサービスが辿ってきた変遷をこれまで以上に大局的に分析することができた。その中で発言数や人数からわかるコミュニケーションについて、より詳細な実態が数値として表れた。

今後の課題として、2022年度上半期の分析において6月が特徴的な傾向が見られたという点を精査することが挙げられる。今回は2023年分のデータを分析対象に加えることが叶わなかったが、該当期間のデータを加えることで2年分のデータが揃い、同月の比較ができるようになる。参加者である小学生が、年度単位のスケジュールの中で学校生活と並行して活動に参加している様子をデータとして示すことができれば、今後の活動に有用な示唆が得られるのではないかと考える。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの助言をいただいたNPO法人カタリバの後藤諄様に感謝いたします。

#### 参考文献

- (1) 鈴木あこ、菅谷克行：“コロナ禍における子どもの学びと居場所づくりを目指したオンラインプログラムの実践”，2022PCカンファレンス論文集，p. 71-74（2022）
- (2) 朝日新聞「オンラインの会話 心は通じるか」2022年2月3日朝刊 28面 東京本社
- (3) 鈴木あこ、菅谷克行：“子どもの学びと居場所づくりを目指したオンラインプログラムの実践”，2023PCカンファレンス論文集，p. 65-68（2023）
- (4) 「認定 NPO 法人カタリバ 未来は、つくれる。」  
<https://www.katariba.or.jp/>（最終閲覧 2023. 11. 28）
- (5) 今村久美：“NPOカタリバがみんなと作った不登校-親子のための教科書”，p175，ダイヤモンド社（2023）
- (6) 「認定NPO法人カタリバ 活動紹介 オンライン不登校支援プログラム」  
<https://www.katariba.or.jp/activity/project/futoko/>  
（最終閲覧 2023. 11. 28）

（2023年12月1日 受付）

（2024年1月25日 採録）

## 中学校技術・家庭科（技術分野）における生徒の生成 AI の活用

Using Generative AI by student in Junior High School Technology and Home Economics

多田 義男<sup>\*1</sup>・辰己 丈夫<sup>\*2</sup>・益川 弘如<sup>\*3</sup>

tada.yoshio.gm@un.tsukuba.ac.jp

\*1: 筑波大学附属中学校 技術・家庭科

\*2: 放送大学 情報コース

\*3: 聖心女子大学 現代教養学部教育学科

### 抄録

文部科学省が 2023 年 7 月に公表した「初等中等教育段階における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドライン」（以下、ガイドライン）[1] では、小中高で生成 AI を活用する際には、情報の真偽を確かめること（ファクトチェック）の習慣付けを含め、情報活用能力を育む教育活動を充実させ、AI 時代に必要な資質・能力の向上を図ることが必要であると述べている。学校での使い方については、「限定的な利用から始めること」としているが、生成 AI は、新たな発想や創造性を刺激することや、従来には考えつかなかったようなアイデアを生み出すことが期待できる。また、生成 AI を活用することで、情報活用能力を高めることや、情報の真偽を確かめる力の育成もできるのではないかと考えた。そこで本稿では、生成 AI の活用について、3 年生の授業において、生徒に生成 AI の使用を選択させ、提出された課題の内容を分析・整理し、生成 AI の活用状況をまとめた。その結果、生成 AI を使用して提出されたレポートには言葉に偏りがあることが発見され、クロス集計により生徒の満足度が高いレポートは、複数回生成させたり、指示文をよく考え使用することで生徒自身、満足度の高いレポートになることがわかった。

◎Key Words 中学校, 技術・家庭科, 技術分野, 情報の技術, 生成 AI, 問う力

### 1. はじめに

2022 年 11 月に OpenAI が公開した生成 AI「ChatGPT」は、ユーザー数は 1 億人を超え、日本語にも対応するなど、急速に広がりを見せている。AI を搭載した様々なコンテンツも普及し、学習のツールとして活用する学生も増えている。

こうした状況を踏まえ、生成 AI を活用した学びの効果を検証することが重要であるといえる。本研究では、生徒に課題を提示し、生成 AI を活用させることで、どのような反応や効果が得られるのか考察したいと考えた。また、この 1 年は、生成 AI を活用した学びの効果を検証できる初めての年となる。生成 AI が普及し始めたばかりであるため、使用している者と使用していない者の差が確認できるのも今年限りといえる。

本稿では、生成 AI を活用した学びの効果を検証し、教育現場での活用につなげていきたいと考えたのが研究の背景である。研究では中学 3 年生に対して、生成 AI の特徴などを示した上で課題を示し、生成 AI の使用を選択させ、提出された課題の考察を行った。2 では先行研究、3 は授業計画、4 では提出された課題の分析、5 では生成 AI を使用させたことによるアンケート分析、6 は考察について述べている。

#### 1.1 ガイドラインについて

文部科学省が 2023 年 7 月に公表したガイドライン[1]では、生成 AI は、教育現場においても様々な活用の可能性が期待されている一方で、誤った情報や偏った情報の生成などの懸念もある。そのため、生成 AI の教育現場での活用に関するガイドライン [1]を策定し、初等中等教育段階における生成 AI を活用させるための配慮事項として、以下の点を挙げている。

#### (1)生成 AI の特徴と限界を理解させる

誤った情報や偏った情報を生成する可能性があるため、生徒には生成 AI の特徴と限界を十分に理解させる必要がある。

#### (2)生成 AI を活用する目的や意義を明確にする

様々な目的や意義で活用できるため、その目的や意義を明確にしないと、効果的に活用することができない。

#### (3)生成 AI を活用した課題の設定や指導を行う

生成 AI を活用した課題は、その特徴や限界に適したものに設定し、生徒に適切な指導を行う。

#### (4)生成 AI を活用した成果物の活用方法を検討する

生成 AI を活用した成果物は、その信頼性や妥当性を検討し、適切に活用する必要がある。

#### (5)生成 AI を活用するための保護者の承諾

中学生に生成 AI を使用する際には、保護者の同意を得ることが原則とする。と示され、この他にも、個人情報や著作権の利用に関する正しい理解に基づいた対応や、適切な使用についても例示や、適切でない使用についてなど、GIGA スクール構想に基づく 1 人 1 台端末活用の日常化の実現する中で、情報モラルを含む情報活用能力の育成について、生成 AI の普及を念頭に一層の充実が示された。

一方で、横山 [2]は生成 AI を活用するための順守する項目について生成 AI に対して、米ハーバード大学 ロースクールのジェシカ・フェルド氏らの研究で提唱した、「個人のプライバシー」「安全性とセキュリティ」「透明性と説明の可能性」「説明責任」などの「AI 8 原則」を引用し、グローバルスタンダードになるだろうと提唱している。

これらをおさえ授業を計画した。

## 2. 先行研究

### 2.1 問う力

柳川[3]は、生成 AI の登場によって、教育の転換が求められているとしている。これまでは、柳川[3]は学校教育において教師が問題をだし続け、生徒がそれに答えるという学習スタイルだったが生成 AI が発達した時代に必要とされているのは、『どういう問いを立て、答えを導くことが大切である』言及している。これまで、学校が生徒に課してきた課題には、多くのケースで予め答えが用意されており、生徒がその答え導くことが多かった。しかし、生成 AI の登場によって正解にたどり着くことが、容易になってしまう。柳川[3]は、『しっかりした問いを立てるためには、基礎知識を身につけていなければならず、それぞれの分野に関心がなければ、深く考えることはできない。その上で、「問いを立てる力」「質問を磨き上げる力」「正解に満足しない教育の転換」が大切になる』と読者に呼びかけている。

また、中教審答申[4]では、『課題の設定、情報の収集、整理・分析、まとめ・表現を行う等、教師が子供一人一人に応じた学習活動や学習課題に取り組む機会を提供することで、子供自身の学習が最適となるよう調整する「学習の個性化」も必要である』と示唆している。

## 3. 研究について

学習指導要領（平成 29 年告示）解説【技術・家庭編】[5]（以下、学習指導要領）の「D 情報の技術」（4）では、これからの社会の発展と情報の技術の在り方を考える活動などを通して、「イ 技術を評価し、適切な選択と管理・運用の在り方や、新たな発想に基づく改良と応用について考えること」としている。さらに、情報の技術が進展していくことに対して、技術の将来展望について意思決定させて発表させたり、提言をまとめさせたりする活動が考えられる。としている。本研究では、生成 AI に見られように日々進化していく情報技術に対して、技術・家庭科（技術分野）では、どのように理解させ、活用させることがよいか1つの提言を示したいと考え、研究を進めた。本研究は、当時 2 年生に対して次の表 1 の通り計画した。

●授業対象者：2022 年 2 年生（現 3 年生 203 名）

●実施時期：2023 年 3 月～2023 年 11 月

### 3.1 授業の実際と課題の設定について

2023 年 3 月、生成 AI を活用するために、個人情報などを入力しないことや、答には誤りがあることも伝えるなどの留意事項を提示した。生徒への課題として表 1 のように計画を立てた。なお、生成 AI の使用は保護者の承諾が必要になるため、生徒それぞれが選択できるようにした。

表 1 授業計画

実施時期		内容
2023 年	3 月	生成 AI の活用と留意事項等
課題 1	春季休業	情報に関する課題提示
課題 2	夏季休業	生物育成に関する課題提示
課題 3	夏季休業	情報を学ぶことについて
課題 4	11 月中旬	プログラミングにおける関数

表 2 各課題サンプル数

課題種別	生成 AI 使用者数	生成 AI 未使用者
課題 1	40	140
課題 2	95	62
課題 3	95	62
課題 4	79	64

### 3.2 課題について

課題 1 では、中学校学習指導要領[5]の、D 情報の技術(4)「これからの社会の発展と情報の技術の在り方を考える学習活動」としている。課題は「日常生活で使われている AI 技術や製品を調査し、人々の生活にどのような影響を与えているかを分析するレポート作成」を提示した。意図しては、AI に頼らずに考えるレポートと、生成 AI を使用したレポートを比較したいと考え設定した。

課題 2 では、「持続可能な農業の研究について農業の手法のレポート作成」を提示した。学習指導要領 [5] B 生物育成の技術 (3) これからの社会の発展と生物育成の技術の在り方を考える学習活動として、「開発時や利用時、また廃棄時及び安全性や社会・産業に対する影響、環境に対する負荷や必要となる経済的負担などの折り合いを付け、目的に合致したものとなるよう育成環境について考えること」しているこれらのことを踏まえ、課題を設定した。

課題 3 では、毎年 4 月に 3 年生に対して、4 月に「情報の技術では何を学ぶのか」ということについて、生徒にレポートを提示している。昨年度は、生成 AI が普及されていないため、今年度のレポートとの比較もできるのではないかと考え、3 番目の課題として提示した。

課題 4 では、3 月から提出された課題 3 までのレポートの分析を授業で示し、生成 AI を使用することで、レポートの内容に偏りが生じることや、満足度の高いレポートは生成 AI にはどのように指示するかなど、授業で説明し、レポートの変容がみられるか考察するため、課題を設定した。

## 4. 課題の分析

### 4.1 分析方法について

レポートに対して、どのような差が生じるのかを視覚可視したいと考え、フリーソフトウェア KH Coder を

使用し、出現する単語の頻出度の比較と、共起ネットワークによる思考の広がり を考察した。

各課題におけるサンプル数は表2の通りである。

(3 学年生徒在籍数 203 名男女の割合は同数)

それぞれの課題で提出されたレポートを、KH Coder によってテキストマイニングをおこなった。本稿は紙面の関係で顕著な結果が現れた課題3 課題4 について分析を行う。

#### 4.2 分析方法について

生徒が課題に取り組むために、生成 AI を使用した者と、使用せずに課題に対して取り組んだ者のレポートに対して、どのような差が生じるのかを視覚可したいと考え、フリーソフトウェア「KH Coder」を使用し、出現する単語の頻出度の比較と、共起ネットワークによる思考の広がり を考察した。各課題におけるサンプル数は表2の通りである。

(3 学年生徒在籍数 203 名 男女の割合は同数)

それぞれの課題で提出されたレポートを、KH Coder によってテキストマイニングをおこなったが、紙面の関係で総出語数に顕著な結果が現れた課題3 について分析を行う。

表 3 各課題における総出語数

課題3 の項目	総出語数
課題1 生成 AI 使用	27650
課題1 生成 AI 未使用	67930
課題2 生成 AI 使用	86974
課題2 生成 AI 未使用	40304
課題3 生成 AI 使用	48407
課題3 生成 AI 未使用	13941
課題3 2022 年生成 AI 未使用	11189
課題4 生成 AI 使用	23519
課題4 生成 AI 未使用	10982

#### 4.3 語句の出現数

それぞれのレポートでどの程度の語句が使用されているか比較するために、表3 に表した。この後に分析する共起ネットワークの広がりから、生成 AI を使用しないレポートの方が、多種多様な語句を使用されているのではないかと考えていた。しかし、実際にレポートの分析を見ると、総出語数については生成 AI を使用したレポートの方が多いことがわかる。

#### 4.4 語句の出現数

分析に有効な回答数は、156 であった。表4、表5、表6 に各レポートの語句の出現数をまとめた。表4 を見ると、知識・社会・スキル・という関係語句が200 を超えて出現していることがわかる。それに対し、表5 と表6 に見るように、それぞれの語句の出現数は10 回台が目立ち、様々な語句が使用されてレポートに使用されていることが読みと

ることができる。

表 4 課題3 生成 AI 使用の語句と出現数

語句	出現数
情報	2196
知識	432
社会	240
スキル	216
能力	208
個人	123
自己	117
方法	94
技術	93
データ	91
自分	84
専門	76
コミュニケーション	71
効果	71
プロセス	67
現代	63
分野	63
インターネット	54
視点	53
セキュリティ	50
科学	48
倫理	47
要素	46
過程	45
トピック	37
論文	36
アイデア	34
世界	34
中学生	33

#### 4.5 共起ネットワーク

図1 は、課題3 の生徒のレポートを共起ネットワークで示している。いずれも、「情報」が大きな輪となり他に広がっていくが、生成 AI を活用した場合は、言葉の広がりが限定的となり、学び方やスキル、知識という輪が続いて大きくなる一方で、2022 年4 月に提出された課題と、2023 年7 月に生成 AI を使用せずに提出された共起ネットワーク図は「扱い方」や「不可欠」といった使い方と関連させたり、ファクトチェックの必要性について、関連付けさせ広がっていることがわかる。図4 ではこれらのことを示して取り寄せた課題4 では共起ネットワーク図に変化

が生じ、生成 AI を使用した課題の結果に言葉の広がりを見ることが出来る。

表 5 課題 3 生成 AI 未使用の語句と出現数

語句	出現数
情報	468
社会	75
自分	51
能力	44
技術	42
知識	22
インターネット	21
方法	17
人々	16
ネット	13
人間	13
人生	13
仕組み	12
データ	11
一つ	11
基礎	11
記事	11
現代	11
世界	11
内容	11
モラル	10
自身	10
責任	10
科学	9
個人	9
態度	9
機器	8
自動	8
マスコミ	7
メディア	7

ンプト) を明確に出すことで、とどンドンレポートの質が上がっていった。と回答している。

表 6 課題 3 生成 AI 未使用の語句と出現数

語句	出現数
情報	348
自分	69
社会	31
世界	25
個人	22
現代	20
知識	18
インターネット	14
時代	14
使い方	13
一つ	12
人間	10
考え	9
人々	9
日常	9
内容	8
武器	8
お金	7
言葉	7
手段	7
方向	7
ツール	6
メディア	6
世の中	6
道具	6
物事	6
包丁	6
印象	5

## 5. アンケート分析

生徒に授業課題として、生成 AI を使用させ、課題を提出した生徒 156 名にアンケートを実施した。このアンケートの目的は、生成 AI を使用して課題を行った場合に、中学生がどのような使い方をするのかを調べるために実施した。アンケートの項目は著者で検討した結果、表 7 の 5 項目として調査した

### 5.1 満足度

表 8 は課題提出者 156 名に、生成 AI を使って課題を作成したことについての満足度について質問している。「非常に満足した」と回答している生徒の理由をみると、「誤字もない解答を得られる」や、「時間を短縮して課題に取り組めた」と満足度の理由に、時間短縮を上げる生徒が多かった。また、指示文(プ

表 7 アンケート項目

レポート全体の満足度について
情報収集についての満足度
生成 AI を利用した課題の補正
生成 AI を使用したことで質の向上
課題のどのくらい使用したか

表 8 質問 1 生成 AI を使用した満足度 (n = 156)

回答	%
非常に満足できる解答が得られた	42.3
満足できる解答が得られた	5.8
満足できる解答が得られなかった	3.8
あまり満足のできる解答が得られなかった	5.8
課題作成のために使っていない	42.3

図1 課題3の共起ネットワーク (生成AI使用)

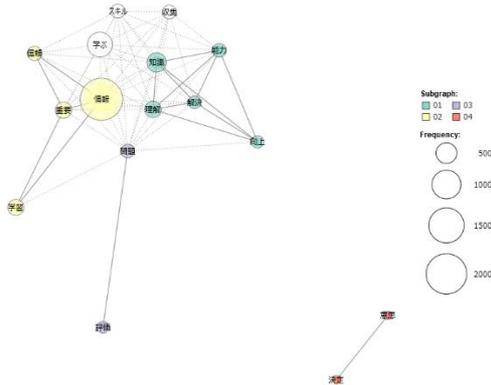


図2 課題3の共起ネットワーク (生成AI未使用)

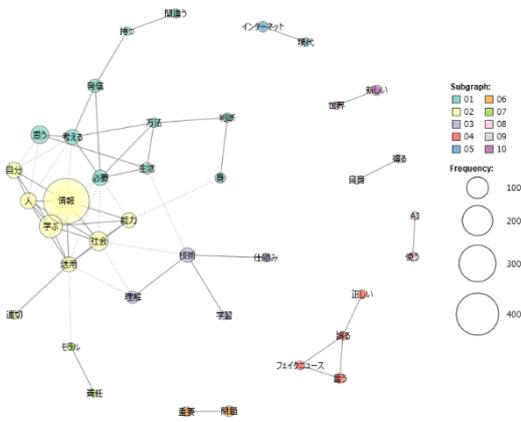


図3 課題3の共起ネットワーク (2022年3年)

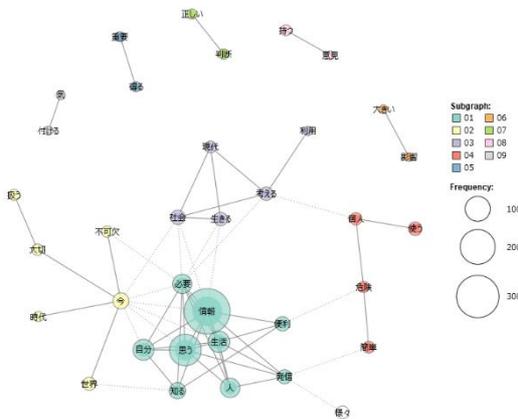


図4 課題4生成AIを使用した共起ネットワーク図

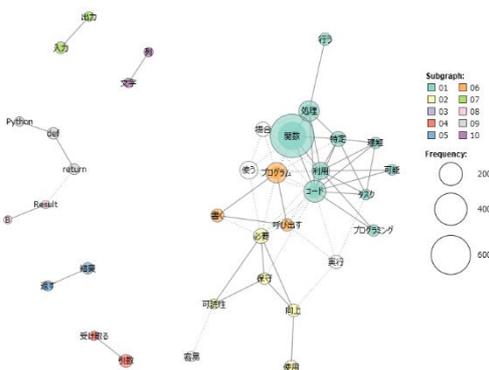
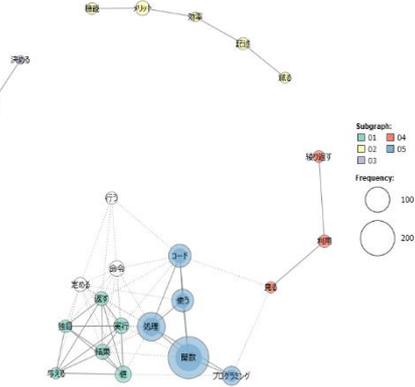


図5 課題4 生成AI未使用共起ネットワーク図



### 5.2 生成回数と満足度

表8は、課題3までの生成回数と満足度について示している。非常に満足、あるいは満足していると回答している生徒の65名中29名(44%)が3回以上生成させていた。実際の生徒のコメントをみると、「自分が聞いた質問に対してすぐに答えてくれて時間もあまりかけずに終わらせることができた。」「1つの質問だけではまだ内容が薄かったりするが、そこから自分がどのように広げていきたいか質問を変えて AI との会話を深められた」「生成させる度に、自分の意図する回答がでてきた」「違うところもあったので、自分なりに変えて作成した。」などコメントをあげていた。また一方で、満足度の高さに、「文書を打ち込まないですんだ」など操作性について満足したとの回答もみることができた。

表9 課題1~3の生成回数と満足度のクロス集計 (n=156)

回数 \ 満足度	非常に満足	満足できる	あまり満足できない	満足得られない	使っていない	合計
1回	3	16	2	1	1	23
2回	4	18	2	2	1	27
3回~5回	1	22	2	2	1	28
5回~10回	1	6	1	1	0	9
10回以上	0	1	2	0	0	3
使っていない	0	3	0	0	63	66
合計	9	66	9	6	66	156

$\chi^2=156.789 \quad p=0.0$

表10 課題4の生成回数と満足度のクロス集計 (n=142)

回数 \ 満足度	非常に満足	満足できる	あまり満足できない	満足得られない	使っていない	合計
1回	0	15	2	0	0	17
2回	1	11	4	1	0	17
3回~5回	4	26	7	1	0	38
5回~10回	1	3	0	0	0	4
10回以上	0	1	0	1	0	2
使っていない	0	0	0	0	64	64
合計	6	56	13	3	64	142

$\chi^2=18.455 \quad p=0.103$

表9 課題1～3までの生成回数と満足度のクロス集計で整理した。満足度が高いものは1～2回で非常に満足、満足と回答している生徒の理由は、時間をかけずに課題を終わらせることができたという回答者が多い。

一方で、生成回数を3回以上で非常に満足や満足として回答している生徒は、指示語を変えていくことで得られる情報の質があがったことや、対話しているように思えてきたと回答をしていることがわかった。表10は課題3までに提出されたレポートの分析結果を提示し、生成AIを使用したレポートに言葉の偏りがあること、また指示文の出し方や生成回数を複数行っている生徒に満足度が高いことを示し、課題4を提示しクロス集計を行った。

結果をみる複数回生成する生徒が明らかに増加し、3回以上行って課題を提出していることが読み取れる。指示文をみても、「中学生が理解できるように」や「日常生活の中で使われている関数を教えて」など具体的に問い直しをしていることがわかった。

## 6. 終わりに

本研究の準備を始めたのは2023年2月頃である。様々な機関で、生成AIが取り上げられことで、今後生徒たちの課題は生成AIを使用したものを提示するようになることを考えた。しかし、授業で取り扱うにも、文部科学省や大学から指針などはまだ揃わず、教育現場での扱い方も、議論され始めた時期であった。そのような中、2023年7月にガイドラインが示されたが、生徒たちの興味も高くなって来ており、卒業生(大学2年情報系)に会う機会があり、現状を聞くとかなり生成AIを既に活用して、学習に取り組んでおり、外国語の翻訳する課題は、ほぼ生成AIを使って提出していると答えていた。

一方、初等中等科では、生成AIについての方針が定まらずにいたが、一定の手順を抑えれば、誰でも簡単に生成AIを使用できるため、本校の生徒たちも生成AIを使用した課題を提出してくることが予想できた。本研究からみえてきた、考察を2つの観点からまとめ、報告とする。

### 6.1 課題の考察

今回の研究では、課題を生徒に4つ提示した。生成AIを使用した生徒のレポートをテキストマイニングを行うと、言葉の広がり方や、思考が偏っていることが共起ネットワークから読みとれた。また、語句の出現数からも偏りが起きており、生成AIを使用した生徒のレポートは似たような文章となった。特に課題1の「日常生活で使われているAI技術や製品を調査」では、生徒の回答に「スマートスピーカー」「自動運転技術」「AIアシスタント」を多く取り上げ、それぞれのメリットやデメリットを報告し

てくるレポートが多い結果となった。しかし、生成AIを使用せずに提出された課題の分析を行うと、表4からもわかるように、情報、社会、世界、インターネットという語句の出現数は多いが、他の語句は10台～1桁がほとんどとなった。共起ネットワーク図では図1～3、と図4、5の反応が異なっている。生成した回数も表10でわかるように、5回以上行っていることがわかり、明らかに生徒の使い方に変化が起きたことがわかる。

### 6.2 生成AI利用によるアンケートの考察

アンケートの分析を行うと、表9をみると、生成AIを使用した生徒の半数近くが、生成AIを1回～2回しか使用せずに課題を提出していた。生成AIを使用した生徒は、1～2回しか生成をせずに課題を作成していることがわかった。5回以上生成した生徒は全体の7.7%に留まっていることが見えてきた。一方で、生成AIを使用した生徒の回答で、提出したレポートの満足度や「質のよいものになった」と回答した生徒の生成回数をみると、5回以上生成させていたり、プロンプトもより具体的に入力していることがわかる。課題4でのアンケート回答では、前回と比較し、生成させる回数や指示文を具体的に入力していることがわかった。それにより共起ネットワーク図にも変化が生じている。今後、指示文をどのように入力したのかを細かく分析していく必要性があると考えている。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さいました放送大学教授 辰己丈夫先生、聖心女子大学教授 益川弘如先生に深謝致します。また、辰己ゼミの皆様には、本研究の遂行にあたり多大なご助言、ご協力頂きました。ここに誠意の意を表します。

### 参考文献

- [1] 文部科学省, 初等中等教育段階における生成AIの利用に関する暫定的なガイドライン, [https://www.next.go.jp/content/20230718-mtx\\_syoto02-000031167\\_011.pdf](https://www.next.go.jp/content/20230718-mtx_syoto02-000031167_011.pdf). 2023/9/4 確認.
- [2] 横山広美, 人工知能と社会下「AI8原則」の順守を, 日本経済新聞, 2023/5/9.
- [3] 柳川範之, 問われるのは「問う力」, 日本経済新聞, 2023/7/11.
- [4] 文部科学省, 中央教育審議会「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～(答申) 2021/1/26.
- [5] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編, 開隆堂出版, 2018.
- [6] 藤村裕一, 生成AIの教育利用に関する研究, 日本教育工学会研究報告集, 2023, 2号.

- [7] 鈴木秀樹, 東京学芸大学附属小金井小学校  
小学校 ICT 部会 20230822 鈴木発表,  
<https://www.youtube.com/watch?v=Lvs1V7qMw1s&t=8>.  
2023/9/4 確認

(2023年12月2日 受付)  
(2024年1月22日 採録)

# 高校生の自力解決型プログラミング学習における 生成 AI に対するフィードバック要求プロンプトの分類と適用

Classification and Analysis of high school students' feedback request prompts  
using generative AI in Self-resolved programming

齋藤 舞桜<sup>\*1</sup>・徳竹 圭太郎<sup>\*2</sup>・佐久間 大<sup>\*3</sup>

\*1: 秀明大学 学校教師学部 初等コース

\*2: 東京工業大学 大学院 博士課程

\*3: 秀明大学 学校教師部

## 抄録

本研究では、プログラミング学習において生成 AI を活用して自力解決を目指す学習者に着目し、①生成 AI からのフィードバックを要求するプロンプトの分類を作成して、②プログラミング学習での教育的実践に適用し、学習者と生成 AI とのやり取りを評価することを目的とする。これを達成するために、高校2年生が生成 AI に要求したプロンプトを対象に、大谷(2022)<sup>①</sup>の SCAT(Steps for Coding and Theorization)を適用し、プロンプトの分類を行い、大分類3つと中分類6つと小分類8つに分けることが出来た。次に、本研究で作成した分類を習得的なプログラミング学習と探究的なプログラミング学習にそれぞれ適用し、その実践を評価した。前者に適用した所、教師が設定した学習課題そのものの良し悪しを検討することや、生徒の到達度評価に転用できることの可能性を明らかに出来た。また後者に適用した所、学習者の課題の進捗状況を評価できる可能性が明らかとなった。今後の課題としてより多くの学習者が参加する実践に対して、本研究で作成した分類を適用する必要がある。

©Key Words フィードバック要求プロンプト, 生成 AI, プログラミング学習, 自力解決型, 学習評価

## 1. 研究背景

プログラミングを学習することによって、子供たちが様々な変化に積極的に向き合い、新たな価値につなげていくことがある。プログラミング学習の学習意欲を維持するために、ペア学習(寺川 2005)<sup>②</sup>やグループ学習(生田 2004)<sup>③</sup>等の協調的な学習を行っている事例がある。また、プログラミング学習では、学習課題としてのプログラムの難易度が高まるにつれて、熱心に取り組む生徒とそうでない生徒の差が出ると指摘されている(紅林 2004)<sup>④</sup>。さらに、できない生徒ができる生徒に頼ってしまい自主性が失われるという指摘もある(寺川 2005)<sup>⑤</sup>。

そこで、自主的にプログラミングを進めていく学習環境を充実させることが有効であると考え。教師が生徒に「生成 AI」を効果的に活用させることで自主的にプログラミング学習を促す桑田(2023)<sup>⑥</sup>の実践事例がある。しかし、桑田(2023)<sup>⑥</sup>の実践研究は、プログラミングのエラーに対する生成 AI の回答の正確性の限界点を言及することに留まっている。つまり、学習者の生成 AI とのやり取りを充実させるための評価に関する分析はなされていない。

一方、児童生徒の学習を改善するための研究として、

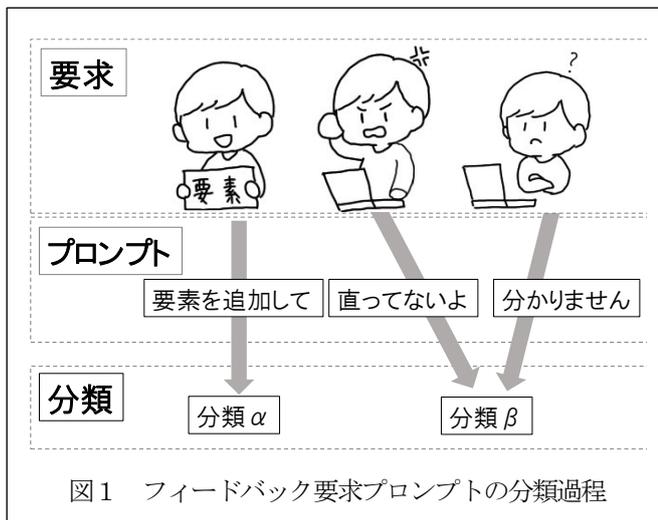
教師のフィードバックに注目した研究が幾つかある。例えば、算数科の実践に着目した山本(2015)<sup>⑥</sup>や、探究的な学びの実践に着目した佐久間ら(2016)<sup>⑦</sup>がある。

しかし、自主的なプログラミング学習における生成 AI のフィードバックの研究は少ない。この原因は、生成 AI-児童生徒間のやり取りを評価する研究が十分に行われていないためであると考えられる。例えば、生成 AI を活用したプログラミング学習において、そのやり取りを教師が把握するための評価基準が必要であると考えられる。

そこで本研究では、自主的にプログラミングを進めていく学習者が、生成 AI からどのようなフィードバックを欲している時、どのようなプロンプトを記述しているのかに着目し、その要求の種類を明らかにする(図1)。また、プログラミング学習での教育的実践に適用し、生成 AI と学習者とのやり取りの状況を分析する。

## 2. 研究目的

本研究では、生成 AI からのフィードバックを要求する記述文(以下、フィードバック要求プロンプトと称



す)を分類して、プログラミング学習での教育的実践に適用し、学習者と生成AIとのやり取りを評価することを目的とする。

上記の目的を達成するために、次の2点を行った。

- (1)佐久間ら(2015)<sup>①</sup>の方法を参考にして、少数のデータを対象に、学習者のプロンプトの意図を概念化して抽出する上で有効な大谷(2022)<sup>②</sup>のSCAT(Steps for Coding and Theorization)を用いて、フィードバック要求プロンプトの分類の作成を行った。
- (2)自主的にプログラミングを行う実践として「予め教師が目標を設定したプログラミングの学習課題の実践」で得られた計119個(27名分)と、「学習者自身が目標を設定し、それを実現するプログラミングの学習課題の実践」で得られた計103個(2名分)の生成AIに対するプロンプトに対して、(1)で作成した分類を適用し、その実践を分析した。

以下、前者を「習得的実践」、後者を「探究的実践」と呼ぶことにする。また、これらの様々な学習において、生成AIを活用して自力解決を目指す学習者を、自力解決型プログラミング学習者と定義する。

これらを達成することで、自力解決型プログラミング学習者が、どのようなフィードバックの要求を行っているかどうかについて分析し、その学習の改善を図る上で有用な資材を提供することが出来る。ここに本研究の意義がある。

### 3. フィードバック要求プロンプトの分類

#### 3.1 分類の方法

本研究では、以下の学習の実践と対象者の分析に基づいて、フィードバック要求プロンプトの分類を作成した。

具体的には、関東にある私立高校2年生の男子生徒1名を対象者とした。この実践は、2023年11月上旬に

実施した。対象者は高校1年次に、情報の授業を履修済みであり、プログラミングでVR射撃ゲームを制作した経験を有する。また、その実践の学習課題は「Unityで、生成AIを使いながら、“何か面白いもの(ソフトウェア)を開発せよ”」である。このように学習者自身のアイデアやアプローチを発展させる余地のある課題を与えることで対象者から、様々なフィードバックを要求するプロンプトを抽出することができると考えた。

そして、この実践で得られたデータに対して、以下の経験を有する著者ら3名で分類を行った。第一著者については、プログラミング学習の支援や、子供らの学習を改善するための直接的な指導・助言を行った経験を持つ。また、第二・三著者については、システムの開発ならびにSCATを用いた発話研究、IT企業におけるシステム開発に対して指導・助言を行った経験を有する。このことから、生成AIに対するフィードバック要求プロンプトの分類を行う上で適性が認められると考える。

これを通じて、大谷(2022)<sup>②</sup>の質的分析手法SCATを用いてフィードバック要求プロンプトを分類した。以下、具体的な手順(1-3)を示す。

(手順1)学習者のプロンプトの概念化は、大谷(2022)<sup>②</sup>の質的分手法SCATを用いた。具体的な手順として、全プロンプトデータに対して、(1)着目すべき語句、(2)それを言いかえるための語句、(3)それを説明するための語句、(4)そこから浮き上がる構成概念の順に記し概念化を行った(表1)。

(手順2)構成概念を用いて、要求が起こる文脈を把握できるストーリーラインを作成し、それを基に理論記述を作成した(表2)。

(手順3)理論記述から、フィードバック要求プロンプトの大分類、中分類、小分類を作成した。

#### 3.2 本研究で作成した分類

(手順2)の結果を表3に示す。大分類は「1.共有型」「2.依頼型」「3.対話・協働型」の3つであり、中分類は「1.1共有」、「2.1作成」「2.2修正」「2.3把握」、「3.1受講」「3.2提案」の6つであった。また、小分類については、8つに分類した。小分類の具体例を表4に示す。

このように本研究で作成した分類を、自力解決型プログラミング学習者のプロンプトに適用すれば、様々な学習者の意図を評価することが出来る。例えば、3つの大分類と、6つの中分類を設けることで、開発の

表1 SCATの分析手順の一例

番号	テキスト	(1)テキスト中の注目すべき語句	(2)テキスト中の語句の言い換え	(3)左を説明するようなテキスト外の内容	(4)テーマ、構成概念(前後や全体の文脈を考慮して)
1	unityでfps開発をするためにプレイヤーの視点がマウスに追従するプログラムを書いてください。言語はC#です。	unityでfps開発/言語はC#	主となるスクリプトの生成を要求	堅苦しさ、フォーマット、定型表現、土台	開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求
2	wasdのキーをつかってそれぞれ前、左、後ろ、右にプレイヤーがいどうするスクリプトを書いてください。	wasdのキー/それぞれ/プレイヤーがいどう	移動の実現要求	段階的、以前までのプログラミング経験を生かした要求	部分的なプログラムを作成させる要求
3	wが前、aが左、sが後ろ、dが右です。	wが前/aが左/sが後ろ/dが右	プログラムの誤り報告、正しい意味の提示	対応要求、言い換え表現	言い換え(表層)に基づくプログラムの修正の要求
4	wで現在の視点の位置から見て前、aが現在の視点に位置からみて左、sが現在の視点から見て後ろ、dが現在の視点から見て右に進むようにプログラムしておいてください	wで現在の視点の位置から見て前、aが現在の視点に位置からみて左、sが現在の視点から見て後ろ、dが現在の視点から見て右に進むようにプログラム	視点という言葉が新たに使用して言い直すことで移動を可能にした	FPSを再認識、詳細に要求、再定義	コンテンツの変更にに基づくプログラムの修正の要求
5	前スクリプトにシフトキーを押しながらwを押すとダッシュができるようにプログラムを加えてください	前スクリプトにシフトキーを押しながらwを押すとダッシュができる	シフトキーを押しながらwを押すとダッシュできるようにしたい	新しくスクリプトの追加項目の生成を要求	部分的なプログラムを作成させる要求

表2 ストーリーラインと理論記述

ストーリーライン	<p>C#のプログラミング言語を習得済みの学習者Aは、ChatGPT(ver.3.5)に開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求をする。次に、学習者Aは、部分的なプログラムを作成させる要求によって新たな要素の追加を行う。さらに、学習者AはChatGPTが作成したプログラムが、自身の設計していた計画と異なっていた時に、言い換え(表層)に基づくプログラムの修正の要求やコンテンツの変更に基づくプログラムの修正の要求を行う。学習者AはChatGPTとのプログラミング学習の中で、ChatGPTが作成したプログラムの修正可否を提案する要求をし始める。ところが、学習者Aが望んでいる結果が得られない状況が続く場合も見られる。その時学習者Aは、プログラムの解説の要求によってChatGPTから学ぶ姿勢が見られる。また、プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求によって原因を明らかになっている。さらに、ChatGPTが作成したプログラムのエラーの状況の把握を依頼する要求を行い、プログラムの改善点そのものをChatGPTに発見させようとする傾向が見られる。</p>
理論記述	<p>学習者は習得的に得た学びを踏まえ、開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求を行う。次に、学習者は、全体の設計の計画に新たな要素を追加する形で、部分的なプログラムを作成させる要求をする。さらに学習者は、生成AIが作成したプログラムが自身の設計していた計画と異なる場合、言い換え(表層)に基づくプログラムの修正の要求や、コンテンツの変更に基づくプログラムの修正の要求を行う。学習者は、生成AIとのプログラミング学習の中で、自身で改善・解決を図るためにプログラムに着目し、プログラムの修正可否を提案する要求し始める。また、学習者が生成AIから望んでいる結果を得られない状況が続く場合、学習者はプログラムの構造の解説の要求を行い、プログラムそのものを生成AIから学ぶ姿勢が見られる。また、プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求によって原因を明らかにする。さらに、生成AIが作成したプログラムのエラーの状況の把握を依頼する要求を行うことで、生成AIにプログラムの構造の改善点を発見させる傾向が見られる。</p>

