



CIEC

春季カンファレンス論文集 Vol.16

Proceedings of the CIEC Spring Conference 2025

開催日：2025年3月24日（月）

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	3
◎論文（査読あり）	
スマートフォンで撮影した 360 度全天球画像の VR ツアーにおける学習教材開発の可能性について - LiDAR データの有無による VR 画像内での距離測定活動の比較 -	7
福島工業高等専門学校 布施雅彦	
日韓の AI 教育に関する動向と一考察	15
大阪教育大学大学院 宋赫	
大阪教育大学大学院 若杉祥太	
大阪教育大学大学院 納庄聡	
スマートフォンを用いた放射線検出アプリの開発と科学教育アウトリーチへの展開 - 宇宙線検出アプリによる科学教育の新たな可能性 -	23
神奈川大学工学研究所 鷹野和紀子	
神奈川大学工学部応用物理学科 日比野欣也	
神奈川大学工学部応用物理学科 有働慈治	
ゲーム要素を取り入れた教育方法に関する要素分類と傾向の調査 - システムティックレビューによる 2010 年以降の研究動向を基に -	29
常葉大学大学院学校教育研究科 大多和秀樹	
常葉大学大学院学校教育研究科 石切山大	
常葉大学教育学部 酒井郷平	
◎速報論文（査読あり）	
統計的な問題解決のための図解表現を用いた授業実践と評価	36
大阪教育大学理数情報教育系 納庄聡	
大阪教育大学理数情報教育系 若杉祥太	
メタバース教育におけるデジタルリテラシーの役割	43
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 倉茂友社	
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行	
茨城大学人文社会科学部現代社会学科 石崎菜々美	
ゲーミフィケーションを取り入れた学習活動の教育実践 - Kahoot! の活用に注目して -	50
宮崎大学教育学部教育学研究科 小川智博	
日向市立財光寺小学校 下田航	
宮崎大学教育学部 小林博典	
コンセプトマップを用いた学習における創発的な対話を促進するグループ編成支援システムの構築	55
東京科学大学 徳竹圭太郎	
情報セキュリティ教育における高校生の生成 AI に対する意見の分析	63
神奈川県立相原高等学校 増山一光	
拡張可能な e ラーニング VR 中国語教材の開発 - 『鹿港慢旅時光～我和老屋の相遇～』を例として -	69
九州大学工学研究院 簡珮鈴	
大阪大学国際教育交流センター 難波康治	
Super720 Elton Su	
教育学部学生の生成 AI リテラシー育成を目的とした授業の設計と評価	76
琉球大学大学院教育学研究科高度教職実践専攻 加藤司	
◎ショートペーパー（査読なし）	
書籍媒体の違いによる文章読解過程の差異 - 視線移動データに基づく考察 -	83
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)

ドローンによる医療物資配送の最適化 - ESP32 の活用による専門知識・パイロットを必要としない高度・安価な自動配送飛行技術の開発 -	90
早稲田大学高等学院 黒木勇人	
アナログ文房具とデジタル文房具の比較実験 - 僕に合うベストな使い分けは？ -	92
市川市立稲荷木小学校 阿部恵睦	
Javascript を用いたゲームと、その公開プラットフォーム開発	94
大阪府立千里高等学校 岡本征己	
プロセッサでの高効率な命令並び替えについて	96
早稲田大学高等学院 竹本伊織	
肯定的なフィードバックを行う英会話練習支援 AI の開発	98
東洋大学附属牛久高等学校 北村乃愛・古賀千尋・小谷泰慶	
サソリモドキの移動する速さの計測	100
池田学園池田高等学校 新川千博・栗野颯真・内田梗介・小野健人	
九州のゲンジボタルを調査してわかった4つの明滅周期	102
池田学園池田高等学校 田口世南・早川葵	
・ CIEC 研究委員会	104

プログラム

開会式（開会挨拶、諸連絡）9:40～9:50

（徳山三浦工業高等学校） セッション1 専門座長	セッション1：ショットペーパー、一般論文	頁
	■ショートペーパー（9:50～10:05） 書籍媒体の違いによる文章読解過程の差異 - 視線移動データに基づく考察 - 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行	83
	■論文（10:05～10:25） スマートフォンで撮影した360度全天球画像のVRツアーにおける学習教材開発の可能性について - LiDARデータの有無によるVR画像内での距離測定活動の比較 - 福島工業高等専門学校 布施雅彦	7

休憩（10:25～10:35）

森棟隆一（白百合学園中学高等学校） セッション2 座長 孝博（早稲田大学高等学校）	セッション2：U-18	
	■U-18（10:35～10:50） ドローンによる医療物資配送の最適化 - ESP32の活用による専門知識・パイロットを必要としない高度・安価な自動配送飛行技術の開発 - 早稲田大学高等学院 黒木勇人	90
	■U-18（10:50～11:05） アナログ文房具とデジタル文房具の比較実験 - 僕に合うベストな使い分けは？ - 市川市立稲荷木小学校 阿部恵睦	92
	■U-18（11:05～11:20） Javascriptを用いたゲームと、その公開プラットフォーム開発 大阪府立千里高等学校 岡本征己	94
	■U-18（11:20～11:35） プロセッサでの高効率な命令並び替えについて 早稲田大学高等学院 竹本伊織	96
	■U-18（11:35～11:50） 肯定的なフィードバックを行う英会話練習支援AIの開発 東洋大学附属牛久高等学校 北村乃愛・古賀千尋・小谷泰慶	98
	■U-18（11:50～12:05） サソリモドキの移動する速さの計測 池田学園池田高等学校 新川千博・栗野颯真・内田梗介・小野健人	100
	■U-18（12:05～12:20） 九州のゲンジボタルを調査してわかった4つの明滅周期 池田学園池田高等学校 田口世南・早川葵	102

昼休み（12:20～13:30）

森夏節 セッション3 農学園大学 3座長	セッション3：一般論文	
	■速報論文 (13:30～13:50) メタバース教育におけるデジタルリテラシーの役割 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 倉茂友杜 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 菅谷克行 茨城大学人文社会科学部現代社会学科 石崎菜々美	43
	■速報論文 (13:50～14:10) 教育学部学生の生成AIリテラシー育成を目的とした授業の設計と評価 琉球大学大学院教育学研究科高度教職実践専攻 加藤司	76
	■論文 (14:10～14:30) 日韓のAI教育に関する動向と一考察 大阪教育大学大学院 宋赫 大阪教育大学大学院 若杉祥太 大阪教育大学大学院 納庄聡	15
休憩 (14:30～14:40)		
李凱 セッション4 協成大学 4座長	セッション4：一般論文	
	■速報論文 (14:40～15:00) 拡張可能なeラーニングVR中国語教材の開発 - 『鹿港慢旅時光～我和老屋的相遇～』を例として - 九州大学工学研究院 簡珮鈴 大阪大学国際教育交流センター 難波康治 Super720 Elton Su	69
	■速報論文 (15:00～15:20) ゲームフィクションを取り入れた学習活動の教育実践 - Kahoot!の活用に注目して - 宮崎大学教育学部教育学研究科 小川智博 日向市立財光寺小学校 下田航 宮崎大学教育学部 小林博典	50
	■論文 (15:20～15:40) ゲーム要素を取り入れた教育方法に関する要素分類と傾向の調査 - システムティックレビューによる2010年以降の研究動向を基に - 常葉大学大学院学校教育研究科 大多和秀樹 常葉大学大学院学校教育研究科 石切山大 常葉大学教育学部 酒井郷平	29
休憩 (15:40～15:50)		