表3 本研究で作成したフィードバック要求プロンプトの分類

大分類	中分類	小分類	出現数
1共有型	1.1共有	1.1.1 開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求	1
2依頼型	2.1作成	2.1.1 部分的なプログラムを作成させる要求	6
		2.2.1 言い換え(表層)に基づくプログラムの修正の要求	1
	2.2修正	2.2.2 コンテンツの変更に基づくプログラムの修正の要求	4
		2.3把握	2.3.1 プログラムのエラーの状況の把握を依頼する要求
2.3.2 プログラムのエラーの箇所の把握を依頼する要求	4		
3対話・協働型	3.1受講	3.1.1 プログラムの解説の要求	5
	3.2提案	3.2.1 プログラムの修正可否を提案する要求	2

表4 小分類で抽出した8種類の要求プロンプト

小分類	テキスト
1.1.1	unityでfps開発をするためにプレイヤーの視点がマウスに追従するプログラムを書いてください。言語はC#です。
2.1.1	w, a, s, dのキーをつかってそれぞれ前、左、後ろ、右にプレイヤーがいどうするスクリプトを書いてください。
2.2.1	wが前、aが左、sが後ろ、dが右です。
2.2.2	wで現在の視点の位置から見て前、aが現在の視点に位置からみて左、sが現在の視点から見て後ろ、dが現在の視点から見て右に進むようにプログラムしておいてください
2.3.1	なおっていません
2.3.2	オブジェクトを持つと自分の近くにオブジェクトがくるのですが、そこから固定されてしまい、動かせません
3.1.1	このスクリプトでは、持ったアイテムをどのオブジェクトの子にしていますか
3.2.1	上のスクリプトでRayの範囲を広げることではできませんか

上流工程におけるマネージャーや、下流工程におけるプログラムを協働的に開発するプログラマーが抱く様々なフィードバックの要求の有無について大まかに評価することが出来る。

さらに、8つの小分類を用いることで、その学習者がどのようなフィードバックを要求しているかを評価することが出来る。以下、小分類を適用する場合について詳述する。「1.1.1 開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求」は、学習者が設定するプログラム全体の計画を評価することが出来る。「2.1.1 部分的なプログラムを作成させる要求」は、全体の設計の計画に新たな要素を追加する意図を評価することができる。「2.2.1 言い換え(表層)に基づくプログラムの修正の要求」は、生成AIが作成したプログラムがうまく動作しなかった時、フィードバック要求プロンプトを言い換えて再度要求していると評価できる。「2.2.2 コンテンツの変更に基づくプログラムの修正の要求」は以前に記述したプロンプト中の言葉の意味を再定義して再度要求していると評価できる。「2.3.1 プログラムのエラーの状況の把握を依頼する要求」は、発生しているエラーについて、生成AIに問題の特定や解決に役立つ情報を提供してもらうように依頼していると評価できる。「2.3.2 プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求」は、エラーコードや不明点を提示しながら生成AIに問題点を発見させていると評価できる。「3.1.1 プログラムの解説の要求」は、課題の解決策を生成AIに提案させていると評価できる。「3.2.1 プログラムの修正可否を提案する要求」は、変更を望むプログラムの構造に関して、変更の可否を尋ねている要求として評価できる。

## 4. 適用・分析

### 4.1 適用対象と仮説

本研究で作成した分類を、2つの実践に適用して、仮説実験的に検証した。実践の1つを習得的実践、もう一つを探究的実践と呼ぶことにする。本研究では習得的実践と探究的実践のそれぞれの学習課題の特性の違いをもとに、分類の仮説を導出した。習得的実践における課題にはプログラムを実行した結果(正解)を付与しているため、対象者は生成AIの提案したプログラムに修正を加えていく学習の過程が想定される。探究的実践における課題には、学習者が自らやりたいことを設定し、その目標を達成するような課題であるため、生成AIに対象者自身が要望するプログラムを構築し、提案を伝えながら進める学習の過程が想定される。これらのことから、次の仮説を立てた。

**仮説1**：習得的実践では、「2.2 修正」のようなプロンプトが増えると考えられる。

**仮説2**：探究的実践では、「3.2 提案」のようなプロンプトが増えると考えられる。

### 4.2 習得的実践への適用

生徒にデータフレームを完成させることを目標とする習得的実践の課題(表5)を与え、どのようなフィードバック要求をしているのか、本研究で作成した分類(表3)を適用して分析した。

習得的実践は、関東にある私立高校1年生27名(男子5名、女子22名)の情報Iの授業内で実施した(2023年11月10日)。学習課題として「生徒に成績データを処理するためのコードを作る課題」と、「体脂肪率のデータを処理するためのコードを作る課題」を出題した。

この実践で得られた要求プロンプトに対して、本研究で作成した分類を適用し、分析を行った。

### 4.3 探究的実践への適用

学習者に探究的実践の課題を与え、どのようなフィードバック要求をしているのか本研究で作成した分類(表3)を適用して分析した。

探究的実践は、関東にある私立高校2年生1名と前年度の卒業生男子1名を分析対象として2023年11月10日から11月13日に実施した。分析対象者は、Unityの試験資格のアソシエイト程度の到達度(Unity認定試験2024<sup>®</sup>)を有すると共に、探究的なプログラミングに興味をもって取り組む生徒、大学生である。学習課題として、「今やりたいことをChatGPTと相談しながら作りなさい」を用いた。

習得的実践と同様に、本研究で作成した分類を適用し、分析を行った。

## 5. 結果・考察

### 5.1 習得的実践における分析結果・考察

まず、習得的実践の課題に取り組む学習者の「生成AIに対して記述したプロンプト」を対象に、本研究で作成したフィードバック要求プロンプトの分類を適用して分析を行った。その結果を図2.1に示す。図2.1は、横軸は要求の出現数、縦軸は小分類を表す。

最も多く出現した要求の分類は「2.1.1部分的なプログラムを作成させる要求」であり、計111個確認された。次いで、「2.3.2 プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求」が計5個、「3.2.1 プログラムの修正可否を提案する要求」が計2個、「2.3.1 プログラムのエ

表5 習得実践の課題

◆初級問題

○以下の表と全く同じデータ配列の表を作成しましょう。  
<ヒント>

- 1) Pythonでは表のことを「データフレーム」と呼びます。
- 2) 表の一番上の行を「ヘッダー」と呼びます。
- 3) 表の一番左の列のことを「インデックス」と呼びます。

生徒/学生	国語	数学	英語	社会
生徒A	100	80	70	60
生徒B	50	90	100	50
生徒C	70	60	40	50
生徒D	100	20	30	60

◆中級問題

○初級問題で作った「データフレーム」に「合計点」という列を追加し、そこに国語～社会までの合計点を入れて下さい。ただし、合計点は直接入力せず、プログラムに計算させて下さい。

生徒/学生	国語	数学	英語	社会	合計
生徒A	100	80	70	60	310
生徒B	50	90	100	50	290
生徒C	70	60	40	50	220
生徒D	100	20	30	60	210

◆上級問題

○ユーザーに「生徒名」と「各教科の点数」を入力させ、合計点を算出したデータフレームを出力して下さい。ただし、ユーザーが生徒名の入力時に「:q」と入力したら、表の入力を終了させて下さい。

生徒/学生	国語	数学	英語	社会	合計
生徒A	100	80	70	60	310
生徒B	50	90	100	50	290
生徒C	70	60	40	50	220
生徒D	100	20	30	60	210

**基本レベル**

問題1: 体脂肪率の単純計算  
ユーザーから体重(kg)と体脂肪量(kg)を入力として受け取り、体脂肪率を計算するプログラムを書きなさい。

**中級レベル**

問題2: BMIに基づいた体脂肪率の推定  
ユーザーから身長(m)と体重(kg)を入力として受け取り、BMIを計算し、それに基づいて体脂肪率を推定するプログラムを書きなさい。

**上級レベル**

問題3: 複数人の体脂肪率データの管理と分析  
ユーザーが複数人の身長、体重、年齢、性別を入力できるようにし、それぞれの体脂肪率を計算して保存するプログラムを書きなさい。さらに、次の機能を実装します。

- ・最も高い体脂肪率を持つ人のデータを表示する。
- ・平均体脂肪率を計算する。
- ・男性と女性それぞれの平均体脂肪率を計算する。

ラーの状況の把握を依頼する要求」が計1個、順次確認された。一方で、上記以外の小分類に関するフィードバック要求プロンプトは見られなかった。

これらの結果より、27名の生徒の生成AIとのやり取りについては、以下のように評価することが出来る。

- ・教員が与えた問いを学習者が生成AIにその文脈のまま要求しても伝わる単純な問いであり、「2.2 修正」を行う必要がなかったと考える。

- ・生徒が生成AIに対して要求するパターンを有していないことから、与えられた問いを何度も引用して要求している状況であると考え。

つまり、本研究における習得実践においては、設定した仮説を検証するには不十分であった。その一方で、分類の偏りが見られたことは、教師が設定した学習課題が、生徒らの単純な作業を誘発したことを表している。習得実践では学習課題の難易度が対象者にとって易しかったため、フィードバック要求プロンプトが「2.1.1部分的なプログラムを作成させる要求」の分類に偏ったと考えられる。このことは、教師の設定した学習課題そのものの良し悪しを検討することや、生徒の到達度評価に転用できることの可能性を明らかに出来たと考える。

## 5.2 探究的実践における分析結果・考察

次に、探究的実践の課題に取り組む学習者の「生成AIに対して記述したプロンプト」を対象に、本研究で作成したフィードバック要求プロンプトの分類を適用して分析を行った。その結果が図2.2である。図2.2は、横軸は要求の出現数、縦軸は小分類を表す。

最も多く出現した要求の分類は「2.3.2プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求」であり、計56個であった。次いで、「3.1.1プログラムの解説の要求」が計40個、「2.3.1プログラムのエラーの状況の把握を依頼する要求」と「3.2.1プログラムの修正可否を提案する要求」がそれぞれ計3個、「1.1.1開発したいプログラム全体の設計の計画を共有する要求」が計1個、順次確認された。

一方で、上記以外の小分類に関するフィードバック要求プロンプトは見られなかった。

本研究の探究的実践で得られた結果として「2.3.2プログラムのエラー箇所の把握を依頼する要求」と「3.1.1プログラムの解説の要求」が多く見られた。つまり仮説2は棄却され、「3.2 提案」の分類よりもフィードバック要求プロンプトが多くなるという結果となった。その理由について次のように考える。

- ・本研究における探究的実践の学習者は、生成AIにエラーの解消を要求し続ける特徴がある
- ・本研究における探究的実践の学習者の要求の意図が、生成AIに対して十分に伝えることが出来なかった可能性がある

つまり、本研究における探究的実践において、「2.3 把握」の要求が多い点に着目すると、学習者は学習課題に対して、計画・設定したプログラムを実現することが出来ない状況に陥っていると推察できる。

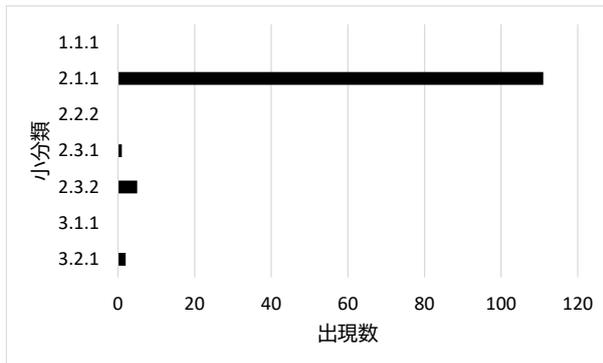


図 2.1 習得的実践における出現数

N=119, 27人の学習者から収集

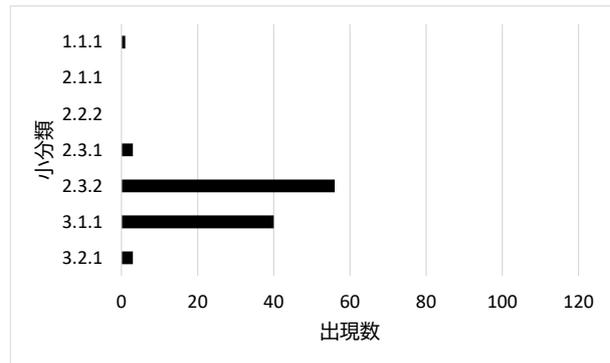


図 2.2 探究的実践における出現数

N=103, 2人の学習者から収集

図 2 フィードバック要求プロンプトの出現数のグラフ

ただし、「3.2 提案」の要求が多くなっている点に着目すると、学習者は生成 AI と共に計画・設定したプログラムの作成を進めていることが分かる。

すなわち、教師が学習者のフィードバック要求プロンプトの種類とその出現数を把握することで、学習者の課題の進捗状況を評価できる可能性を明らかにした。

## 6. まとめ

本研究では、プログラミング学習において生成 AI を活用して自力解決を目指す学習者に着目し、①生成 AI からのフィードバックを要求するプロンプトの分類を作成して、②プログラミング学習での教育的実践に適用し、学習者と生成 AI とのやり取りを評価することを目的とする。これを達成するために、高校 2 年生が生成 AI に要求したプロンプトを対象に、大谷(2022)<sup>4)</sup>の SCAT を適用し、プロンプトの分類を行い、大分類 3 つと中分類 6 つと小分類 8 つに分けることが出来た。

次に、その分類を習得的実践、探究的実践にそれぞれ適用し、その実践を分析した。習得的実践に適用した所、教師が設定した学習課題そのものの良し悪しを検討することや、生徒の到達度評価に転用できることの可能性を明らかに出来た。

また、探究的実践に適用した所、学習者の課題の進捗状況の評価できる可能性が明らかとなった。

今後の課題として以下のことがある。習得的実践では、学習到達度に偏りが現れる結果となり、学習者ごとの学習到達度の違いを分析することが出来なかった。様々なフィードバック要求プロンプトが出現すると考えられる新たな実践に、本研究で作成した分類を適用する必要がある。また、探究的実践では、対象者が少数であったことから限定的な考察をせざるを得なかった。より多くの学習者が参加する実践に対して、本研究で作成した分類を適用する必要がある。

## 謝辞

協力していただいた生徒、学生の皆様に深く感謝するとともに、心から御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) 大谷尚：“質的研究の考え方 研究方法論から SCAT による分析まで”，名古屋大学出版会(2022)。
- (2) 寺川佳代子，喜多一：“プログラミング教育におけるペア学習の試みⅢ”．第 4 回情報科学技術フォーラム講演要旨集，pp.345-346. (2005)。
- (3) 生田目康子：“ピア・レビューをとまなうグループ学習の評価-斉型プログラミング授業への適用”．情報処理学会論文誌，45(9)，pp2226-2235. (2004)。
- (4) 紅林秀治，兼宗進：“プログラミング学習についての一考察:ロボット制御のプログラミング学習とソフトウェア作りのプログラミング学習を比較して”．情報教育シンポジウム 2004 論文集，2004(9)，pp.21-28. (2004)。
- (5) 桑田喜隆，石坂徹，政谷好伸，横山重俊，浜元信州，谷沢智史：“生成系 AI を活用した Jupyter Notebook のプログラミング演習支援に関する検討”．人工知能学会第二種研究会資料，2023(KSN-033)，p.06. (2023)。
- (6) 山本佐江：“算数の問題解決の授業における形成的フィードバックの有効性の検討 小学校入門期授業への主体的・能動的な子どもの参加”．日本教科教育学会誌，38(3)，pp.13-24. (2015)。
- (7) 佐久間大，吉井拓弥，室田真男：“総合的な学習の時間における教師の形成的フィードバックの分類の検討”．日本教育工学会論文誌，40(2)，pp.57-74. (2016)。
- (8) Unity 認定試験: <https://unity.com/ja/products/unity-Certifications>，(2024年1月20日閲覧)。

(2023年12月3日 受付)

(2024年1月26日 採録)

# WordNet 収録データの可視化による語彙学習サービスに向けた 語彙関係表示システムの開発

Development of language learning service system by visualization of vocabulary data  
in WordNet

小野 真嗣<sup>\*1,2</sup>・曾我 聡起<sup>\*2</sup>・菊地 真人<sup>\*3</sup>・田邊 鉄<sup>\*4</sup>

Email: onomasa@muroran-it.ac.jp

\*1: 室蘭工業大学 大学院工学研究科

\*2: 公立千歳科学技術大学 大学院理工学研究科

\*3: 名古屋大学 大学院工学研究科

\*4: 北海道大学 情報基盤センター

## 抄録

本稿では、ユーザビリティエンジニアリングの観点から教育工学的手法によって、効果や効率および満足度の高い言語学習や指導を提供するサービスを提案する目的で、語彙情報の表示システムの開発について述べる。コーパス言語学をはじめとする計量的な言語分析を行う研究分野では、1960年代以降多くの定量的な語彙表が作成された。一方、コンピュータ科学の分野ではWordNetと呼ばれる電子的な概念辞書データベースも開発された。しかしながら、学習目的への応用という側面では、これらのコンテンツは十分に連携を取りながら活かされているとは言えない。本研究では、頻度、難易度、関係性の観点から、これら言語学・情報学それぞれの分野で産出された既存の語彙データを再活用し、語彙学習に向けた学習者向けの学習サービスの提案を試みた。具体的には、語彙間の関係性をWordNetに収録された類語辞典的なデータではなく、上位語・下位語の階層情報に注目し、それらの可視化によって、語集団としてのグループ生成のシステムを開発した。本稿は、そのシステム実装に関して報告する。

◎Key Words 統合語彙表, 語彙間の関係性, WordNet, 可視化, 学習サービス

## 1. はじめに

言語学の分野では、言語記述の精密化や指導法の効率性を求め、コーパス言語学の大衆化とともに、様々な語彙表の編纂が行われてきた。また情報学の分野では、概念辞書と呼ばれるWordNet<sup>(1)</sup>が編纂され、語彙が有する上位概念や下位概念など語彙間の関係性を収録したデータベースも開発されている。

本研究は、これらの既に公開されている機械可読の語彙情報を収集・集約してデータベース化を図り、そのデータ活用を進めながら、新たな語彙学習法や提供サービスを構築することを目的とし、語学の指導や学習にかかる効率を高め、学力や運用力といった効果を引き上げながら、ユーザーとなる指導者や学習者に高い満足度を提供する一連の学習サービスの開発を最終目標とする。

本稿は、語彙の頻度や難易度に関する情報を統合したデータベース(統合語彙)について述べた上で、統合に用いた語彙情報の紹介と、統合された語彙データを用いて試作した語彙情報提供サービスについて報告する。語彙情報提供サービスは、電子的概念辞書データベースのWordNetに収録されている上位語・同位語・下位語の情報に基づき、ある語彙が他の語彙とどのような関係性を有するかマッピングする形で可視化できるようにしたものである。語彙間の関係性を可視化させる形で学習定着効果を促すサービスを考案することで、可視化サービスの開発成果物の実装機能を報告する。

## 2. 研究背景

### 2.1 研究の目的とアプローチ

日本語を母語とし、外国語として英語を学ぶ日本人にとって、大きな悩みの種となっている者は数多い。語彙の習得はその一つであり、日本国内では国際化・グローバル化が進んでいるものの、常日頃に英語を用いる環境も多くなく、諸外国に比べ英語の習得には困難を抱えている。

本研究の目的は、教育工学の観点から外国語の学習や指導に対して効果的かつ効率的な手法を求め、指導者や学習者に満足感、充実感、達成感を満たす手法を提案することである。教育にかかる一連の活動をサービスとして捉え直し、指導者や学習者をそのサービスのユーザーとして再定義し、教育工学に基づいて開発された指導法や教材利用を、ユーザーエクスペリエンス(UX)の尺度に基づいて評価することを目指すものである。

### 2.2 未利用データの活用

言語学においては、Kucera & Francis(1967)によるBrown Corpusに基づく語彙頻度表作成<sup>(2)</sup>を皮切りに、コンピュータによる語彙の使用頻度を求める研究に端を発し、現在はコーパス言語学(Corpus Linguistics)として頻度や使用域の他、言語変異についての計量的な言語研究分野が確立されている。これまでに多くの研究成果が公開されており、データセットとして数多く公開

されている。

外国語教育学においては、園田(1996)の北海道大学英語語彙表<sup>3)</sup>や、大学英語教育学会基本語改訂委員会(2003)のJACET8000に代表される学習語彙表<sup>4)</sup>が、当時のコンピュータ処理によって人間の語感を超え、データに基づいた教育改善目的の学習語彙として選定・公開されている。

情報学においては、WordNetと呼ばれる機械可読の概念辞書が存在し、フリーで利用可能となっている。一つの特徴として挙げられるのは、検索語に対して上位語・下位語など他の語群との関係性を示す情報を有しており、データとして抽出可能なことである。

これらのデータは活用できる部分は、教育工学の観点からは大いにあると考えられ、①語彙情報の統合によるデータベース化、②語彙情報の適切な提供サービス、③語彙情報を利用するユーザーのユーザーエクスペリエンス(UX)に基づく評価を進めるものである。これら既出の語彙収録媒体は、収録されている語彙情報の特性により、表1に示す通り、3つに分類される。

表1 語彙表の種類と例

語彙表	例	語彙数
語彙頻度表	Kucera & Francis (1967)	-
	Kilgariff (1995)	6318
	杉浦リスト1 (2002)	5776
	杉浦リスト2 (2002)	7286
学習語彙表	北大語彙表 (1996)	7453
	JACET 8000 (2003)	8000
	COCET 3300 (2007)	3300
	ALC SVL 12000	12000
	WordNet	150000

Kuceraらが編纂した語彙頻度表は、総語数100万語からなるBrown Corpusと呼ばれるテキストデータに基づいた世界最初の語彙頻度表である<sup>5)</sup>。その後、Kilgariffは1億語からなるBritish National Corpusに基づいて語彙研究を進め、語彙の使用頻度800回以上の6318語を高頻度語彙集として選定した<sup>6)</sup>。杉浦リストとして通称される語彙頻度表は、杉浦(2002)において、文部省検定済高等学校英語教科書「英語I」と「英語II」に掲載されていた語彙の頻度を求めた語彙集である<sup>6)</sup>。

一方、学習語彙は語彙の難易度についての記載がある語彙表である。北大語彙表は園田(1996)が編纂したもので、当時市販の各辞書記述上の難易度について集約した情報を基本に7453語を選定し、レベル1となる中学基本語彙から、レベル5の大学発展語彙までの5つに段階付けした語彙集である<sup>3)</sup>。JACETは1000語ごとに8つのレベル付けを、SVLは1000語ごとに12のレベル付けを、COCETは500語ごとに7つのレベル付けをした難易段階別の学習語彙表である<sup>4)</sup>。図1は、これら語彙情報を統合したデータの例示であり、菊地・小野(2014)で公開している<sup>7)</sup>。

Miller(1998)はPrinceton UniversityでWordNetと呼ばれる英語の電子的概念辞書を開発している。英単語がsynsetと呼ばれる同義語のグループに分類され、簡単な

定義や、他の同義語のグループとの関係が記述されたデータベースである<sup>1)</sup>。本研究では、これら語彙表やWordNetに収録されたデータを活用し、上位語・下位語といったコンピュータで抽出可能な電子化された階層情報と組み合わせることで、従来に代わる語彙学習への情報提供サービスを新たに目指す。

## 2.3 学習者の語彙学習ニーズ事前UX調査

小野ら(2023)では、北海道内の理工系3機関に所属する学生を対象としたサービス利用前のUX調査が行われている<sup>8)</sup>。その結果によると、調査時点以前における過去の試験勉強や会話訓練などを含めた自身の英語学習に対しては、学習効率について良い印象は有していないことが示された。一方、効果は上がらずとも、その努力によって一定程度得られた成果については効果として認識している傾向も示されたことが指摘されている。このような効果と効率に対する認識により、英語学習に対する満足度も否定的な傾向が強く示されたことが報告されている。この現状を踏まえた上で、語彙の関連性を表示する可視化による学習サービスについては、利用したいという肯定回答が占め、これまでにない新たな学習方法として新たに提案できる手法であることが示され、本研究のシステム開発に至っている。

## 3. システム開発

### 3.1 可視化のための画像生成システムの試作

細川ら(2022)では、WordNetにおける語彙間の関係性の情報抽出の目的で、可視化のための画像生成システムを試作した<sup>9)</sup>。表1の統合語彙に収録され、基本語彙となる語には赤・緑・青で色付けされる工夫も行い、統合語彙15885語についての語彙関係を可視化させることに成功した。図1は、entityという語を上位語の頂点とし、foodという語を検索して可視化表示した際の上位語(hyponym)の語群を示す図である。

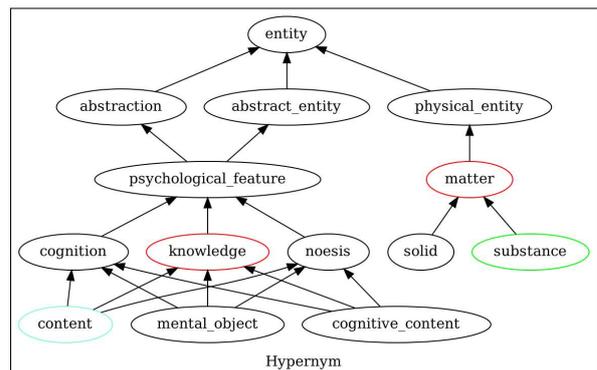


図1 細川ら(2022)における可視化の生成画像例

図1における画像生成手法は、1つの語を指定し、その語に関係する他の語との関係性を示すグラフを、図2で示すような単線型で生成されている。しかし、この試行的な画像生成の過程においていくつかの問題点も明らかになり、さらなる修正のため本研究に至っている。その問題点を次の(1)で示す。

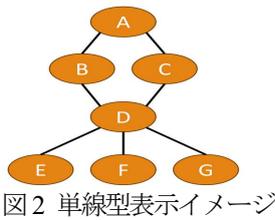


図2 単線型表示イメージ

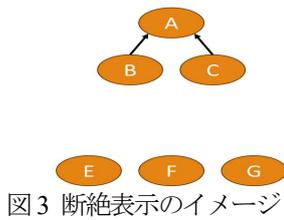


図3 断絶表示のイメージ

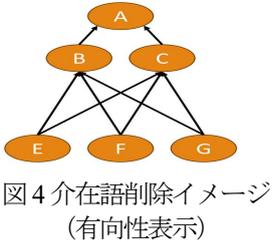


図4 介在語削除イメージ (有向性表示)

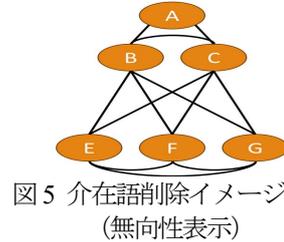


図5 介在語削除イメージ (無向性表示)

- (1) a. 下位語群から上位語までの全ての語彙関係が1枚の画像で表示される反面、下位語群が多い語彙を検索した場合、語彙間のつながりを示す関係線が多数で複雑化し、逆に表示が見つらなくなる
- b. 下位語群から上位語までの関係性を一部省略する目的で途中の語を削除した場合には、語の関係がシステム内で途切れてしまい、図3のように WordNet 収録の適切な語彙関係情報を維持できなくなり、適切な画像生成が行われなくなる

このことから、(2)に示すような解決に向けた修正を施すこととなった。

- (2) a. 下位語群から上位語までの全ての語彙関係を表示させず、任意の小規模の語彙集合のみの関係性を表示できる機能の実装
- b. 途中に介在する語を削除しても、WordNet 収録の適切な語彙関係を維持できるように、画像生成プログラムの修正 (図4および図5)

この(2)に示した修正により、問題が解決され図4のように下位語群から上位語への有向性の矢印を表示する形で生成した画像例が図6となり、また語の関係性のみを示し矢印表示しない画像生成例が図7である。

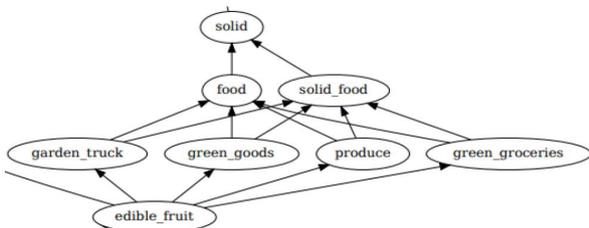


図6 有向性表示による下位から上位までの語群表示

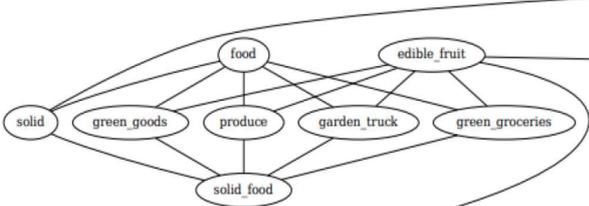


図7 無向性表示による語彙関係を示す画像生成例

### 3.2 ウェブブラウザによる可視化 UI 開発

前節において、WordNet における語彙間の関係性の情報抽出を目的に、その関係性の可視化には画像生成という手法を選択してプログラムの開発を進めた。結果として、統合語彙 15885 語に関する語彙間の関係性を可視化させ、画像生成処理を経て一つの可視化リポジトリとして、描写による視認可能な語彙情報をまとめることができた。一方、語彙学習に携わる学習者や指導者など、それぞれの立場の者が、既に生成された静的な画像を閲覧するだけでは十分な効果や満足度が得られる訳ではない。昨今はパソコンやスマホやタブレットといった情報機器で手軽に操作ができ、その利用者(ユーザー)のニーズに応じてリポジトリからの検索および結果表示が可能となるシステムがどの分野でも求められている。実際の語彙学習場面でも、学習者や指導者には1人1台端末の GIGA スクール構想が進んでいることもあり、次段階としてインターフェースの開発へ移行した。

画像出力までのプログラムを基本に、ウェブブラウザによって語彙間の関係性を可視化できるシステムのインターフェースを作成するにあたり、表2に示した各種設定環境を組み合わせることで実装<sup>1</sup>を試みた。

項目	名称
描画ソフト	Dash Cytoscape
動作実行	Python3
仮想環境	Pinenv
シェル	Linux / WSL2 か Mac OS

ブラウザ画面の構成上は、簡素な作りとし、語彙間の関係性をグラフ描写する窓を大きくとりつつ、語彙情報をユーザーが入力する欄を片側一カ所に設けた。ユーザーが画面上に入力していくインターフェースの仕様は表3にまとめ、具体的な画面を図8に示す。表3の例示内容の説明は(4)に示す。

タブ	操作上の機能	例
Query	Vocabulary/Synset 選択	WordNet 仕様
	検索語彙の入力欄	文字列を入力
	除外語彙の入力欄	文字列を入力
	処理実行ボタン	Submit
Layout	可視描画表現の選択	Klay横断階層表示
	上位語/下位語の選択	Hypemym上位語
	語彙接続関係の維持	Yes 有/No 無
	品詞の選択	Noun 名詞
Download	統合語彙情報の選択	huevl北大語彙範囲内
	結果表示の画像出力	jpg / png / svg

<sup>1</sup> 本研究では、グラフデータを計算機上で作成するため python を用いて実装しているが、グラフの作成・データ抽出を行うために、オープンソースライブラリである NetWorkX を用いている。また WordNet がデータ元となるが、Open Multilingual Wordnet に収録されている Princeton WordNet のバージョン 3.1 を使用した。WordNet を Python で扱うため、API として Natural Language Toolkit を使用した。

表3に例示した可視化UIの各仕様については、図8に示す画面右側入力画面により一元化して配置した。図9は画面右側のQueryタブ内の入力画面であり、語彙関係を描写したい各語の文字列指定を中心に構成している。具体的な項目指定は、(3)および(4)に示す。

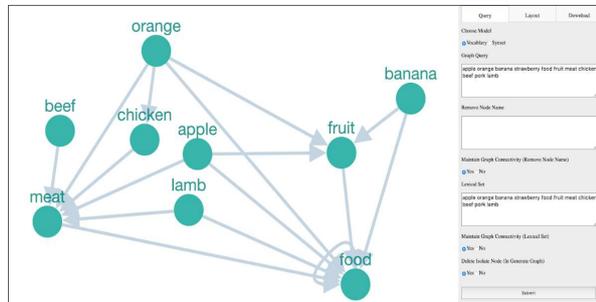


図8 可視化UIのブラウザ全体画面

(3) a. Choose Model:

WordNetの基本的な仕様において、各語がsynsetと呼ばれる同義語グループにより分類されている。そのためSynsetかその中に収録されているVocabularyを直接指定する選択欄を設けている。

b. Graph Query:

この欄は、関係性を示したい語の文字列を入力する欄である。空白区切りにより複数語を指定できる仕様とした。

c. Remove Node Name:

この欄は、図4や図5で示した介在語の削除指定を行う欄である。

d. Lexical Set:

この欄では語彙集合の制限を行うことができ、限られた語彙集合内の繋がりに限って表示させたい場合に、語を空白区切りで指定できる欄である。具体的には、Remove Node Nameの処理と逆のを行い、入力した語以外全ての語を削除することで語彙集合の意図的な極小化を行う欄である。

e. Maintain Graph Connectivity:

各文字入力欄の下に設けられており、語彙のつながりを示す関係線を維持するかどうかについて指定する箇所である。関係線を維持する場合はYesを、維持しない場合はNoを指定する。

f. Delete Isolate Node:

Graph Queryで語を指定した際、時折、関係線で接続されない語が表示される。これはWordNetの収録データ上の都合によるものであり、入力したsynsetが選択した接続関係で接続される語(node)が存在しない場合に出現し、制限語彙集合を設定した場合などで孤立語として表示される場合がある。孤立語を省く場合はYesを、そのまま省かない場合はNoを指定する。

図9 Queryタブ内の各設定項目画面

図10 Layoutタブ内の各設定項目画面

一方、語彙間の関係性を可視化描写する出力画面における設定は、図10に示すように、画面中央にあるLayoutタブ内の項目で設定を行う。具体的な項目指定は、次の(4)に示す。

## (4) a. Layout:

語彙間の関係性をグラフ描写して可視化する際のグラフィックレイアウトの指定を行う欄である。表 2 に示した描画ソフトの Dash Cytoscape の仕様に依存しており、幾何学的配置や階層的配置など 10 のグラフィックレイアウトが提供され、それらを指定することができる仕様としている。描写形状の定めがない一時配置型の Random(無作為配置), Preset(任意配置)の他、幾何学的配置型の Circle(単一円状配置), Grid(格子状配置)や、階層的配置型の Concentric(同心円状階層配置), Dagre(縦断階層配置), Klay(横断階層配置), さらに物理シミュレーションによる強制配置の Euler などから 1 つを指定する。配置された各語(node)は、マウス等でドラッグして任意の位置に再配置させることも可能としている。

## b. Relation:

グラフ描写で可視化する際に、各語(node)の接続関係を指定する。上位語(hypernym)や下位語(hyponym)を指定する。

## c. Part of Speech:

WordNet に収録されている品詞情報に基づいた可視化描画を指定する。Noun(名詞)を指定した際には、WordNet 上で名詞として扱われているものだけが抽出される。

## d. Lexical Tag:

表 1 で示した語彙表で扱われている情報を付与し、その指定により語彙制限をかけ、その範囲内に収録された語のみ抽出描写される。例えば北大語彙表(huevl)に収録の語彙レベル 1~5 に絞って語彙制限をかけて出力することができる。

## e. Maintain Graph Connectivity:

(3) e. と同じである。

最後に Download タブの説明であるが、ここでは 3.1. 節で示したような可視化画像の生成をユーザー側で行うためのインターフェースとして設定したものである。jpg, png, svg と 3 種類の画像形式を選択できる仕様とした。以下、図 11 に示す。



図 11 Download タブの各設定項目画面

## 3.3 ウェブブラウザ可視化 UI を用いた検索例

検索例として、次の(5)に指定した文字列の入力によりその実行結果を示す。

## (5) a. Graph Query:

“apple orange banana strawberry food fruit meat chicken beef pork lamb” の文字列を入力し指定

## b. Lexical Set:

Graph Query と同じ文字列を指定

## c. Layout:

Klay(横断階層表示)を指定

## d. Relation:

Hypemym(上位語)を指定

## e. Part of Speech:

Noun(名詞)を指定

## f. Lexical Tag:

huevl.1 と 2 を指定 [北大語彙表の難易度 1 と 2]

(1: 中学語彙, 2: 高校必修語彙の指定)

図 12 が示すのは、語彙集合を(5) b.により 11 語に絞って表示したものであるが、本来は他の語からの接続関係を有する関係線や語は削除されて表示されている。また、実際には 9 語しか描写されていないのは、(5) f.にて中学と高校の語彙に絞った結果、さらに 2 語が削られたことを示すものである (pork と strawberry は北大語彙表の難易度 3 大学受験語彙に位置づけられている)。図 12 の基本描写形は左から右にかけて上位語となる階層表示となるが、関係線の重複をさけるために、任意に移動させたものが図 13 となる。

以上のように、ユーザーの意志に応じた語彙検索と語彙間の関係性を可視化する表示システムを実装した。

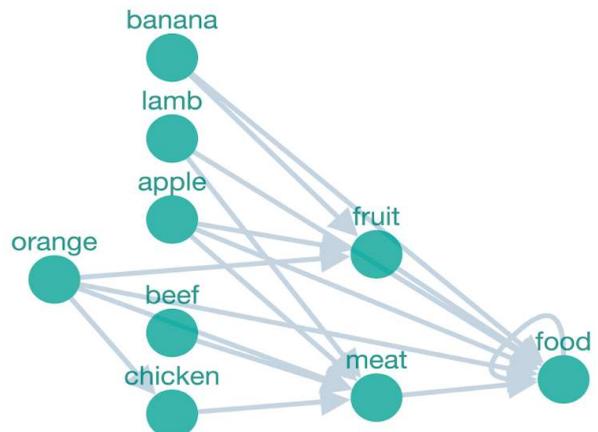


図 12 関係性描写の可視化例 (階層構造を維持)

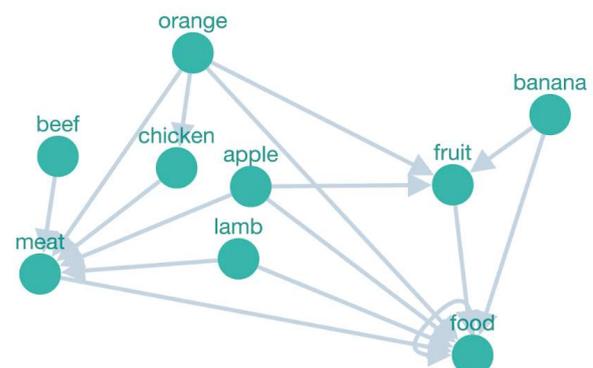


図 13 関係性描写の可視化例 (任意に語を移動)

## 4. 期待される学習効果

コミュニケーションでは多様な言語表現があり、話者はそれらを無意識あるいは意識的に言語表現を選択して言葉を発出する。1 つの表現だけでは言葉の発出では困難な場面にも遭遇するため、代替可能性のある言語表現、つまり多様な言い換えができる語彙力が実際の発話場面では求められる。

小野(2001)では英文法の指導において書き換え作文の利用を通じて定着が図られる点を指摘し、特に否定表現の文法に着目して、とりわけ否定語を含まない否定表現の指導についてパラフレーズによる指導例を示している<sup>(10)</sup>。英文法指導においては、多様な書き換え作文を通じた訓練により、単で扱う文法項目を単に覚えるだけではなく、パラフレーズによる表現の代替性が自然に習得できている点を指摘している。しかしながら、単語レベルの語彙指導においては、綴りと訳語の1対1対応の覚え込み作業になる傾向があり、語レベルの代替性において類語辞典の使用を除けば、代替語に触れる機会が著しく少ない現状がある。その点、本稿で述べた語彙の可視化描写システムは、ある語が有する他の語との関係性が描写により示され、共通性や代替性を視覚的に認識できるものとなり、端的には別の語を用いた「言い換え」を可能とする語彙力養成に貢献するツールとして期待される。英会話の場面では、言いたいことがあっても適切な語彙選択が出来ずに戸惑う場面が初期の英語学習者には多くみられ、英会話を継続させずに諦めてしまう場面が多々あるが、代わりとして使える語の存在が視覚的に認識できる仕組みがあれば、適切な訓練を施すことにより、結果として発信型の語彙力増強につなげていけるものになると強く期待される。

## 5. 今後の課題

前節において語彙学習に向けたシステム開発には至ったが、まだ開発途上の段階である。学習者をユーザーとしてみた場合の、ユーザビリティエンジニアリングの観点で考えた時、ユーザーへの効果や有効性、またその利用による満足度についてUX調査を行わなければならない。本稿では想定している基本的なユーザーとしては大学生に設定し、サービス提供および調査を行うものであるが、システムの制限語彙のかけ方や表示機能や表現の修正や可変性により、小学生をはじめとする初習者や高度に英語を駆使する社会人レベルにも対応可能なものとなる。様々なユーザー層へのサービス提供を構想している。実際、図12および図13の可視化描写例で示した語彙は「食べ物」における「果物」というジャンルの範囲に入る語彙をまとめたものであり、初習者が英語を学び始める上で最初に触れる代表的な語である。制限の解放の仕方によって、他のジャンルの語彙との関連性を増やすことができ、一つの学習法にもなり得ると考えている。

他方、システムの継続的な修正プログラミングも必要である。現在は、一応の完成となったものの、全て英数字表記のUIとなっており、学習者向けの表記修正の変更が必要である。UX調査の結果や、学習者フレンドリーな表記変更など、システムのUIを継続的に修正することが今後も必要となる。

一方、ブラウザで稼働するウェブアプリケーションとしての実装ができたことにより、MoodleなどのLMSとの連携や、FileMakerなどのタブレットアプリなどへの応用についても検討を進め、学習活動の実際に応じたUX調査も必要であると考えている。

## 6. おわりに

本稿では第1節にて本研究の着想や言語学や外国語教育学からの語彙学習の背景を述べた。第2節では研究背景を述べ、研究目的を踏まえ、これまで未活用だった言語学からの知見としての語彙データの再活用について述べた。第3節では語彙間の関係性を可視化するシステム開発について述べ、静的画像生成によるレボジトリの作成と動的描写生成の表示システム実装について述べた。第4節では期待される学習効果として、文法指導のパラフレーズ訓練による言語表現の代替性習得と同様に、開発したシステムの利用により単語レベルの語彙指導における上位・下位の語彙群描写によって代替性習得の可能性が高まる点について論じた。第5節は今後の課題として、ユーザーたる学習者への利用後UX調査の必要性を述べた。今後のさらなる改善に向け、精進したい。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(課題番号22K02825)の助成によるものである。本研究の遂行にあたり、システム実装作業において多大なご尽力を頂いた細川大和氏には深く謝意を表する。

## 参考文献

- (1) Miller, G.A.: "WordNet: An Electronic Lexical Database", MIT Press, p.423. (1998).
- (2) Kucera, H. & Francis, W.N.: "Computational Analysis of Present Day American English", Brown University Press, p.424. (1967)
- (3) 園田勝英:「大学生用英語語彙表のための基礎的研究」, 言語文化部研究報告叢書, 7巻, 北大言語文化部, p.200. (1996).
- (4) 大学英語教育学会基本語改訂委員会(編):「大学英語教育学会基本語リスト JACET List of 8000 Basic Words」, 大学英語教育学会, p.131. (2003).
- (5) Kilgarriff, A.: "BNC Database and Word Frequency Lists", (1995)  
Retrieved from <https://www.kilgarriff.co.uk/bnc-readme.html> (November 30, 2023).
- (6) 杉浦千早:「高校英語教科書語彙リストの作成と使用語彙の検討」, Language Education & Technology, 39号, 外国語教育メディア学会, pp.117-136. (2002).
- (7) 菊地真人, 小野真嗣:「英語学習語彙表の精密化による難易度の再定義に関する研究」. 第19回高専シンポジウム in 久留米, 講演要旨集 P5-21, 国立高専機構. (2014).
- (8) 小野真嗣, 細川大和, 佐藤和彦, 曾我聡起, 菊地真人, 田邊鉄:「統合学習語彙の階層表示機能を用いたサービス利用に関する研究」. PCカンファレンス北海道2023論文集, CIEC北海道支部.
- (9) 細川大和, 西山幹泰, 小野真嗣他:「英語学習語彙表に基づくWordNet収録語彙の抽出と可視化」, 信学技報 AI-2202-29, 電子情報通信学会, pp.64-49. (2022).
- (10) 小野真嗣:「英語否定表現の使用状況とその英文法指導—否定語を含まない否定表現に焦点をあてて—」, 函館英文学, 40号, 函館英語英文学会, pp.89-96. (2001).

(2023年12月3日 受付)

(2024年1月26日 採録)

# 中高連携を目指した中学校技術科における教科書の用語調査

## - D 情報の技術分野に関する抽出 -

A Survey of Textbook Trends in Junior High School Technology Subjects with a view to Junior and High School collaboration - Extracting words related to D Information Technology-

吉田 拓也\*1

Email: yoshida.takuya@tdj.ac.jp

\*1: 東大寺学園中学校・高等学校

### 抄録

中学校学習指導要領解説技術・家庭科編や高等学校学習指導要領解説情報編では、中学校技術科「D 情報の技術」と高等学校共通教科情報科「情報 I」との系統性の重視や縦の連携について記載がある。お互いの立場としては、中学校「D 情報の技術」では、どのようなことを学んでいたか、高等学校「情報 I」ではどのようなことを学んだかを知るのかが把握しておくことが必要だと考えた。そこで、本稿では、教材の主軸となる教科書を取り上げて、まず、中学校技術科「D 情報の技術」の記載から、索引を利用して用語を抽出し、さらに本文中や脚注からも抜き出し、それらをまとめた上で、教科書発行者 3 社のうち、複数社で出現した用語を選び出した。加えて、それらを「情報 I」の 4 分野に再分類した。そして、最終的に残った用語 (99 語) を示して、その学習内容を考察した結果、中学校「D 情報の技術」での学習によって、「情報 I」の 4 分野にわたって基礎的な知識を学んでいることがわかった。

◎Key Words 中高連携, 技術科, 情報 I, 教科書

## 1. はじめに

技術・家庭科技術分野(以下、技術科)とは、中学校の生徒すべてが履修する科目であり、学習内容は「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」という 4 分野になっている。年間授業時間は、第 1 学年 70 単位時間、第 2 学年 70 単位時間、第 3 学年 35 単位時間と定められており、これを技術・家庭科家庭分野と折半した上で、各学校において実施されている。

教育現場では、2017 年に中学校学習指導要領<sup>①</sup>および中学校学習指導要領解説技術・家庭科編<sup>②</sup>が告示され、2018 年度からの移行措置(3 年間)が経過し、2021 年 4 月より、新しい文部科学省検定済教科書(以下、教科書)を活用した授業が始まっている。

他方で、高等学校学習指導要領<sup>③</sup>も 2018 年に改訂され、共通教科情報科では、それまで選択必修科目であった「社会と情報」と「情報の科学」の学習内容が統合されて、単位数は 2 単位を維持し、2022 年より新たに「情報 I」が必修科目となりスタートしている。改訂後の学習内容は、「情報社会の問題解決」、「コミュニケーションと情報デザイン」、「コンピュータとプログラミング」、「情報通信ネットワークとデータの活用」の 4 分野となっており、これらは、従前からそうであったが、中学校「技術」の「D 情報の技術」で学習する、コンピュータの構成や情報通信ネットワーク、情報のデジタル化、情報セキュリティ、そしてプログラミングなどと重なる部分が多い。そのため、高等学校学習指導要領解説情報編<sup>④</sup>では、中学校「技術」の「D 情報の技術」との系統性の重視や縦の連携について記載があり、高等学校共通教科情報科の立場としては、中学生が技術科でどのようなことを学んできたのか、中学校技術科の立場としては、高等学校の共通教科情報科では、どの

ようなことを学ぶことになるのかを把握しておくことが、その系統性の重視や縦の連携に向けた第一歩になると考えられる。

特に、中学校技術科では、前述の各分野の指導に当たって、各分野に担当する授業時数及び履修学年について、対象生徒や学校、地域の実態等に応じて各学校で適切に定めることと通達されているため、「D 情報の技術」に関しては、中学生が取り組んだ授業数に当然、差異があるかと予想できる。そこで、本稿では、まず、中学生が「D 情報の技術」分野において、どのようなことを学んできたのかを客観的に把握するために、教材の主軸と考えられる教科書の記載内容について調査することが、その手がかりになると考えた。

## 2. 調査目的

中学校「技術」の「D 情報の技術」において、教科書に関する先行文献では、長谷川<sup>⑤</sup>による情報モラルの内容の充実化について研究されているものや、筆者<sup>⑥</sup>による知的財産分野に関する中学校「技術」と高等学校共通教科情報科の「情報 I」について現状を報告しているものがあるが、「D 情報の技術」の範囲を対象にしたものは見られない。また、赤澤と赤池<sup>⑦</sup>によって、「情報 I」のすべての教科書を対象に索引を使って用語を抽出し、その知識体系を考察している研究もあるが、中学校「技術」においては見受けられない。

そこで、本稿では、中学校「技術」として発行された 3 社の教科書に対して、索引から「D 情報の技術」に出現する用語を利用しつつ、本文内容での出現語なども抽出した上で、複数社で出現したものを対象に、最終的に高等学校「情報 I」における 4 分野である「情報社会の問題解決」、「コミュニケーションと情報デザイン」、「コンピュータとプログラミング」、「情報通信ネット

ワークとデータの活用」に分類して、その結果を考察した。

なお、取り上げる教科書については、その優劣を比較するものではないことはあらかじめご了承ください。

### 3. 調査方法

手順として、まず、表1にある中学校「技術」で検定を経ている3社4種教科書について取り上げた。ただし、その内の技術703については、ハンドブック(別冊)として実習における基本的な技能をまとめたものであるため、本調査においては調査対象としないこととした。

次に、表2に示すように各社ごとの巻末の索引から「D情報の技術」で出現した用語を抽出した。加えて、索引以外に本文中で出現した用語(以下、トピック語)や本文以外の表および図、脚注などで出現した用語(以下、脚注語)を抽出した。そして、各社ごとの抽出語をまとめた後に、複数社で扱われた用語を抽出し、さらにそれらを前述のとおり高等学校「情報I」の学習内容に沿うように分類した。

### 4. 結果および考察

#### 4.1 分類までのステップ

平成28年度版の中学校「技術」の教科書(3社)について、「D情報の技術」の頁数をみたところ、「東京書籍」66頁(全体の21.6%)、「教育図書」84頁(全体の27.8%)、「開隆堂出版」72頁(全体の23.8%)であった。学習内容は、「A材料と加工の技術」、「B生物育成の技術」、「Cエネルギー変換の技術」、「D情報の技術」という4分野で構成されるため、およそ25.0%前後になるだろうと予測していたものの、30.0%を超えることはなかったが、「東京書籍」と「教育図書」では18頁の差があったことは予想外の結果であったといえる。

次に、索引にある「D情報の技術」の用語数は、「東京書籍」102語、「教育図書」93語、「開隆堂出版」111語であった。この索引数では、「教育図書」と「開隆堂出版」と18語の差が明らかになった。これは小さな差であるとは言えず、この後の本文中のトピック語や脚注語の抽出数まで注視していく必要があると感じられた。なお、「東京書籍」については、本文中にある用語を取り出して解説頁(「D情報の技術」は1頁)を設けているため、その用語については、本調査で索引数に加えることとした。

表1 中学校「技術」教科書(3社)について

教科書会社	東京書籍	教育図書	開隆堂出版
記号・番号	技術 701	技術 702	技術 704
全体頁	306	302	302
D情報の技術 頁	66(21.6%)	84(27.8%)	72(23.8%)

表2 作業内容と抽出語数について

作業内容	東京書籍	教育図書	開隆堂出版
1. 索引抽出	102語	93語	111語
2. トピック語, 脚注語抽出	28語	13語	58語
3. 3社の重複項目の整理	405語→270語		
4. 表記ゆれの修正と類義語整理(複数社分を残す)	270語→99語		
5. 情報I 4分野ごとに分別			
1章 情報社会の問題解決に関するもの		36語(36.3%)	
2章 コミュニケーションと情報デザインに関するもの		18語(18.2%)	
3章 コンピュータとプログラミングに関するもの		26語(26.3%)	
4章 情報通信ネットワークとデータの活用に関するもの		19語(19.2%)	

さらに、本文中のトピック語と脚注語を加えると、「東京書籍」は130語、「教育図書」は106語、「開隆堂出版」は169語となった。やや、「教育図書」の数に少なさを感じるとともに、語数でも、「教育図書」と「開隆堂出版」には63語と大きな差がうまれた。これは、本文頁としても、10頁程度の差があり、最終的な用語数としても結果として、大きな差が表出したことがわかった。しかし、前述のとおり教科書の優劣を比較するものではないし、3社とも文部科学省における検定を済ませた教科書であることは強調したい。

そして、3社の表記ゆれや類義語を整理した。表記ゆれの例としては、「クリエイティブ・コモンズ・ライセンス」と「クリエイティブコモンズ」の記載があった。ここでは、各々の本文中の文脈を調査したところ、この記載については、団体名を指すのではなく、そのマークの解説をしているものであったため、「クリエイティブ・コモンズ・ライセンス」を優先することとした。また、「アナログ」と「アナログ情報」という用語がリストアップされていたが、本文中の文脈からも同一の意味として記載されていることが読み取れたため、別の用語とせず、複数社で記載のあった「アナログ情報」を残すこととした。

そのような用語整理を行った上で、最終的に複数社で記載のあった用語を残すこととして、99語になった。さらに、それらを前述のとおり、高等学校「情報I」の4分野に分類したものが、表3から表6となり、語数は、1章36語(36.4%)、2章18語(18.2%)、3章26語(26.3%)、4章19語(19.2%)となった。

#### 4.2 4分野ごとに分類後の考察

高等学校「情報I」の第1章「情報社会の問題解決」として、残った用語が表3のとおりである。結果として、36語(36.4%)となり4分野では一番多くみられた。具体的に、中学校「技術」の教科書との関連について考察する。

AI, GPS, IoT, SDGs, Society5.0, ディープラーニングなどは、中学校「技術」の教科書において、生活に役立つ情報の技術として、IoT が実現した住居や GPS による位置情報を利用したカーナビゲーションが取り上げられていた。また、新しい情報の技術としてAI(人工知能)が活用される仕組みやディープラーニングが出現していたり、未来に技術を生かすというところでは、SDGs や Society5.0 が出現していた。

さらに、情報セキュリティ関連の用語として、暗号化、可用性、完全性、機密性、生体認証、パスワード、バックアップ、マルウェア、ユーザ ID がみられた。また、社会を守る情報セキュリティを高める技術の工夫として、認証システムを取り上げられ、ユーザ ID やパスワード、生体認証が紹介されていた。加えて、情報セキュリティの3要素として、図を用いて機密性、完全性、可用性が解説されており、事例では、情報通信ネットワークへの不正侵入やデータの改ざん、破壊などの悪意ある攻撃などの被害について言及されていた。マルウェアについては、コンピュータウイルスやワーム、トロイの木馬などが記載されていたり、動きが遅くなったり、再起動を繰り返すなどコンピュータウイルスの症状が具体的に紹介されているものであった。

知的財産権については、意匠権、引用、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス、産業財産権、実用新案権、商標権、情報モラル、知的財産、知的財産権、著作権、著作者人格権、著作物、著作隣接権、特許権がみられた。これらは、情報モラルの単元で出現しており、概ね著作権に関するものが中心となっていた。具体的には、引用について、目的上正当な範囲で利用できることを言及していたり、フローチャートのような形式で著作物の利用の手順を記載したりしているものがみられた。さらに、クリエイティブ・コモンズ・ライセンスについて記載され、著作権の利用に関する意思表示をイラストとあわせて紹介しているものがあつた。

産業財産権についても紹介されており、特許権、実用新案権、意匠権、商標権においては、3社ともすべてで出現していた。身近なスマートフォンのイラストを用いて、その権利の対象となるものを解説しており、加えて、技術の保護や活用について、特許情報プラットフォームである Web サイト J-PlatPat がイラストで紹介されていた。

次は、表4の「コミュニケーションと情報デザイン」に関する用語をみて、中学校「技術」の教科書との関連について考察する。なお、2章は18語(18.2%)が残っており、結果として一番少ないことがわかった。

2進法と16進法、アナログ情報、デジタル化、デジタル情報、解像度、バイト、ビット、文字コードについては、アナログ情報とデジタル情報の特徴を比較する表が示されていたり、2進法や10進法、16進法まで紹介している記載もあつた。データ量の単位については、ビットからテラバイトやペタバイト、さらにはヨタバイトまで一覧表で示しているものがあつた。ただ、それぞれ、1MBは文庫本約4冊分などの説明文が加えられているので、対象生徒にとってはイメージしやすい解説だと感じられた。文字や音、画像のデジタル化なども

表3 情報社会の問題解決(36語)

AI, GPS, ID, IoT, SDGs, SNS, Society5.0, 暗号化、意匠権、引用、可用性、完全性、機密性、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス、コンピュータウイルス、最適化、サイバーセキュリティ、産業財産権、持続可能な社会、実用新案権、肖像権、商標権、情報モラル、生体認証、知的財産、知的財産権、著作権、著作者人格権、著作物、著作隣接権、ディープラーニング、特許権、パスワード、バックアップ、マルウェア、ユーザ ID

記載されており、標準化や量子化、符号化という用語は出現しないものの、それらを想起させるようなイラストや解説があることがわかった。

また、ユーザインターフェース、ユニバーサルデザインの記載もあつた。これらは、プログラミングのコンテンツ設計の箇所でも出現しており、文字の読みやすさや操作のしやすさなどについて言及されていた。

次は、表5の「コンピュータとプログラミング」に関する用語をみて、中学校「技術」の教科書との関連について考察する。なお、3章は26語(26.3%)が残っていた。

CPU(中央処理装置)、演算機能、記憶機能、コンピュータ、出力機能、制御、制御機能、ソフトウェア、入力機能、ハードウェアについては、まさにコンピュータの機能に関するものであり、中央処理装置などはわかりやすいイラストを基に紹介されていた。加えて、直接用語には出てこないものの、命令フェッチやデコードなどのことを示しているであろうとする用語も確認できた。アプリケーションソフトウェアとソフトウェア、ハードウェアについても、豊富なイラストを用いて紹介され、OSによって、さまざまなハードウェアを統一的に扱えるようになっていることが記載していた。センサやアクチュエータについては、コンピュータを使って機器を自動で動かす仕組みという単元で、複数社によって、計測・制御に関する入出力の装置として解説されていた。

そして、順次処理、双方向性のあるコンテンツ、デバッグ、バグ、反復処理、フローチャート、プログラミング、プログラミング言語、プログラム、分岐処理、変数は、まさにプログラミングに関する用語である。中学校でもプログラミングは、計測・制御システムのプログラムをついたり、双方向性のあるコンテンツをつくる単元がある。そこで、紹介されているのは、分岐と反復の命令を使う「追いかっこゲーム」や、メディアを組み合わせる「数当てゲーム」だったり、「立ち入り禁止エリアを判断する金属回収ロボット」、「自分の動きを計測するトレーニング補助装置」など多数の実習例が掲載されていた。さらに、双方向性のあるコンテンツによるプログラミングでは、「防災マップ」、「学校内チャットシステム」、「ネット対戦型タイピング練習」、さらにはサーバとのやり取りを想定した「PTAバザーの案内マップ」などが豊富な事例が掲載されており、対象生徒がいずれかの実習を経

表4 コミュニケーションと情報デザイン(18語)

16 進法, 2 進法, 3D プリンタ, JIS (日本産業規格), 圧縮, アナログ情報, アプリケーションソフトウェア, 解像度, コンテンツ, デジタル化, デジタル情報, トレードオフ, バイト, ビット, メディア, 文字コード, ユーザインターフェース, ユニバーサルデザイン

表5 コンピュータとプログラミング(26語)

CPU(中央処理装置), アクチュエータ, アクティビティ図, 演算機能, 記憶媒体, 記憶機能, コンピュータ, 出力機能, 順次処理, 制御, 制御機能, センサ, 双方向性のあるコンテンツ, ソフトウェア, デバッグ, 入力機能, ハードウェア, バグ, 反復処理, フローチャート, プログラミング, プログラミング言語, プログラム, 分岐処理, 変数, 計測・制御システム

表6 情報通信ネットワークとデータの活用(19語)

DNS サーバ, IP アドレス, LAN, TCP/IP, URL, Web ページ, Wi-Fi, インターネット, インターフェース, サーバ, 情報通信ネットワーク, 通信プロトコル, ドメイン名, パケット, ビッグデータ, ファイアウォール, フィルタリング, 無線LAN, ルータ

験済みであると考え、[「情報 I」] では、中学校「技術」の学習を基にして、発展的なプログラミングの授業を展開できることが期待できる。また、アクティビティ図に用いる図記号なども掲載されており、対象生徒自らがアクティビティ図を使って、制作工程などのコンテンツ設計を行っている学習展開も読み取れた。

次は、表 6 の「情報通信ネットワークとデータの活用」に関する用語をみて、中学校「技術」の教科書との関連について考察する。なお、4 章は 19 語(19.2%)が残っていた。

情報通信ネットワーク、インターネット、Web ページ、LAN などの用語をみると、情報通信ネットワークの基本となる記載がみられた。特に、3 社ともに 1 頁の半分を超えるような図を使って、ネットワークの仕組みを細かく解説していた。加えて、サーバとルータ、LAN などの用語を用いて、インターネットで Web を閲覧する仕組みが解説されていた。さらに、TCP/IP、通信プロトコル、ドメイン名まで出現しており、パケットを使った通信について、IP アドレスやドメイン名を使って、データを届ける仕組みを解説していた。

Wi-Fi、無線LAN、フィルタリング、ファイアウォールなどの用語も出現しており、通信相手と安全にデータのやりとりができるようにと、ファイアウォールの技術について言及されている。URL の構成については、3 社とも記載しており、あわせてプロトコル、サーバ名、パス名、拡張子などの用語も出現している。

以上の出現した用語をみると、中学校段階においては、情報通信ネットワークに関する基本的な知識を有

し、その仕組みに対して理解していることが期待できる。

一方、全般的な問題として、例えば、ファイアウォールという用語が抽出されているものの、「情報社会の問題解決」および「情報通信ネットワークとデータの活用」にも出現している多義語が、一部含まれていたことは今後の検討課題といえるだろう。

## 5. おわりに

本稿では、教材の主軸となる教科書を取り上げて、中学校「技術」の「D 情報の技術」の教科書から関連する用語を抽出し、それらを高等学校「情報 I」に再分類にして、その結果を考察した。これらの用語一覧から、中学校「D 情報の技術」での学習によって、「情報 I」の 4 分野にわたって基礎的な知識を学んでいることがわかった。また、一定の手順を経て、99 語を抜き出して、考察したことが、その学習の様子をより具体的に確かむための手がかりとなればと考える。一方、教科書の記載と対象生徒における学習内容の理解度は、別の問題であるといえるため、今後はアチーブメントテストの導入も含めて調査することを検討していきたい。

## 参考文献

- (1) 文部科学省:「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)」, 東山書房(2018 年).
- (2) 文部科学省:「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説技術・家庭編」, 開隆堂出版(2018 年).
- (3) 文部科学省:「高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)」, 東山書房(2018 年).
- (4) 文部科学省:「高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説情報編」, 開隆堂出版(2019 年).
- (5) 長谷川元洋:「平成 28 年度版の中学校技術・家庭科技術分野の教科書における情報モラルの内容の充実化の分析」, 日本産業技術教育学会誌, 第 63 巻, 第 2 号, 175-185(2021 年).
- (6) 吉田拓也:「新教科書における知的財産に関する記載の傾向について」, 日本教育学会第 80 回大会要旨集録, 日本教育学会(2021 年).
- (7) 吉田拓也:「高等学校「情報 I」および中学校「技術科」の教科書における知的財産分野の現状について」, 日本情報科教育学会誌, Vol. 15, No.1, pp61-67(2023 年).
- (8) 赤澤紀子, 赤池英夫, 柴田雄登, 山根 一朗, 角田 博保, 中山 泰一:「高等学校共通教科情報科の知識体系に関する一考察」, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ, Vol.8, No.319-34(2022 年).

(2023 年 11 月 16 日 受付)

(2024 年 1 月 29 日 採録)

# 美術科における 3D プリンタの活用に向けた 立体作品の制作とその材料に関する考察

An Examination of Creating 3D Artworks and its Materials Using 3D Printer  
for Art Classes at School

臼井 昭子\*1・登本 洋子\*2・長瀬 達也\*3・渡邊 洋輔\*4・古川 英光\*4

Email: usui@yz.yamagata-u.ac.jp

- \*1: 山形大学 学術研究院
- \*2: 東京学芸大学 大学院 教育学研究科
- \*3: 秋田大学 大学院 教育学研究科
- \*4: 山形大学 大学院 理工学研究科

## 抄録

3D プリンタの教育的な活用が進められている。3D プリンタの材料は幅広く硬軟様々な印刷物が可能であるものの、学校教育において材料に着目した研究事例はほとんど見られない。材料が重要な要素となる美術科の立体表現において基礎的な資料を得るため、本研究では次の3点を行った。(1)3D プリンタでやわらかい材料を用いて立体作品を制作しその作品に対する専門家からの評価を得た。(2)美術科の学習指導要領解説における材料に関する記述を整理した。(3)(1)と(2)を踏まえ、3D プリンタという表現方法とその材料から想定される学習活動や指導事項などについて考察した。その結果、専門家からは、やわらかい材料から生まれた質感の新鮮さが一定の評価を得るとともに新たな造形の可能性が指摘された。学習指導要領解説には、材料の特性を生かし新しいことに挑戦して表現することなどが述べられており、3D プリンタは、材料の特性を生かしたり新しい表現手法に挑戦したりする点で、児童・生徒らの表現力等の育成を支援する可能性があることなどが示唆された。

◎Key Words 3D プリンタ, 図画工作科, 美術科, 立体作品, 材料

## 1. はじめに

1970年代に開発がはじまった3Dプリンティングの技術は1980年代に実用化され、2010年代は3Dプリンタで誰もが簡単にものづくりができることが注目され「MAKERSブーム」と呼ばれるような現象がおきた<sup>(1)</sup>。オバマ大統領が一般教書演説で3Dプリンタの重要性を述べた2013年は「3Dプリンタ元年」と言われている<sup>(2)</sup>。3Dプリンタを学校教育に活用する事例は、日本では2014年頃から見られるようになり<sup>(3)</sup>、2019年には中学校教材整備指針に3Dプリンタが追加された<sup>(4)</sup>。

筆者らは、学習指導要領解説で3Dプリンタがどのように取り扱われているか、小・中・高等学校の全教科の旧学習指導要領解説(平成20年・21年告示)<sup>(5)</sup>と現学習指導要領解説(平成29年・30年告示)<sup>(6)</sup>を調査した。その結果、旧学習指導要領解説では「3Dプリンタ」という語句は用いられていなかったものの、現学習指導要領解説では、中学校の①技術・家庭科、高等学校の②美術科、③情報科、④工業科の4教科で新しく使用されていた<sup>(7)</sup>。このうち、①と②、④では生徒らが実際に3Dプリンタを活用する活動が想定されており、③では3Dプリンタを含めた情報を表現する技術について関心をもつことが示されていた。

このように、初等中等教育(以降、学校教育とする)では3Dプリンタの活用が進められているものの、現段階では3Dデータを作製するための3Dモデリングソフトウェアの操作習得に時間がかかることや印刷時間の長さなどに課題があり<sup>(8)</sup>、また、授業で活用した事例

が少ないため、教員が3Dプリンタを授業に取り入れ易い状況にあるとは言えない。今後、学校教育において3Dプリンタが活発に利用されるためには、各教科の内容にあわせて、より多くの実践や検討を重ね知見を得ていくことが求められる。

小学校の図画工作科、中学校の美術科、高等学校の芸術科(以降、美術科とする)に注目すると、宇田・加舎(2019)が小学校3年生の図画工作科で児童がキャラクターを粘土で作った後にスキャンし3Dプリンタで印刷した試み<sup>(9)</sup>があるほか、高校生を対象に3Dプリンタを用いて美術科の授業を模した実践では、高校生らは用具の特性を考慮して作品を制作し鑑賞するなど学習目標を達成しており、3Dプリンタが美術科の表現学習を支援している可能性が示唆されている<sup>(10)</sup>。今後、美術科の表現学習で3Dプリンタの活用を加速させるには、油絵や彫刻の価値や魅力が一般的に受け入れられているように、3Dプリンタで制作した立体作品にどのような価値や魅力があるのか、専門家などによる客観的な評価を得て実証する必要があると思われた。

その際に着目すべき点の一つに「材料」がある。林(2023)は、「立体作品において材料はメッセージである」ことを強調しており<sup>(11)</sup>、美術科の指導書等においても「材料を基に想像すること」等が示されている<sup>(12)</sup>。このように、立体作品は形や色に加えて「材料」が重要な構成要素となる。一般的に、立体作品(彫刻やパブリックアートを含む)は、硬い材料で制作されることが多いものの、布や綿、ゴム等やわらかく形を変えやすい材料

表1 3Dプリンタの造形方式の例と材料の主な特徴

造形方式 (略称) 【方式の説明】	材料の主な特徴	やわらかいものの印刷
熱溶解積層方式 (FDM) 【熱可逆性樹脂のフィラメントを溶解しノズルから押し出し線状に積層する】	フィラメントの種類が豊富で1台で複数材料の使い分けが可能, 材料が幅広く炭素繊維のような複合材や金属の印刷も可能	可
レーザー光造形方式 (SLA) 【液体の光硬化性樹脂に光を当て硬化させる】 プロジェクタ/液晶パネル光造形方式 (DLP/LCD) 【硬化させる光の制御にプロジェクタや液晶パネルを用いる】	紫外線で硬化する液体の光硬化性樹脂 (例えば, ゲルやプラスチック, 高透明度, フルカラ対応, ABS ライクや PP ライクと呼ばれるある程度強度があるもの, ゴムライクと呼ばれる柔軟性の高いもの) が可能	可
粉末造形方式 【粉末材料にバインダー塗布による化学反応やレーザー照射後に固化することで造形する】	ポリプロピレン (柔軟で強度が高い汎用プラスチック), 樹脂, 金属粉末や石膏など, 粉末状のさまざまな素材が使用可能	現段階では難

を用いた「やわらかい彫刻」と称される作品が1960年代から存在するようになった。現在は、パフォーマンスアートや多種多様な表現・鑑賞手法があるため、「やわらかい彫刻」というカテゴリーは薄れつつあるが、今日でも、絵文字をビニールのバルーンで表現したもの<sup>(14)</sup>や糸を幾重にも絡めた作品<sup>(15)</sup>など、やわらかい材料を用いた作品は継続的に発表されている。学校教育の美術科においても、紙や布などやわらかい材料を用いて立体作品を制作する題材は少なくない。

3Dプリンタの「材料」においては、樹脂から石膏、金属まで多種多様な展開がみられる。3Dプリンタの造形方式とその材料の主な特徴について表1に示した。3Dプリンタは日々技術革新が進められおり、材料に関しても、例えば金属の粉を混ぜ込むことによって、近年、熱溶解積層方式 (FDM) でも金属の印刷ができるようになるなど、造形方式と材料の関係は固定されない。3Dプリンタは、同じ造形方式であっても材料を選び「やわらかいもの」「かたいもの」双方を印刷できる場合が多いことが特徴の一つである。今後、美術科で3Dプリンタを活用して作品を制作する際は、この「材料」の選択に配慮する必要があると考えられる。

ところで、近年は、3Dプリンタを用いた芸術的な作品が様々に発表されている<sup>(16)(17)</sup>。しかしながら、これまで3Dプリンタを用いたやわらかい立体作品の価値や魅力についてはほとんど検討されてこなかった。そこで、本研究では、3Dプリンタの材料選択の自由度を鑑み、今後の美術科における活用に向けた資料を得るため、3Dプリンタでやわらかい材料を用いて立体作品を制作することに着目する。

## 2. 目的

美術科において、児童・生徒らが3Dプリンタを用いて立体作品を制作する際の基礎的な資料を得るために次の3点を行う。

(1) 3Dプリンタでやわらかい材料を用いて立体作品を制作し、その作品に対する専門家からの評価を得る

(2) 美術科の学習指導要領解説において、立体作品の材料に関する記述を整理する

(3) (1)と(2)の結果を踏まえ、立体の表現において、3Dプリンタという表現方法とその材料から想定される学習活動と指導事項について考察する

## 3. 3Dプリンタでやわらかい材料を用いた立体作品の制作と専門家による評価

### 3.1 制作

3Dプリンタでやわらかい材料を用いて立体作品を制作するにあたり、美術制作活動や出展等の経験がある第一著者が主体となって造形方式と材料を検討し制作を進めた。使用した3Dプリンタは「3Dゲルプリンタ (レーザー光造形方式, 材料はゲル)<sup>(18)</sup>」で、印刷物はプルプルとしていてやわらかく「滑ら

表2 試印刷に用いた3Dデータと印刷物の例

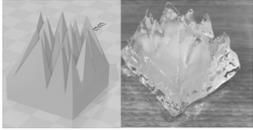
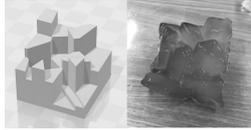
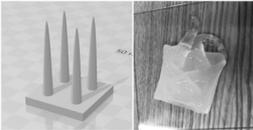
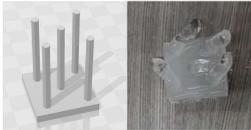
採用	
	
3Dデータがサンプルでも突起が垂れ下がりやわらかさが強調される	
不採用の例	
	
突起が鋭利で細かくともやわらかさは伝わり難い	硬い質感に見え、やわらかさが生かされていない
	
突起が5本の方と比べると材料のやわらかさが生かされ難い	突起を円柱にすると、先端に動きが無くやわらかさが生かされない



図1 3Dプリンタとやわらかい材料で制作した  
立体作品 サイズ 4×32×28cm

か」「冷たい」といった感触の特性が確認されている<sup>(17)</sup>。制作にあたった2022年度上半期(4~9月)の時点で印刷可能なオブジェクトのサイズは約5cm立方であったため、印刷したオブジェクトを数十個組み合わせる一つの作品を制作することを構想した。90%以上が水というゲルの特性から発想し、透明感とやわらかさを生かすことや枯山水のようなうねりをイメージしスケッチで描くなどして3Dデータの作製と試印刷を重ねた。表2に試印刷に用いた3Dデータと印刷物の例を示す。

最終的に、5本の突起を持つシンプルな形状(表2の最上段)がゲルのやわらかさをより表現できると判断し、印刷したオブジェクト約30個を組み合わせ、図1の立体作品を完成させた。乾燥すると形が変わることから、展示中は霧吹きをして湿らせるなど工夫した。

### 3.2 専門家による評価

制作した立体作品に対する専門家からの評価を得るために、公募展への応募を試みた。「募集ジャンルが現代アートを対象としているか」「立体作品への門戸が開かれているか」等から応募先を検討し、「第3回枕崎国際芸術賞展(詳細は表3)」に作品を応募した。結果、応募作品数1,128点の中から第3位に相当する優秀賞に評価された。審査員は東京藝術大学名誉教授3名と東京大学名誉教授1名の計4名であった。

各審査員からは、(1)奇妙な生命体の生々しさを感じずる今までにない新鮮な作品、(2)今後の展開が楽しみな作品。増殖もキーワードに、床や壁一面ぐらいの大きな作品にしてみたらどうかとイメージが膨らんだ、(3)今日までどこでも見たことが無いほどの進取の気性を示した優秀作、想像をも越えた想像力がある、(4)ヌルヌルした質感に驚かされた。腔腸動物の集合体にも似て、まるで生きていて、今にも動き出しそうに見えた。オーガニックな被膜感は、これからの新たな造形の可能性を秘めているかもしれない、といった評価が寄せられた。ゲルで制作したやわらかい立体作品は、毛のない無脊椎動物のような生き物を彷彿させ、材料から生まれた新しい表現が評価されたことがうかがえた。