セッション5：一般論文		
鳥居 隆司 ショウ ヨシ 山 5 女 座 学 園 大 学	■速報論文 (15:50～16:10) コンセプトマップを用いた学習における創発的な対話を促進するグループ編成支援システムの構築 東京科学大学 徳竹圭太郎	55
	■速報論文 (16:10～16:30) 統計的な問題解決のための図解表現を用いた授業実践と評価 大阪教育大学理数情報教育系 納庄聡 大阪教育大学理数情報教育系 若杉祥太	36
	■速報論文 (16:30～16:50) 情報セキュリティ教育における高校生の生成AIに対する意見の分析 神奈川県立相原高等学校 増山一光	63
	■論文 (16:50～17:10) スマートフォンを用いた放射線検出アプリの開発と科学教育アウトリーチへの展開 - 宇宙線検出アプリによる科学教育の新たな可能性 - 神奈川大学工学研究所 鷹野和紀子 神奈川大学工学部応用物理学科 日比野欣也 神奈川大学工学部応用物理学科 有働慈治	23
閉会式 表彰、閉会挨拶(17:10～17:30)		

一般論文
(査読あり)

スマートフォンで撮影した 360 度全天球画像の VR ツアーにおける学習教材開発の可能性について

- LiDAR データの有無による VR 画像内での距離測定活動の比較 -

Potential Capability for Developing Educational Materials in VR Tours Using 360-Degree Panoramic Images Captured by Smartphone

- Comparison of Distance Measurement Activities in VR With and Without LiDAR Data -

布施 雅彦*1

Email: mfuse@fukushima-nct.ac.jp

*1: 福島工業高等専門学校

抄録

360 度カメラの登場により、360 度全天球画像（以下 VR 画像）の撮影が容易になり、現実世界の事象を仮想空間で再現するデジタルツインが身近なものとなった。そして、今後教育の現場でもその活用が広がると予想される。従来の活用方法の大半が映像の視聴に限られていたが、技術の進歩により VR コンテンツ内で長さを測ることが可能となった。これにより、視聴するだけの活動にとどまらず、仮想空間で長さを計測する教育活動が可能になると考えられる。

また、高価な VR 専用カメラではなく、教員や生徒が日常的に利用しているスマートフォンのカメラを用いて VR 画像を制作し、教員や学生に測距活動を行わせ、その精度を分析した。さらに、スマートフォンの LiDAR 機能を利用した VR 画像と利用しない VR 画像の測距精度も比較した。撮影条件にもよるが、どちらの VR 画像でも測距精度の誤差は±10%程度と、特に LiDAR 有りの VR 画像の精度は非常に高い。また、LiDAR 無しの VR 画像においても、その目的や特徴を理解すれば、十分に教育活動に利用できることがわかった。

Covid-19 の影響で校外観察などに制限がある中、VR ツアーによる疑似体験活動の機会が増え、VR での観察が進んだ。今後は、さらに測距可能な実習を加えた VR コンテンツの制作と授業での体験がより身近になると考えられる。

©Key Words VR, LiDAR, スマートフォン, デジタルツイン, 疑似体験学習

1. はじめに

360 度全天球画像（以下 VR 画像）を利用した教材の開発に、約 20 年に渡り取り組み、数多くの VR コンテンツを制作してきた。布施ら(2003, 2005)の地域 VR 教材において、VR 画像を利用した教材は貴重であったが、当時は一般的な回線では ISDN や ADSL などの低速回線が多く、フィルタリングなどで学校での視聴環境に制限がありアクセスが難しかった⁽¹⁾⁽²⁾。布施ら(2011)の常磐炭鉱を利用した VR 教材では、制作した 2010 年の翌年に東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生し、郊外活動の自粛や、一部地震の影響で崩落があり、リアルな見学とバーチャル見学の融合が難しく教材は機能しなかった⁽³⁾。数年後に、モバイル端末での動画ガイドを利用した視聴教材や、QR コードを設置した解説動画の配信で、VR 画像以外の部分的な活用に残った。

その他、多くの VR 画像を利用した VR ツアーや VR アーカイブ・VR 教材は、配信環境、端末など視聴環境などに問題があり、授業で活用するまでに至らなかった⁽⁴⁾。最大の課題は、VR 画像のリアル感に基づいた興味関心の部分が強調され、VR でなければできない活動になっていないことである。

しかし、近年になると VR 画像で視聴することが目的の教材も増えてきた。白井ら(2020)では、美術科の鑑賞教材として、屋外展示物の VR 画像を用いて、生徒と教

員、様々な視聴デバイスによる鑑賞の違いについて調査し有効性について検証している⁽⁵⁾。また、西澤ら(2022)は、地層の堆積環境の観察にアクションカメラで撮影した VR 動画を活用し、地学の観察学習について取り組み検証している⁽⁶⁾。どちらの論文にも、制作した VR の画質や教材を、実際に確認できる URL などが論文に掲載されておらず、具体的な VR 画像（教材）の画質等を確認することができなかった。

また Covid-19 の影響で郊外活動が制限されたこともあり、VR ツアーを「利用したい」「制作したい」という需要があり、すでにネット上には、専門業者や専門の団体、行政などが、多くの VR ツアーを掲載している。身近なところでは、いわきデジタルミュージアム⁽⁷⁾では、16 個の VR ツアーが制作され、特徴的なものとして国指定史跡「中田横穴」で、普段は一般公開（年 1 回）されておらず、VR だから体験できる。また、アンモナイトセンター内化石包蔵地では、立ち入ることができない包蔵地を VR で探索し、アンモナイトの大きさを計測できる。さらに、VR 革新機構では、国立科学博物館の「おうちで体験かまくら VR⁽⁸⁾」を代表にボランティア活動⁽⁹⁾として数多くの施設の VR 化に取り組み、教材として利用可能なコンテンツがある。しかしながら、制作目的がデジタルアーカイブ・観光案内が多く、教育利用や教材として VR ツアーのみではやや不十分と感じる。また、一般的に、外部の専門業者に VR ツアーの制作を依頼する

と高価であり、自分で制作するには機材が高価、高度な技術が必要、多くの制作時間が必要と躊躇している教員も多いと推測する。しかし、自分で地域のVR教材を作りたい、生徒のGIGA スクールの端末で学習させたいと考える教員もいると推測する。

本研究では、従来のVR画像の鑑賞や観察などの活動だけでなく、新しい活動として、VR画像で、誰もが簡単に「長さの計測」「測距」が可能な教材ができないか検討した。またVRの教材開発において、高価で高精度なVRカメラを利用して教材開発をするのであれば可能なことは多い、そして教材開発に多くの時間が必要であれば、限られた教員しか教材開発ができない。そこで、布施(2024)は、身近なスマートフォンとMatterport社のシステムを利用して、低価格で、制作時間も短く容易にVRツアーを開発する方法を紹介している⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。そして、今回は、教員でも学生でも身近に持っているスマートフォンを利用して、全天球画像を利用したVR画像を用いて、長さを計測するVRツアーを制作した。実際に「VR画像で長さの計測」を実施し、リアルな長さと比較して検証を試みた。さらに、近年では、光によって距離を計測するLiDAR(Light Detection And Ranging)搭載のスマートフォンも発売され、LiDARの有無による精度の比較も実施した。

2. VR画像での測距について

2.1. VR画像の測距検証用VR画像の制作

今回は検証用に、下記のA、B、Cの3つのVR画像を準備した。ひだまりカフェは、福島高専内にある休憩スペースで、自動販売機などがあり、主に学生が自由に利用できる場所である。