表3 第3回枕崎国際芸術賞展の概要

枕崎国際芸術賞展は鹿児島県枕崎市が主催し2016年から3年毎に行われている現代アートの公募展。第3回は2022年に開催された。国内外から1,128点の作品が寄せられ4名の審査員による審査の結果62点(平面48点、立体14点)が選ばれ、2022年9月11日から10月16日まで、枕崎市文化資料センター南浜館で展示された。

## 4. 学習指導要領解説における立体作品の材料に関する記述の整理

小学校学習指導要領解説図画工作編、中学校学習指導要領解説美術編、高等学校学習指導要領解説芸術編(美術I)において、立体作品を制作する際の材料に関する主な記述などを表4にまとめた。特に重要と思われた箇所をゴシック体で強調した。

小学校と中学校第1学年においては、材料について粘土や木、紙といった具体的な材料が記述されていた(表4の(以下同じ)①⑦)。一方で多様な試みを支えるよう材料を準備することや幅広く材料と出合えるよう環境を整えることは校種を問わず求められている(②⑧⑩)。材料を生かして作品の構想を練ったりすること(③⑪⑮⑯)、そのために実際に手に取って感覚を働かせること(⑫⑬⑱)や表現したい方法や内容によって材料を選んだり組み替えたりすることも想定されていた(④⑤⑥⑨)。

また、「より自由で多様な価値やイメージの表現の可能性を考えて材料や方法を選び新しいことに挑戦して表すことを大切にする⑪」ことについては、「多様な表現方法を保証⑩」「独創的な表現方法を工夫して幅広く表現活動が行えるようにする⑭」「既成の表現方法にとらわれない⑰」といった記述でも重ねて示されていた。

## 5. 3Dプリンタという表現方法とその材料から想定される学習活動と指導事項の考察

3Dプリンタとやわらかい材料を用いて作品を制作した過程とその作品に対する専門家の評価(3章)、また、学習指導要領解説における材料に関する記述の整理(4章)から、元学校教員であった第1著者(美術科)と第2著者(情報科・探究科)が3Dプリンタとやわらかい材料を用いて美術科の授業を行う際の学習活動と指導事項等について考察した。

本研究では材料から発想・構想して作品を制作した。具体的には、次のような活動があった。(1)材料の感触を確認しながら「やわらかさ」「透明感」を生かそうとし、(2)うねりのようなイメージをスケッチした、(3)印刷可能なサイズといった用具の特性を考慮し、印刷物を数十個組み合わせる工夫をした、(4)試印刷を重ね材料の特性が生かされるような形を模索し、その都度3Dデータを修正した。このように材

表4 各学習指導要領解説における立体作品の材料に関する主な記述

校種	記述内容
小学校 図画工 作編	<p>① 材料や用具については、次のとおり取り扱うこと</p> <p>ア 第1学年及び第2学年においては、土、粘土、木、紙、クレヨン、パス、はさみ、のり、簡単な小刀類など身近で扱いやすいものを用いること</p> <p>イ 第3学年及び第4学年においては木切れ、板材、釘くぎ、水彩絵の具、小刀、使いやすいのこぎり、金づちなどを用いること</p> <p>ウ 第5学年及び第6学年においては、針金、糸のこぎりなどを用いること。・材料や用具の特徴を生かして使うとともに、様々な表し方を工夫して表すこと</p> <p>② 多様な試みを支えるため、材料はある程度の量を用意することも必要（第1・2学年）</p> <p>③ 形や色、材料などを生かしながら、どのように表すかについて考えること（第3・4学年）</p> <p>④ 高学年では、社会的な視野の広がりや踏まえ、表現方法に応じて材料や用具を活用する（第5・6学年）</p> <p>⑤ 実際に材料や用具を使いながら表したいことが変わっていくこともあることを踏まえておく（第5・6学年）</p> <p>⑥ 表現方法と材料や用具の特徴を児童自身が照らし合わせて用いるようにする必要がある（第5・6学年）</p>
中学校 美術編	<p>⑦ 第1学年において体験させたい主な材料としては、立体では粘土、木、石、紙などがある。これらの材料の中から表現に合う材料を選択し、その特徴と使い方や用具の扱い方を理解し生かしていくことができるようにする</p> <p>⑧ 学校や生徒の実態に応じて、美術室など学習活動を行う環境を工夫し、生徒が様々な活動の機会に材料や用具を試したり体験したりして、幅広く材料や用具と出合えるようにすることが必要（第1学年）</p> <p>⑨ 立体に表す構想では、量感や動勢を捉えたり、形をデフォルメしたりすることや、材料を組み替えたりすることなどが考えられる（第2・3学年）</p> <p>⑩ 多様な表現方法を保証し（中略）様々な材料や用具の特性やこれまでの経験を生かし、自分の意図に合う表現方法を模索し、様々な工夫が行われること（第2・3学年）</p> <p>⑪ 様々な表現方法や材料の生かし方などを学ぶこと。例えば、立体表現においては、素材は従来の粘土や木、石、紙のほか金属やプラスチック、布あるいは廃品など様々なものがある。表現方法も塑造や彫造のほかにも（中略）様々な方法があることを学び、より自由で多様な価値やイメージの表現の可能性を考えて材料や方法を選び、新しいことに挑戦して創造的に表すことを大切にする（第2・3学年）</p> <p>⑫ 材料のもつ性質や、それらが感情にもたらす効果を理解することも求められる。また、必要とする材料を、持ち味にこだわって吟味し、厳選することにより、効果的に生かせるように発想することや、生徒自身が実際に材料を手に取り、体の諸感覚を働かせてそこから様々なことを感じ取って発想や構想をすることが大切である（第2・3学年）</p> <p>⑬ 材料の性質や質感を捉えること。材料には、硬さや軟らかさなどの性質や、材料のもつ地肌の特徴や質感による「冷たい」、「温かい」など、人間の感覚や感情に強く働きかける特性がある。（中略）材料の性質や質感を捉えさせるためには、実際に材料を手に取り、その感触などを十分に確かめさせるとともに材料の可変性などに気付かせることが大切である（全学年）</p> <p>⑭ 多様な表現方法を学習する機会を効果的に取り入れるなどして、生徒が自分の表現意図に合う独創的な表現方法を工夫して幅広く表現活動が行えるようにする（全学年）</p>
高等学 校 芸術編 (美術I)	<p>⑮ 材料のもつ質感や量感などを表現に生かすこと</p> <p>⑯ 指導に当たっては、材料や用具の特性や効果を生かすとともに、方法や手順についても工夫しながら制作ができるようにすることが大切である。また、様々な技法や材料を組み合わせるなどの創意工夫ができるような題材の設定や、材料などと豊かに関わることができるような環境を整備することも大切である</p> <p>⑰ 表現方法の様々な可能性を意識しながら、既成の表現方法にとられない表現を工夫するなどの創造的に表す技能を身に付けることが大切である</p> <p>⑱ 主題を生成するために材料に直接触れてみたりするなど具体的な手立てを講じることが求められる</p>

料と対話し発想・構想する活動があった。加えて、乾燥して形が変わることを防ぐために霧吹きで湿らせるといった工夫も行った。

こうした一連の活動は、学習指導要領解説で示されている「材料を生かして作品の構想を練ったりすること」(③⑪⑮⑱)や「硬さや軟らかさが人間の感覚や感情に強く働きかける特性や材料の可変性などに気付かせること⑬」(他に⑤⑫⑱など)に準拠しており、児童・生徒らの学習活動を見通すことができた。

芸術賞展の審査員からは、材料と形のインパクト

や質感の新鮮さ等において一定の評価を得るとともに、新たな造形の可能性があることが示唆された。学習指導要領解説には、新しいことに挑戦したり工夫したりして表現することが述べられている(⑩⑪⑭⑰など)ため、3Dプリンタの活用は、材料の特性を生かし新しい表現方法で作品を制作する点で、児童・生徒らの表現力等の育成を支援する可能性がある。

具体的な材料や用具を明示していない中学校第2学年以降(①⑦)は、3Dプリンタといった表現方法や様々な材料を使用することも望ましいと思われる、

指導事項としては、材料から構想したり手に取ったり、組み替えたりする場として、教室に3Dプリンタと硬軟様々な材料を常備し児童・生徒らが自由に使える環境を整備する取り組みも考えられた(②④⑥⑧⑨)。

## 6. おわりに

美術科において、児童・生徒らが3Dプリンタを用いて立体作品を制作する際の基礎的な資料を得るため、(1)3Dプリンタでやわらかい材料を用いて立体作品を制作しその作品に対する専門家からの評価と(2)美術科の学習指導要領解説における材料に関する記述の整理から、(3)3Dプリンタという表現方法とその材料から想定される学習活動や指導事項などについて考察した結果、主に以下の事柄が確認された。

(a) 作品制作時は、材料の特性が生かされるような形を模索するなど、材料と対話し発想・構想する活動があり、こうした活動は、学習指導要領解説で示されている「材料を生かして作品の構想を練ったりすること」などに準拠しており、児童・生徒らの学習活動を見通すことができた

(b) 芸術賞展の審査員からは、質感の新鮮さ等において一定の評価を得るとともに、新たな造形の可能性があることが示唆された。学習指導要領解説には、新しいことに挑戦したり工夫したりして表現することが述べられているため、3Dプリンタの活用は、児童・生徒らの表現力等の育成を支援する可能性がある

(c) 指導事項には、材料から構想したり手に取ったりする場として、教室に3Dプリンタと硬軟様々な材料を常備し児童・生徒らが自由に使える環境を整備する取り組みも考えられた

本研究ではレーザー光造形方式とやわらかい材料で実証した。今後は、3Dプリンタの様々な造形方式と材料を検証するなどして、学校教育での3Dプリンタの活用に向けて検討を重ねていきたい。

## 謝辞

枕崎市、ならびに第3回枕崎国際芸術賞展の運営スタッフの皆さまに深く感謝します。

## 付記

本研究は、「触感をみせる-3Dゲルプリンターを用いたやわらかアート制作と展示」<sup>(19)</sup>で発表した内容に、新しい内容と考察(主に第4章と第5章)を加えて再編した。

## 参考文献

- (1) クリス・アンダーソン(関美和訳):“MAKERS21世紀の産業革命が始まる”, p.320, NHK出版(2012).
- (2) 吉村忠与志, 千田範夫:“3Dプリンタ用ファイル作成のためのWinmstar機能の付加”, Journal of Computer Chemistry, 15, 1, pp.7-12, (2016).

- (3) 臼井昭子, 登本洋子, 渡邊洋輔, 古川 英光:“3Dプリンタを活用した学校教育における研究の傾向と児童を対象にした研究事例の考察”, コンピュータ利用教育学会 CIEC春季カンファレンス論文集 Vol.12, pp.80-85 (2021),
- (4) 文部科学省: 中学校教材整備指針, [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/fieldfile/2019/08/06/1316723\\_4\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/fieldfile/2019/08/06/1316723_4_2.pdf). (2023年12月1日閲覧).
- (5) 学習指導要領等(ポイント、本文、解説等)(平成20年3月・平成21年3月), [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/1356249.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1356249.htm), (2024年1月18日閲覧).
- (6) 平成29・30・31年改訂学習指導要領(本文、解説), [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/1384661.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm), (2024年1月18日閲覧).
- (7) 臼井昭子, 登本洋子:“学習指導要領解説における3Dプリンタの取扱いと記載内容の整理”, 日本教育工学会研究会報告集, JSET22-1, pp.143-146 (2022).
- (8) 鈴木二正, 芳賀高洋, 大川恵子, 村井純:“小学校低学年における3Dプリンタの学習の可能性”, 情報処理学会論文誌, 教育とコンピュータ, Vol.2, No.2, pp10-19, (2016).
- (9) 松浦李恵, 岡部大介, 渡辺ゆうか:“高等学校におけるFALABの公教育導入実証実践の事例報告”, 日本教育工学会論文誌, 44(3), pp.325-333, (2020).
- (10) 宇田秀士, 加舎章二郎:“個人向け3D機器を用いた<図画工作・美術科授業題材>開発のための基礎研究”, 奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要, 5号, pp217-222, (2019)
- (11) 臼井昭子, 登本洋子, 櫻井佑真, 渡邊洋輔, 古川英光:“学校教育における3Dゲルプリンタを活用した立体造形の学習に関する一考察”, Conference on 4D and Functional Fabrication 2021 (4DFF2021), 予稿集, pp.67-70 (2021).
- (12) 林耕史:“立体をつくる, 自分をつくる, 未来をつくる”, 教育美術, 第84巻, 第1号, pp.12-15 (2023).
- (13) 福田隆真ほか:“美術科教育の基礎知識”, 建帛社(2015).
- (14) Shoei Matsuda, The Big Flat Now, (2022).
- (15) Chiharu Shiota, The Boat Which Carries Time, (2017).
- (16) Nell Shiin, MAT 一級建築士事務所, 東福寺光明院枯山水庭園「波心庭」に彫刻作品を設置, (2023).
- (17) WIRED, 「ポストデジタル・アート」10選, <https://wired.jp/2015/01/21/postdigital-art-gallery-1/>, (2023年12月1日閲覧).
- (18) 糸井麻夏, 渡邊洋輔, 古川英光:“高分子科学と3Dプリンティング技術によるやわらか記念写真イベントの実施”, 月刊ソフトマター, 59, pp.10-13, (2023).
- (19) 臼井昭子, 渡邊洋輔, 古川英光:“触感をみせる-3Dゲルプリンターを用いたやわらかアートの制作と展示-”, Conference on 4D and Functional Fabrication 2023 (4DFF2023), 予稿集, pp.69-72 (2023).

(2023年12月1日 受付)

(2024年1月19日 採録)

# Tag-ISM 法を用いた問題集の特徴分析

A study of high-school's drill books on mathematics Using the Tag-ISM Method

佐久間 大<sup>\*1・3</sup>・金高 右京<sup>\*2</sup>・徳竹 圭太郎<sup>\*3</sup>

Email: sakuma@mailg.shumei-u.ac.jp

\*1: 秀明大学

\*2: 早稲田大学政治学研究科

\*3: 東京工業大学

## 抄録

本研究では、著者らが開発した問題項目構造化法 Tag-ISM 法 (Tag-Interpretive Structural Modeling) を複数の問題集に適用し、(I) 問題項目が体系的、構造的に収録されているか、(II) 収録されている問題項目の複雑さほどの程度かの2点について比較・分析した。具体的には、4つの異なる問題集に学習要素タグを割り当てた上で Tag-ISM 法を適用し、問題項目数、学習要素タグの数、構造化係数などの指標を用いてそれぞれの問題集の特徴について比較・分析した。分析の結果、問題集 SUICA は問題集 BUDOU よりも領域固有の文脈で体系的・構造的に問題項目を収録している問題集であると特徴づけることが出来た。また問題集 NASHI と問題集 RINGO の間で「データ分析」の分野・領域の問題項目群が再検討されており、それに伴って関連する他の分野・領域も一部変更されていることを明らかにすることが出来た。

◎Key Words デジタル教材, 教材構造分析, 個別最適化, 数学科教育, Tag-ISM 法

## 1. はじめに

デジタル化された教材が大量に出現している。そのような中で、文部科学省 (2023) は、「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業改善や、特別な配慮を必要とする児童生徒等の学習上の困難低減のために、「必要に応じて学習者用デジタル教科書を併用することを呼びかけている<sup>(1)</sup>。このことは、教師が児童生徒に適した教材を提供することで、個別最適な学びの実現する必要性が増していることを示唆していると考え

る。これを実現するため、教材を扱う出版社は様々な学力を持つ学習者層に向けて、多くの種類の問題集を開発して、その販売を行っている。これに対して教師は、児童生徒の資質・能力とその到達度を診断的に評価し、その結果を踏まえて適切な問題集を選び、児童生徒に取り組みせなければならないことがある。例えば、学習において習熟した児童生徒らを対象にした場合、基本的な知識・理解を前提とし、思考力や判断力が問われる問題項目が多く収録された問題集を選択することが好ましい。また、学習到達度が低い児童生徒らを目の前にした場合は、基本的な知識・理解が問われる単純な問題項目を多く含んだ問題集が適していると判断することがある。このように、教師は児童生徒個人あるいは生徒集団に最適な問題集を選定する必要に迫られていると考える。

つまり、教師は問題集における大量の問題項目間の関係構造の特徴を経験的に把握したり、問題項目それぞれの難易度や通過率などを分析したりして、児童生徒に適した問題集を選定することが求められる。本研究では前者の問題項目間の構造を把握する手法に着目する。

Educational Data Mining の分野・領域の1つには、Hernández-Blanco et al (2019) の機械学習の手法などを用いて教育情報の概念マップを作成し、教育のプロセスを整理、構造化する研究がある<sup>(2)</sup>。また、教師自身が学習内容の順序関係に着目して、学習要素をノード、学習要素間の順序関係をエッジに対応させた二次元のグラフ構造の形式に表現する教材構造化法の研究がある。教材構造化法には、沼野 (1976) の指導順序の決定法<sup>(3)</sup>、佐藤 (1980) の ISM 法 (Interpretive Structural Modeling) を用いた手法<sup>(4)</sup>、竹谷 (1980) の IRS (Item Relational Structure) 法を用いたテスト構造グラフの構成法<sup>(5)</sup>、赤堀ほか (1989) の系列化シミュレーション<sup>(6)</sup>がある。さらには、それらの教材や知識の構造を表現したチャートを評価する研究として、加藤ほか (1988) の教師が持つ知識の構造との一対比較を行う研究<sup>(7)</sup>や、徳竹ほか (2020) の生徒が持つ知識の構造の傾向を把握する手法の開発に関する研究<sup>(8)</sup>がある。そして、学校教育で扱われる数学の問題項目群に対して、佐藤 (1979, 1980) の教師が教材要素の配列アルゴリズムとしての ISM 法<sup>(4)(9)</sup>を適用し、領域固有の知識構造の文脈を以て配列、構造化するためには、それらの問題項目に含まれる学習要素を逐次抽出しながら、問題項目間の関係を検討する必要があった。

そこで佐久間ら (2023) は、問題集に含まれる問題項目に学習要素を表す学習要素タグを付与し、それらの問題項目に ISM 法を適用して、領域固有の知識構造・文脈に即した配列、構造化を図る手法を開発して、その有用性を評価する試みを行っている<sup>(10)</sup>。しかし、問題集の特徴の分析・比較することはまだ行われていない。

そこで教師自身が問題集の特徴を明らかにすることが出来るようになれば、児童生徒に適した教材を提供

することに役立つことが出来る。ここに本研究の意義がある。

本研究では、佐久間ら (2023) が開発した Tag-ISM 問題構造化法 (Tag-ISM 法) <sup>(10)</sup> を複数の問題集に適用し、  
 (I) 収録されている問題項目の多様性はどの程度か、  
 (II) 問題項目が体系的、構造的に収録されているか、  
 の2点について比較・分析し、得られた情報の有用性を評価した。

このように、本研究と佐久間ら (2023) <sup>(10)</sup> との違いは、Tag-ISM 法を適用することで、単一の問題集に集録された複数の問題項目間の構造を把握しようとする局地的な視点と、複数の問題集の構造的な特徴を捉えようとする俯瞰的な視点にあると言える。

## 2. 研究方法

### 2.1 Tag-ISM 問題構造化法

著者らが開発した、問題項目に付与したタグの情報を利用して問題項目間の構造化を図る Tag-ISM 問題構造化法 (Tag-ISM 法) を概観する (佐久間ら 2023)。図 1 に Tag-ISM 法で学習要素タグ (tag) を考慮した問題項目 (item) の階層的有向グラフのイメージを示す。本研究で開発した Tag-ISM 法は、図 1 に示した通り、問題項目  $i$  と問題項目  $j$  それぞれの背後にある学習要素タグの量に着目し、比較することで、上位-下位の知識構造を決定する。つまり、ある問題項目ともう 1 つの異なる問題項目の関係に着目し、問題項目  $j$  が問題項目  $i$  に付与された学習要素タグに付加分を持つかどうかを特定することで、問題項目  $j$  が問題項目  $i$  の上位の知識構造を持つことを決定する手続きがあることに特徴がある。Tag-ISM 法の前提を以下に示す。

問題項目を  $i \in \{1, \dots, I\}$  とし、問題項目群の総数を  $I$  とする。また問題項目群において付与された学習要素タグの総数を  $T$  とする。各問題項目  $i$  は、ある学習要素タグ  $t \in \{1, \dots, T\}$  が付与された場合に 1、そうでない場合 0 を示すような要素数  $T$  の学習要素タグベクトル  $C_i$  を持つ。Tag-ISM 法の実行手順を次に示す。

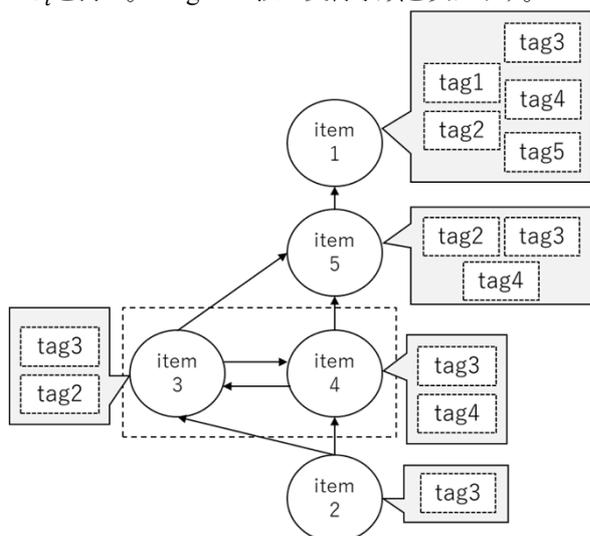


図 1 本研究で提案する Tag-ISM 法で作成する階層的有効グラフのイメージ  
 佐藤 (1979) を改変して作成

- (1) ある教材における問題項目の総当たり隣接行列  $A$  ( $I \times I$  行列) を作成する。
- (2) ある要素  $A_{ij}$  において、問題項目  $i$  と  $j$  の学習要素タグベクトル  $C_i$  および  $C_j$  を抽出する。
- (3)  $\sum_{t=1}^T C_{jt} > \sum_{t=1}^T C_{it}$  の場合、  
 $\sum_{t=1}^T \mathbb{I}\{C_{it} \neq 0 \text{ or } C_{jt} \neq 0, (C_{jt} - C_{it}) = 0\} = \sum_{t=1}^T C_{it}$  であれば、 $i \rightarrow j$  として  $A_{ij} = 1$  とする  
 それ以外は 0。  $\mathbb{I}(\cdot)$  は指示関数である。
- (4) 隣接行列  $A$  に単位行列  $I$  を加えた行列  $(A+I)$  についてブール演算を行い、可到達行列  $R$  を求めることで問題項目間の階層構造を決定し、それらの関係を階層的有向グラフとして表現し、可視化を行う。

尚、本分析における計算及び可視化は R 言語および R studio を用いて行った。

佐久間ら (2023) が開発した Tag-ISM 法では、問題文・解説文・解答から抽出した学習要素を学習要素タグと見なして用いている<sup>(10)</sup>。本研究でも同様の学習要素タグを用いることにした。

具体的には、複数の出版社の数学の教科書、問題集計 4 冊の索引と問題文・解答・解説文から事前に語句、公式・定理を抽出し、予めデータベースを作成することで、各問題項目に対応する学習要素タグを割り当てている。例えば一次不等式における問題項目に対しては、不等式、不等式の性質、値の範囲、不等式の利用の学習要素タグを割り当てた。表 1 に問題項目の分野・領域、そして割り当てた学習要素タグの例を示す。

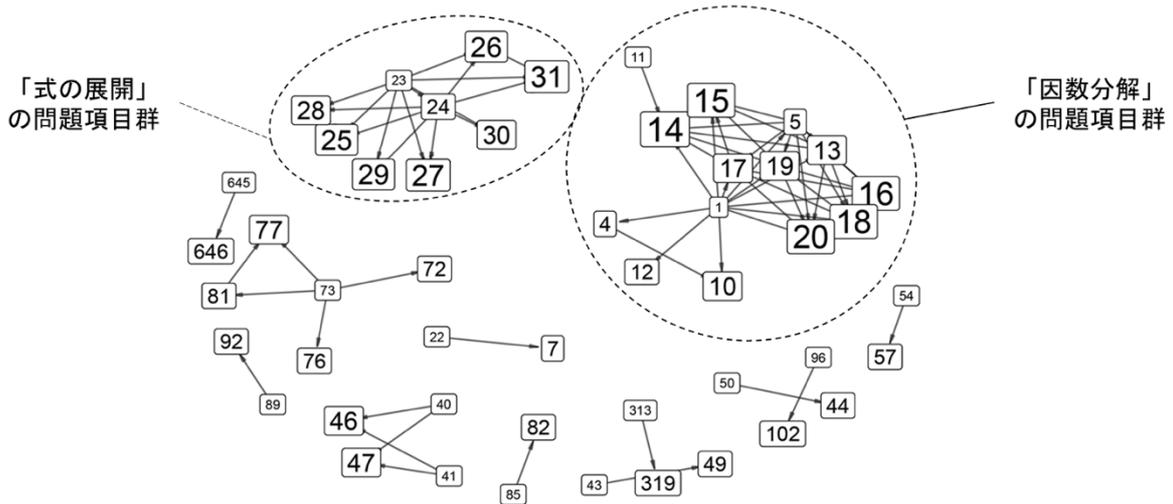
割り当て方は次の通りである。任意の問題項目 1 つに対して、その問題項目が所属する単元・領域内で予め抽出された学習要素タグを閲覧し、著者 2 名で協議しながら選択して割り当てた。また、その問題項目が複数の単元・領域の学習要素タグを有していた場合は、当該領域で抽出された学習要素タグも割り当ての候補として検討した。これらの割り当て作業に要した時間は、計 2 週間である。

### 2.2 Tag-ISM 法の適用事例

佐久間ら (2023) が 695 の問題項目を含む数学 IA の問題集に適用した事例を示す<sup>(10)</sup>。図 2 は「数と式」の分野における問題間構造の一部である。「式の展開」や「因数分解」などの領域で構造化されていることが読み取れる。図 3 は、図 2 の「式の展開」の部分抽出

表 1 問題と割り当てた学習要素タグの例

問題項目	問題項目の分野・領域	学習要素タグ
X	一次不等式	不等式、不等式の性質、値の範囲、不等式の利用
Y	絶対値を含む不等式	不等式、絶対値、場合分け、方程式の解、数直線、条件
Z	循環小数	循環小数、有理数・無理数、実数



※番号は ID を示す。また各ノードの大きさは入次数によって決まっている。

図2 Tag-ISM法によって階層構造が見られた問題項目群の一部

	tag1	tag2	tag3	tag4	tag5	tag6	tag7	tag8	tag9	合計
Item31	1	1	1	1	1	0	0	1	1	7
Item25	0	1	1	1	0	1	0	1	1	6
item26	0	1	1	1	1	0	0	1	1	6
item27	0	1	1	1	0	0	1	1	1	6
item29	0	1	1	1	0	1	0	1	1	6
item28	0	1	1	1	0	0	1	0	1	5
item30	0	1	1	1	0	0	0	1	1	5
item24	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4
item23	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3

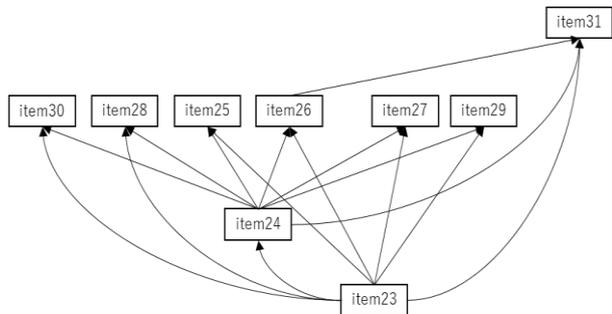


図3 Tag-ISM法によって明らかになった「式の展開」の問題項目間の階層構造

し、学習要素タグの種類と有無を示した表と階層構造を可視化したチャートである。学習要素タグの合計数が最も少ないitem23から item31 に至るまで、4つの階層で構造化されている。item26 と item31 に着目すると、学習要素の付加が有る直接的な関係にある。一方、item25 と item31 の関係には、学習要素タグの種類数に違いがあるため階層構造はない。このように、Tag-ISM法を適用することで、問題項目群を大まかに構造化することが出来る。

### 2.3 分析方法

#### 2.3.1 分析対象

4つの異なる問題集に学習要素タグを割り当てた上で Tag-ISM 法を適用し、「Tag-ISM エッジ数の大きさ」と「学習要素タグの種類数の大きさ」の2つの指標を用いてそれぞれの問題集の特徴について比較・分析した。分析対象は、高校1年生が学習で用いる数学IAの市販の問題集 SUICA (1,136)、問題集 BUDOU (948)、問題集 NASHI (835)、問題集 RINGO (822) を選定した。

○内の数字は、収録された問題項目数を示す。問題集 SUICA、BUDOU はそれぞれ異なる出版社が作成し、尚且つ約 1,000 の問題項目数を収録しているものである。一方、問題集 NASHI、RINGO は学習指導要領改訂前後それぞれにおいて、同一の出版社が作成した書籍である。問題集 RINGO が旧課程、問題集 RINGO が新

課程に対応した内容となっている。

#### 2.3.2 評価指標

評価観点には、本研究の目的に照らして (I) 収録されている問題項目の多様性はどの程度か、(II) 問題項目が体系的、構造的に収録されているかの2点である。そこで問題項目に割り当てられた「学習要素タグの種類数の大きさ」を掲載されている問題項目が複雑かどうかを示す指標として捉える。また、「Tag-ISM エッジ数の大きさ」を、その問題集に含まれる問題項目間で関係構造を有しているかどうかを示す指標として捉える。

この具体的な測定値として、問題集 SUICA、BUDOU、NASHI、RINGO それぞれの (i) 問題項目数、(ii) 学習要素タグの種類数、(iii) 割り当てた学習要素タグ数の平均値 (ii/i) を算出する。さらに (iv) と (i) との比を算出し、収録されている問題項目がどの程度構造的に収録されているのか、それとも羅列されているかどうかを簡易的に把握することを試みる。本研究では、この比率データを (v) 構造化係数 (iv/i) と呼ぶことにする。構造化係数の解釈を図4に示す。

#### 2.3.3 仮説

問題集 SUICA—BUDOU 間では、それぞれコンセプトや想定している購読者層が異なっていることから、扱っている問題項目そのものの複雑さや全体の構造に

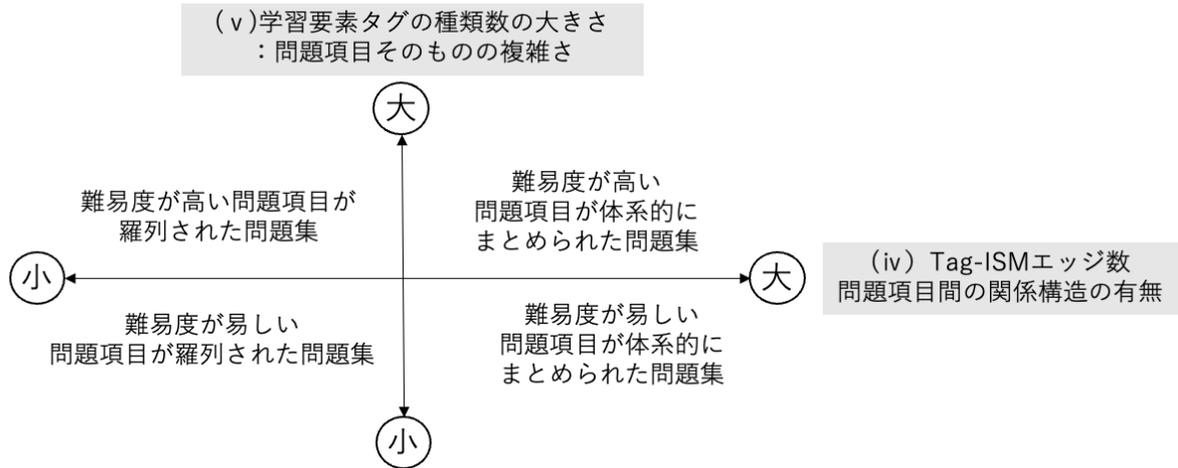


図4 Tag-ISM法における構造化係数の解釈

違いがあることが予想される (仮説1)。

また、問題集 NASHI-RINGO 間では、学習指導領の改訂によって変更した箇所が浮かび上がってくることが仮説として考えられる (仮説2)。

### 3. 結果・考察

#### 3.1. 分析結果

表2, 3, 4, 5に問題集 SUICA, BUDOU, NASHI, RINGO それぞれの(i)問題項目数, (ii)学習要素タグの種類数, (iii)割り当てた学習要素タグ数の平均値 (ii/i), (iv) Tag-ISM エッジ数, (v) 構造化係数 (iv/i) を示す。

#### 3.2 考察

##### 3.2.1 異なる出版社の問題集の比較

以下、問題集 SUICA, BUDOU における「二次関数」の分野・領域で分析・比較した結果の例を記す。

まず、(i)に着目すると両者の問題項目数はほぼ同数であった。次に、(ii), (iii)を見ると、問題集 SUICA に比べて問題集 BUDOU の学習要素タグ種類数が多いと共に、問題項目に割り当てられたタグ数も多いことが読み取れる。このことは、問題集 BUDOU は問題集 SUICA と比べて、多様な学習要素で構成された問題項目を収録していると評価することが出来る。そして (iv) (v) に目を向けると、問題集 SUICA の値が問題集 BUDOU のそれよりも値が大きいことが読み取れる。問題集 SUICA において構造化係数が1.00 (基準値) を超えた分野・領域は「数と式」、「データの分析」、「場合の数と確率」である一方、問題集 BUDOU の構造化係数に高い値は見られなかった。

また、構造化係数が低い項目に着目した。その結果、問題集 SUICA, 問題集 BUDOU とともに、「図形の性質」と「図形と計量」の2分野で構造化係数が低い傾向が見

表2 問題集 SUICA の問題項目数・学習要素タグの種類数と平均値・Tag-ISM エッジ数・構造化係数

	分野・領域	(i)問題項目数	(ii)学習要素タグ種類数	(iii)付与タグ平均 (ii/i)	(iv)Tag-ISM エッジ数	(v)構造化係数 (iv/i)
S U I C A	二次関数	188	79	7.23	139	0.74
	数と式	227	121	4.49	702	3.09
	データの分析	49	21	3.27	50	1.02
	整数の性質【旧課程】	170	120	4.68	69	0.41
	図形の性質	151	160	5.38	15	0.10
	図形と計量	135	123	6.96	33	0.24
	場合の数と確率	216	87	5.45	320	1.48

表3 問題集 BUDOU の問題項目数・学習要素タグの種類数と平均値・Tag-ISM エッジ数・構造化係数

	分野・領域	(i)問題項目数	(ii)学習要素タグ種類数	(iii)付与タグ平均 (ii/i)	(iv)Tag-ISM エッジ数	(v)構造化係数 (iv/i)
B U D O U	二次関数	182	96	9.94	71	0.39
	数と式	238	118	4.84	174	0.73
	データの分析	38	17	3.00	26	0.68
	整数の性質【旧課程】	94	75	4.69	36	0.38
	図形の性質	101	123	5.30	5	0.05
	図形と計量	104	118	8.54	16	0.15
	場合の数と確率	191	99	6.01	60	0.31

表4 問題集 NASHI の問題項目数・学習要素タグの種類数と平均値・Tag-ISM エッジ数・構造化係数

	分野・領域	(i)問題項目数	(ii)学習要素 タグ種類数	(iii)付与タグ 平均 (ii/i)	(iv)Tag-ISM エッジ数	(v)構造化係数 (iv/i)
N A S H I	二次関数	130	75	7.58	20	0.15
	数と式	180	94	3.95	432	2.40
	データの分析	23	18	4.04	4	0.17
	整数の性質【旧課程】	117	77	5.60	144	1.23
	図形の性質	119	134	6.96	12	0.10
	図形と計量	100	88	7.03	21	0.21
	場合の数と確率	166	64	5.91	229	1.38

表5 問題集 RINGO の問題項目数・学習要素タグの種類数と平均値・Tag-ISM エッジ数・構造化係数

	分野・領域	(i)問題項目数	(ii)学習要素 タグ種類数	(iii)付与タグ 平均 (ii/i)	(iv)Tag-ISM エッジ数	(v)構造化係数 (iv/i)
R I N G O	二次関数	119	65	6.88	87	0.73
	数と式	191	98	4.09	302	1.58
	データの分析	38	20	3.82	48	1.26
	整数の性質【旧課程】	110	65	5.46	68	0.62
	図形の性質	120	126	6.40	14	0.12
	図形と計量	91	78	6.90	53	0.58
	場合の数と確率	153	72	5.88	233	1.52

られた。これらの幾何学的な分野・領域については、一般的に複数の学習要素を結合して解答する問題項目であることが多い。このことを鑑みると、双方の問題集の内容が基礎的な学習要素に限定し、応用問題が少なかった可能性がある。

これらのことから、問題集 SUICA の方が問題集 BUDOU よりも問題項目間の関係構造を有しており、問題項目間の構造化、体系化を図って開発されている可能性がある。つまり、本研究で設定した仮説1は概ね支持され、問題集 SUICA は問題集 BUDOU よりも領域固有の文脈で体系的・構造的に問題項目を収録している問題集であると特徴づけることができる。

ただし、構造化係数を用いて、問題集の問題項目の構造化の程度を把握しようとする際には、単元の性質を考慮する必要がある。また、問題文や解説文から学習要素タグを十分に抽出・割り当てられなかった可能性や、構造化係数の基準値 1.00 が暫定的な値として設定している点については今後の課題である。

### 3.2.2 学習指導要領改訂前後の問題集の比較

以下、問題集 NASHI (旧版)、問題集 RINGO (改訂版) で分析・比較した結果の例を記す。

(i) に着目すると、「データ分析」における問題項目数が増加傾向にあることが読み取れる。さらに (ii)、(iii) を見ると、問題集 NASHI—RINGO 間では学習要素タグ種類数、問題項目に割り当てられたタグ数に大きな違いは見られなかった。しかし (iv) (v) に目を向けると、特に「データ分析」と「二次関数」、そして「図形と計量」の分野・領域において、問題集 RINGO のそれが問題集 NASHI のそれよりも値が大きくなっていることが読み取れる。

これらの結果から、以下のことが推察される。

第1に、学習指導要領改訂前後で統計の必修化や、デ

ータサイエンスに関する記述が増えたこと、そして大学の学部再編に伴う入学試験の変化へ対応しようとする出版社の意向が起因していると推察される。問題集 RINGO は学習指導要領の改訂に伴って、「データ分析」の問題項目数を増やした。ここで、他分野・領域の問題項目との調和をとるため、「二次関数」、「図形と計量」の問題項目数を減らしつつも、再編成したと考えられる。学習指導要領 (文部科学省 2023) を確認した所、「二次関数」の分野領域においては「二次関数の式とグラフとの関係について、コンピュータなどの情報機器を用いてグラフをかくなどして多面的に考察すること」が示されている。同様に、「図形と計量」の分野・領域では「日常の事象や社会の事象などを数学的に捉え、問題を解決したり、解決の過程を振り返って事象の数学的な特徴や他の事象との関係を考察したりすること」などと記述されている。

すなわち、本研究で設定した仮説2が支持されたと言える。特に問題集 NASHI—RINGO 間で「データ分析」の分野・領域の問題項目群が再検討、編成されており、それに伴って関連する他の分野・領域も一部変更されていることを明らかにすることが出来た。

## 4. まとめ

本研究では、著者らが開発した Tag-ISM 問題構造化法を複数の問題集に適用し、(I) 問題項目が体系的、構造的に収録されているか、(II) 収録されている問題項目の複雑さはどの程度かの2点について比較・分析した。具体的には、4つの異なる問題集に学習要素タグを割り当てた上で Tag-ISM 法を適用し、「Tag-ISM エッジ数の大きさ」と「学習要素タグの種類数の大きさ」の2つの指標を用いてそれぞれの問題集の特徴について比較・分析した。

分析の結果、問題集 SUICA は問題集 BUDOU よりも領域固有の文脈で体系的・構造的に問題項目を収録している問題集であると特徴づけることが出来た。

また、問題集 NASHI と問題集 RINGO 間で「データ分析」の分野・領域の問題項目群が再検討、編成されており、それに伴って関連する他の分野・領域も一部変更されていることを明らかにすることが出来た。

今後の課題として、構造化係数の信頼性・妥当性の向上、ならびに学習要素タグの改良がある。

## 謝辞

本研究にご助力頂いた企業、大学の皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- (1) 学習用デジタル教科書について：[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kyoukasho/scido/1407731.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/scido/1407731.htm), (2023年8月20日閲覧).
- (2) Hernández-Blanco, A., Herrera-Flores, B., Tomás, D., & Navarro-Colorado, B.: "A systematic review of deep learning approaches to educational data mining". 2019, Complexity <https://doi.org/10.1155/2019/1306039>
- (3) 沼野一男：“授業設計入門”，国土社（1976）.
- (4) 佐藤隆博：“授業設計と評価データ処理技法-ISM 教材構造化法と S-P 表の活用法”，明治図書（1980）.
- (5) 竹谷誠：“IRS テスト構造グラフの構成法と活用法”，日本教育工学雑誌，5 巻，pp.93-103（1980）.
- (6) 赤堀侃司，清水康敬：“教授方略モデルによる学習課題の系列化シミュレーション”，信学技報，ET89，70，pp.19-24（1989）.
- (7) 加藤浩，倉田政彦，佐藤隆博，小沢慎治：“学習者が描いた学習内容の階層的有向グラフによる構造的状態の測定と分析”，電子情報通信学会論文誌，AJ-71，(10)，pp.1955-1965（1988）.
- (8) 徳竹圭太郎，森裕理，室田真男：“歴史学習における因果関係の捉え方の傾向を把握する手法の検討”，日本教育工学会論文誌，43，Suppl.号，pp.133-136（2020）.
- (9) 佐藤隆博：“ISM 法による学習要素の階層的構造の決定”，日本教育工学雑誌，4，pp.9-16（1979）.
- (10) 佐久間大，金高右京，後藤匠，長谷川勝久，佐藤隆博：“ISM 法と学習要素タグを用いた問題項目の構造化法の開発”，日本教育工学論文誌，47，Suppl.号，印刷中（2023）.

(2023年12月22日 受付)

(2024年1月19日 採録)

ショートペーパー  
(査読なし)

# 学級状態に応じた ICT 利活用の授業実践

—児童の心的変容に着目して—

齊藤 勝\*1・村上剛志\*2・岡村安浩\*3

Email: masaru.saito@thu.ac.jp

\*1: 帝京平成大学人文社会学部

\*2: 創価大学大学院教職研究科

\*3: 江戸川区立葛西小学校

◎Key Words ICT 利活用, ガイダンス, 承認感, ソーシャルスキル,

## 1. はじめに

「令和の日本型学校教育」(文部科学省, 2021)では, 全ての子どもたちの可能性を引き出す個別最適な学びと, 協働的な学びの実現が提言され, 授業は教師から与えられる一定の知識を理解し記憶することから, 学習者が解決すべき課題に向かって, 自らの試行錯誤や他者との協働活動を通して, 学びを深めていくことへと変換しつつある。GIGA スクール構想で, 1人1台端末と高速大容量の通信ネットワークが整備されたことに伴い, ICT を利活用した子ども達主体の授業が展開しやすくなった。

出口ら (2015) は, タブレット端末の使用が, 自らの学習成果の確認を可能とし, 達成感を得られやすいと述べている。寺田・高橋 (2019) は, ICT 教材を学習に取り入れることで, 学習に対する動機づけを高めることを報告している。他方, 齊藤・河村 (2022) は, 授業内で単に ICT を取り入れただけでは, 学習のプロセスが学習者にとって実質化せず, 形骸化したものになってしまう可能性がある」と指摘している。学級状態に応じた ICT 活用を意識することで, 学習規律や学習者同士の人間関係の醸成が期待できると言及している。

そこで本研究では, 学級状態に応じた ICT の利活用が学習者にどのような影響を及ぼすのかについて検討することを目的とする。

## 2. 研究方法

### 2.1 調査時期

2022年5月から2023年12月にかけて調査を行った。

### 2.2 調査対象

A 県内の公立小学校 B 校第4学年31名(男子15名, 女子16名)であった。年度当初, 本学級は, 学習規律が定まっておらず, 授業内の離席や私語が目立った。また, 不安傾向が高い児童が多く, 授業中の発言は一部の児童に偏っていた。特別な支援を要する児童が数名在籍しており, 学習面, 生活面での指導が難しい状況であった。

### 2.3 調査方法とその内容

本調査は, 児童及びその保護者, 児童の在籍する学校長に承諾を得た上で実施した。調査は学校の成績と無関係であること, 研究以外では使用しないこと, 回答を実施しなくても不利益を被らないことについて, 実施前に担任より説明を行った。測定には, 標準化された心理尺度「Q

—U」の中の学級生活満足度尺度, スクール・モラル尺度(河村, 1988)を用いた。

## 3. 実践概要

### 3.1 ICT 活用促進に向けた学習環境の調整

前年度まで ICT を授業中にあまり活用していなかったため, タイピングスキルや ICT の操作スキルへの差が生じていた。児童が ICT を文房具として自在に活用できるよう, 児童自身で個々に合った学習方法を選択できる時間を確保した。そのため, 授業内の課題解決の際には, PowerPoint や iMovie などのアプリの使い方を教師が全て教えるのではなく, 個人で試行錯誤したり, 友達と使い方を確認したりすることでアプリに習熟する形をあえて採用した。その際, 児童に ICT を使うことが学習の目的ではなく, あくまで学習を深めるための手段として活用できているかの声かけを継続的に行なった。

### 3.2 ICT 活用促進に向けた行動様式の調整

年度当初は, 他者が話をする際は学習用タブレット端末の操作をやめて話し手に集中する, 学習で ICT を使わない際はタブレットを机の中にするなど, 基本的な使用方法について指導をした。また, 学級全体で ICT の活用スキルが高まってきた頃に, ICT を活用することで自分の考えや意見を表現しやすい良さがある一方, 匿名性が高いため, 他者の気持ちを考えずに意見を述べてしまうと自分は意図せずとも誹謗中傷に繋がってしまうこともあると, ソーシャルメディアのメリット・デメリットについても指導をした。その後, 継続的に自分自身や学級全体での扱い方を見直す時間を設け, 児童同士で ICT の使い方を調整できるよう促した。

### 3.3 単元を見通すためのガイダンスの実施

単元の始めにガイダンスを行い, 一人一人に学習の見通しをもたせた。それにより, 毎時間の全体指導の時間を削減した。加えて, 児童が ICT 活用への抵抗感を無くせるよう, 年度当初からガイダンス時に順次アプリを紹介すると同時に, 教師が紹介したアプリを実際に活用するようにした。また, 児童の学習用タブレット端末にガイダンスで使用したデータも送ることで, いつでも自分で学習の見通しを確認できる安心感を担保した。

### 3.4 児童の主体的な ICT 活用を促進する指導

社会科を例にすると、当初は従来どおりノートを使って学習のまとめを行っていたが、6月以降は、PowerPoint、7月以降は、PowerPoint と iMovie の双方を活用したまとめ方を紹介し、ICT 活用を推奨した。毎時間数名の児童の取り組み内容をピックアップし、紹介することで学級全体の情報活用スキルの引き上げを図った。

また、授業内で取り組んだ成果や振り返りを Teams のチャンネルの返信機能を活用して、クラス全体に送付し、作品や記録を共有することで、毎時間の自分の成果が蓄積されるようにした。それにより、全員の取り組みを全員が確認でき、感想を伝えられる環境を整えた。

#### 4. 結果と考察

本研究で対象とした学級は、3年前期のQ-Uの結果において、拡散型学級(学級のマイナス面が肥大して、問題行動が頻発し始めた状態であり、教師がリーダーシップを取ることが難しいといった特徴)となった。4年前期には、かたさ型学級(静かで落ち着いて見えるものの、子ども達の学習意欲などに差があること、また子どもたち同士の間関係が希薄であるといった特徴)となり、後期には、かたさ型学級の傾向はあるものの、70%弱の児童が満足感を得られた親和型学級に近い状態となった(Table 1)。

Table 1 学級状態の推移

	満足群	非侵害群	侵害行為認知群	不満足群
3年前期	29	23	13	35
4年前期	52	33	23	7
4年後期	68	23	6	3

実践後の対象学級の変容について概観する。児童の情報活用スキルの育成を図る場面では、児童同士で操作方法を考えたり、教え合ったりする姿が見られ、タイピングアプリを使って練習に励む児童が増加した。ICTを常態的に使用できる環境を整えることで、学習場面や進度に合わせて、ICT と非 ICT を組み合わせながら、児童自らが使いやすいツールを選択できるようになった。

また、学級内での ICT の使い方を子ども達が検討した結果、逸脱行為を行う児童が減少した。このことは、学習規律の目安を示すQUの満足群と非承認群の合計が、52%から91%に変化したことから確認できる。児童の満足度が29%(3年前期)から68%(4年後期)に向上した結果からも、教師による授業改善が学級内の居心地のよさ、所属意識を底上げしたものと考えられる。

同様に、ソーシャルスキルと同義である配慮のスキルと関わりのスキルを用いて、対応のある  $t$  検定を行った。その結果、関わりのスキル ( $t(30) = -2.26, p < .01$ ) において、1%水準で有意差が見られた。配慮のスキル ( $t(30) = -1.98, n.s$ ) については、有意差が見られなかった。教師主導の一斉指導の時間を必要最低限に留めたことにより、児童の活動時間を確保することができた。児童同士で課題解決ができる児童は、学習用タブレット端末のデータを基に、互いに質問をしたり、疑問を共有したりすることで論点を明確にして話し合う姿が見られるようになった。限られた友人だけでなく、不特定の友人と協働的な学びが展開されるようになったこと、タブレット端末を用いた間接的なコミュニケーションが、児童のソーシャ

ルスキルの内、特に関わりのスキルの育成に効果的であったことが示された。

また、学習展開の半ばでは、他者の考えや作成過程を参考にしながら、自身の取り組んでいる課題に生かせるようになった。毎時間の振り返りでは、他者の観点を参考にし、自身の振り返りの幅を広げられるようになった児童が多く見られた。

このことにより、学習意欲の中でも、「発表の効力感」は、H群とL群の2群比較において、実践を進めるごとにH群の割合が向上することが確認された(Figure 1)。挙手をして意見を述べることに苦手意識を覚える児童も自信をもって感想を伝えられる場面が増えたことにつながっているものと推察される。

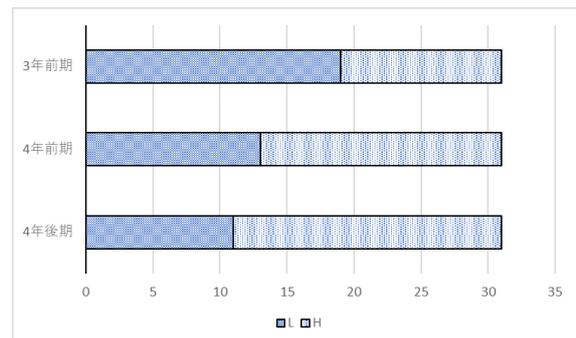


Figure 1 発表の効力感

#### 5. おわりに

本研究では、承認感、発表の効力感、関わりのスキルの向上に有効に作用することが明らかになった。学級担任はICTを単に導入することに留まらず、学級の状態をアセスメントしながら、児童と共にICTの利活用の可能性を探究した。継続的な教師からの働きかけに加え、ICTの活用プロセスを児童自ら省察する機会を提供したことにより、自己調整しながら学びを進められるように促した。今回の結果には、ICTの効果的な活用はもちろん、児童の可能性を引き出そうとする教師の信念が関与していると考えた。今後は、ICTを効果的に活用する教師のマインドセットについて検討したい。

#### 参考文献

- (1) 中央教育審議会, 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～答申 (2021).
- (2) 出口康子・西川崇・吉田ゆり, 通級指導教室における書字指導の実践—小集団指導でのタブレットPC活用を通して—, 教育実践総合センター紀要, 第14号, pp.263-272 (2014).
- (3) 高橋麻衣子・巖淵守・中邑賢龍, タブレットPCをベースにしたデジタル教科書による小学生の読解学習支援—読みパターンのログ分析から, 電子情報通信学会技術研究報告, 112, pp.223-227 (2012).
- (4) 齊藤勝, 河村茂雄, 小学校における協働学習推進に関する一考察—学級状態に応じたICTを活用した授業改善の検討—, 日本教育心理学会, 日本教育心理学会 第64回発表論文集 (2022).
- (5) 寺田充希・高橋甲介, 漢字書字に困難のある生徒へのICT教材を用いた筆順指導効果の検証, 長崎大学教育学部教育実践研究紀要, 18, pp.335-342 (2019).

# スマートフォンで開発する全円周 360 度 VR 画像による バーチャルツアーの試み

布施雅彦

Email: mfuse@fukushima-nct.ac.jp

\*1: 福島工業高等専門学校

◎Key Words 全円周画像, VR, デジタルアーカイブ, 情報教育, バーチャルツアー, デジタルツイン

## 1. はじめに

筆者は1990年代から360°全円周画像(以下VR画像)を利用した教育コンテンツや教材を制作してきた。VR映像ではかつて高度な撮影技術、画像の重ね合わせ技術が必要だった。また、その画像を連携させ、必要に応じてテキストや画像、動画などがポップアップし連携するバーチャルツアーなどにするには、WEBサーバーや高度なプログラミングが必要だった。しかし、近年、スマートフォンやAI技術、クラウドサービスなど様々な技術が進歩し、高校生であれば誰もが所持しているスマートフォンと、そのアプリを活用し、無料のクラウドサービスを利用し、バーチャルツアーを無料で公開が可能になった。そこで、今回は、従来のVR画像の撮影と、バーチャルツアーの制作との違いや、今までの進展を確認し、現時点でのスマートフォンで制作するバーチャルツアーの特徴を検証し、今後の可能性について考察する。

## 2. 全円周画像の撮影とバーチャルツアーの変遷

バーチャルツアーの作成の基本として、

1. 写真の撮影機材と撮影技術の変化
  2. 撮影後の画像のレタッチ・ステッチ技術の変化
  3. 画像を連携させバーチャルツアーを組み立てる方法の変化
  4. バーチャルツアーの公開方法の変化
- 上記の4つが挙げられ、時代に応じて変化してきた。

Voyage Virtuel au Musée du Louvre



図1 当時のQuickTime VRを利用した美術館のページ

### 2.1 黎明期(1995年～2006年)

1995年にAppleが開発したQuickTimeVRが登場した。当時は、デジタルカメラも貴重であり、広角レンズの種類も少なかったため、フィルムカメラで撮影し、写真をスキ

ャンして活用するケースもあった。図1は1998年にQuickTimeVRの技術を利用して制作され公開されたルーブル美術館のバーチャルツアーである。表示の解像度(ppi)が480×300でとても小さいものであった。図2のように2000年頃、当時のQuickTimeVR技術を使ったVR画像を活用し、WEBで視聴できるマルチメディア教材の開発を行った<sup>(1)(2)</sup>。撮影から公開まで月日を費やし、試行錯誤の部分もあり、一般的と言える時代ではなかった。また、当時のネット回線は、ISDN回線が主流で、今からみれば非常に低速であり快適な視聴は難しい時代であった。



図2 500万画素のデジタルカメラでの制作様子



図3 発展期のデジタル一眼カメラでの撮影の様子

### 2.2 発展期(2005年～)

より高画質を求め撮影に利用するデジタルカメラの進歩とともに撮影は変化した。デジタル一眼カメラの大型センサー(APS-Cまたはフルフレーム)を利用することで、高解像度・高画質のVR画像の撮影が可能になった<sup>(3)</sup>。しかし、重量級のカメラで高精度な撮影が求められるため、図3のように三脚、雲台などの機材も大きく重く、

非常に高価になった。図4は、廃校プロジェクトで利用した当時の撮影のチェックリストである<sup>(4)</sup>。パノラマ合成ソフトのステッチの精度も向上したが、明るさ・バランス、角度など精度が良い技術が必要となる。撮影枚数も2, 3, 5, 15(HDR)枚と大解像度、高画質を求めると、1地点あたりの撮影時間が15~30分近く必要であった。デジタル一眼カメラでの撮影方法は、現在でも高解像度・高画質のため、継続して活用されている手法でもある。

年	月	日	学校名	天気	時間
記入者					
撮影項目					
三脚の準備					
三脚を折り畳み、脚を折り付ける					
脚の水準器で水平の調整を行う					
カメラの準備					
カメラの水準器で水平の調整を行う					
レンズが三脚の中心にまているか					
レンズのフォーカスを確認を行う					
撮影枚数の調整(明: 5, 10 枚, 5, 20)					
カメラの設定					
ホワイトバランスの調整					
ドライブモードを連続撮影モードに					
絞りで明るさを調整を行う					
はじの撮影方向を定める					
撮影方向の項目に変更は必要か					
1回目の撮影を行う					
3秒程度待っているか					
カメラを左へ2回転させる					
2回目の撮影を行う					
3秒程度待っているか					
カメラを左へ2回転させる					
3回目の撮影を行う					
3秒程度待っているか					
カメラを左へ2回転させる					
4回目の撮影を行う					
3秒程度待っているか					
カメラを天井へ回転させる					
5回目の撮影を行う					
3秒程度待っているか					
合計15枚撮れているか					
写真の確認					
SDカードを差し替える					
パソコンにバックアップを確認					

図4 1枚の画像を撮影する為のチェックリスト

バーチャルツアーの公開には、JAVA を利用したものや独自のプログラム、Adobe Flash を利用するものが多かった。しかし、Adobe Flash などサポート終了で閲覧もできなくなったものも多い。2010年移行に出てきたHTML5対応のバーチャルツアーは、現在でも閲覧可能だが、これも2021年に廃止になり将来的には動作しなくなると予想される。

### 2.3 成熟期(2013年~)

2013年秋に、図5のようにリコーから前後に180°のカメラがついて360°撮影可能なTHETAが発売され、誰でも容易に撮影が可能になった。年々高性能で高画質な製品が発売され、用途や予算に応じて製品を選べるようになった。また、最近のモデルでは360°動画の撮影やリアルタイム配信も可能になり、閲覧環境もパソコンの画面だけでなく、図6のような身近なスマートフォンを利用したゴーグルや臨場感のある専用のVRゴーグルのHMD(Head Mounted Display)も身近になってきた。



図5 VRカメラ(左から2K, 4K, 8K撮影が可能)



図6 VRゴーグル(HMD)

残念ながら市販のバーチャルツアーの制作ソフトはあまり普及せず、リコー社のTHETA360.bizを筆頭にサブスクリプションのクラウドタイプのバーチャルツアーのサービスが増加した<sup>(5)</sup>。また、2014年頃からグーグルストリートビュー技術が認定フォトグラファー向けに開放され、インドアビュー(現インドアマップ<sup>(6)</sup>)と呼ばれるようになった。条件を満たせばグーグルのストリートビューのシステムを利用することが可能になった。グーグルのシステムでは高度なインタラクティブなバーチャルツアーを作成することはできないが、グーグルという知名度と、日本では東京オリンピックのイベントやインバウンドによる訪日外国人の増加のため、急激に利用が増えた。特にグーグルでは東京の複雑な駅をインドアマップ化し、多くのバーチャルツアーが制作された<sup>(7)</sup>。

### 2.4 発展・普及期(2020~)

Covid-19の影響により外出が控えられる傾向が見られ、展示会等も中止されるケースが増加した。その結果、バーチャルツアーによる施設紹介やオープンキャンパス等の公開ページも増えた。そこで、Society5.0のサイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)の融合が可能で、多くのデジタルツイン機能に対応したMatterport社のサービスが一般にも広まった<sup>(8)</sup>。特に、一般社団法人VR革新機構の支援による国の代表的な施設である国立科学博物館が、感染症の影響で閉館中であった施設を2020年4月24日から、「おうちで体験!かほくVR」として、VR公開したことが大きい<sup>(9)</sup>。公開当初は、詳細な解説などはなかったが、その後、適切な説明が付加された。その後、VR革新機構は、最新技術を用いてボランティア撮影を実施し、国内の約50以上の施設のバーチャルツアーを制作している<sup>(10)</sup>。特に2023年10月末で建て替えの為、閉館する国立劇場VRはバーチャルアーカイブとして、有効で知名度を高めた。筆者の研究室でも2017年に制作してから3年近く公開許可が得られなかった地元の観光施設である「いわき市石炭化石館(ほるる)」も、交渉し図7のようにTOPページにバナー付きで公開していた<sup>(11)</sup>。



図7 長期休館中のいわき市にある観光博物館<sup>(11)</sup>

また、図8のように2021年8月に、まん延防止等重点

措置で展示公開中だったいわき市美術館の企画展「tupera tuperaのかおてん。」が、会期半ばで急遽閉幕となった。そこで、多数の人々の協力を得て、緊急に数日間でバーチャルツアーを制作し、残りの会期の期間をバーチャル公開することができた<sup>(12)</sup>。そして、2020年に、身近なスマートフォンで無料アカウントを作成し、バーチャルツアーを作成することが可能な時代が訪れた。



図8 Covid-19の影響で閉幕になった企画展のバーチャルツアーの紹介記事<sup>(12)</sup>

### 3. スマートフォンを利用したバーチャルツアーの制作

一般的に普及するためには、多くのユーザーが利用していること、制作費用が無料または低価格であること、撮影制作が容易であることなどが挙げられる。そこで、今回は、専用カメラや魚眼レンズなど専用のカメラを利用せず、誰もが日々持ち歩く身近なスマートフォンと、無料アプリ、無料のクラウドのシステムを利用し、バーチャルツアーを制作した。過去の制作方法と比較し、どのような部分が優れているか、どのような課題があるのか検証する。

#### 3.1 撮影環境

今回は、スマートフォンにモバイル版 Matterport アプリ（無料）を利用し、Matterport 社の Free プラン（¥0）のクラウドサービスを利用した。有料プラン契約とは機能が異なる。対応しているスマートフォンは多く、iPhone などはかなり古い機種から対応している。撮影は6枚×2の12枚の画像を撮影し、ステッチする。撮影時には画面の撮影ガイドが表示され、それに沿って撮影可能で初心者にも易しい。スマートフォンのカメラの性能によって画質が左右されるが、撮影枚数が多く、目的によっては十分な品質である。メーカーのサイトには画質の比較表があり、画質においては180° レンズが両面のアクションカメラよりも良いとされている<sup>(13)</sup>。また、従来、360° 画像の撮影では、水平、明るさ、色味、明暗差などの調整、三脚部や個人情報顔の処理、撮影場所のマップ、画像のリンクによるツアー制作など、撮影時・撮影後に必要となる多くの事柄について Matterport のクラウド側ですべて自動処理する。撮影時には、専用の Axis（三脚+雲台+リモコン）があるととても便利である<sup>(14)</sup>。一定の高さが固定でき、回転の中心と回転角も正確になり、スマートフォンの撮影角度の前後±15°の変更も簡単にできる。狭い階段や廊下などの場所でも撮影が可能で、暗い場所ではブレ

を抑えることができる。下記が今回三脚を利用したバーチャルツアーの例である。

- ① 旧 JR 小川郷駅（三脚），<https://my.matterport.com/show/?m=7Zbp1Ai4kEQ>
- ② 画展（三脚），<https://my.matterport.com/show/?m=qNBwU2QkZJV>

#### 3.2 撮影環境の課題（三脚なし・補助具・手持ち）

三脚とスマートフォンを固定する雲台がある場合は、初心者でも撮影が可能である。しかし、三脚の運搬・携帯が難しい場合や費用面で三脚の購入が難しい場合、撮影時に三脚などが禁止されている場合など、上手に撮影するのが難しい場合がある。そこで、今回は補助具を利用し、手持ち・補助具・三脚で③④を制作し比較した。表1はその結果である。補助具は図9のように「紐」を利用して「高さ」を一定にしている。そして、図10のように重りをぶら下げ、回転時も含めて「垂直」を保つ。図11のように定規を利用して±15°の「角度」の感覚を身に付け、角度の確認に利用する。紐や重り、定規程度なので、安価に入手が可能で、手持ちよりも効果が非常に良い。

表1 撮影環境による画像の質の違いについて

	手持ち	+補助具	+三脚
ステッチ	△	○	◎
撮影時間	△	◎	○
高さズレ	△	○図9	◎
垂直ズレ	△	○図10	◎
回転と軸ズレ	△	○図10	◎
カメラの角度	△	○図11	◎
可搬性	◎	○	△



図9 高さを一定



図10 傾きの補正



図11 携帯の撮影角度の確認

- ③ ひだまりカフェ p6（手持ちと三脚比較），<https://my.matterport.com/show/?m=vdPa2b7EU8B>

- ④ ひだまりカフェ (補助具利用), <https://my.matterport.com/show/?m=nwE8bYKvLnB>
- ⑤ 天鏡閣 (手持ち), <https://my.matterport.com/show/?m=XMSajG9r4CR>

⑤は、三脚禁止の観光施設で手持ちの撮影で制作している。そのため非常に画像にブレが発生している。今後、今回考えた補助具を利用して再撮影を試み、補助具の効果をさらに確かめたい。

### 3.3 デジタルツイン

情報通信白書によると現実空間の物体・状況を仮想空間上に「双子」のように再現したものをデジタルツインと呼ぶ。<sup>(15)</sup> バーチャルツアーはデジタルツインの一つと考える。特に Matterport の Free プランのバーチャル画像を、定規機能を利用して距離を計測することができる。そこで、図 12 のように実際の長さとして、バーチャル画像での長さを比較した。LiDAR 機能付きスマートフォンでは高精度とされているが、今回は LiDAR 機能なしスマートフォンで制作した為、誤差が大きかった。距離を活用する場合は、誤差を確認する必要がある。今後 LiDAR 付きスマートフォンを利用して比較検証をしたい。



図 12 現実と仮想とで長さを計測した様子

### 3.4 スマートフォンでの制作のまとめ

撮影制作で気付いたことは、下記の通りである。

- 撮影の習得は短時間で可能で、静止した VR 画像に最適である。
- 手持ち撮影では、撮影練習や、撮影技術が必要である。
- 安価なスマートフォンでも撮影制作可能ですが、高速処理が必要である。
- 広角レンズ付きのスマートフォンを使用すると、上下の撮影範囲が広がる。
- スマートフォンの機種によっては、アプリのエラーが発生することがある。
- 夏場の連続撮影では、冷却など熱対策が必要である。
- 補助具を利用すると、三脚撮影の精度に近づき、費用や携帯性で実用的である。
- LiDAR なしのスマートフォンでもおおよその距離がわかるが、目的の精度に十分確認が必要である。

## 4. おわりに

バーチャルツアーは、Covid-19 対応、災害、取壊し、遠隔教育など多様な事柄で有効性が高まっている。SDGs の観点からも、「4 質の高い教育をみんなに」、「11 住み続けられるまちづくりを」に繋がり、今後の発展が考えられる。しかし、都市部には制作会社が多数あるが、地方には少なく、依頼すると出張費も追加され制作費は高騰する。20 年以上にわたり、VR 画像を学習に活用できないか取り組み、高度な技術が必要な時代は高専の 5 年生の卒業研究、カメラや設備が発展してからは 2 年生の課題探求活動の授業として、興味のある学生に指導してきた<sup>(16)</sup>。今回のスマートフォンで撮影が可能になり、ステッチやバーチャルツアーの制作がアプリ・クラウドシステムで可能になったため、誰もがバーチャルツアーを「作りたい」「作ってみたい」「(その場にいるように) 伝えたい」「(その場にいるように) 残したい」という想いを表現できるようになった。そして、多くの VR コンテンツ・VR 教材が作成され、閲覧者・学習者もより満足できるようになると嬉しい。

### 参考文献

- (1) 布施雅彦, 大河原麗偉, 湊 淳, 小澤 哲, “発見・探求学習に利用できるヴァーチャルリアリティーとマルチメディアを使った資料館サイトの開発”, 第 28 回教育システム情報学会, 全国大会論文集, pp.122-123 (2003).
- (2) 布施 雅彦, 大河原 麗偉, 湊 淳, 小澤 哲: “e ラーニングを利用した事前疑似体験学習が学習意欲に与える効果-VR 資料館コンテンツ開発-”, コンピュータ&エデュケーション, 18 巻, pp.84-89 (2005).
- (3) 布施雅彦, 三浦 靖一郎, “常磐炭田の由来を題材としたモバイル・仮想体験が可能なマルチメディア観光・学習システムの開発”, 2011PC カンファレンス, pp.92-95 (2011).
- (4) 布施雅彦, “仮想現実や空撮の技術を利用したいわき市における廃校のデジタル化の試み”, 2017PC カンファレンス, pp.217-218 (2017).
- (5) theta360.biz, <https://www.theta360.biz/>, (閲覧日 2024.1.15).
- (6) インドアマップ, <https://www.google.co.jp/intl/ja/maps/about/partners/indoormaps/>, (閲覧日 2024.1.15).
- (7) トラベルボイスの駅構内のインドアビューの紹介, <https://www.travelvoice.jp/20180911-117188>, (閲覧日 2024.1.15).
- (8) Matterport 社, <https://matterport.com/>, (閲覧日 2024.1.15).
- (9) おうちで体験がはく VR, <https://www.kahaku.go.jp/VR/>, (閲覧日 2024.1.15).
- (10) VR 革新機構ボランティアの実績, [https://vr.io.jp/member\\_works\\_all.html](https://vr.io.jp/member_works_all.html), (閲覧日 2024.1.15).
- (11) いわき市石炭化石館「ほるる」, <https://www.sekitankasekikan.or.jp/>, (閲覧日 2024.1.15).
- (12) tupera tupera, <https://twitter.com/tuperatupera/status/1432147605752979461>, (閲覧日 2024.1.15).
- (13) 3D カメラ, iPhone で空間をキャプチャー, <https://matterport.com/ja/cameras>, (閲覧日 2024.1.15).
- (14) Matterport Axis, <https://matterport.com/ja/axis>, (閲覧日 2024.1.15).
- (15) 情報通信白書令和 5 年度版, <https://www.soumu.go.jp/johotsu-sintokei/whitepaper/ja/r05/html/nd247530.html>, (閲覧日 2024.1.15).
- (16) 布施 雅彦: “全地球映像(VR)を活用した ICT 教材制作と教材化の試み”, 日本教育工学会第 34 回全国大会(2018).

# 電子メディア環境における文章読解に関する諸課題

菅谷 克行\*

Email: katsuyuki.sugaya.principia@vc.ibaraki.ac.jp

\*1: 茨城大学 人文社会科学部 現代社会学科

©Key Words 電子メディア, 文章読解, メディア特性, メディア接触, 集中力

## 1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末など、個人向け電子デバイスの普及によって2022年のインターネット利用率(個人)は84.9%であり、その内訳として13歳から59歳までの各世代では利用率が9割を超えている<sup>(1)</sup>。これら電子メディア環境の展開や、電子書籍サービスの市場規模の拡大<sup>(2)</sup>により、書籍や雑誌などの文字コンテンツを電子デバイスで利用する機会は増えている。

教育においても、授業でのインターネット利用、デジタル教科書、電子黒板などが各学校に普及してきており、特に、コロナ禍における授業のオンライン化やGIGAスクール構想<sup>(3)</sup>により、電子メディア環境を積極的に活用した学びの実践が急速に展開している。

しかしながら、電子デバイス上で文章を読解することに対するメリットやデメリット・リスクを含めた検討は未だ十分なされていないとはいえない。一般に、電子メディアを教育や学びに利用する場合におけるメリットとして、マルチメディア連携機能(音声、動画等の利用)、コンテンツの流通性、通信・コミュニケーション性、情報検索性などがあげられていることが多いが、教育・学びの中心ともいえる、文字コンテンツの読解に関して、その優位性を示しているものはない。

文章読解における理解度、集中度、読みやすさなどは、使用するメディアによって差異があり、メディア特性が読者・学習者に及ぼす影響力について慎重に検討すべきである。

これまで、著者らの研究グループでは、紙の書籍と電子書籍における読書行動の差異について、様々な実験・調査を重ねてきた。これらの結果として、学校のテストで出題されるような読解問題の正答率や読書スピードにおいては、書籍メディア間で有意な差異は認められなかったこと<sup>(4)</sup>、書籍メディアの違いによって読書時の疲労度、集中度、注意力に差異が生じる可能性があること、書籍メディアに対する読者による主観的評価の違い(読みやすさ、記憶への残りやすさ、など)があること、読解テストの成績に差異はなくても印刷書籍と電子書籍は同じ読書体験とはいえないこと等を明らかにしている<sup>(5)</sup>。特に、読解への集中度、疲労度については、「電子媒体上の読書は集中力が持続できない」、「目が疲労するから電子書籍を利用しない利用したくない」などのコメントが多数あったことを指摘している。

そこで本稿では、継続的に実施しているメディア接触調査の結果と、眼球運動データを利用した文章読解過程の分析結果から、電子メディア環境における文章読解に関する諸課題を整理する。特に、メディア特性と集中力の

関係性に注目し、文章読解・学びの環境としての電子メディア活用の可能性について検討する。

## 2. 研究の方法

本研究では電子メディア環境における文章読解に関する諸課題について検討するために、学生のメディア接触状況の調査と、紙メディア書籍と電子メディア書籍を用いた読解実験を行った。特に読解実験については、より客観的なデータを分析対象とするために、文章読解時の眼球運動に着目し、その特徴を分析することとした。各調査方法の概要について、以下に示す。

### 2.1 メディア接触情報の調査方法

現在の学生にとって、主たるメディア接触はスマートフォンによるインターネット利用であり、この傾向は、特に若い世代に顕著である<sup>(1)</sup>。著者らは、学生のメディア接触状況をより詳細に把握するため、インターネットの各種サービス・アプリケーションを質問項目に含んだ質問紙調査を継続的に実施している。主な質問項目は以下のとおりである。

#### 質問項目

- (1) 使用している電子デバイス
  - (2) 平日一日あたりの各メディア接触時間
    - テレビ, ネット動画
    - 新聞(紙版/オンライン版), ニュースサイト
    - ラジオ, インターネットラジオ
    - 雑誌(紙版/オンライン版)
    - 漫画(紙版/オンライン版)
    - 書籍(紙版/オンライン版)
    - Web(検索・閲覧)
    - SNS(LINE, X, Instagram, 他)
    - ゲーム(オンライン版)
  - (3) 書籍メディアの利用状況
    - 各書籍メディアで利用する書籍ジャンル
    - 電子書籍を利用する理由/利用しない理由
    - 電子書籍を利用する場合のデバイス
    - 電子書籍利用による読書行動の変化
    - 読書量・冊数, 読書時間, 下線・マーカ書込, メモ書込, 読書記録作成, 読書集中時間
    - 目の疲労や視力への影響
- メディア接触と疲労(自由記述式)

本稿では、各質問項目の集計結果から、学生のメディア接触の現状を分析し、電子メディアの特性が文字コンテンツ利用・文章読解力に及ぼしている影響について考察

する。特に最近の傾向を把握するために、同様の調査を行った2019年(コロナ禍前)、2021年(コロナ禍)、2023年(コロナ禍後)のデータを比較しながら分析を行う。

## 2.2 読解実験の方法

本研究は、文章読解する際に書籍メディアの差異が読者に及ぼす影響について検討するための客観的情報として、文章読解中の読者の眼球運動データに着目した。

人の視野は解像度の高い「中心視野」と解像度の低い「周辺視野」で構成されており、文章読解時には中心視野を移動させ、注視状態(停留)と次の停留点への移動運動(サッカード)を繰り返す視線移動により文字・文章を認識している<sup>(6)</sup>。このことから、文章読解の過程と眼球運動との間には深い関係性があると判断した。

そこで本研究では、文章読解時における眼球運動の特徴を抽出し、それによって読者の集中度や疲労度を説明・推測できるのではないかと考えた。眼球運動データから、視線移動の状態、停留点や順行、逆行の箇所を同定し、それに基づいて読解の状態(集中度や疲労度など)について分析することとした。

### 実験の手順

文章読解中の視線移動・停留を分析するために、眼球運動データを実験によって獲得する。実験の手順は、以下のとおりである。

- (1) 実験目的と内容の説明および実験参加承諾
- (2) 日常の読書に関する質問紙調査
- (3) 視線計測機器の装着と校正
- (4) 読解時の眼球運動測定(電子書籍、印刷書籍)
- (5) 実験後インタビュー

### 計測装置と獲得データ

本研究で使用した視線計測装置は、竹井機器工業株式会社のTalk Eye Lite(両眼タイプ)である。視線の検出は瞳孔画像処理方式、サンプリング周波数は30Hz、主な獲得データは以下のとおりである。