A ひだまりカフェ(LiDARあり)

<https://my.matterport.com/show/?m=JnoHwEQQBgP>

B ひだまりカフェ(LiDARなし)

<https://my.matterport.com/show/?m=lytUMCih96C>

C 小名浜の地層(LiDARなし)

<https://my.matterport.com/show/?m=SHADCzHXcV7>

制作に利用した撮影機材は、AはApple社のiPhone15 Pro(LiDAR機能オン)、Bは同iPhone15 Pro(LiDAR機能オフ)、CはApple社のiPhone14(LiDAR機能なし)を利用した。利用したスマートフォンのアプリは、「Matterport」で、専用三脚(Matterport Axis)を利用して撮影した⁽¹¹⁾。なお、「Matterport」アプリは、iPhoneではApple Store、AndroidではGoogle Playからダウンロードしてインストールが可能である。1地点の撮影は、スマートフォンを自動回転させ1回転で6枚、2回転で6枚の計12枚撮影とした。

図1は、ひだまりカフェの図面で、①～⑤の5地点でLiDARあり/なしで360度のVR画像の空間撮影をしたものである。図1の①は図中の上側の壁から1m、②は3m、③は5mの地点である。④ではパネルや自動販売機・TVなど機器があり、⑤の地点では①では正面のものが斜めから見ることになる。

図2はLiDARの有無で、図1で示した5地点の撮影時間のグラフである。LiDARありが約74秒で、LiDARなしが約30秒となった。LiDARなしの方が半分の時間で

撮影が可能である。利用したスマートフォンの性能によっても撮影時間は異なると思われるが、撮影箇所が多い場合は考慮して制作する方が良い。



図1 ひだまりカフェ測定地点

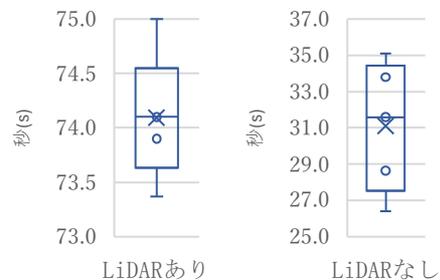


図2 LiDAR有無による撮影時間の違い

2.2. VR画像の測距

図1の①～④の地点において、LiDARありのVR画像で①31点②39点③17点④7点の計94点、LiDARなしのVR画像では、①27点②28点③14点④5点の計74点を計測した。

2.3. VR画像の測距の評価

2.3.1. 測定誤差の分布

図3、図4に、測定の誤差の分布を、図4は図3を拡大したものを示す。図4のグラフに示されるように、約1割の外れ値を除去すれば、誤差は小さく、ほとんどが±数%以内に収まり、広く見ても±10%以内に収まっていることがわかる。全体を見れば「LiDARあり」の方が「LiDARなし」よりも精度が高いが、撮影条件や測定条件が良ければ精度の差は非常に小さいことがわかった。長さを計測する精度が教育目的に対して必要十分であれば、LiDARなしのVR画像による測距活動を教材化することが可能になり、LiDARを搭載していない多くのスマートフォンの利用が検討できる。

2.3.2. 測定誤差が大きくなる要因の検証

図3および図4におけるPとQのように測定誤差が大きくなる要因について、以下の通り検証する。

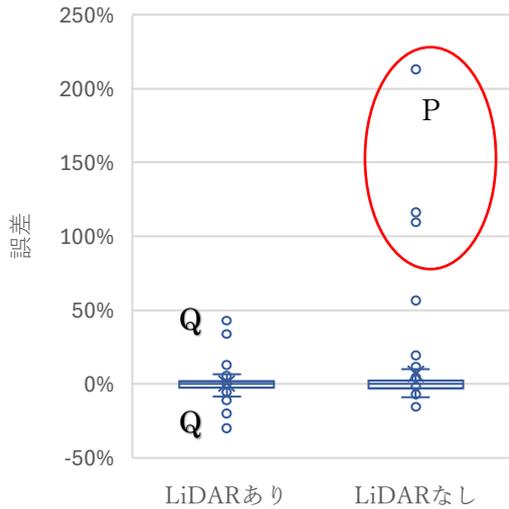


図3 LiDAR あり/なしによる測距誤差の分布 1

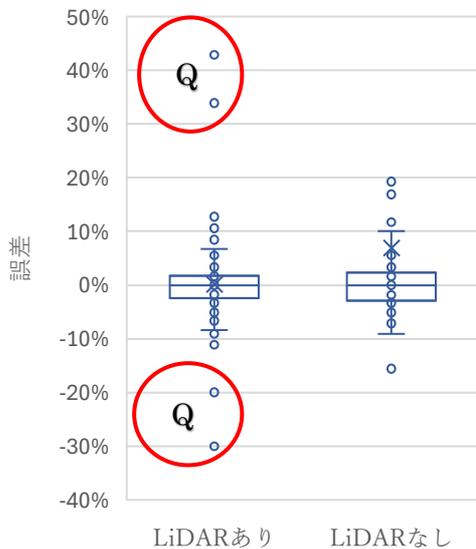


図4 LiDAR あり/なしによる測距誤差の分布 2 (図3の拡大図)

1. VR 画像の撮影品質が悪く、画像合成のミスがある場合。
2. カメラに対して斜めの角度で撮影した場合。
3. 空間の上下に位置する場合。
4. 対象物がカメラから離れていて画像が小さい(解像度不足)ため、正しく選択できないケースがある。
5. 対象物の角を正しく選択できない場合。
6. 対象物が小さい場合や、図5に示す円柱形のティッシュ箱のように選択が困難な場合。

図5は、地点⑤から測距した際の画像で、図6は、その時の地点①の画像である。図6より、斜めの位置から測距した箱の測距点のズレを確認することができる。

カメラに正対している時は影響が少ないが、斜めから立体的に測距を行うと誤差が大きくなる場合や正しく計測ポイントを選択できていないことがある。

以上の結果から、撮影時の課題や長さを計測する際の特徴を理解し、これを教材に組み込むことが重要であると考えられる。

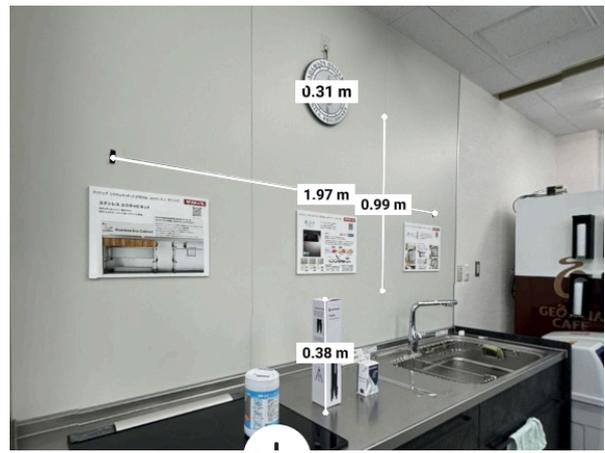


図5 ⑤の地点からの計測

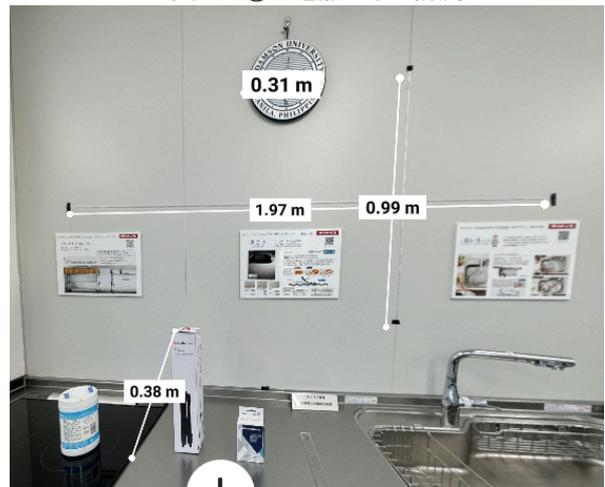


図6 ⑤地点の計測結果を①地点から閲覧

3. 学生によるVR 画像での測距活動

3.1. 学生のVR 画像の測距について

福島高専1年生に、2024年9月の夏休み中に、オンラインでアナウンスし、VR 画像での測距実験の協力を依頼した。PDFで実験の説明を行い、動画で実際に測距の操作の方法や注意事項などを準備した。そして、学生男女46名を被験者とし、測距した数値を紙に記録させた。その後、MicrosoftのFormsを利用してオンラインで結果を入力させた。