- 眼球角度 [deg] (両眼)
- 瞳孔径 [dot] (両眼)
- 移動速度 [deg/sec] (両眼)
- 注視時間 [msec] (両眼)
- 瞬きの有無 (両眼)
- 両眼合成角度 [deg]

これらのデータを専用解析プログラムにかけることによって、画像上に視線の軌跡表示、軌跡の停留表示などが可能となる。その視線軌跡・注視の表示画面を見ながら実験後インタビューを実施した。

## 3. メディア接触に関する調査の結果

### 3.1 メディア接触時間

質問紙調査により収集したデータを集計し、平日における各メディア接触時間の平均値[分]を算出した。コロナ禍前後の状況を比較するため、2019年、2021年、2023年にそれぞれ調査したデータの集計結果を表1に示す(※2019年の調査では、ゲーム(online)の接触時間は調査項目に入っていなかったため「未調査」と記載)。

まず、各年の合計時間に注目すると、コロナ禍前2019年の382.3分からコロナ禍の2021年に一気に増えて529.9分となり、コロナ禍後2023年は少し減り507.2分となっている。今の学生は、全体的に多くの時間をメディア接触到に費やしていることが判る。特にコロナ禍の2021年は外出・行動に制約があったため、自宅等の屋内で様々なコンテンツが消費されていた点は想像に難しくなく、その結果として、メディア接触時間が急激に増加したと考えられる。2023年は、外出・行動の制約はなくなったが、メディア接触時間は多少減ったに過ぎず、コロナ禍前の2019年と比較すると大きく増えていることが判る。

表1 平日のメディア接触時間(平均値[分])

メディア	2019年 (197名)	2021年 (186名)	2023年 (197名)
テレビ	56.2	63.0	52.1
ネット動画	67.0	125.4	132.5
新聞(紙)	4.1	1.4	6.1
新聞(online)	1.8	0.7	2.3
ニュース(online)	19.4	14.6	13.0
ラジオ	1.6	0.7	0.6
ラジオ(online)	10.4	11.1	7.4
雑誌(紙)	2.2	2.8	0.6
雑誌(online)	0.3	0.2	0.2
漫画(紙)	8.1	7.1	7.9
漫画(online)	13.1	16.2	16.8
書籍(紙)	24.6	46.1	30.9
書籍(online)	2.4	7.9	3.9
Web	50.2	75.3	69.4
SNS	120.9	117.6	132.9
ゲーム(online)	未調査	39.8	30.6
合計時間[分]	382.3	529.9	507.2

次に、テレビ、ネット動画の接触時間に注目する。テレビ利用時間は全体的に1時間程度で、2021年に少し増えたが、2023年には減り、2019年よりも少なくなっている。一方で、ネット動画の接触時間は2021年に大きく増加し、増加傾向は2023年も続いている。つまり現在の学生にとって、主たる情報源はネット動画であることが判る。テレビも含め、動画コンテンツは受動的なメディア特性を持つため、気楽に利用できるものになっているのではないかと考えられる。

また、SNSやWebなども電子メディア環境の代表的なサービスであり、知人とのコミュニケーションのみならず、生活に必要な情報から授業や研究に必要な学術情報まで、幅広い情報をインターネットから収集している。そのため、多くの時間をWebやSNS利用に費やしていると考えられる。ただし、WebもSNSも文字情報と画像が混在したコンテンツではあるが、文字数は決して多くなく(短い文字数で抑えられていて)「文字を読むコンテンツ」ではなく「見るコンテンツ(読み流す情報)」と捉えることができる。つまり、学生のメディア接触は、文字コンテンツを通じた文章読解の機会があまり多くはない状況だといえそうである。

### 3.2 書籍メディアの利用状況

書籍メディアについては、雑誌、漫画を含めても、それほど多くの接触時間はないことが判る(表1)。調査対象が学生なので、教科書・参考書など勉学に利用する紙書籍の接触時間は、2019年24.6分、2021年46.1分、2023年30.9分と(決して多くはないが)確保されているようだが、他の書籍メディアは、全体的に接触時間が少ない。特に文章読解が必要な文字コンテンツに注目した場合、電子メディア環境での利用はほとんど無いといえる(2019年2.4分、2021年7.9分、2023年3.9分)。

そこで、電子メディア環境における文字コンテンツの利用状況について詳しく見ていく。まず、文字コンテンツとしての電子書籍利用者数(電子版雑誌や電子版漫画は含めない)を集計した結果を表2に示す。

表2 電子書籍利用者数(文字コンテンツ利用)

	2019年	2021年	2023年
利用人数	17	35	27
割合	8.6%	18.8%	13.7%

表2より、全体的に電子書籍利用者数は決して多くないが、コロナ禍前の2019年より、コロナ禍後の2021、2023年の方が多くなっている。コロナ禍の外出・行動制限が電子コンテンツの利用を促した可能性があると考えられる。加えて、割引キャンペーンやサブスクリプション契約、無料試読などの電子版ならではのサービス要素も関係しているのではないかと考える。

次に、表2の電子書籍利用者を対象として電子書籍利用時間を集計した結果を表3に示す。この結果から、平日の電子書籍利用時間が1時間未満のライトユーザーがほとんどであることが判る。その一方で、1~2時間を超える利用者も各年2割程度おり、電子書籍を日常の読書環境の一つとして位置づけて利用していることが判る。

表3 平日に電子書籍を利用する時間

	2019年	2021年	2023年
30分未満	65%	34%	56%
30~60分未満	18%	40%	26%
60~120分未満	12%	20%	19%
120分以上	6%	6%	0%

電子書籍を利用したことによる読書行動の変化について集計した結果を表4に示す(※2019年の調査では、各行動の増減は調査項目に入っていない)。

読書量と読書時間は、2021年も2023年も増加したと回答した学生の方が多い。複数の書籍コンテンツを容易に持ち運べる電子書籍は、移動中や休み時間などの隙間時間も読書に充てることを可能とするため、有効活用すれば充実した書籍メディア環境にもなり得る。

また、2021年の購入金額は減少の方が大きいですが、これは無料コンテンツや定額のサブスクリプション契約などを利用した結果として現れた可能性が高いと考えている。

読書記録についても、それぞれの年で増加している割合の方が大きい。電子書籍の利用履歴表示や、下線・マークやメモを書き込んだ箇所のみを表示させる等の電子的な読書支援機能があるため、それらを利用すれば、読書記

録も比較的容易に残すことが可能である。

読書集中時間については、各年の増加・減少ともに一定数数の回答者がおり、行動変化として考察は容易ではない。個人差が反映されていると捉えることもできるが、他の方法により、電子書籍のメディア特性が読書集中度に及ぼす影響をより詳細に分析する必要性を示している。

表4 電子書籍利用による読書行動の変化

	2021年		2023年	
	増加	減少	増加	減少
読書量	43%	17%	59%	4%
読書時間	46%	17%	59%	7%
購入金額	14%	29%	26%	22%
下線・マーク	9%	14%	4%	11%
メモ書込	11%	14%	0%	15%
読書記録	26%	6%	22%	7%
読書集中時間	26%	23%	33%	15%

### 3.3 メディア接触と疲労の関係性

質問紙調査では、メディア接触と疲労の関係性について、これまでの経験から考えられることを自由記述式で回答してもらった。ここでは、特に、電子書籍利用者による記述内容について提示し考察を加える。

まず、目の疲れや乾燥、視力の低下について記述した回答が多くあった。例えば、「目が頻繁に乾燥すると感じるようになった」「利用時間に比例して目も疲れが溜まっている」「パソコンやスマホを見ているとすぐ疲れてしまう」や、「電子機器の使用時間が増えてから目の疲れや、視力の低下をよく感じるようになった」「目の奥が疲れて眠れないことがある」などである。紙の書籍と比較して「印刷物よりも電子版の方が、長時間の読書の際に疲労を強く感じる」という回答もあった。目の疲労や視力への影響を懸念・実感している回答者が多いことが確認できた。

また、「電子媒体で本を読むよりも、動画を見る方が目が疲れる」という回答や、「休憩を途中で入れれば割と平気な感じがする」「特に疲労を感じたことはない」という回答もあった。これらは、個人の視力や読書時の姿勢、これまでの読書経験などからも影響を受けていると考えられる。ただ、全体として、目の疲労や視力の低下を気にしている学生が多いことが判り、電子メディア環境が疲労や視力低下に及ぼす影響については、慎重に検討すべき大きな課題であるということが再認識された。

## 4. 眼球運動データによる読解過程の分析結果

文章読解中の視線移動は、図1に示すように、停留と順行移動の繰り返しで、時々、一度通り過ぎた場所に視線を戻す逆行移動が入る。理想的な視線移動は、逆行移動があまり発生せず、順行移動と停留を繰り返し、改行時には次行の先頭文字周辺にスムーズに移動させながら読み進めていくことである。

本実験のデータ分析結果においても、スムーズに視線の移動と停留が繰り返されている場合(図2)は、順調に読解が進んでいることを示していた。ただし、移動や停留点のパターンは個人差があり、視線移動の速さも異なっていた。

また、視線が安定せず拡散している場合(図3)は、読解が不安定な状態を示していた。例えば、読者にとって文章が難解であったり、読み慣れていない文字・単語があったり、集中できなかったりした場合などは、視線が何度も逆行したり、他の行に飛び移ってしまったり、四方八方に散らばったりしていた。このように視線が落ち着かず、拡散する回数が多くなってしまうと、自ずと視線移動距離も長くなり、読解時間も長くなってしまふ。そのため、疲労につながる可能性があるのではないかと考える。

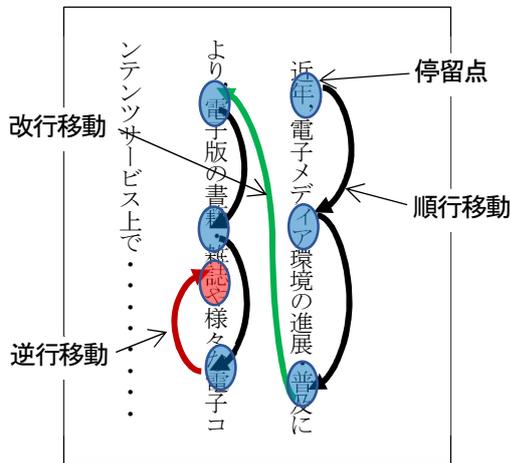


図1 文章読解中の視線移動

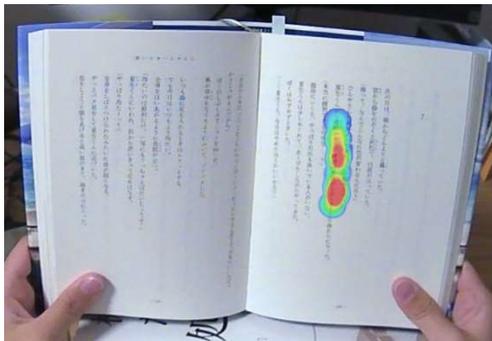


図2 スムーズな視線移動の軌跡

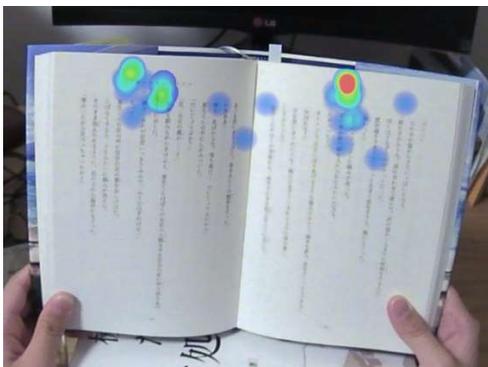


図3 散らばっている視線の軌跡

このように、視線の軌跡から、文章読解に集中できている場合とそうでない場合を同定できることが明らかになった。しかしながら、仮説として考えていた、紙メディア

を利用した読解時と電子メディアを利用した読解時との間での視線移動の差異は確認できず、書籍メディア間の文章読解過程の違いを視線軌跡で示すことはできなかった。この点は今後の課題として、継続的に実験・分析に取り組む計画である。

## 5. おわりに

本稿では、電子メディア環境における文章読解について、メディア接触調査の結果と文章読解時の眼球運動データの分析結果から考察を行った。その結果として、(1) コロナ禍で電子コンテンツを利用する時間は増えたが、その多くはネット動画やSNSの短文コミュニケーション(見るコンテンツ、読み流す情報)の利用であり、文章読解を必要とする文字を読むコンテンツ(新聞、雑誌、書籍)を利用する機会は決して多くないこと、(2) 電子書籍ユーザの数は多少増えてはいるが、全体の割合から見ると2割にも届いておらず、未だ電子書籍が読書ためのメディア環境になり得ていないこと、(3) 電子メディア環境における目の疲労や視力低下に対する実感・懸念を抱いている人は多く、慎重に検討すべき課題であること、(4) 読解集中時と非集中時との間で視線移動パターンに違いが現れることは示せたが、紙書籍と電子書籍との間におけるメディア特性による影響力の差異は明らかにできなかったこと等、今後の電子メディア環境を教育・学びの場で活用する上での諸課題を提示した。

今後の課題としては、まず、引き続き読解実験を実施し、統計的処理が可能な程度の眼球運動データ量を獲得・分析することによりメディア特性の影響力の差異を明らかにすることや、条件を変えた追実験を行い、電子メディア環境が目の疲労や集中力に及ぼす要因を明らかにすることである。また、メディア接触調査も継続的に実施し、経年変化を確認・把握しつつ電子メディア環境の影響力を長期に渡り分析していく予定である。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K02824 の助成を受けて実施したものである。

## 参考文献

- (1) 総務省: "情報通信白書(令和5年版)", 日経印刷, 東京(2023).
- (2) 落合早苗, 菊池健, インプレス総合研究所: "電子書籍ビジネス調査報告書2023", 株式会社インプレス, 東京(2023).
- (3) 文部科学省: "GIGA スクール構想の実現について", [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/other/index\\_00001.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm) [2024年1月15日閲覧].
- (4) 中嶋彩菜, 菅谷克行: "紙媒体と電子媒体における「読み」の比較—高校現代文の読解問題を用いた実験より—", CIEC 研究会論文誌, Vol.4, p.75-78(2013).
- (5) 菅谷克行: "書籍のメディア特性の違いが及ぼす読書行動の変化", 茨城大学人文社会科学部紀要『人文コミュニケーション学論集』, Vol.2, p.123-144(2018).
- (6) 荻坂直行編: "読み—脳と心の情報処理", 朝倉書店, 東京(1998).

U-18

(査読なし)

# 安価で軽量な超小型ドローンの自動障害物回避システムの開発 - Python を活用した機械学習に基づく自動障害物回避システム -

黒木 勇人<sup>\*1</sup>指導教員：吉田 賢史<sup>\*1</sup>

Email: yutokuroki.novi@fuji.waseda.jp

\*1: 早稲田大学高等学院

©Key Words A スターアルゴリズム, ランダムフォレスト, ESP32 Ai thinker

## 1. はじめに

ドローンの自動障害物回避システムは、自動飛行において不可欠だが、現行のシステムは未知の環境で飛行する超小型ドローンに適していない。安価で超軽量な自動障害物回避システムの開発が、ドローンの活用の幅を広げる上で重要だと考えられる。本研究では、安価・軽量の ESP32Ai thinker カメラモジュールを使用し、Python を活用した機械学習に基づく自動障害物回避システムを構築した。カメラモジュールで取得した画像をもとに、教師あり学習の手法を用いた。本稿では、カメラモジュールからの画像を、どのように障害物の位置により場合分けをし、ドローンが進むべき角度を判断するかという自動障害物回避の方法について述べる。



図1 障害物と A スターアルゴリズムの結果

## 2. 現行のドローンの自動障害物回避システム

現行のドローンの自動障害物回避システムは主に次の3つの方法がある。しかし、いずれも未知の環境で飛行する超小型ドローンに搭載する上で課題を抱える。1つ目に、室内ポジショニングシステムを活用する方法があるが、屋外の飛行が出来ない上、ポジショニングシステムの費用が高くなる問題がある<sup>9)</sup>。2つ目に、ドローンに搭載した LiDAR を使い 3D マップを作製する方法があるが、LiDAR は重量が重く、多くのデータの処理が必要である<sup>9)</sup>。3つ目に、ドローンに搭載したカメラで取得した画像を畳み込みニューラルネットワークなどの人工知能で処理する方法がある<sup>9)</sup>。この方法には深度カメラや追跡カメラ、人工知能半導体が使われることが多く、これらは大変高価であり、重量が大きい。

## 3. 自動障害物回避システムの開発の概要

開発には ESP32Ai thinker カメラモジュールを使用した。これは重量 12g 程で、値段は 2000 円程である。Arduino 言語を用いて、人工知能の処理を行うことができる。開発では初めに、Python を使い、障害物の座標を自動で選択した。選択した座標をもとに、開始地点から目標地点の経路を計算する A スターアルゴリズムを使い、ドローンが障害物を回避する道を計算した。図 1 の左側は障害物を設置した例である。この例の障害物の座標をもとに、A スターアルゴリズムを実行した様子が図 1 の右側である。1 は障害物に占められた座標、X はドローンが進むべき障害物回避の道を表す。

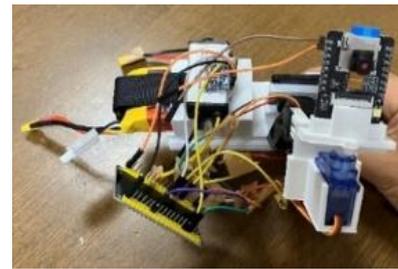


図2 カメラの傾きの調整機械

次に、図 2 のようにカメラの傾きを自動調整する機械を製作した。ドローンは移動する方向に傾くことで前後左右に移動する。つまりドローン上に固定するカメラも同様に傾いてしまう。よって、人工知能がカメラを傾けた状態で取得した画像に対しても、正しく判断を行えるか確かめる必要がある。機械は 3D プリンターを用いて作成した。ESP32 を使用し、慣性計測センサからのデータにより機械の傾きを把握し、回転する角度を制御できるサーボモータでカメラの傾きを制御した。

表1 画像の特徴ベクトルを計算した結果

	hog1 <sup>←</sup>	hog2 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	hog133 <sup>←</sup>	hog134 <sup>←</sup>
count <sup>←</sup>	237 <sup>←</sup>	237 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	237 <sup>←</sup>	237 <sup>←</sup>
mean <sup>←</sup>	0.46 <sup>←</sup>	0.19 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0.19 <sup>←</sup>	0.36 <sup>←</sup>
std <sup>←</sup>	0.35 <sup>←</sup>	0.21 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0.20 <sup>←</sup>	0.31 <sup>←</sup>
min <sup>←</sup>	0 <sup>←</sup>	0 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0 <sup>←</sup>	0 <sup>←</sup>
25% <sup>←</sup>	0.12 <sup>←</sup>	0.04 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0.04 <sup>←</sup>	0.11 <sup>←</sup>
50% <sup>←</sup>	0.40 <sup>←</sup>	0.11 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0.12 <sup>←</sup>	0.26 <sup>←</sup>
75% <sup>←</sup>	0.76 <sup>←</sup>	0.27 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	0.27 <sup>←</sup>	0.53 <sup>←</sup>
max <sup>←</sup>	1 <sup>←</sup>	1 <sup>←</sup>	... <sup>←</sup>	1 <sup>←</sup>	1 <sup>←</sup>

カメラの傾きの調節機械を使用しながら、ドローンが障害物を回避する道にカメラを設置し、合計 1558 枚の障害物の画像を取得した。画像はドローンが進むべき角度により分別して保存した。画像データの特徴をもとに人工知能に分類をさせるために、特徴ベクトルを算出し、結果は表 1 のようになった。これを人工知能の学習データとテストデータに分割した。画像を取得したときのカメラの傾きの範囲の大ききで場合分けをし、100 枚の画像の学習データ数にそろえて教師あり学習を行った。最後に、学習が完了した人工知能モデルを Python から C++言語に変換して ESP32 Ai thinker モジュールに書き込み、動作を観察した。

#### 4. 結果

表 2 テストデータに対する人工知能の判断の精度

横傾き↙ 縦傾き↘	-10~10 度↙	-20~20 度↙	-30~30 度↙
-10~10 度↙	精度 88%↙	精度 79%↙	精度 72%↙
-10~20 度↙	精度 84%↙	精度 80%↙	精度 77%↙
-10~30 度↙	精度 79%↙	精度 77%↙	精度 67%↙



Stable prediction: rightturn | Stable prediction: straight

図 3 ESP32 Ai thinker が取得した画像に対して判断を下す様子

学習データをもとに学習を完了した人工知能がテストデータに対して判断を下した際の正答率を精度とした。精度の結果は表 2 のようになった。学習データの画像を取得したときのカメラの縦と横の傾きの範囲によって場合分けをして精度が表示されている。

また、学習を完了した人工知能を書き込んだ ESP32 Ai thinker カメラモジュールは、図 3 のように取得した画像に対して判断を下した。左側の画像の例に対しては、ドローンが右に進むべきと正しく判断を下し、正しく rightturn と出力された。右側の画像の例に対しては、ドローンが正面に進むべきと正しく判断を下し、正しく straight と出力された。

#### 5. 考察

これらの結果より、次の 2 つのことが読み取れる。

第 1 に、カメラの傾きの範囲が大きくなると、判断の精度が下がる傾向が見られる。つまり、飛行中に傾く角度が大きくなるような速い速度で飛行するドローンでは、このシステムの判断の精度が低くなると考えられる。解決策として、ジンバルなどの仕組みを使用することで搭載されたカメラが傾くことを防ぐことが出来れば、判断の精度が保たれると考えられる。

第 2 に、ドローンが進むべき方向の判断の正答率が 100% に達していないことである。これは重要な問題であり、システムが誤った判断を下した場合に障害物に衝突する可能性が考えられる。衝突の解決策として、超音波距離センサとの併用が考えられる。これにより、障害物との距離が危険なレベルにまで近くなったことを検知できる。その際にドローンをホバリングにより一時停止し、システムの人工知能の判断を再度試みる事が出来ると考えられる。

#### 6. 今後の展開

本研究に並行して、ESP32 による Tello ドローン(図 4)の自動無線制御に成功した。つまり、Tello ドローンに離陸、ホバリング、前後左右への移動、着陸をすることを ESP32 から自動で命令することが出来る。本研究で製作した自動障害物回避システムを書き込んだ ESP32 Ai thinker カメラモジュールを、Tello ドローンの上に搭載して無線で命令することで、本研究で作成したシステムを使い、実際のドローンの自動障害物回避の飛行実験を行うことを目指す。また、ESP32 を使用した無線コントローラを図 5 のように作成し、接続した 2 つのジョイスティックからのデータを、受信側の ESP32 に高速で無線通信をすることに成功した。このコントローラで ESP32 Ai thinker に無線で通信をすることで、飛行実験中に指令を出すことを可能にすることを旨とする。



図 4 Tello ドローン



図 5 ESP32 を使用した無線コントローラ

#### 7. 謝辞

本研究の一部は、早稲田大学高等学院の同窓会学術研究奨励金および、加藤山崎財団の加藤山崎奨学金によるものである。ここに感謝の意を表します。

#### 8. 参考文献

- (1) Benoit Landry, Robin Deits, Peter R. Florence, Russ Tedrake: "Aggressive Quadrotor Flight through Cluttered Environments Using Mixed Integer Programming", 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Stockholm, Sweden, pp. 1469-1475, (2016).
- (2) Enrique Aldao, Luis M.Gonzalez-de Santos, Higinio Gonzalez-Jorge: "LiDAR Based Detect and Avoid System for UAV Navigation in UAM Coridors", Drones, 6, 8, (2022).
- (3) Antonio Loquercio, Elia Kaufmann, Rene Ranftl, Matthias Muller, Vladlen Koltun, Davide Scaramuzza: "Learning High Speed Flight in the Wild", Science Robotics, 6, 59, (2021).

# Raspberry Piを用いた自作スーパーコンピュータによる 熱伝導シミュレーションの開発

亀田樹生\*<sup>1</sup>, 伊藤大和\*<sup>1</sup>, 谷明希翔\*<sup>1</sup>, 安西徳将\*<sup>1</sup>  
指導教員: 中村順子\*<sup>1</sup>

\*1: 奈良県立奈良北高等学校

◎Key Words スーパーコンピュータ, Raspberry Pi, 熱伝導シミュレーション

## 1. はじめに

本研究では,スーパーコンピュータの仕組みを低コストに制作・評価するために,小型コンピュータの一種であるラズベリーパイ4台を使用して,熱伝導シミュレーションを実行するクラスタを構成した。今回はスーパーコンピュータとして必要最低限の動作をさせるため,4台のラズベリーパイが連携動作可能な環境を構築した。この環境上において並列計算を評価するために,熱伝導シミュレーションを開発し,実行した。計算を並列化するにあたっては,ノード内並列とノード間並列による並列化を実装した。ノード内並列とは,1つのノード内で並列計算を実施するものであり,ノード間並列とは,複数のノード間で協調的に並列計算を実施するものである。評価では,使用するCPU数やノード数を変更しながら,実行時間を評価した。その結果,使用するCPU数やノード数を増やすことで,計算速度が速くなることが確認できたが,並列化不可能な部分によるオーバーヘッドにより,理想的には速度向上できないことが観測された。

## 2. 研究方法

### 2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi は,英国ラズベリーパイ財団が開発した小型コンピュータで,低価格であり,持ち運びしやすく,誰でも気軽に触れることができるシンプルなコンピュータである。Raspberry Pi のサイズは非常にコンパクトで,CPUを搭載しており,入出力操作は一般的な PCと同様に行うことができる。本研究では,Raspberry Pi 4 Model B 8GBを使用した。

### 2.2 スーパーコンピュータ

本研究で使用するスーパーコンピュータは複数台のRaspberry Piを相互接続し,小規模なクラスタを構築する。このクラスタは,1台のマスタ・ノードと3台のワーカ・ノード,計4台のノードから構成されている。マスタは各ワーカを管理し,ワーカはマスタから指示を受けて計算を実行する。各ノードには,NFS, SSH, MPIの3つのソフトウェアをインストール・設定した。それぞれのソフトウェアの役割は次の通りである。

- Secure SHell (SSH): マスタからワーカのプログラムをネットワーク経由で呼び出すためのソフトウェア

- Network File System (NFS): マスタとワーカの間でファイルを共有するためのソフトウェア
- Message Passing Interface (MPI): 全ノードで協調動作し,並列計算を実現するためのソフトウェア

### 2.3 並列計算

並列計算は,複数の計算装置が協力して1つの処理を行う方法であり,逐次計算と異なり複数の仕事を同時に処理する。並列計算の利点は高速な処理と大規模なデータの取り扱いが可能であり,それによって仕事を分割して同時に進めることができる。しかし,並列プログラムを作成する際には,過剰な通信や仕事の不均等な分散などの難しさがあり,良い並列プログラムを作ることは容易ではないと述べられている。本研究では1台のコンピュータ内で並列化するノード内並列化のためにOpenMPによる並列化実装を行い,複数のノードによる並列化のためにMPIによる並列化実装を行った。

### 2.4 熱伝導シミュレーション

熱伝導シミュレーションを開発するにあたって,まず,コンピュータ上で計算可能とする為に,フーリエの熱伝導方程式を離散化した。具体的には,テイラー展開を用いて有限差分法で近似し,図1の様に次の時刻の各マスの温度を現時点の温度から求めることを可能とした。

この各マスの計算を複数のCPUに分散することで並列化計算を実装した。ノード内並列は繰り返し計算処理のプログラムコードにOpenMPのディレクティブを追記することで自動的に並列化させた。ノード間並列は,計算対象のマスを使用可能なCPU数に応じて分割して,各CPUで並列計算し,境界のデータは計算ごとにノード間で交換する処理をMPIにより実装した。

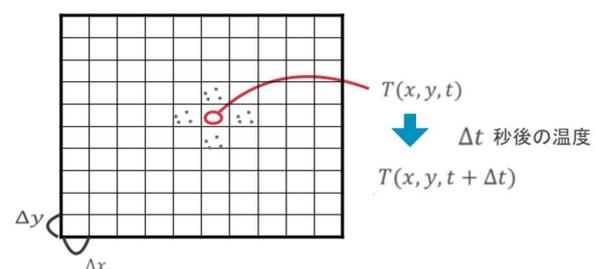


図1 熱伝導シミュレーションの離散化

### 3. 実験結果

ノード内並列とノード間並列の結果を以下に示す。本研究で用いたRaspberry Piは1台あたり、4CPU有するので、ノード内並列は4CPUによる並列計算まで評価した。ノード間並列は4台のノードで実行したので、合計16CPUによる並列計算まで評価した。各実験は3回ずつ繰り返し、その平均処理時間を計測した。

表1 ノード内並列の実行結果

使用CPU数	平均処理時間	1回目	2回目	3回目
1	38.02	38.43	37.63	37.99
2	19.44	19.73	19.36	19.22
3	13.22	13.31	13.04	13.32
4	10.02	10.03	10.2	9.84

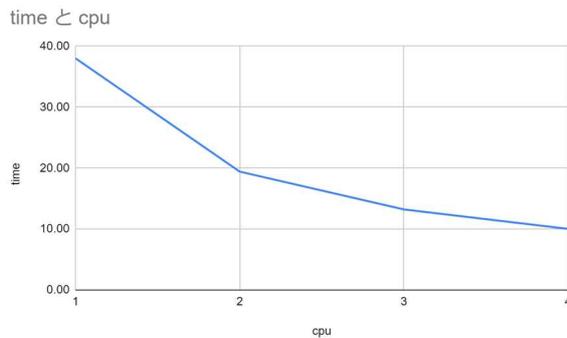


図2 使用CPU数と処理時間(ノード内並列)

表2 ノード間並列の実行結果

使用CPU数	平均処理時間	1回目	2回目	3回目
1	38.99	38.63	39.46	38.89
2	19.84	20.04	19.86	19.62
4	10.16	10.26	10.13	10.08
6	6.64	6.54	6.74	6.64
8	5.05	5.05	5.11	5
10	4.05	4.07	4.04	4.04
12	3.38	3.39	3.36	3.38
14	2.97	2.97	2.97	2.98
16	2.60	2.65	2.53	2.61

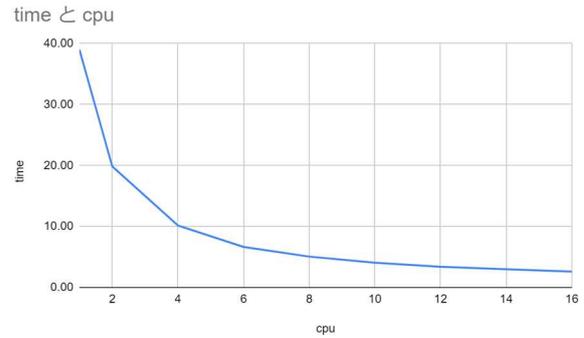


図3 使用CPU数と処理時間(ノード間並列)

### 4 考察

ノード内並列での熱伝導率の計算は、使用するCPUの数を、増やすほど処理速度が短くなったが、使用するCPUの数が増えるにつれて、並列化の効率は悪化していった。

具体的には、ノード内並列の場合CPUを4つ使用した場合の平均処理時間はCPUを1つ使用した場合と比較して4分の1の9.51秒になることが望ましい。しかし、実際には10.02秒になり、並列化の効率は約5パーセント低下した。

一方、ノード間並列では、CPUを4つ使用した場合の平均処理時間はCPUを1つ使用した場合と比較して4分の1の9.74秒になることが望ましいが、実際には10.16秒になり、並列化の効率は約4パーセント低下した。またCPUを16個使用した場合は2.43秒になることが望ましいが、実際には2.60秒であり、並列化効率は約7パーセント低下した。

これらの実験結果から、並列処理においてはプログラムは完全に並列化可能ではなく、一部の並列化不可能な処理によって、理想的な並列化が達成されていないと考えられ、使用するCPU数が増えるにつれ効率の悪化は増大することが分かった。

### 謝辞

市川昊平准教授をはじめとする、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科ソフトウェア設計額研究室の皆様にご意見、ご指導頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- (1)ミニ・スーパーコンピュータを自作しよう!: まえがき:<http://ssh-textbook.keichi.net/> (2024年1月23日閲覧)
- (2)並列計算とは | 研究室VOICE:<https://www.oit.ac.jp/japanese/voice/joho/detail.php?id=201501001> (2024年1月23日閲覧)

# 「日本の半導体の未来は高校生に任せろ！」

## - オープンソースを採用した拡張性の高いCPUを作ってみた -

前田 梨緒\*1・木村 倭斗\*1・木村 優佑\*1・中田 光紀\*1  
指導教員：中村 順子\*1

\*1：奈良県立奈良北高等学校

◎Key Words RISC-V, FPGA, CPU

### 1. はじめに

私たちは情報社会で暮らしている。情報社会への移行にはコンピュータとネットワークがおおきな役割を果たしていたと言えるだろう。その裏側には通信及びCPUの処理能力の向上が関わっている。そして近年になっても作業の効率化等の理由より、処理を早くする技術等も求められている。また地球温暖化の影響により、エネルギーの効率化などが求められるようになった。その為、CPUのアルゴリズムを理解するべく今回の実習を行った。

### 2. 実習内容

#### 2.1 実習道具

今回の実習において以下のものを使用した。

- ・RISC-V  
→「命令セットアーキテクチャ」の1つ。人が書き込んだ命令をコンピュータがどう解釈し、どう実行するかをまとめた仕様書。拡張性が高く、オープンソースであるため、誰でも自由に使えることから使用した。<sup>(1)</sup>
  - ・FPGA  
→チップ自体を製作した後でも、中に回路を組み込むことができる点から今回使用した。
  - ・Verilog  
→FPGA用のプログラムを製作する際に使う専用のハードウェア言語。
  - ・ターミナル  
→Apple社のmacに搭載されているコードエディタ。
  - ・Visual Studio Code  
→Microsoft社が開発しているコードエディタ。拡張機能により、書いていく上でのミスなどを視覚的に分かりやすく表示することが可能なため、使用した。
  - ・vivadoHLS、vivado  
→C言語からVerilogへの書き換え、テストベンチを行うことができるツール。Verilogプログラム製作の時間短縮をするために使用した。
- vivadoHLSではVerilogへの書き換え、vivadoではテストベンチを容易に行うことができる。

#### 2.2 シミュレータ、Verilogプログラム製作

最初に、RISC-Vの実装プログラムを以下の2通り製作

した。

- ① C言語（以下、シミュレータとする。）（実行、修正済み）
- ② Verilog（以下、FPGA用プログラムとする。）  
C言語の編集ではデバッグのしやすさから Visual Studio Codeを使用した。  
FPGA用プログラムの作製ではmac搭載の「ターミナル」、xilinx社のvivadoHLSを使用した。

### 2.3 テストベンチ

2.1にて製作したシミュレータを使い、FPGA用プログラムに間違いがないか確認した。この際、xilinx社のvivadoというツールを使用した。

### 2.4 論理合成・配置配線

FPGAに実装するため、論理合成を行った。論理合成とは、2.3でテストベンチを行ったプログラムを実際にFPGA上に実装できる形のファイルに書き換えることである。また配置配線とは、ハードウェアにプログラムを実装する上でチップのどこにどの回路を配置するか決める作業のことである。この際もvivadoを使用した。論理合成が完了したファイルをIntelチップを介してFPGAチップに実装した。

### 2.5 テストプログラムの実行

実装が完了した後、「eight Queens」というサンプルプログラムを実行した。このプログラムはN-Queen問題を利用したプログラムで、8×8マスのチェス盤上に、他のクイーンの移動先にぶつからないように、8つのクイーンを配置するプログラムである。この際、作ったCPUと合わせて、シミュレータでも同じサンプルプログラムを実行し、処理後の変化を比較した。

### 3. 実習成果

FPGAにRISC-Vを実装することができた。

「eight Queens」を実行した結果、正常に実行が完了した。（青文字の『Queens』が出ていることから正常に終了したことがわかる。）

その結果として得られた画像を図1,2に示した。

<https://www.itmedia.co.jp/news/spv/2009/04/news057.htm>

[1](#)

(2024年1月17日閲覧)

(2) 「RISC-V技術ブログ連載第15回」RISC-V 最新リリース ISA のご紹介 ～2021/11 Ratified RISC-V extensionの概要～

[https://www.dts-insight.co.jp/product/systemlsi/tech-topics/risc-v/blog\\_no15.html](https://www.dts-insight.co.jp/product/systemlsi/tech-topics/risc-v/blog_no15.html)

(2024年1月23日閲覧)

```

#arch11:dsim=tingZ ./dsim -btdgs800n ./../sample/stanford/RV-Queens
RISCV-EMUS Simulator Version 1.14 2023/05/21 12:39:51 nakashin Exp nakashin $
HWCORE = 1
LINESIZE = 64B
IISIZE = 256B
DISIZE = 256B
memspace = 00000000-4ffffff
riscv_hdr = 00001000-
riscv_param = 00001080-
aloclimit = -4ffffff0
stack/thr = 00010000
stackinit = -4ffffff0
ELF:text=00018248 rodt=00000a84 data=0000093c sdat=0000004c sbss=00000054 bss=00017188 sgmt=00011a00 str=00000ebd
BSI:text=00017cd0 data=00017bc8 bss=----- sgmt=----- str=00000ebd
init text=00010000-00027ccf
init data=00027cd0-0003f897
<RISCV-FPGAHS>
start_address=0x00010000
malloc_topadr=0x0003f8c0
malloc_latestr=0x0003f8c0
stack_pointer=0x4ffffff0
00001000: 0003f8c0 0003f8c0 4ffffff0 00000001 00001080 00000000 00000000 00000000
00001020: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001040: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001060: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001080: 2e2f2e2e 61732f2e 656c706d 6174732f 726f666e 65622f64 6575512d 0073e65
000010a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
000010c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
000010e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
jml_rst=00000019
jps0v0/GPSV330 started
#Queens
000:SWC 00000000_00004617 0001005c RISCV normal end
riscv_malloc_top = 0x00040000
==== Program normal end, ==== Hit any key in X.
malloc_top=00004000

```

図1 FPGA チップで実行した際の結果

```

cad111:dsim=tingZ ./dsim -btdgs800n ./../sample/stanford/RV-Queens
RISCV-EMUS Simulator Version 1.14 2023/05/07 12:09:10 nakashin Exp nakashin $
HWCORE = 1
LINESIZE = 64B
IISIZE = 4096B
DISIZE = 4096B
memspace = 00000000-4ffffff
riscv_hdr = 00001000-
riscv_param = 00001080-
aloclimit = -4ffffff0
stack/thr = 00010000
stackinit = -4ffffff0
ELF:text=00018248 rodt=00000a84 data=0000093c sdat=0000004c sbss=00000054 bss=00017188 sgmt=00011a00 str=00000ebd
BSI:text=00017cd0 data=00017bc8 bss=----- sgmt=----- str=00000ebd
init text=00010000-00027ccf
init data=00027cd0-0003f897
<RISCV-FPGAHS>
start_address=0x00010000
malloc_topadr=0x0003f8c0
malloc_latestr=0x0003f8c0
stack_pointer=0x4ffffff0
00001000: 0003f8c0 0003f8c0 4ffffff0 00000001 00001080 00000000 00000000 00000000
00001020: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001040: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001060: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00001080: 2e2f2e2e 61732f2e 656c706d 6174732f 726f666e 65622f64 6575512d 0073e65
000010a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
000010c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
000010e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
Monitor=00:00000000_00000000 00010000
#Queens
000:SWC 00000000_00004617 0001005c RISCV normal end
riscv_malloc_top = 0x00040000
==== Program normal end, ==== Hit any key in X.
malloc_top=00004000

```

図2 シミュレータで動かした際の結果

#### 4. おわりに

この実習では、CPU のアルゴリズムを理解し、実際に使える CPU を作ることを目的に行なった。

実際には RISC-V の実装プログラムを製作し、論理合成を行い、RISC-V 上に FPGA を実装した。

プログラムの実行結果より、上手く実装され、「eight Queens」は動くことがわかった。またこの実習を行い、論文を書く上で CPU のアルゴリズムを理解することができた。

今後は、RISC-V にある拡張命令を実装していきたいと思う。<sup>(2)</sup>

#### 謝辞

本実習の機会を与えてくださり、ご指導をいただきました中島先生に深く感謝いたします。

また、本実習にあたり、奈良先端科学技術大学院大学 コンピューティング・アーキテクチャ研究室の皆様、様々な面で貴重なご意見やご指導いただきました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

(1) 「RISC-V の浸透 なぜ RISC-V が使われるようになったのかその理由を探る」

# 数学に関する質問文分類プログラムの比較検証 - TF-IDF を用いた文章のベクトル化と機械学習の実装 -

岡田 浩毅<sup>\*1</sup>

指導教員：吉田 賢史<sup>\*1</sup>・穴田 浩一<sup>\*1</sup>

Email: okada.kouki@toki.waseda.jp

\*1: 早稲田大学高等学院

◎Key Words 機械学習, SVM, TF-IDF, Watson

## 1. はじめに

### 1.1 調査動機

近年、一般に提供されているツールなどを利用することにより、質問・応答を AI が行う QABot を容易に構築可能となっている。そのような中、これまで、自らチャットボットを作成することを目標に、TF-IDF を用いた文章の類似度比較プログラムを作成し、文章のベクトル化について調査してきた。

また、Microsoft Azure や IBM Watson などのサービスを活用してチャットボットについて調査をおこなってきた中で、高校生として授業を受けている視点から、学校外でも質問に答えてくれるチャットボットサービスがあれば便利だと考えた。実際に、教育界でも AI の活用は進んでおり、先行研究としてチャットボットを活用した生徒の成績向上や理解度向上に関する成果報告もある。

そこで、本報告ではベクトル化した文章の分類手法の調査として、数学に関する質問に回答するチャットボットの機械学習について模索し、Watson Assistant の再現を試みる。

### 1.2 調査内容

二文書間の類似度比較について調査した際に、Watson Assistant の再現には機械学習の必要性が伺えた。そのため、ベクトルを分類する機械学習とその精度について調査した。

### 1.3 開発環境

質問文分類プログラムは、Python (3.11.4) でおこなった。文章のベクトル化と機械学習の実装には、scikit-learn という Python で機械学習をおこなう際に使用される主要なライブラリを用いた。分かち書きに関しては、形態素解析ツールである Janome を使用した。他の形態素解析ツールに Chasen と mecab があるが、Python と相性が良く、実装が容易であったため Janome を用いた。

### 1.4 使用した文章データ

本報告では、質問に対して正しい答えを出力するチャットボットについて調査するため、1つの答えに対し14個の質問文を持つ10個の質問群を作成した。質問の作成にあたって、早稲田大学高等学院・中学部の学生を

表 1. データセットに用いた質問文の例

No.	質問文	正解ラベル
1	2次の解の公式を教えてください	1
2	解の公式は？	1
15	円の面積の求め方は	2
127	相対度数の定義を簡単に教えてください	10

対象に数学クイズ作成の協力をしてもらった。表 1 に使用した質問文の例を示す。この質問文を形態素解析し、TF-IDF を用いてベクトル化するプログラムを作成する。このプログラムで生成されたベクトル群をデータセットとして機械学習を行う。

## 2. 機械学習のアルゴリズムについて

### 2.1 SVM (サポートベクターマシン)

サポートベクターマシン (SVM) は、マージンの最大化によって決定境界として最適な超平面を学習するアルゴリズムである。メリットは、過学習が起こりにくいことと、データの次元が大きくなっても識別精度が高いことが挙げられる。デメリットは、学習データが増えると計算量が膨大になることである。

### 2.2 Naïve Bayes (単純ベイズ分類器)

Naive Bayes (単純ベイズ分類器) は、ベイズの定理に基づいて各クラスに分類される確率を計算し、最も確率が高いクラスに分類するアルゴリズムである。メリットは、とても大きなデータセットに対しても有効なことや、単純で現実世界の多くの複雑な問題に対してうまく機能することが挙げられる。デメリットは、各特徴量が独立であると仮定する必要があり、実データでは成り立たないことが多いことである。

### 2.3 K 近傍 (KNN, k-NN)

K 近傍法 (KNN, k-NN) は、周囲のデータを用いて多数決をおこなうことで推測するアルゴリズムである。メリットは、単純かつ明瞭なアルゴリズムであり、モデルの構築が速い事が挙げられる。デメリットは、局所最適に陥りやすいことである。局所最適とは、ある範囲においての最適解であり、十分な精度が得られない場合がある。

### 3. プログラム実行結果・分析

#### 3.1 データセット作成

データセット作成に際しておこなった文章ベクトル化の実行結果として、140個の質問文を、それぞれ203次元の単位ベクトルに変換することができた。また、これらの辞書とベクトルを基に140行×203列のデータフレームを生成し、このデータフレームを基にデータセットを作成することができた。

#### 3.2 精度比較

各アルゴリズムと Watson Assistant でのテストデータを用いた精度は表2のようになった。最も正答率が高かったアルゴリズムは SVM、K 近傍法であり、最も正答率が低かったアルゴリズムは Naive Bayes であった。適合率、再現率、F1 値について比較すると、SVM よりも K 近傍法のほうが高くなっている。Watson Assistant と比較すると、SVM と K 近傍法は Watson Assistant をすべての値で上回っている。

#### 3.3 間違えた質問

間違えた質問は表3のようになった。全てに共通して「SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて」（以下 Q “SSS”）を間違えている。今回用いた質問リストには Q “SSS” 以外に「SSS」、「SAS」、「ASA」を用いた質問は存在しなかった。そのため、今回のケースでは Q “SSS” がテストデータに分割され、「SSS」、「SAS」、「ASA」について学習がおこなわれなかった。

#### 3.4 Watson Assistant を用いた際の信頼度スコア

Watson Assistant の精度をより詳しく測るために各質問の信頼度スコアを比較した。表4に挙げた質問以外は信頼度スコアが0.8以上であった。「SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて」については0.13246というかなり低い信頼度スコアを取ったが、「実数解を持つ二次関数の解の存在確認の方法を教えてください」については、間違えているが0.63252という低い信頼度スコアを取っている。

### 4. 考察

#### 4.1 最適なアルゴリズムについて

表2より、今回作成したデータセットについては K 近傍法が最も精度が良い。しかし、SVM のほうが K 近傍法に比べて実装に適していると考える。その理由は二つ挙げられる。一つ目は、K 近傍法と SVM の正答率、適合率、再現率、F1 値はどちらも高く、とても近い値を取っているためである。二つ目は、K 近傍法では最適な近傍の数を求める工程が必要になるためである。K 近傍法では、精度と過学習のバランスを考慮する必要があり、プログラムでの処理が増える。精度と実装の容易さの両者を総合的にみると、SVM が優れていると考えられる。

#### 4.2 Watson Assistant との比較

本調査では、Watson Assistant の再現を試みて、TF-IDF と機械学習のアルゴリズムを用いて質問文を分類する

表2. 各アルゴリズムの精度

	正解率	適合率 (macro)	再現率 (macro)	F1 値 (macro)
SVM	0.97143	0.96667	0.97500	0.96571
Naive Bayes	0.88571	0.90167	0.89667	0.88127
K 近傍	0.97143	0.97500	0.97500	0.97143
Watson	0.94286	0.95000	0.94167	0.93662

表3. 各アルゴリズムで間違えた問題

	間違えた質問	回答	正解
SVM	SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて		6 3
Naive Bayes	SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて		9 3
	三角形の合同条件をすべて書きなさい。		5 3
	共通因数とは何か簡潔に答えて?		7 4
	三平方の定理を式とともに説明せよ。		10 5
K 近傍	SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて		1 3
Watson	SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて		7 3
	実数解を持つ二次関数の解の存在確認の方法を教えてください		1 9

表4. Watson Assistant を用いた際に0.8以下の信頼度を取った質問

質問	回答	正解	信頼度スコア
abc を用いて解の公式を表せ	1	1	0.64796
SSS, SAS, ASA がそれぞれ何を示しているか教えて	7	3	0.13246
実数解を持つ二次関数の解の存在確認の方法を教えてください	1	9	0.63252

プログラムを作成することができた。特に、精度の面であれば、SVM と K 近傍法では Watson Assistant と同じレベルのモデルを構築することができた。しかし、間違えた問題の間違え方が異なる点や、信頼度スコアと同様な質問ごとのスコアの実装において課題が残る。今回のモデルは試験運用のため、実用に向けてストップワード、データ量の増加に対応する必要があると考えられる。データ量が増加した際には、TF-IDF によるベクトル化で203次元以上のベクトルの計算処理を行う必要があり、処理時間の増加を考慮する必要がある。

### 5. 展望

本調査より、SVM や K 近傍などの機械学習アルゴリズムそれぞれの強みを知ることができた。これを活用することで、質問の分野分類と答えの分類などに適材適所でアルゴリズムを当てはめることで処理の高率化ができると考えられるため、今後検証していきたい。

#### 参考文献

- (1) 岩村陸, 岡田浩毅: 「Watson によるチャットボットの学習方法」, CIEC 春季カンファレンス論文集, 12, pp.136-137 (2021)
- (2) 岩村陸, 岡田浩毅: 「二つの文章に関する類似度スコア計算プログラムの比較検討」, CIEC 春季カンファレンス論文集, 14, pp.76-77 (2023).
- (3) IBM Watson: <https://www.ibm.com/jp-ja/watson>, (2023年12月26日閲覧).
- (4) Janome: <https://mocabeta.github.io/janome/>, (2023年12月26日閲覧).
- (5) Scikit-learn: <https://scikit-learn.org/stable/>, (2023年12月26日閲覧).

# レゴブロックでロボットを作る

## - 孤独をなくす,サポートするロボット -

三輪祐聡\*<sup>1</sup>・村上大心\*<sup>1</sup>・長田康汰\*<sup>1</sup>・堀井将虎\*<sup>1</sup>

指導教員:中村順子\*<sup>1</sup>

\*1: 奈良県立奈良北高等学校

◎Key Words レゴブロック, ロボット, プログラミング,

### 1. はじめに

生活の中で孤独を感じることはあるだろうか。帰宅後に誰も出迎えてくれない,遊び相手がいない,しゃべる相手がいないなど様々な例が挙げられる。孤独とはどんなときでも感じてしまうときがある。そのような孤独を忘れることのできるロボットを作成した。

### 2. 本論

#### 方法

レゴがプログラミングの学習を目的として開発したMIN DSTORMSを使用した。二種類のロボットを作成した後,プログラムを組んで動かした。

#### 実践1(図1)

##### クレーン車を作る

レゴブロックで車体とクレーンを組み立てる。タイヤ部分にモーター,フロント部分に距離センサーを取り付ける。

車体上部にクレーンとモーターを取り付ける。本体機器にモーターとセンサーの端子を接続しクレーン車が完成する。

タブレットとクレーン車をBluetoothで繋ぐ。タブレットでコントローラー用と自動で動かす用のプログラムをつくる。

自動で荷物を受け渡すプログラムの内容

- 1, 距離センサーの計測距離がXcm以下になるまでタイヤのモーターを半回転させる。
- 2, 計測距離がXcm以下になったときクレーン上モーターを回転させてクレーンを伸ばす。
- 3, クレーンが伸びきったらタイヤのモーターを半回転させてクレーンの先に荷物が引っかかる位置まで移動する。
- 4, クレーンの上モーターを2のときと逆回転させてクレーンを戻す。
- 5, 後ろ向きに進みクレーンの下のモーターを回し90度向きを変える。
- 6, クレーンの上モーターを回転させ,人に荷物を渡

す。

7, 荷物を渡し終わると6と逆方向にモーターを回転させクレーンを戻す。

8, クレーンを戻し終わると後ろに少し移動する。

#### 実践2(図2)

ペット型のロボットの「チャーリー」という名前のロボットを作成した。実践1で書かれたクレーン車とは違い,道具を運ぶといった動作ができない。しかし,大きさは比較的小さいため俊敏性のある動きを可能としている。その特性を生かし,人と触れ合うことのできるようなプログラムを組んだ。ロボットの前にあるものを感知するセンサーを使用し人が近づいたときに二種類の動きをするようにプログラムをくんだ。一種類目は友好的な動きをとるようになっている。近づくと少し距離をとって楽しませるように一回転をし,陽気な音を流して笑顔になる。

二種類目では逆に反抗的な動きをするようになっている。友好的な時とは違って距離を取るにではなく逃げるように離れていく。離れた後はそっぽを向き怒った顔で攻撃をして少し不快な音を流すようになっている。

二種類の動きはロボットの下部に設置されている色を識別するセンサーで分けている。



図 1

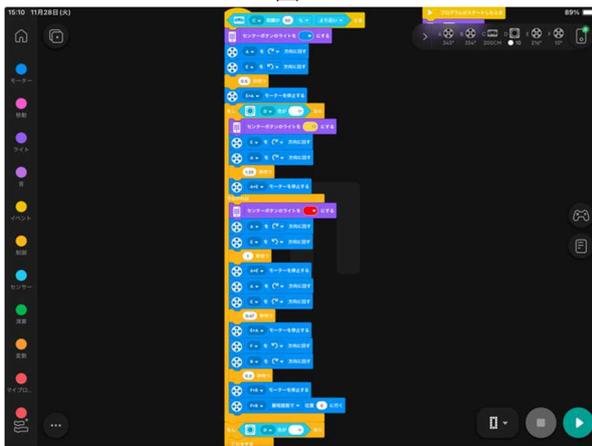


図 2

めそれをどのように生かすかが大切だと思った。

### 謝辞

今回の実験をご指導頂いた奈良先端科学技術大学院大学インタラクティブメディア研究室の皆様へ深く感謝いたします。

### 参考文献

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsai/30/3/30\\_377/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsai/30/3/30_377/_pdf)【C 言語入門】if 文で条件分岐(else、AND/OR、否定、省略) | 侍エンジニアブログ (sejuk u.net) (2023年12月27日閲覧)

### 3. 結論

リモコンで動かす動作までは特筆して記すことなく順調に行った。ロボットにセンサー類を付ける際少しパーツを外さないとつかない不具合は起こったが特に支障はなかった。自動で動くよう組んだプログラムは実際の動きとは差があった。

ロボットというのが元はレゴブロックなので作成は子供でもできるほどとても簡単かつ楽しむことができた。そのため時間を忘れて組み立てることができた。

### 4. 考察

今回の実験の自動で動かすプログラムで差が生じてしまったのは専用のアプリで設定されている地面との摩擦と実際に動かした時の摩擦に差があったからだと考える。

また今回のようにロボットを自動で動かす場合はプログラムに if 文というものを用い、これは条件が満たされたとき true になり満たされなかった場合に false になるというものだ。この働きにより、変化する状況の中で変化に合わせてロボットが動くことができ、多種多様な if 文を組み合わせることで人間のように複雑な生にも対応することができると思う。

### 5. おわりに

レゴブロックでロボットを作るのは拡張や改良が簡単なので試行錯誤がしやすかった。

孤独を減らすロボットは広い範囲で活用できると思った。しかしロボットには得意不得意な動作があるた

## 暑さ指数の一般的気象要素に基づく予測モデルの作成と考察

坂本 俊一朗\*

指導教員：穴田 浩一\*<sup>1</sup>・吉田 賢史\*<sup>1</sup>

Email: syun1.sakamoto@fuji.waseda.jp

\*1: 早稲田大学高等学院

◎Key Words 熱中症対策, 暑さ指数, 気象要素, 重回帰分析, R 言語

## 1. はじめに

## 1.1 暑さ指数 - WBGT(湿球黒球温度)とは何か

WBGT(Wet Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度)は、暑熱環境下での運動時および労働時の熱ストレス評価指標である。(以下、WBGT と表記。)メディア等での天気予報で夏場に公表される各地の「暑さ指数」は WBGT を指す。WBGT は算出の際、湿球温度、黒球温度、乾球温度の 3 要素を用いる。屋外で太陽照射のある場合は式①、室内及び屋外で太陽照射のない場合は式②によって定義される。(Yaglou and Minard, 1957)

屋外で太陽照射のある場合

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_a \dots \textcircled{1}$$

室内及び屋外で太陽照射のない場合

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.3 \times T_a \dots \textcircled{2}$$

T<sub>w</sub>: 自然通風湿球温度(°C), T<sub>g</sub>: 黒球温度(°C),T<sub>a</sub>: 乾球温度(°C)

## 1.2 研究背景

本研究の背景は、地球温暖化の進行とともに気候が極端化するなかで、WBGT、いわゆる「暑さ指数」が、猛暑による熱中症リスクを避けるための指数として重要性が増していることがある。従来の気象台単位での指数の公表値だけでなく、個々の人たちがいるこの環境で、簡易な方法で WBGT を算出できれば、個別の熱中症などのリスクが低減できる可能性がある。

現状、作業現場や学校等では、簡易的な装置によって独自に WBGT を測定する手法も浸透しつつある。しかし、測定値の信ぴょう性に懸念がある。斎藤(2022)<sup>(1)</sup>によれば装置の使い方を誤るケースも散見されるという。

こうした問題の解決策として、どこでも手軽にリスクの推定ができるように、私は、気温、湿度、日射量といった一般的な気象要素によって WBGT を高精度に推定する手法を提案したい。

## 1.3 研究目的

本研究では、WBGT の予測モデルを作成する。

乾球温度、相対湿度、全天日射量、風速の 4 要素を目的変数 WBGT の説明変数として、推定式の導出を行い、誤差補正のための検証を行う。作成にあたり、気象庁の各地の気象台のデータ<sup>(2)</sup>と環境省が公表した過去の WBGT<sup>(3)</sup>を用いた。

## 2. 実験

## 2.1 実験方法

WBGT の推定については、目的変数を WBGT、説明変数を乾球温度、相対湿度、全天日射量、風速として、重回帰分析を実施した。分析に用いる気象データは、気象庁の実測地点の全国 6 か所(東京、名古屋、新潟、大阪、広島、福岡)の特別値を用いる。WBGT のデータは 2013 年から 2022 年の、5~10 月の各半年間である。なお、推定には、R 4.2.3 とライブラリ dplyr を用いる。誤差の要因の特定のため、WBGT の推定誤差と説明変数をプロットした図 1 を作成し、両者の二次回帰直線と、決定係数 R<sup>2</sup> を求めた。

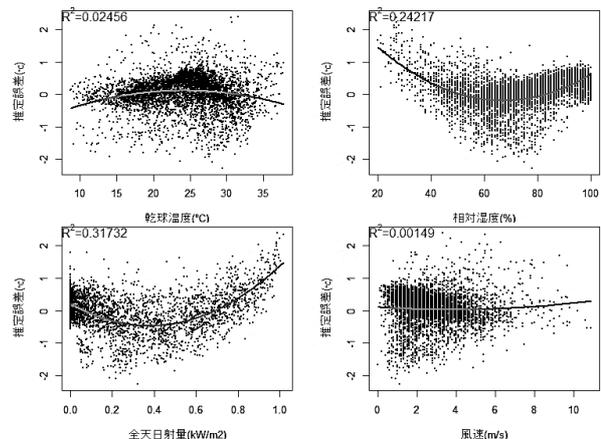


図1 説明変数と推定誤差の関係性

## 2.2 実験結果

複数の条件での WBGT の推定の実験を行った。

実験の結果として、4 要素に乾球温度×相対湿度、全天日射量および相対湿度の二次項を加えた 7 要素を用いた、推定式③が最も誤差が小さかった。

$$WBGT = T_a \times 0.70715 + RH \times 0.13347 + SR \times 7.58157 - WS \times 0.08251 + T_a \times RH \times 0.00321 - SR^2 \times 4.12241 - RH^2 \times 0.00068 - 7.21136 \dots \textcircled{3}$$

T<sub>a</sub>: 乾球温度 (°C), RH: 相対湿度 (%),SR: 全天日射量 (kW/m<sup>2</sup>), WS: 風速 (m/s)

## 2.3 都市間での比較

次に、6都市のデータを、作成した推定式③に代入して、推定誤差を比較する。結果は以下の表1である。

表1 推定式③を各都市10年間のWBGTの推定に用いた際の誤差

誤差	東京	大阪	新潟	名古屋	福岡	広島
平均	0.118	0.205	0.193	0.000	0.037	0.617
標準偏差	0.614	0.437	0.449	0.365	0.369	1.787
<±1.0°C	89.8%	93.6%	93.6%	97.7%	97.7%	43.7%
<±0.5°C	69.9%	79.7%	75.7%	85.9%	84.8%	23.0%
<±0.1°C	19.7%	28.9%	23.4%	29.6%	30.9%	4.7%

広島については誤差が大きい。気象観測かWBGTの測定方法が他地点と異なる可能性が考えられる。

## 2.4 日射の有無による比較

日射の有無の条件で式を分けた場合、推定精度が向上するか検証した。分析用のデータは同様だが、日射有り(全天日射量 SR>0)の条件と、日射無し(全天日射量 SR=0)の条件で場合分けを行う。前者によって導いた式を④、後者を式⑤とする。得た式を比較すると、次の通りである。

表2 日射の有無による推定式の係数比較

	式③-全日	式④-日射有り	式⑤-日射無し
Ta	0.70715	0.70001	0.7568
RH	0.13347	0.14679	0.10689
SR	7.58157	7.13301	
WS	-0.08251	-0.13955	0.03078
Ta×RH	0.00321	0.00327	0.00257
SR <sup>2</sup>	-4.12241	-3.68094	
RH <sup>2</sup>	-0.00068	-0.00082	-0.00039
切片	-7.21136	-7.11135	-7.29225

日射が無い条件では、全天日射量 SR および二次項は、説明変数として意味をなさないため、除外されている。また、推定式④および⑤を、6都市のデータ10年分に用いて、推定誤差の計算を行った。日射有りの条件の式④における誤差の比較を表3に、日射なしの条件の式⑤における誤差の比較を表4に示した。

表3 日射有り条件の推定式④を各都市10年間のWBGTの推定に用いた際の誤差

誤差	東京	大阪	新潟	名古屋	福岡	広島
平均	0.174	0.388	0.332	0.000	0.065	0.910
標準偏差	0.744	0.518	0.520	0.431	0.461	1.917
<±1.0°C	83.4%	87.9%	89.3%	96.8%	96.2%	37.0%
<±0.5°C	57.5%	62.0%	58.2%	78.4%	73.9%	19.3%
<±0.1°C	13.5%	14.2%	13.6%	22.1%	18.4%	3.7%

表2の日射有りの条件下の推定では、表1の全日の場合の推定と比較して、どの都市も誤差が大きくなっている。一方で、表3の日射無しの条件下の推定では、全日の場合より精度がどの都市でも大きく向上しており、福岡では精度が10年間において、常に±1.0°C未満に納まっていることが分かる。ただし、広島は日射の有無に関わらず、著しく推定誤差が大きい。

表4 日射無し条件の推定式⑤を各都市10年間の

WBGTの推定に用いた際の誤差

誤差	東京	大阪	新潟	名古屋	福岡	広島
平均	0.080	-0.048	0.024	0.000	-0.061	0.234
標準偏差	0.332	0.112	0.138	0.123	0.115	1.51
<±1.0°C	98.43%	99.99%	99.97%	99.98%	100.00%	52.09%
<±0.5°C	87.91%	99.91%	99.77%	99.83%	99.81%	27.96%
<±0.1°C	32.67%	58.23%	56.54%	61.67%	56.32%	5.66%

## 2.5 まとめ

本項では、WBGT推定式③の各条件における汎用性について、検証を行った。最初に比較を行った年度間の分析用データによる精度への影響は、同一地点であればほぼ差がないことが判明した。都市間による比較では、広島を除いて極めて大きな推定誤差の違いは認められなかった。日射の有無によって分離された推定式の比較では、全日の条件での式と比べて、日射がある場合は推定精度がある程度低く、無い場合は極めて推定精度が高くなっている。

## 3. 考察

本論文では、一般的な気象要素を変数とした、汎用的なWBGTの予測モデルを作成し、精度向上のため検証を行った。当初提案した推定式は、乾球温度、相対湿度、全天日射量、風速の4要素を説明変数とするものであったが、推定誤差が大きかったため、先行研究との比較と検証の上、乾球温度×相対湿度、全天日射量二次項、相対湿度二次項を加えた7要素を変数とした。

それぞれの都市別の検証においても、広島を除く5都市で推定誤差±1.0%の割合がほぼ9割以上である。

正しい測定およびデータ処理を前提として、全国で十分な精度でのWBGT推定は可能であると言える。

また、特に「日射の無い状況」でのWBGT推定式⑤は、屋内空間や夜間での熱中症リスクを推定する式として極めて精度が高く実用可能である。

## 4. 展望

今後の研究では、作成した式の実用性の検証を行う必要がある。実験の一例として、マイクロコンピュータとセンサ等を用いてWBGTの推定を行い、他の測定方法との推定誤差の比較を行うことを提案したい。これにより、一般的なWBGT測定器と比べて高い精度を得られれば、式が有効であることを確かめることができる。また、教育現場での推定式の活用として、先述のような装置によって生徒が容易にWBGTを確認できれば、自発的な熱中症対策を促すことにも繋がる。

## 参考文献

- (1) 齊藤宏之 澤田晋一 「電子式WBGT測定器における測定誤差の要因とその有効かつ簡便な補正方法の検討」 日本生気象学会雑誌, 58巻 3-4号 日本生気象学会 pp.87-93 (2022)
- (2) 気象庁: <https://www.data.jma.go.jp/stats/ctm/index.php>, (2023年8月20日閲覧)
- (3) 環境省 熱中症予防情報サイト: [https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt\\_data.php](https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php), (2023年8月23日閲覧)

# VR を用いたオンライン授業環境の構築とその効果に関する検討

花嶋 俊亮\*<sup>1</sup>・御園 彩生\*<sup>1</sup>・松崎 瞬\*<sup>1</sup>・橋本 光太郎\*<sup>1</sup>

指導教員：徳竹 圭太郎\*<sup>1</sup>

Email: tj19021qpe@toyo-ushiku.jp

\*1：東洋大学附属牛久高等学校

◎Key Words VR, オンライン授業, 3D アバター

## 1. はじめに

近年、新型コロナウイルス感染拡大を防止するため、多くの学校でオンライン授業が実施された。しかしながら、小竹ほか (2022) はオンラインの授業への参加を繰り返した高校生は「他者とのコミュニケーションが少ないこと」、「生徒の理解度を踏まえずに授業が進行されていくこと」などに不満を持ち、次第にオンライン授業に対して否定的な感情を持つようになることを明らかにしている<sup>(1)</sup>。このことから、中高生を対象としたオンライン授業では、動画配信などの一方的な教授ではなく、ZOOM などの web 会議ツールを用いた双方向性のある授業を実施する必要があると考える。しかし、こうした授業では、顔を映すことに対する抵抗感を表明する生徒が一定数いることが想定される。

日向寺ほか (2022) は、オンライン議論を行う際に、2D アバターを用いることで顔出しに対する抵抗感が軽減されることを報告した上で、トラッキング精度などの問題により、細かい反応や変化が感じられないとして、2D アバターを使用したオンライン議論の限界について触れている<sup>(2)</sup>。

そこで、本研究ではオンライン授業に参加する生徒が、授業に参加している実感を持つとともに、積極的に参加しやすい学習環境を構築することを目的として、VR を用いた 3D オンライン授業環境を実装した。

## 2. 開発した環境の概観

本研究で開発したオンライン授業環境の概観を図 1 に示す。

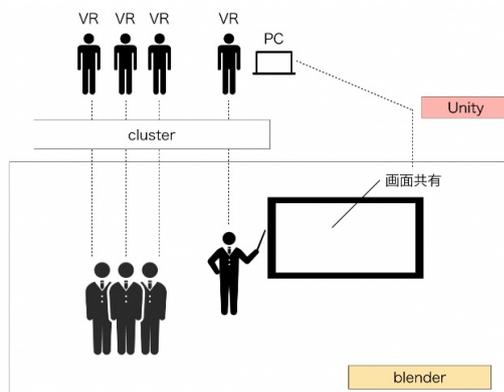


図 1 日本の世帯における情報通信機器の普及率

本研究で開発した環境の特徴は以下の 2 点である。

### (1) 教室環境の再現

実際の教室に近い環境を再現するため、机や黒板の配置、デザインは、所属校のものと同様のモデルを作成して配置した。

### (2) 画面共有機能による板書機能

VR 環境による 3D アバターを用いたオンライン授業では、板書を用いた知識教授が困難である。そこで、教師の PC 画面を教室内の黒板に表示できるように、画面共有機能を開発した。

なお、本研究では、教師との双方向的なやり取りをシームレスに行う必要があったことから、開発した環境の配信にあたっては、ユーザーによる VR 空間のアップロードやユーザー間の対話機能がある VR SNS サービスである Cluster<sup>(3)</sup>を使用した。開発した環境の実画面の様子を図 2 に示す。



図 2 開発した環境の実画面

## 3. 学校現場での試用と有用性の検討

本研究で開発したオンライン授業環境を、茨城県にある所属校において試験的に導入し、開発した環境の有用性と限界について検討した。

### 3.1 実験環境と手順

実験は所属校に通う高校 1 年生 3 名を対象として実施した。VR 環境への慣れが、本研究で開発したオンライン授業環境の評価に影響を与えることを想定し、被験者には VR の使用経験が無い生徒を選出した。HMD は一般に販売されている MetaQuest2 を利用した。

実験には各生徒の教科への興味関心等が影響しない

よう、被験者らが学校内で受講していない「地理B」を授業範囲として設定した。被験者らには、Google Meet を利用した従来型のオンライン授業（以下、統制群）と、本研究で開発したVR環境を利用したオンライン授業（以下、実験群）の2パターンの授業を、それぞれ30分間受けてもらった。

### 3.2 評価方法

本研究において開発したシステムの有用性について検証するため、実験群、統制群の授業終了後にアンケート調査を実施した。アンケートの要約を以下に示す。

項目1：オンライン授業の満足度

項目2：VR授業の満足度

項目3：オンライン授業の理解度

項目4：VR授業の理解度

項目5：VR授業の良い点・悪い点

上記の項目1～4については、それぞれ7件法（1. そう思う～7. そう思わない）で回答させ、項目5については自由記述で回答させた。

### 3.3 分析結果と考察

本研究で開発したVRオンライン授業環境を評価するため、生徒の評定値の平均を算出した。その結果を表1に示す。

表1 事後アンケートの内容

質問項目	回答者：回答値	平均値
項目1：オンライン授業の満足度	被験者1：5 被験者2：6 被験者3：3	4.6
項目2：VR授業の満足度	被験者1：4 被験者2：5 被験者3：6	5.3
項目3：オンライン授業の理解度	被験者1：4 被験者2：4 被験者3：7	5
項目4：VR授業の理解度	被験者1：5 被験者2：3 被験者3：5	4.3

#### 1) 授業の満足度に関する評価

項目1及び項目2の平均値を見ると、実験群の方の満足度が高いことがわかる。しかし、被験者ごとの回答値を見ると、従来型のオンライン授業の満足度の方を高く評価している被験者が見られる。

次に、項目3及び項目4を見ると、実験群の方の理解度が下がっていることが分かる。

そこで、項目5の自由記述の内容に着目し、本研究で開発した環境の有用性と限界について分析した。VR環境に対して肯定的な回答としては、以下の記述が見られた。

<被験者3の記述>

授業を受けている雰囲気を感じることが出来た。

<被験者1の記述>

質問がしやすかった。

一方、VR環境に対して否定的な回答としては、以下の記述が見られた。

<被験者1の記述>

操作方法が複雑だったし、ペースが掴みにくかった。

<被験者2の記述>

集中力が続かなかった。

<被験者3の記述>

酔いやすい人にはかなりきついと思う。

被験者1及び被験者3の肯定的な記述を見ると、授業の雰囲気を感じることが出来たこと、質問がしやすかったことなどが挙げられている。このことから、オンライン授業に比べVR授業は、授業の雰囲気を感じられ、教師と生徒のコミュニケーションがとりやすくなると考える。

しかし、被験者3の否定的な記述を見ると、オンライン授業に比べ、VR授業は酔いやすい人にとって体力的及び精神的に苦痛になる可能性があることなどから、満足度を下げている可能性があると考えられる。このことから、VR授業は授業内での活動の少ない知識教授には向いておらず、授業内での活動の多いグループワークといった探究活動において利用することが最も効果を発揮すると考えられる。

また、本研究で開発したVRオンライン授業環境で授業を行った際の理解度の低下について、被験者1及び被験者2の否定的な記述内容を見ると、VRを用いた授業では、集中力が続かず、勉強のペースが掴みにくかったことが挙げられている。これは本研究で開発した環境が、オンライン授業における授業感に着目したことが、要因であることが考えられる。

## 4. まとめと今後の課題

本研究では本研究ではオンライン授業に参加する生徒が、授業に参加している実感を持つとともに、積極的に参加しやすい学習環境を構築することを目的として、VRを用いたオンライン授業環境の開発をするともに、学校現場において試用し、その有用性について検討を行った。被験者である生徒3名に対するアンケート調査の結果から、本研究で開発した環境は授業の雰囲気を感じられ、コミュニケーションがとりやすい一方で、操作性の問題、知識教授には向かないことなどの課題があることが明らかになった。

今後の課題としては、以下の3点が挙げられる。

- ①高校生が求める授業感につながる要因の調査
- ②操作の容易化
- ③知識教授において有効性のある環境の設計・開発と検証

## 参考文献

- (1) 小竹七海, 山本瑠璃, 佐藤海斗, 徳竹圭太郎, 佐久間大: “コロナ禍における高等学校でのオンライン授業に対する生徒の意識の変容”, JSiSE Research Report, 37, 6, pp.27-38 (2023).
- (2) 日向寺玲花, 菅谷克行: “アバターを使用したオンライン議論に関する一考察”, CIEC 春季カンファレンス論文集, Vol.14, pp.14-20 (2023).
- (3) Cluster: <https://cluster.mu>, (2024年1月23日閲覧).