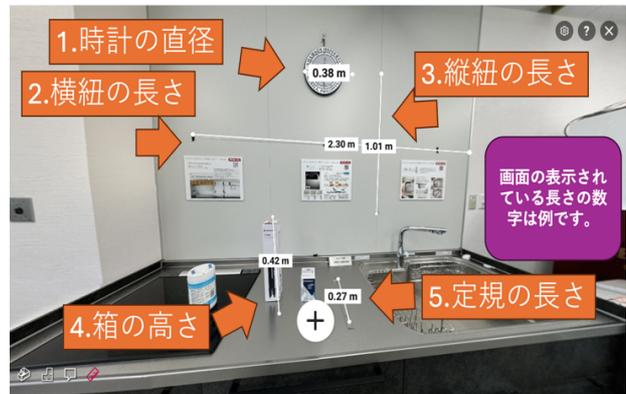


図7 ひだまりカフェの測距の5点

3.2. 学生によるひだまりカフェの測距活動

学生の測距場所は、壁から1m離れた図1の①地点であり、図7の正面の時計直径と横紐・縦紐の長さ、箱の高さ、奥行きのある30cm定規の部分の5点、LiDARありとLiDARなしで合わせて10点である。

表1 学生の測距活動の平均誤差と標準偏差

測定対象物	LiDARあり	LiDARなし
時計(0.3m)	2.1%±2.4%	-0.3%±3.9%
横線(2m)	-0.4%±1.0%	-0.27±4.5%
縦線(1m)	-1.6%±7.3%	-4.7%±1.9%
箱の高さ(0.375)	-5.1%±2.5%	2.7%±13.1%
定規(0.3m)	-3%±6.6%	7%±10.4%

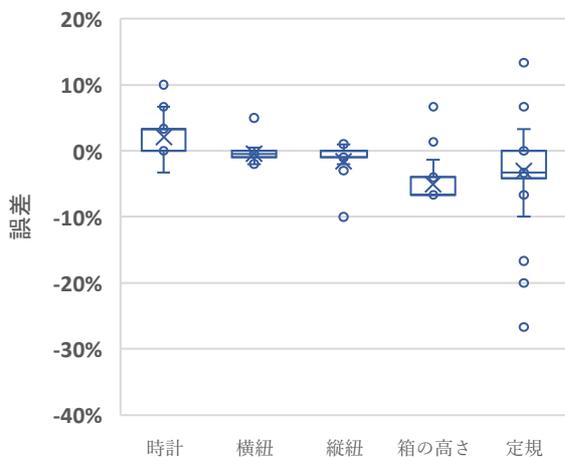


図8 LiDAR ありの各ポイントの測距誤差

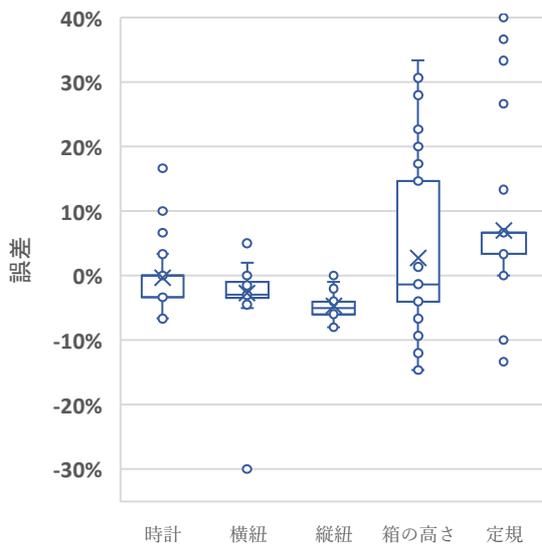


図9 LiDAR なしの各ポイントの測距誤差

表1および図8, 9から、学生の測定結果の精度の特徴が読み取れる。LiDAR ありの標準偏差はLiDAR なしよりも小さく、LiDAR ありの場合の誤差が小さいことが示

されている。しかし、その差は僅かであり、特に正対している時計の直径や縦横紐の3点については、両者ともに高い精度を示し、初めての学生でも正確に測定できている。ただし、時計は小さい対象物であるため、縦横の紐に比べて誤差がやや大きい。箱の高さについては、小さな対象物であるため、測定箇所の設定技術に差が生じる。合わせる場所の設定や Shift キーでの調整など、経験や丁寧さによって数値が異なり、誤差が増大したと考えられる。同様に、30cmの定規についても、正対している場合は時計と同じ長さが得られるが、キッチンの上に手前から奥に向かって配置されたため、誤差が大きくなったと考えられる。結果として、著者が実施した傾向とほぼ一致する結果となった。

今回の学生の測距実験では、資料と解説動画のみを用いたネットでの案内を実施し、具体的な授業時の指導は一切行っていない。特にLiDARなしの場合、精密な始点終点ポイントを指定するためには、Shift キーを押しながら場所を拡大し、正確にクリックする必要がある。この操作は動画の後半部分で説明されているが、最後まで説明を聞いていない学生がいるのではないかと感じられる数値も見受けられた。実際の授業であれば、教員が立ち会い、個別にVR画像の計測方法についてアドバイスを行うことができるため、測距の精度は向上すると考えられる。授業で測距の活動を行う際には、十分に計測の長所と短所を把握し、VR画像での大きさの把握や長さの測定に関する活動を行う必要がある。また、VR制作側も、画像合成にズレのないVR画像を提供し、計測する対象物の大きさや配置、距離などが適切であれば、VR画像を利用して長さを計測する活動が可能であると言える。

表2 LiDAR ありのVR画像での測距活動の評価

項目	とても簡単	まあまあ簡単	普通	少し難しい	とても難しい	総計
	大変正確にできている	1	1	0	0	
大体できている	6	13	9	3	1	32
わからない	0	2	1	2	0	5
少し不正確	1	2	3	1	0	7
あまり正確でない	0	0	0	0	0	0
総計	8	18	13	6	1	46

表3 LiDAR なしのVR画像での測距活動の評価

項目	とても簡単	まあまあ簡単	普通	少し難しい	とても難しい	総計
	大変正確にできている	0	0	0	0	
大体できている	1	8	5	2	1	17
わからない	0	1	5	6		12
少し不正確	1	1	4	5	2	13
あまり正確ではない	0	0	0	1	3	4
総計	2	10	14	14	6	46

3.3. 学生によるひだまりカフェの測距活動の評価

学生に活動についてアンケートを実施し、表2、表3にまとめた。LiDAR ありの回答者のうち「〇〇〇簡単」と感じたのは半数以上だったが、LiDAR なしではその割合は全体の約1/4にとどまった。また、「〇〇〇難しい」と答えた学生は、LiDAR ありの場合の約3倍となった。さらに、測距が正確にできていると感じた学生も半減している。LiDAR が搭載されたスマートフォンを使用して制作したVR 画像では、光を発光しその反射光を光センサーで捉えて距離を測定するため、測距活動が比較的快適であるのは当然と言える。加えて、先にLiDAR ありで測距を行い、次にLiDAR なしで行ったため、LiDAR ありの測距の感覚が残っている部分も影響していると考えられる。

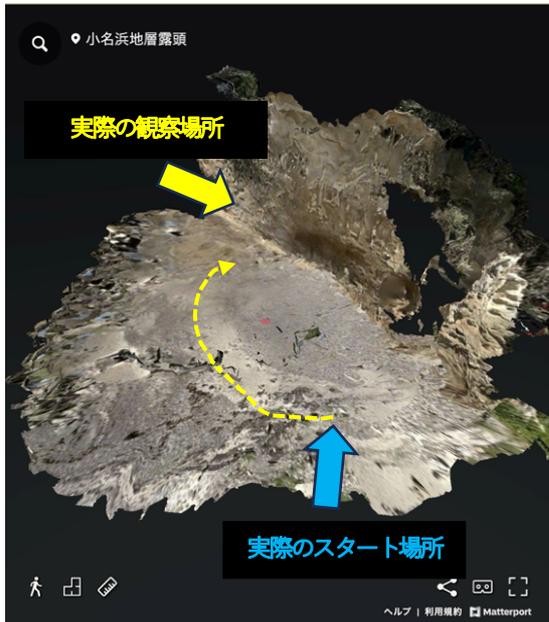


図10 小名浜の地層 VR



図11 小名浜の地層の各層の観察と厚さを計測

3.4. 屋外の地層での測距活動

より教材化の実践に近い形を想定し、福島県いわき市小名浜下神白小の三崎 (36° 56' 5" N, 140° 55' 18" E) にある地層をVR ツアー化した。VR ツアーでは、

撮影ポイント数は13地点であり、図10に示すように地層のVR ツアー全体の様子をスタート位置からVR 画像を探索しながら実際の観察場所に移動できるように制作した。図11にあるように、C1とC2の2箇所での層の厚さを計測する活動を学生に指示した。本来の授業での活動においては、地層をスケッチしたり自由に層の厚さを計測したりすることが期待されるが、今回は計測のみとし、気づいた事柄についてコメントをさせた。実際の地層の層の厚さ、計測結果の精度については、比較して求めている。あくまでもバーチャルな世界での測距である。精度を求め、業務的な利用を考えるなら、この手法は向かないかもしれない。あくまでもLiDAR なしで、地層が約1m離れた地点での撮影である。

表4 C1とC2の平均誤差と標準偏差 (単位 m)

	C1	C2
平均	0.72m	0.86m
標準偏差	0.10m	0.16m

表4や図12、図9のLiDAR なしのひだまりカフェの測定と比較しても、傾向は似ており、近い精度であると推測される。また、地層は、様々な方向へ傾いていたり、歪んでいたり、反って飛び出していたり、計測場所により層の厚さも異なり実際の計測は難しい。しかし、おおよそ測距活動により、地層の層の厚さを比較し、VR 画像でも感覚的に大きさについて感じる事ができたと考えられる。

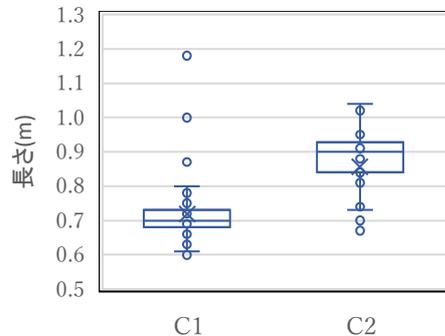


図12 LiDAR なしの地層の測距誤差

3.5. 屋外のヴァーチャルな地層観察の評価

表3の室内のLiDAR なしの評価と、表5の屋外の評価を比較する。「〇〇〇簡単だった」が約2倍に、「難しくかった」は減少した。「迷った」が、実際にスタート地点から観察場所までの移動に迷ったのか、それとも実際に層の測距を選ぶ地点を迷ったのかは、不明である。しかし、VR 内を工夫して探索しているのではないかと考える。そして、約74%の学生が、「とても楽しかった」「どちらかという楽しかった」と回答した。室内の実験のように目の前に表示された画像から計測するという活動より、実際にVR 画像内を移動して、目的の地層に辿り着くという過程や、VR 映像がリアリティを感じ

させ、興味、関心を向上させていると思われる。

表5 地層の測距活動の評価

項目	とても簡単だった	まあまあ簡単だった	普通	少し迷った	難しかった	合計
とても楽しかった	6	3	3	2		14
どちらかという楽しい	3	5	1	9	2	20
わからない		1	1			2
どちらかというつまらない			1			1
つまらない				1		1
無回答	1	2	4	1		8
合計	10	11	10	13	2	46

3.6. VR 画像での観察のコメントの一部

下記に地層での活動に関するコメントを示す。ここで、●は地層に関する事柄であり、■はVRでの観察に関する事柄、◆は全体活動のコメントの一部である。コメントは学生のリアルな言葉であり、今後の教材開発や授業計画への足がかりとなり、非常に貴重な意見が多数見られたため、可能な限りそのまま記載した。

- 1番下の層(C2)が見た目から推測するに、砂岩であると思われる。そして、その上の層(C1)との間に貝殻のようなものが混じっている層が見えるため、ここは元は海の中であったと考えられる。」
- C2は見た目が明るく、粒が小さいから砂岩っぽい。C1はわからない。
- C2の層はれき・砂・泥とわかりやすくなっているのに対して、C1はなんという層なのか、なにによって作られた層なのかわからなかったの、知りたいなと思いました。
- C1の層とC2の層の間に礫岩のようなものがある
- この地層では、堆積しているれき(石のこ)が丸い形状だったことから、凝灰岩ではなく、れき岩、砂岩、泥岩のいずれかであることが分かりました。また、下かられき岩、砂岩、泥岩、れき岩、砂岩、泥岩の順に6層の地層が確認できました。また、れき岩、砂岩、泥岩の順で堆積していたことから、海の深さはだんだん深くなっていたことが分かりました。
- 上のほうの岩肌が反り返っているところを観察すると、その岩肌が飛び出てバーチャル空間だと認識できた。
- 実際に観察するだけでなく、バーチャルに観察しても詳しく見ることができることを知りました。
- 実際には危険で行けないところにもバーチャル空間でなら行けて、それが役に立つことが分かった。
- バーチャル空間内を移動するのは何度もやったことがあったが計測するのは初めてでタップするだけで測れて楽しかった。
- それぞれの地層によって模様が違ったり、粒の大き