# 測位衛星を用いた黄砂検知 - 遅延量から黄砂を割り出す -

宇原 清真\*<sup>1</sup>・江崎 陸央\*<sup>1</sup>・若松 将真\*<sup>1</sup>  
指導教員：中村順子\*<sup>1</sup>

\*1：奈良県立奈良北高等学校

◎Key Words GNSS、gnssZtd、SaastamoinenZTD、黄砂、飛散量、遅延、navファイル、方位角フィルター、アメダス、そらまめくん

## 1. はじめに

この研究ではGNSSから浮遊粒子の検知を行い、全体のgnssZtdからSaastamoinenZTDを減算し、浮遊粒子分の遅延量を割り出すことで大気中の黄砂の飛散量を検知を行う事を目的に行った。

## 2. 序論

現在採用されている大気中の黄砂を検知する方法はスカイラジオメーターという太陽光や散乱光の強さを測定して浮遊粒子を観測する装置などを使って黄砂の分布と濃度を計測している。

しかし、この方法だとどうしてもコストがかかってしまう。そこで今回私たちは人工衛星との通信をする際に起こる遅延に目を付け、全体の遅延(以文gnssZtd)から浮遊粒子以外から発生する遅延(以文SaastamoinenZTD)を減算することで浮遊粒子によって発生する遅延を割り出すことで簡単に黄砂の飛散量の検知を行う事が出来ると考えた。

## 3. 本論

### ・開発の流れ

①GNSSから衛星電波を取得

②navファイルから180°～360°(西側)の記録を取得し新たなnavファイルを生成

黄砂が飛来するのは西側(大陸側)となるので、方位角フィルターを作成し記録するデータを抽出して精度の向上を試みた。1行ずつ読み進め、

西側 180° <az<360°

北西側 270° <az<360°

全方位 0° <az<360°

この3種類のフィルターを作成して条件に合うデータを抽出した新しいファイルを出力した。

(az=方位角)

③navファイルから全体の遅延ztdを計算

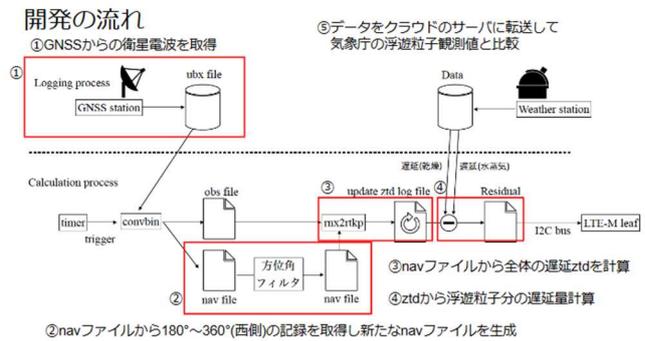
人工衛星から放送されるナビゲーションファイルに含まれているエフェメリスを用いてZTDを算出するためにRTKLIBというソフトウェアを用いた。

④ztdから浮遊粒子分の遅延量計算

1. アメダスでSaastamoinen ZTDなどを算出した。
2. gnssZtdからSaastamoinen ZTDを減算した。
3. 2で得られたデータとそらまめくんのデータを比較し

た。

(図1)

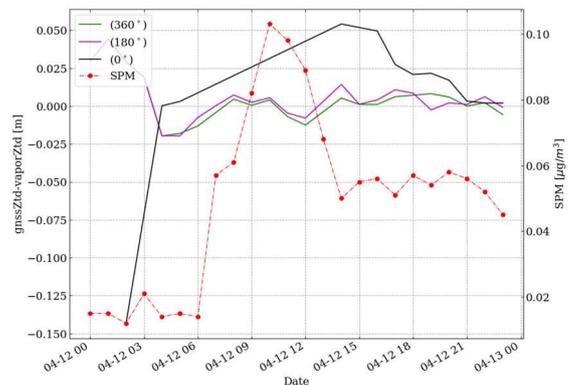


### ・結果

以上の流れから次のようなデータが得られた。

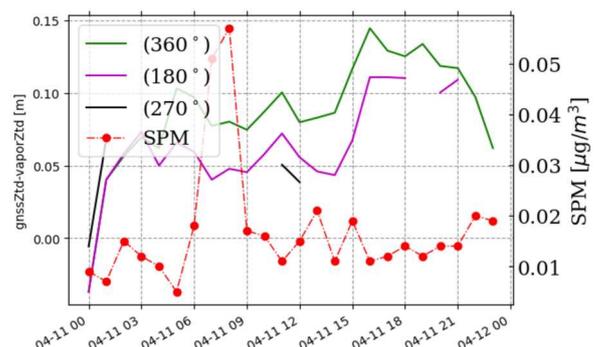
(図2)

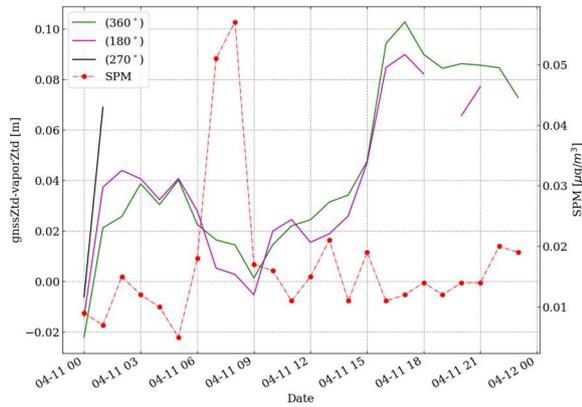
15°



(図3)

20°



(図4)  
25°

#### 4. 結論

今回の研究の結果では思うようなデータが取れなかったため、実験方法に何らかの不備があったと考えられる。

予想通りの結果にならなかった原因を探り、それを踏まえ新たな方法を考える事が今後の課題である。

#### 謝辞

今回は奈良先端科学技術大学院大学で長期のインターンシップとして本研究を行った。

本活動でお世話になった奈良先端科学技術大学院大学ネットワークシステム学研究室の皆様をサポートしていただきまして事に対し感謝の意を表す。

#### 参考文献

- (1) <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2304/12/news177> (閲覧日1月19日)
- (2) <https://www.data.jma.go.jp/env/kosahp/4-4kosa> (閲覧日1月19日)

# 胸部X線画像における側弯症の有無の自動判別を行う深層学習モデルの作成と比較

和田 千寿\*1・北尾 慧真生\*1

指導教員：中村 順子\*1

\*1：奈良県立奈良北高等学校

◎Key Words 深層学習, データ拡張, オーバーサンプリング, 画像診断

## 1. はじめに

本研究は、医療現場において深層学習を使用した胸部X線画像の自動識別AIを導入することにより、患者の胸部X線画像から異常の有無を正確に視覚化し、医師の負担を軽減することを目的としたものである。現状、日本に存在するCTは先進国平均の約4.5倍、MRIは約3倍とされている一方で、人口当たりの放射線科医は先進国平均の半分以下であるとされている。<sup>(1)</sup>

## 2. 仮説

学習に使用するモデルとデータ拡張及びオーバーサンプリングの使用の有無による精度の違いを調べることで、医療現場での使用に適したモデルを選択することができる。

## 3. 方法

### 3.1 深層学習モデルの構築

胸部X線画像の自動判別AIの作成には、Python言語を用いた。計算には、奈良先端科学技術大学院大学に設置されたコンピューターのサーバーを使用し、深層学習に用いるデータセットとして、東京大学より提供していただいた約8万枚の学生の胸部X線画像を使用した。各データにはそれぞれ側弯症の有無などが記録されている。この全ての学習データを、側弯症の所見の有無の割合が均等になるように、学習用に用いる教師データとモデルの精度の検証用に用いる検証データに9:1程度の割合で分類した。

はじめに、深層学習の精度の向上及び学習時間の短縮のために、公開されている学習済モデルであるResNet, Vision Transformerの2つを用意し、それぞれのモデルにおいて胸部X線画像から選出した教師データ(後述する拡張を行ったデータを含む。)を学習させた。次に、入力する画像に対し側弯症の所見が有りとは分類される可能性を、0以上1以下の予測値で返すプログラムを作成した。

### 3.2 データ拡張とオーバーサンプリング

使用したデータセットには約8万件の画像のうち所見有りとは記録された画像が約1300件程度しかなく、この状態の教師データで学習を行うと判別結果の出力値に偏りが生じ、精度が低下する可能性がある。これを解消するため、今回はデータ拡張とオーバーサンプリングを用いて学習する教師データを調整した。また、データ拡張とオーバーサンプリングによる調整の効果を確認するため、それぞれ使用する場合、使用しない場合について各4通りの検証を行い、比較した。

データ拡張では、全ての所見有りとは記録された画像に対して、±15度の範囲でランダムに回転を加え、画像を複製することで教師データを増幅させ、データの不均衡を縮小した。

オーバーサンプリングでは、全ての画像からある値に近いデータとその所見の有無を参考に新たな所見有りのデータを作成し、学習データの不均衡を解消した。

### 3.3 学習モデルの精度の比較

前項で構築したResNetモデル及びVision Transformerモデルについて、それぞれ以下の4種類の条件で検証データを用いて精度の検証を行った。

①データ拡張もオーバーサンプリングも使用しない。

②データ拡張は用いるがオーバーサンプリングは使用しない。

③オーバーサンプリングは用いるがデータ拡張は使用しない。

④データ拡張とオーバーサンプリングの両方を使用する。

判別の精度に関しては、精度(予測値が0.5以上の場合を所見あり、0.5未満の場合を所見なしとした際の全体の正答率)、感度(予測値が0.5以上のデータのうち所見有りの割合)、再現率(所見有りデータのうち予測値が0.5以上の割合)、F1スコア(感度と再現率の調和平均)、AUC(予測値が0及び1付近で出力され、分類が正確に行われている可能性)<sup>(2)</sup>の5つを算出した。

表 1 ResNet モデルの分類精度

条件	精度	感度	再現率	F1 スコア	AUC
①	0.989	0.594	0.695	0.641	0.967
②	0.990	0.491	0.816	0.613	0.959
③	0.988	0.503	0.643	0.565	0.954
④	0.988	0.577	0.637	0.605	0.959

表 2 Vision Transformer モデルの分類精度

条件	精度	感度	再現率	F1 スコア	AUC
①	0.984	0.268	0.480	0.344	0.764
②	0.987	0.229	0.783	0.355	0.772
③	0.987	0.338	0.649	0.444	0.921
④	0.984	0.621	0.501	0.554	0.935

#### 4. 結果

ResNet モデルと VisionTransformer モデルにおいて、データ拡張及びオーバーサンプリングの有無による計 8 通りの深層学習モデルにおけるレントゲン画像の分類精度は、表 1、表 2 の通りとなった。

#### 5. 考察

表 1 より、ResNet モデルにおける分類精度は、データ拡張とオーバーサンプリングの有無にかかわらず、精度においては 0.980 以上、AUC 値においては 0.950 以上と、非常に高い数値を記録した。また、条件②に関して、再現率が 0.816 と、ほかの条件と比較して高い数値を記録した。一方で、条件①、③、④に関しては感度及び再現率が 0.500 から 0.700 付近と、やや低い結果となった。

したがって、ResNet モデルに関しては、基本的に制度及び AUC 値が高く、データ拡張やオーバーサンプリングにより精度に大きな差は見られないが、条件②であるデータ拡張を用い、オーバーサンプリングを使用しない場合のみ、再現率の上昇が期待できると考えられる。

次に表 2 より、VisionTransformer モデルにおける分類精度は、感度に関しては条件④が逸脱して高い数値を記録したが、その他の条件では非常に低い値を示した。一方、再現度に関しては条件②が高い数値を記録し、次いで条件③が高い値を示した。また、AUC 値に関しては、条件③、条件④が 0.900 以上と高いスコアを記録した。

これより、VisionTransformer モデルはデータ拡張やオーバーサンプリングを用いた際に分類精度の向上が大きくみられるが、全体的には数値が低く、ResNet モデルと比較すると医療現場において実用的なものではないものであると考えられる。また、医療現場に導入することが目的であることを踏まえると、実際に側弯症を持つ患者の画像に対して所見無しと分類することを避けるために、再現率が重視されると考え

られる。したがって、医療現場に導入する胸部 X線画像の自動判別モデルには、ResNet モデルにデータ拡張のみを使用したモデルが最適であると考えられる。

#### 6. おわりに

本研究では深層学習モデルである ResNet モデルと VisionTransformer モデルにおける、胸部 X線画像の自動判別モデルを作成、及び比較を行った。現在医療において重要な役割を担う放射線科医が不足している日本において、その負担を僅かにでも軽減させることは、医療全体を通して見ても非常に重要な課題である。この課題を解決に導くことは、今後の医療の発展、並びに新たな技術の開発へと貢献するものとなると考えられる。

#### 謝辞

本研究を行うにあたりご指導頂いた、小野直亮准教授を含む奈良先端科学技術大学院大学計算システムズ生物学研究室の皆様、深く感謝の意を表する。

#### 参考文献

- (1)新潟大学ウェブマガジン Evergreen:  
<https://www.niigata-u.ac.jp/webmagazine/>, (2024年1月19日閲覧).
- (2)ITmedia:<https://atmarkit.itmedia.co.jp/>, (2024年1月19日閲覧).

# 長崎県のおごみの状況と海岸漂着分布特徴

菅 智哉<sup>\*1</sup>・山崎 環大<sup>\*1</sup>・山口 夏輝<sup>\*1</sup>・古谷 颯之介<sup>\*1</sup>指導教員：末吉 龍弥<sup>\*2</sup>

Email: sueyoshi1836@news.ed.jp

\*1:長崎県立長崎南高等学校普通科2年

\*2:長崎県立長崎南高等学校

◎Key Words 海ごみ, 漂着ごみ, ICC調査, マイクロプラスチック

## 1. はじめに

近年、海（洋）ごみの話題がよく取り上げられるようになり、環境問題として注目される分野となっている。長崎県は594の島を有しているほか、北海道に次ぐ全国第2位の海岸線総延長を有している。豊かな自然を有している一方、日本国内や近隣諸国から発生したごみが毎年多く漂着している。これら海岸に漂着するごみは、深刻な問題となっており、特に5mm以下のプラスチックであるマイクロプラスチックの問題が顕在化している。

自分たちの住む町の海を見たときに、ごみがたくさん浮かんでおり、汚かったため、この研究を進めたいと思った。また、SDGsの目標の14番目「海の豊かさを守ろう」に貢献できると考えた。

## 2. 仮説

本研究を進めるにあたり、次の2つの仮説を立てた。1つ目は、海岸の種類によって集まるごみの種類に違いがあること。2つ目は満潮線を基準に海側は波が常に届くためにマイクロプラスチックの量は少なく、満潮線を越えると通常の波が届かないためにマイクロプラスチックはとどまり続けるために一定量あることである。

## 3. 調査方法

仮説を明らかにするために2つの調査を実施する。

### (1) ICC調査

日本では一般社団法人JEANが取りまとめている調査方法である。10m×10mの正方形の範囲内にあるごみを専用の調査用紙を用いて、仕分ける方法である。その結果から、海岸にある海ごみの傾向や特徴を把握できる。

### (2) マイクロプラスチック調査（以降、MPs調査とする。）

海岸において、10cm×10cmの区画内の砂を表面から深さ約5cm削り取る。採取時には、その場でメッシュサイズ約5mmのふるいにかける。実験室にて、ふるい分けした試料の中から目視でマイクロプラスチックと思われるものを取り出し、個数を数える。なお、長崎市南部の野母崎にある脇岬海岸においては1m間隔で満潮線を挟んで22mまで採取を行った。なお、満潮線は波によって運ばれたごみなどが堆積し、帯状に分布する地点と定義する。

本研究における調査地点を次の図1に示す。本研究の調査にあたり、6月18日の野母崎海岸、7月15日の脇岬海岸に関しては長崎大学のボランティア団体「海援隊」と共同で海岸清掃を実施後、調査を実施した。

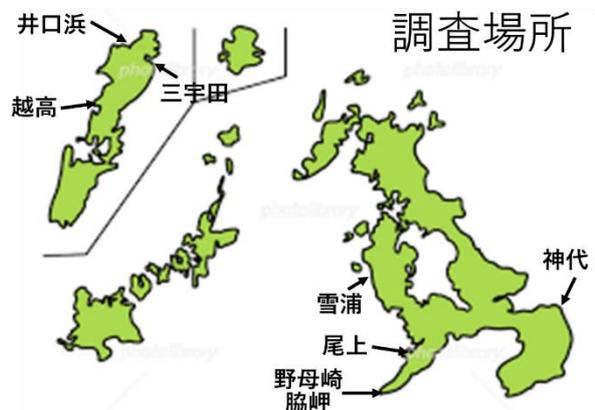


図1 海ごみ調査地点（2023年12月時点）

表1 調査地点における海岸状態と調査実施状況

調査地点	海岸の状態	ICC調査	MPs調査
野母崎	礫浜	実施	未実施
脇岬	砂浜	実施	実施
尾上	砂浜	未実施	未実施
雪浦	砂浜	未実施	実施
神代	礫浜	実施	実施
三宇田	砂浜	未実施	未実施
井口浜	砂浜	実施	未実施
越高	礫浜	実施	未実施

## 4. 調査結果

海ごみ調査における結果を次の(1)・(2)に示す。

### (1) ICC調査

2023年9月18日に島原半島の神代海岸における調査の結果、プラスチック破片が38.6%、プラスチックの袋が19.7%、飲料用のペットボトルが8.8%であった。陸上活動で主に発生する品目が97.1%であった（図2）。

2023年10月7日対馬市の井口浜における調査の結果、プラスチックの破片が64.2%、飲料用キャップが16.7%であった（図3）。

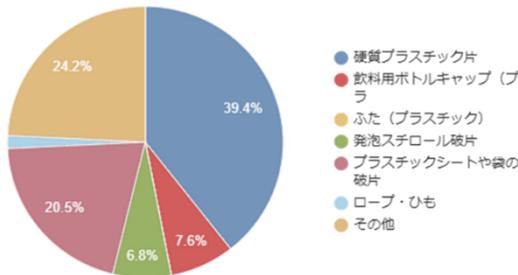


図 2 島原市神代海岸の I C C 調査結果

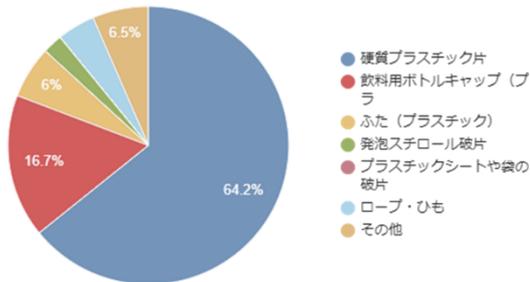


図 3 対馬市井口浜の I C C 調査結果

(2) MP s 調査

2023年7月15日に長崎市南部の脇岬海岸における調査の結果、1800個以上のマイクロプラスチックを確認できた。ただし、目視による取り出しには個人差が多く、時間もかかることが課題である。また、取り出したマイクロプラスチックは赤色から薄い桃色を呈しているものが過半数を超えていた。

脇岬海岸における海岸線に向かって1mごとにMPs調査した結果を次の図4に示す。木々や海藻が打ちあがった満潮線は14mである。満潮線から陸側では60.9%が存在していた。

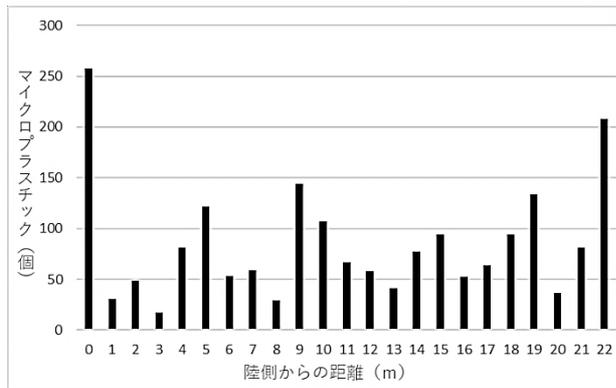


図 4 脇岬海岸におけるMPs調査

また、2023年8月26日に長崎南部の野母崎海岸における調査の結果を図5に示す。図6には脇岬海岸と野母崎海岸の状態を示している。

脇岬海岸は砂浜海岸であり、粒径が細かい特徴がある。野母崎海岸は礫浜であり、砂浜海岸に比べ粒径が大きな特徴がある。

5. 考察

調査結果(1)より、海岸の種類によって漂着ごみの種類が異なることがわかった。また、硬質プラスチックの割

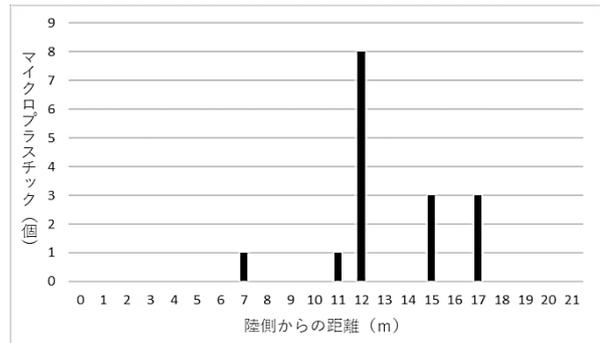


図 5 野母崎海岸におけるMPs調査



図 6 脇岬海岸 (左) と野母崎海岸 (右) の状態

合が多かった理由として、漂流する間にゴミが細かく分解されることが予想される。発泡スチロールについては礫浜海岸での漂着が多い傾向がみられた。調査結果(2)より、満潮線より陸地側ではマイクロプラスチックが多い傾向がみられた。通常よりも大きな波によって運ばれ、堆積したことにより、その場にとどまり続けることが考えられる。また、粒径が大きな礫浜海岸ではマイクロプラスチックの量が少ない傾向がみられた。粒径が大きいため、隙間から落ちることで調査範囲より深いところへ移動している可能性があると考えられる。

6. 今後の展望

海岸の状態によって、ごみの種類が異なることを確認するために、より多くの調査地点でのICC調査を実施していく。予定としては、長崎県北部や離島地域などを考えている。また、マイクロプラスチックの漂着分布に関するモデル実験を行っていきたい。さらに、MPs調査では目視による取り出しに個人差がでることや時間がかかることなどの課題があるため、薬品を用いた比重分離を検討していく。

7. おわりに

本研究の成果を豊かな海を守っていくために活用していきたい。また、本研究をとおして、地域住民やボランティア団体による定期的な海岸清掃の実施があることがわかった。きれいな砂浜がある一方、清掃が行き届いていない海岸もある。本研究をとおして海岸清掃や海ごみに関連したイベントを開くことで、海ごみ問題を身近に考えてもらう機会を提供したい。

参考文献

(1) 長崎県：長崎県海岸漂着物対策推進計画(2021).

# 対面会議におけるツール統合システムの開発

吉田 陽光<sup>\*1</sup>

指導教員：徳竹 圭太郎<sup>\*1</sup>

Email: tj19047qqq@toyo-ushiku.jp

\*1： 東洋大学附属牛久高等学校

◎Key Words 会議支援システム, DX, Chrome Book, Android

## 1. はじめに

新型コロナウイルス感染拡大に伴い、Zoom や Google Meet といった Web 会議ツールが普及した。濱野ほか(2021)は、企業での Web 会議ツールの普及率について調査しており、コロナ流行後も、導入・利用する企業が急激に増加したことを報告している<sup>1)</sup>。こうした背景を踏まえ、Web 会議ツールを提供している各社は、会議の質向上を目指し、様々な機能を開発している。例えば、Zoom はデジタルホワイトボードといった機能を実装し、オンライン会議内でのブレインストーミングや会議内容の整理をすることを支援している。また、Google Meet では Google Workspace との連携などの機能を実装し、Google が提供するサービスの使用を支援している。

一方で、帝国データバンクの調査では、コロナ流行後の社会会議は「主に対面で実施」していると回答している企業が全体の 61.8%であったことを報告している<sup>2)</sup>。このことから、現代社会においてはデジタル化が促進されつつも、依然として対面会議の需要があると考える。

対面会議においても、デジタル端末を用いて会議の記録を残したり、円滑な進行を支援したりするためのソフトウェアは存在する。例えば、Google Documents を用いて同期的に議事録を残したり、Miro のようなホワイトボードアプリ<sup>3)</sup>を用いてアイデア出しをしたりすることが挙げられる。しかしながら、対面会議を支援するツールは Web 会議ツールと異なり、各社が提供しているものを組み合わせて使用するケースが多い。そのため、記録の保管場所が分かれてしまうことで、再利用時に過去に使用した複数の資料を検索したり、会議ごとに異なるツールを使うことで操作を覚えたりするコストが発生すると考える。

そこで、本研究では対面会議における効率化を目的として、会議の記録に必要なツールを統合して提供する対面会議支援システムの開発を行った。

## 2. システムの設計

### 2.1 システムの開発環境

本研究で開発するシステムは Android 上で Kotlin を使用して開発した。Kotlin を選定した理由としては、Android 向けに開発したアプリを Android 端末だけでは

なく、近年普及率が向上している Chrome book においても利用できるためである。IDE は android studio を使用した。

### 2.2 システムの要件

本研究で開発する対面会議支援システムの要件を以下に示す。

#### <要件1>同期的に更新されるホワイトボード機能

会議の進行やアイデアを可視化することを目的として、同期的に更新されるホワイトボード機能の実装を行う。

#### <要件2>議事録入力機能

全体の進行に使用するホワイトボードとは別に、議事の内容を保存する機能が必要であると考え、議事録入力機能の実装を行う。

#### <要件3>音声による記録

Google Meet などの web 会議ツールでは、会議を録画し、欠席者のキャッチアップを支援している。また、ホワイトボードに書かれたアイデアなどは、アイデアが生まれた過程の会話を想起したい場合があると考える。そのため、音声録音機能の実装を行う。

上記の要件に基づき、対面会議支援システムの開発を行った。

## 3. 開発したシステムの概要

本研究で開発したシステムの全体画面を図1に示す。



図 1 システムの全体画面

画面には議事録、ホワイトボード、録音機能を表示し、すべての機能が 1 画面から閲覧、操作できるように設計した。

### 3.1 ホワイトボード機能

ホワイトボード機能の画面を図2に示す。

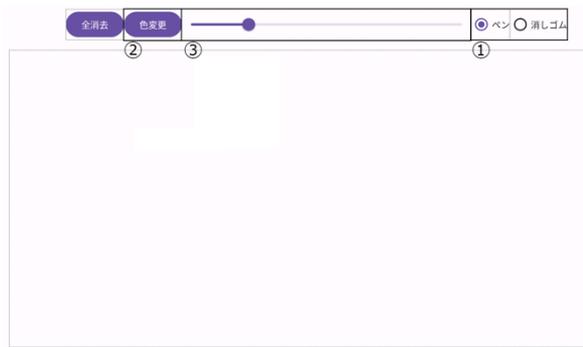


図 2 ホワイトボード機能の実画面

ホワイトボードでは、図 2 中央枠内にユーザーが描画を行うことができる。描画をする際には、図 2 中①の範囲から「ペン」ないしは「消しゴム」を選択し、部分的な編集を行うことができる。ペンの色を変更する際には、図 2 中②を押下するとカラーダイアログがポップアップされ、ユーザーは任意の色を選択しペンの色に適応させることができる。また、ペンの太さについては、図 2 中③のシークバーを操作することで、変更することができる。

### 3.2 議事録作成機能

議事録では、ユーザーがキーボードを使用して文字を入力し、文を入力することができる。議事録作成機能の画面を図 3 に示す。

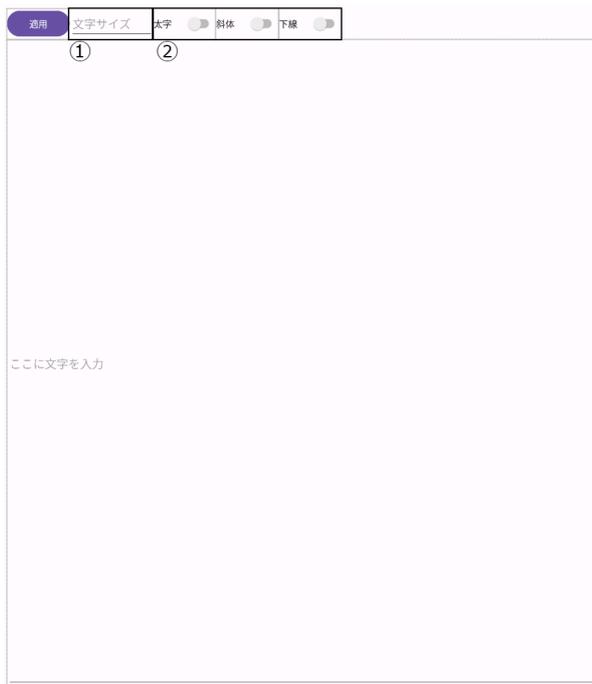


図 3 議事録作成機能

図 3 中央枠内をタップすることで仮想キーボードが表示され、文字を入力することができる。また、図 3 中①の入力部に任意の文字サイズを入力し、適用ボタンを押すことで、議事録に入力する文字のサイズを変更することができる。文字の太さ、斜体等の設定については、図 3 中②のスイッチを押下することで、切り替えを行うことができる。

### 3.3 録音機能

録音機能では、ユーザーが録音を開始し、録音停止後に保存することができる。録音機能の画面を図 4 に示す。



図 4 録音機能

図 4 中の上部には、録音時間ビューが表示されており、録音時間には、現在録音されている時間が分：秒の形式で表示される。録音開始ボタンを押すことで録音を開始され、録音終了ボタンを押して録音を終了する。録音再生ボタンを押すことで録音された音声を再生できる。また、上部のシークバー動かすことで録音の再生位置を変更することができる。

## 4. まとめと今後の課題

本研究では、本研究では対面会議における効率化を目的として、会議の記録に必要なツールを統合して提供する対面会議支援システムの開発を行った。しかしながら、実現場での運用を行うにあたっては以下の課題があると考ええる。

#### ①機能の拡大

本研究では、各種ツールの統合を目的として機能開発を行った。しかし、実場面で運用するには機能が不足していると考ええる。そのため、今後追加すべき機能として、記録の同時編集、録画機能、録音の自動文字起こし機能、投票機能、議事録のインデント調整機能、シークした時間帯の議事録とホワイトボードの再現などが挙げられる。

#### ②ユーザビリティの向上

本研究で開発したシステムは、筆者の実装レベルに合わせてデザインを行った。また、ユーザビリティに関する調査等も行っていないため、現状のデザインでは使いにくく、会議の円滑な進行を阻害する可能性がある。そのため、今後はユーザビリティテストを繰り返し、UI を再設計する必要があると考ええる。

#### ③他のデバイスでも使用可能な設計

本研究で開発したシステムは、Android 端末での利用を前提として設計されている。しかしながら、実社会では Windows の導入割合が最も多く、次に iPad などの iOS 端末がある。そのため、これらのデバイスにおいても使用可能な設計に変更が必要であると考ええる。

## 参考文献

- (1) 濱野和佳, 後藤学: “題名コロナ禍におけるオンラインコミュニケーションツールの利用状況と利用者の受け止め”, Journal of the Institute of Nuclear Safety System, Vol.28, pp.204-226 (2021) .
- (2) PRTIMES: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000648.000043465.html> ,(2024年1月23日閲覧).
- (3) Miro: <https://miro.com/ja/> ,(2024年1月23日閲覧).

# System Verilog を用いた RISC-V プロセッサの作成

竹本 伊織<sup>\*1</sup>

指導教員：吉田賢史<sup>\*1</sup>

Email: takemoto@akane.waseda.jp

\*1: 早稲田大学高等学院

◎Key Words RISC-V, パイプライン処理

## 1. はじめに

本稿では System Verilog を用いた RISC-V プロセッサの作成をおこなった。命令セットとして RISC-V の最低限度の部分のみで単純な **rv64i** を用いた。処理の高速化のために多段パイプラインと分岐予測を用いた。

本項では RISC-V 命令セットの構造、プロセッサの高速化の技法、パイプライン処理、プロセッサの検証手法について触れる。

## 2. RISC-V の特徴とモジュール化された構造

### 2.1 RISC-V 命令セットの概要

RISC-V は 2010 年に開発された命令セットである。開発は命令セットの単純性、拡張性、そしてオープンであることを主眼に置いて行われた。

ある特定の企業が所有するのではなく複数の団体が共同で管理する形態をとる点で従来の ARM や x86 と異なる。そのオープン性から多くの企業が使用している。

### 2.2 RISC-V 命令セットの拡張

RISC-V は基盤となるベース命令セットの上に必要なに応じて拡張命令セットを追加する形となっている。そのため命令数を抑えている。

ベース命令セットには基本的な算術演算、条件分岐、メモリアクセスが含まれる。拡張命令セットにはスーパーバイザを提供する S 拡張やマルチコアの同期をとる A 拡張がある。この構造により、互換性を十分に保ちながら用途ごとに命令セットを取捨選択し適切なプロセッサの設計を可能である。

## 3. プロセッサの主な高速化手法

### 3.1 RISC プロセッサの処理の流れ

プロセッサは命令を単位とし処理する。一命令の処理は大きく分けて 5 つのステージ **fetch**, **decode**, **execute**, **memory access**, **write** で行われる。

それぞれ **fetch** で命令をメモリから読み込み、**decode** で命令を解釈、**execute** で演算を実行、**memory access** で必要に応じてメモリへの読み書きを行い、**write** で実行結果を保存する。

### 3.2 パイプライン処理

パイプライン処理は、処理を行っている間ある

処理を実行する以外の部分が動作していないため、その部分のリソースを有効活用するために考案された。

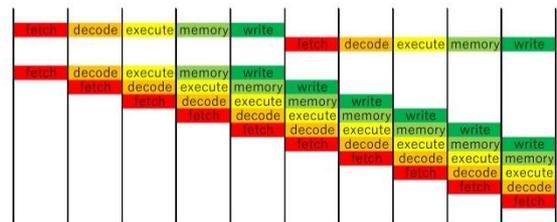


図1 パイプライン処理の概要

図1に非パイプライン処理とパイプライン処理の概要を示す。パイプライン処理では前の命令の処理が終わる前に次の命令の処理を開始する。これにより従来の逐次的な実行では休んでしまっていたリソースの効率的な使用が可能になる。ただし前命令の処理が確定していないうちの実行は不確定になるため、矛盾が生じないように回復する必要がある。

### 3.3 分岐予測

分岐予測はパイプライン処理の不確定な処理のミスによる性能低下を抑制するために考案された。不確定な処理の中で最も多いものは分岐命令である。分岐命令の実行結果を予測し不確定な処理の精度を上げることが分岐予測の主目的である。

典型的な手法としては命令のアドレスを用いて過去の履歴を格納した **bimodal table** にアクセスする方法がある。分岐命令は分岐の成否が命令ごとに偏っていることが知られている。**table** にはカウンタがあり分岐が成立ならカウンタを加算、不成立なら減算する。予測時にはこのカウンタにアクセスしカウンタの値が大きいなら成立と、小さいなら不成立と予測する。

しかし分岐にパターンがある場合に予測を外してしまう。そこで考案されたのが過去の分岐命令の分岐の成否のパターン情報のグローバル履歴を使用する方法だ。この方式ではグローバル履歴を用いて **table** にアクセスし **bimodal table** と同様に予測する。

### 3.4 スーパーカラ

パイプライン処理では休んでいるリソースの有効活用が行えるが、命令のある処理を同時に一つしか行え

ない。

そのため、スーパースカラでは処理ユニットを複数用意することでより多くの命令を同時に実行することが可能とする。スーパースカラでは複数の命令を同時に読み込みリソースが競合しない場合同時に実行する。

### 3.5 アウトオブオーダー実行

スーパースカラでは隣接する命令しか同時に実行できない。アウトオブオーダー実行では命令を多く蓄えて並び替え、順番通りでない実行を可能とする。

多くの命令を同時並列的に処理することで不確定な処理が多くなるため整合性を取るために多くの機構が必要となる。

## 4. プロセッサに用いた技術の実装

今回筆者はプロセッサに RISC-V の rv64i 命令セットを用い、多段パイプライン処理と分岐予測を実装した。パイプラインは `fetch`, `decode`, `execute`, `memory access`, `write` の五段とし、分岐予測にはグローバル履歴と分岐命令のアドレスを用いる `Gshare` を用いた。

多段パイプラインを実装するにあたり各ステージで受け渡されるデータを格納するレジスタを集中的に作成し、パイプラインの制御をこれらのレジスタへの書き込み制御という形で実装した。

分岐予測のミスが発生した場合は本来実行されてはいけない命令を無効化しプロセッサの状態を回復する。

パイプライン間では様々な競合が発生する。例えば、命令は `decode` 段で命令に必要な情報を得るがその情報が依存している命令がまだ `write` 段での書き込みを行っていない場合汎用レジスタから正しい情報を読み取れない。そのため実行を一時的にストールさせる。これがパイプラインハザードと呼ばれる現象である。直前の命令に依存する命令は多いため何の対策も行わなかった場合性能が大きく低下する。

そこでフォワーディングによる情報の供給を実装した。フォワーディングとは既に実行が終わり結果を得られている場合その結果を専用のデータパスから先行して読み出す。

ただし、直前のメモリ読み込みの実行結果については `execute` 段で分からないため、この場合のみパイプラインをストールさせる。メモリレイテンシは常に1としているので1サイクル分ストールさせる。

## 5. 分岐予測の実装

実装した分岐予測はグローバル履歴と命令のアドレスを用いる `Gshare` である。RISC-V は命令が 16bit または 32bit で固定されているため、命令アドレスの最下位 bit は常に同じ値となる。そのため、分岐予測テーブルへのアクセスには命令アドレスの最下位 bit は用いない。分岐予測テーブルは 4096 エントリーで各エントリーは 2bit の飽和カウンタを含んでいる。

グローバル履歴としては分岐方向履歴を使用した。分岐方向履歴は過去  $n$  個の分岐命令の分岐の成否を記録しておくもので、新しい分岐命令の結果を格納する際は最も古い履歴を追い出した後にシフトし空いた部

分に新たな履歴を格納する。

テーブルへアクセスするアドレスはグローバル履歴と分岐命令のアドレスの最下位 bit を除いた下位 bit を XOR 演算でハッシュして用いた。XOR はハードウェア的に簡便でかつ二つの情報がある程度含むことからプロセッサのハッシュ関数として適切である。

## 6. プロセッサの検証手法

### 6.1 System Verilog のシミュレーション

作成したプロセッサのシミュレータとして Vivado の波形シミュレータを使用した。検証ではシミュレーション結果をもとにテキストエディタで改善、再びシミュレーションの流れを繰り返した。

### 6.2 RISC-V 命令セットへの準拠の検証

プロセッサが RISC-V 命令セットの仕様を正しく実装できているかを確認するために `riscv-tests` を用いた。`riscv-tests` は拡張命令セットごとに検証用のプログラムが含まれており、プロセッサに実行させることで合否が分かるセルフチェックテストである。拡張命令セットに含まれる命令単位での検証が可能である。コンパイラは `riscv-gnu-toolchain` を用いた。

## 7. プロセッサの性能

プロセッサの性能の確認に CoreMark を利用した。CoreMark は主に組み込み向けプロセッサの性能測定に用いられており、OS なしのベアメタル状態でも実行が可能だ。移植に当たっては asfdrwe 氏のパッチファイルを利用した。実行結果は CoreMark Size が 666, Iterations が 10 で Total ticks が 3434018, CoreMark/MHz が 2.91 となった。このスコアは Cortex-M4 プロセッサおよび MIPS34K プロセッサと同等である。

## 8. おわりに

本稿では RISC-V プロセッサの作成及び高速化の技術について述べた。本稿のプロセッサでは多段パイプラインと分岐予測を用いた。紹介したが実装していないスーパースカラやアウトオブオーダー実行等の高速化技術や分岐予測の高精度化といった課題が複数ある。また、メモリレイテンシ等の理想化している部分もより現実的な条件に変更しなければならない。

今後の展望としてはこれらの技術を調査及び実装する。また、今回実装した命令セットでは単純な演算のみ行えることから浮動小数点演算等の拡張命令セットを追加する。

## 参考文献

- (1) 吉瀬 謙二, 片桐 孝洋, 本多 弘樹, 弓場 敏嗣: 「高性能プロセッサのための代表的な分岐予測器の実装と評価」, (2003) .
- (2) デイビッド・A・パターソン, ジョン・L・ヘネシー, 成田 光彰 訳: 「コンピュータの構成と設計 第2版」, pp402-491, 日経 BP (1999)
- (3) EEMBC: <https://www.eembc.org/>, (2023年12月25日閲覧).

CIEC 研究委員会

委員長：布施 雅彦（福島工業高等専門学校）

副委員長：鈴木 大助（北陸大学）

委員：

大岩 幸太郎（大分大学）

鳥居 隆司（椋山女学園大学）

落合 純（新潟経営大学）

三浦 靖一郎（徳山工業高等専門学校）

白土 由佳（文教大学）

森 夏節（酪農学園大学）

菅谷 克行（茨城大学）

吉田 賢史（早稲田大学高等学院）

筒井 洋一（筒井ラーニング Lab 合同会社） 李 凱（獨協大学）

CIEC 春季カンファレンス論文集 Vol.15 Proceedings of the CIEC Spring Conference 2024

編集：CIEC 春季カンファレンス論文集編集委員会

発行：CIEC 研究委員会

〒166-8532 東京都杉並区和田 3-30-22 大学生協会館内 一般社団法人 CIEC 事務局

出版年月日：2024 年 3 月 9 日

※この論文誌に掲載された著作物の複写，転載，翻訳などの許諾につきましては，CIEC のホームページ <https://www.ciec.or.jp/activity/regulation/copyright.html> 「著作権に関する規定」に準じます。