さが違ったりすることがバーチャル空間でも分かりました。

- ◆ バーチャル空間で計測して少しのずれで長さが変わったりして計測が難しかったです。
- ◆ 開発方法の差で計測のしやすさが異なることが分かった。
- ◆ 毎回をはかるときにずれてたいへんだったが、shiftキーでずればほぼなくなりました。遠くからはかるだけで長さがわかるのがすごいと思いました。
- ◆ Bのバーチャル空間の測定が難しかった。それに比べてAのバーチャル空間の測定は比較的簡単だった。
- ◆ 今後、感触や味覚、嗅覚などの物理的な感覚を再現できるようになったらすごいと思った。
- ◆ サイバー(バーチャル)空間でも、ものの長さがだまかに測れるということを知り、冷蔵庫やダンスなどの大きいものを測るのに適しているなど思いました。
- ◆ 今までやったことのない経験でとても興味深かった。
- ◆ 自分の部屋にいるのに海岸にいるようで楽しかった。海や海岸がとてもきれいだった。
- ◆ 画質が悪くなると思っていたのですが、実際には画質がとてもよく観察するのが楽しかった。
- ◆ LiDAR ありのほうが、しっかり物体の形を捉えていると感じた。
- ◆ 作業は難しかったけど、またやってみたいと思いました。
- ◆ 初めて仮想空間を散策するという経験ができた。計測は少し難しかったが楽しかった。
- ◆ 本当に計測しているような感じでした。楽しかったです。
- ◆ 計測しようとは思わないところを計測して楽しかったです
- ◆ 最初は操作になれず時間がかかってしまいましたが、段々慣れていくうちにスラスラとできるようになり楽しみながら測ることができた気がします。
- ◆ 初めてで計測に時間がかかってしまった。色々見て回れたので新しい発見があった。
- ◆ VRを使って縮尺を測るのは初めての経験だったため、思っていた以上にのめり込んでいた。今後こういうものがあたらだんどんやってみたい。
- ◆ 小名浜地層がきれいだった。行ってみたいと思った。

コメントから、楽しく興味深く活動を行うことができている様子がわかる。また、一部の地層の観察において、かなり詳細に観察している学生がいることがわかる。実際の授業において観察に利用することも可能ではないかと思われる。西澤他(2022)では、アクションカメラでVR動画を撮影し、YouTube VRを利用して配信し、教育効果の評価を得た。VR制作環境において、YouTube VRの動画よりも、今回のスマートフォンを利用した制作環境であれば、専用カメラを購入する必要もなく、画質の向上が図れ、観察場所の移動も容易になると考えら

れる。

3.7. 今回の活動を通してVRについての感想の一部

今回のVRの活動を通して感じたことについて、学生からコメントをいただいた。特筆する内容を抜き出し紹介する。また、学生には今回のVRツアーを、スマートフォンで制作したことについては伝えていない。

表6 VRツアーサイトを作ってみたいですか？

項目	人数
すぐにでも作ってみたい	1
時間があれば作ってみたい	40
あまり興味はない	1
わからない	4

表6は、体験後の制作意欲についてである。46名中41名が「作ってみたい」と回答した。実際に、直ちにネットで作り方を調べ、自ら取り組むことは難しいと考える。しかし、もし同様に興味のある教員への調査を行った場合、VR教材制作へ興味を示してくれる可能性はあると考えられる。下記は実験に参加した学生のVRに関する感想の一部である。

- ※ データとして空間そのものをデジタル上にコピーするのは、様々なことを現実で行う前の事前検証とかに使えそうだととても便利だと思いました。
- ※ バーチャル空間を利用することで、現実でやるのが危険や状態を損なうような場所でもこのように測ることができるのはとてもすごいことだと思った。自分たちが社会に出るときにはこういうことが当たり前になるかと思うとワクワクする。
- ※ この実験でVRにとっても興味がわいた。また、サイバー空間で計測できると、遠いところで計測するときにとっても便利になると感じた。
- ※ このような現実から生成されたVR空間だけでなく、一から制作された仮想空間 (VRChat等) についてについても経験してみたいと感じた。
- ※ 今回の実験を通して、VR画像を活用すれば自分の部屋にいながら様々な景色を見ることができると分かった。
- ※ 今回のVR空間で本物の空間と同じような空間をコンピューターの力で作り出せることに驚きました。
- ※ またこうした現実そっくりの空間を作り出せたら、実際にはいくことができないような場所にも行ったような感覚を得ることができたり、より視覚的に学ぶことによってより深い理解を得たり、と幅広い活用ができ、社会に大きく貢献することができるようになるとと思いました。
- ※ VRゴーグルをずっと前から欲しいと思っていてまだ購入していなかったので、今回バーチャル空間の測定をしてみてさらに欲しくなりました。このバーチャル空間もゴーグルをつけていたらもっと立体的に見えていたのかもしれないと思うとゴーグルをつけてもう一度見てみたいと思いました。

- ※ バーチャルが発展することで生活が豊かになり、色々な問題を解決するための研究に活かせるようになってほしいと思いました。
- ※ 今回は貴重な体験をすることができたと思う。今回の体験をしてVR技術に興味を持ったので、時間があれば自分でも挑戦してみたいと思う。
- ※ VRをもし作れるようになったら、自分の好きな場所をVR化できるので面白いなと思いました。
- ※ こんなにバーチャル技術がすぐ近くにあるとは思っておらずびっくりしました。

4. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

VR画像の観察活動のうち、長さを測る測距活動も可能である。そして、測定対象物までの距離が1m~3m程度で、対象物が0.3m~2m程度であれば、初心者でも数~10%以内の誤差で計測できる。また、LiDARの有無については、LiDAR機能を利用したVR画像の方が、精度も高く測距活動も容易である。しかし、LiDARを利用していないVR画像においても、その短所を理解し補えば測距活動は可能である。撮影に利用できるスマートフォンの種類が多いことを考えれば、LiDARなしは汎用的である。

地層のVR画像の観察実験から、LiDARなしのVR画像の教材で、測距活動を含む観察活動の両方ができ、画像が汚い・表示が遅い・操作ができないなど、質の面でのコメントはなく、教材としての画像、操作性の問題はなかった。最後に、学生は、実験を通してVRやVR制作にも興味関心を示した。

以上のようなことから、LiDARの有無に関わらず身近なデバイスであるスマートフォンを利用して、360度全天球VRツアーを制作し、測距可能なVR教材制作のための糸口を掴むことができた。ただし教材開発においては、測距精度に関しては、業務のプロ用機器とは異なり実験で示したような誤差があり、測距精度も操作の習熟度で結果は異なる。活動が教育目標に適しているか検討は必要である。そのような条件を満たせば、今回のスマートフォンでのVR教材化は、教員自身で身近なVR教材の制作と、VRの閲覧から一歩進んだ測距というアクティブな学習活動に発展可能であると考えられる。

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擬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, Vol. 18, 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: “全天球映像(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).
- (5) 白井昭子, 佐藤克美, 堀田龍也: “美術科の鑑賞教材のお

- ける全天球カメラの活用に関する一検討”, CIEC 春季カンファレンス論文集, Vol. 11, pp. 47-50, (2020)
- (6) 西澤 輝, 吉田 賢二, 三野 弘文: “堆積環境の推定を目的とした中学生向け VR 野外観察プログラムの開発と実践”, コンピュータ&エデュケーション, Vol. 53, pp. 58-63, (2022)
- (7) いわきデジタルミュージアム, <https://iwaki-museum.com/VR/>, (閲覧日 2024. 11. 21) .
- (8) おうちで体験がはく VR, <https://www.kahaku.go.jp/VR/>, (閲覧日 2024. 11. 15) .
- (9) VR 革新機構ボランティアの実績, https://VRio.jp/member_works_all.html , (閲覧日 2024. 11. 15) .
- (10) 布施雅彦: “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”, CIEC 春季カンファレンス論文集, Vol. 15, pp. 65-68, (2024) .
- (11) Matterport Axis, <https://matterport.com/ja/axis>, (2024 年 11 年. 18 日) .

(2024 年 11 月 25 日 受付)

(2025 年 2 月 3 日 採録)

日韓の AI 教育に関する動向と一考察

A Study and Consideration on Trends in Artificial Intelligence Education in Japan and Korea

宋赫*・若杉祥太*・納庄聡*

Email: hyeok21@korea.kr

*: 大阪教育大学大学院

抄録

AI 技術が急速に発展する中、教育現場でも AI 教育の重要性が増している。日本政府は初等中等教育段階における生成 AI の利用についてガイドラインを発表し、韓国政府は 2022 年に教育課程を改訂して、小学校から AI 教育を全面的に導入した。AI 教育が今までにない分野であるため、国ごとに差異が生じると考えられる。本研究では、AI 教育の 4 つの観点 (AI 理解教育, AI 倫理教育, AI 活用教育, AI 融合教育) に基づいて比較した。その結果、日本は情報活用能力とリテラシー教育を重視し、高等学校と大学を中心に AI 教育を実施しているのに対し、韓国は AI 融合教育に重点を置き、小学校段階から AI 教育を行っていることが分かった。また、AI 教育の課題として、①「AI 教育の位置付け」、②「情報教員数の拡充」、③「AI 倫理教育の迅速な導入」を挙げた。

◎Key Words AI 教育, 情報教育, リテラシー教育, AI 融合教育, 韓国 2022 改訂教育課程

1. はじめに

人工知能 (以下、AI; Artificial Intelligence) 技術の急速な進展は、社会全体に大きな変化と新たな挑戦をもたらしている。特に、COVID-19 パンデミックや GIGA スクール構想、生成 AI の登場により、教育現場は急速に変化し、不確実性も増大している。

AI の進展により、教育は重要な岐路に立たされ、重要な選択を迫られている。AI 技術が活用された教科書やアプリケーションの開発により、「個別最適な学び」が可視化され、学習の本質が再発見されたことで、教師や学校の役割にも変化が求められている。

韓国の政府は、AI 教育の重要性を認識し、2022 年に AI 教育を強化した「2022 改訂教育課程」を発表した。この教育課程は 2024 年から順次適用され、現代の児童生徒が AI 時代に備えられるようにするために小学校段階から AI 教育が実施しようとしている[1]。

一方、2022 年 11 月、OpenAI 社の ChatGPT の発表により、生成 AI への関心も高まった。ChatGPT は大規模言語モデル (LLM; Large Language Models) を利用した生成 AI であり、公開 5 日で利用者数が 100 万人になった[2]。これについて、教育現場では児童・生徒に生成 AI を使用させても良いかについて多くの議論があり、実際に、校内での ChatGPT の使用を禁止する事態も発生した[3]。

こうした動きの中で、日本の文部科学省は 2023 年に「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」を発表した。このガイドラインでは、教育現場での生成 AI 利用に関するいくつかの留意点を提示しつつ、児童生徒の情報活用能力の向上のために暫定的に利用してみるものの大切さを示唆している[4]。

本研究では、AI に関する技術的・社会的・倫理的内容を教育の対象とすることを「AI 教育」と表現し、日本と韓国の AI 教育に関する動向を調査する。なお、他

の教科と学問的に融合して教育することまでを含んで取り扱う。

本研究では、日本と韓国、各国が直面した課題を考察することを目的とする。本研究の独自性は、Jun ら (2023) の 4 つの観点、すなわち、「AI 理解教育」、「AI 倫理教育」、「AI 活用教育」、「AI 融合教育」の観点を基盤に、日本と韓国の教育課程を精密に比較した点にある。これにより、今後の AI 教育政策の策定や教育実践において具体的な指針を提供するものである[5]。

日本と韓国を比較対象とした理由は、両国が 6-3-3-4 という類似した教育体系を共有していることに加え、経済規模や人口規模、人口構造が近似している点にある。また、両国とも高度なデジタルインフラを有しており、AI 教育政策に対する社会的な期待も高まっていることが共通している。一方で、文化的・社会的背景や政策決定プロセスにおいて顕著な違いがあり、これが教育課程の内容にどのように反映されているかを明らかにすることは、AI 教育が異なる環境でどのように適応されるかを理解する上で有益である。

さらに、両国は学校における AI 教育の導入初期段階にあり、その比較は AI 教育の導入が学校現場に与える影響をより深く理解するための貴重な手段である。本研究を通じて得られる知見は、AI 教育の発展に向けた国際的なモデルケースを提供する可能性を有すると考える。

2. AI と教育

AI は 1950 年代から研究が進められ、多くの課題に直面してきた。最近では、ビッグデータの蓄積、クラウドコンピューティング技術の進展、アルゴリズムの改善などにより、「AI の冬」と呼ばれる停滞期を乗り越え、ディープラーニングを基盤とする新たな全盛期を迎えている[6]。

AI の定義は多様である。2019 年、総務省が発行した

「情報通信白書」では、AIを「人間の思考プロセスと同じような形で動作するプログラム」と定義した[7]。一方、一般社団法人「人工知能学会」では、AIを「大量の知識データに対して、高度な推論を的確に行うことを目指したもの」と説明している[8]。韓国の教育部(2020)は、AIに対する学界の様々な定義を総合し、AIの核心的特性を「学習」「推論」「予測」として整理した[9]。

AIの種類の一つである「生成AI」は、深層学習によって構築された大規模言語モデルであり、文章作成や翻訳などに活用することができる[3]。最近では、ChatGPTなどの生成AIは写真や映像、音声まで対応し、さまざまなメディアコンテンツの生成に活用されている。

教育とAIの関係を説明する概念として、「教育におけるAI(以下、AIED; Artificial Intelligence in Education)」がある。Luckin(2016)は、AIEDの核心は「暗黙的に残される教育的、心理的、社会的知識を計算的に正確かつ明示的な形で表現すること」であり、「学習が実際にどのように行われるかを示すツール」になると述べている[10]。Holmes(2019)は、教育におけるAIの概念をさらに拡張し、「AIを活用した学習(Learning with AI)」と「AIに関する学習(Learning about AI)」に分けて整理した[11][12][29](図1)。

「AIを活用した学習(Learning with AI)」は、AIベースの個別指導システムや対話型システム、コンピュータとの一対一の相互作用を含み、AIを活用した学習理論や方法論に関する研究も含まれる[11]。例えば、外国語学習アプリケーション「Duolingo」は、AIを活用してユーザーに合わせた学習を提供している[13]。VRを使って仮想的に実験を行うアプリケーションである「Labster」は、AIを通じて学習者の行動と選択に基づく現実的なフィードバックを提供する[14]。この他にも教育関連の様々なアプリケーションが登場するなどその成果が報告されている[15][16]。

一方、「AIに関する学習(Learning about AI)」は、学習対象としてのAIを捉え、AI技術の原理や概念、倫理、社会的影響などを学習内容として扱い、AI教育(AI Education)と密接に関連している。

「アメリカコンピュータ教師協会(CSTA)」と「AI学会(AAAI)」が共同で設立し、「アメリカ科学財団」の支援を受けた「AI4K12イニシアチブ」は、2019年5月にAI教育ガイドライン「5つの主要概念(5 Big Ideas)」を発表した。「AI4K12イニシアチブ」は、AIの教育内

容を「知覚」「表現と推論」「学習」「自然な相互作用」「社会的影響」という大きな枠組みに分け、学生の発達段階に応じて教育内容を提示した[17]。

韓国の教育部(2020)は、AI教育を言語教育の一環として捉え、コンピュータ及びAIとの円滑なコミュニケーションを実現するためにはAI教育が不可欠であるとの見解を示した。また、AI教育の領域を「プログラミング」「基礎原理」「活用」「倫理」に分類し、プログラミング教育をAI教育の一部として位置付けたことが特徴である。その理由としては、AI教育を既存のプログラミング(ソフトウェア)教育に「データ・推論・学習などの理解」を加えた教育と見なしたからである[9]。

このように学校でのAI教育の必要性が高くなるとともに、Junら(2023)はデルファイ法などを通じて、初等・中等学校でのAI教育内容を以下の表1のように示した。AI教育を「AI理解教育」「AI倫理教育」「AI活用教育」「AI融合教育」の4つの主要領域に分類し、具体的に合計95の内容要素として整理した。[5]。

表1 Junら(2023)によるAI教育の内容領域
(AI教育の分類と内容要素)

分類	内容
AI理解教育	AIの概念
	コンピュータ認識とデータ
	表現と推論
	AI学習
AI倫理教育	AI設計倫理とデータ倫理
	AIの社会的影響
AI活用教育	AIソフトウェアの使用
	ビッグデータの分析と活用
	AIロボットの使用
AI融合教育	AIと人文科学
	AIと社会科学
	AIと自然科学
	AIと芸術・体育

Junら(2023)はAI教育を独立した教科として提示するのではなく、AI技術を中心に教科や学問を融合させ、実際の学校で教えることができる「AI融合教育課程」として提案した。

Junらが提唱したAI教育の分類と内容要素は、AI教育の各側面を明確に分類しており、教育現場での実際的な活用可能性が高いと考えられる。特に、他の代替的な分類基準と比較した場合、Junらの分類は理論的な背

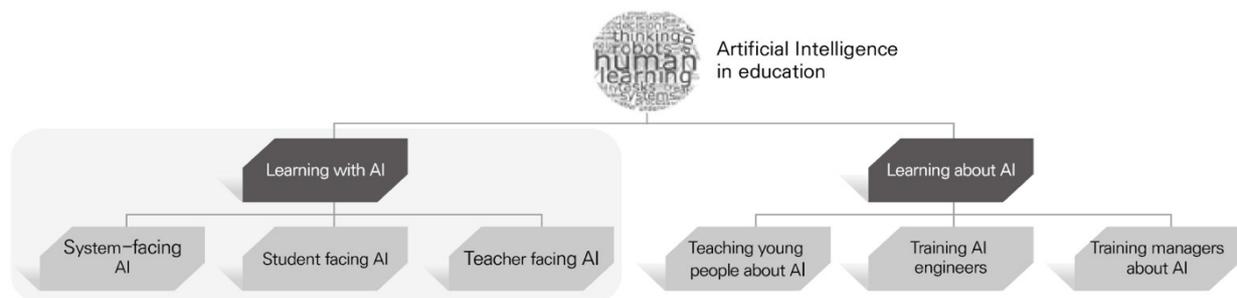


図1 教育でのAI(AIED)の概念の分類 [11][12][29]

景と実践的な適用可能性の双方をバランスよく反映している点で優れている。本研究では、韓国と日本のAI教育を分析する基準として、この分類を採用することとする。

他にも、AI教育と数学の連携など学校教育課程の改善について研究し、教科教育課程が他の教科との連携を考慮して改訂されるのが望ましいという研究結果もある[18]。

このように、AIが既に社会全般に大きな影響を与えているため、学校でのAI教育は避けられないものとなり、その内容と方法について活発な議論がされている。

3. 日本におけるAI教育

3.1 日本の政策におけるAI教育

内閣府は2019年に「AI戦略」を発表した。この戦略では、教育改革、研究開発体制の再構築、社会実現、データ関連基盤整備といった主要課題が挙げられている。ここでは数理・データサイエンス・AIに対する「リテラシー教育」の重要性を強調し、STEAM教育など教科横断的なアプローチを通じて現代社会の問題解決を目指した教育方法の根本的な改善を目指している[19]。

さらに、「AI戦略」において育成すべき人材は、「最先端のAI研究を行う人材」、「AIを産業に応用する人材」、「中小の事業所で応用を実現する人材」、「AIを利用して新たなビジネスやクリエーションを行う人材」の4つに具体的に分類されている。

また、「データサイエンス・AIを理解し、各専門分野で応用できる人材」を年間約25万人、「データサイエンス・AIを駆使してイノベーションを創出し、世界で活躍できるレベルの人材」を年間約2,000人、その中でもトップクラスの人材を年間約100人育成することを目標とした。

この取り組みは、2019年の初版を皮切りに、2021年、2022年にも継続的に改訂が行われている。これまでの推進状況を点検しつつ、社会での適切なAI活用を促進するため、AI倫理に関する対応の強化が図られている[20]。

AI戦略に基づき、文部科学省は「数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度」を実施し、大学などでAI教育が行われることとなった[21]。

一方、2022年11月のChatGPTの登場により「生成AI」への関心が高まると、文部科学省はその翌年に生成AIに関する暫定的なガイドラインを発表した。このガイドラインでは、新しい情報技術である生成AIを上手に使いこなす能力を育てる姿勢が重要であると述べながらも、個人情報の流出、著作権侵害、学習意欲への否定的影響が指摘されるため、教育現場で子供たちの発達段階を十分に考慮して教育が行われるべきと示されている[4]。

3.2 「平成29・30・31年改訂学習指導要領」におけるAIに関する学習事項

小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議では、AIなどの情報技術の進展により情報を読む

能力が今後重要になると指摘し、小学校プログラミング教育の必要性を論じた。また、このプログラミング教育は教育課程全体を見渡した教科横断的な取組が実施されるべきであると強調した[22]。

「学習指導要領」の総説には、子供たちの発達段階を考慮して情報活用能力を言語能力や問題発見・解決能力とともに教科横断的視点から育成する必要があると説明されている[23]。ここにおける情報活用能力とは、学習活動において必要に応じてコンピュータ等の情報手段を適切に用いて情報を得たり、情報を整理・比較したり、得られた情報をわかりやすく発信・伝達したり、必要に応じて保存・共有したりといったことができる力である。さらに、このような学習活動を遂行する上で必要となる情報手段の基本的な操作の習得や、プログラミング的思考、情報モラル、情報セキュリティ、統計等に関する資質・能力等も含むものである[24]。

文部科学省が示す「情報活用能力の体系表」では、コンピュータやプログラミング、データ、情報システムなど、さまざまな要素が情報活用能力の向上のために組み込まれていることがわかる。日本では、これらの要素が一つの枠組みの中で統合的に進められており、AI教育とプログラミング教育が情報活用能力というフォーマットの下で一体的に実施されている[23]。

このような動きの中で、「平成29、30、31年度改訂学習指導要領」におけるAI教育について検討する。ここでは、Junら(2023)が分類した4つのAI教育の観点、すなわち、「AI理解教育」、「AI倫理教育」、「AI活用教育」、「AI融合教育」の観点から教育課程におけるAI教育を比較した結果を表2に示す。曖昧な部分は教科書を参考にした[25][26]。

分類	内容	教育段階
AI理解教育	AIの概念	中
	コンピュータ認識とデータ	中
	表現と推論	高
	AI学習	高
AI倫理教育	AI設計倫理とデータ倫理	高
	AIの社会的影響	中
AI活用教育	AIソフトウェアの使用	高
	ビッグデータの分析と活用	高
	AIロボットの使用	高
AI融合教育	AIと人文科学	-
	AIと社会科学	中
	AIと自然科学	高
	AIと芸術・体育	-

表2 Junら(2023)によるAI教育の内容領域と「平成29・30・31年改訂学習指導要領」の対応関係
※ - 記載されていない 中：中学校 高：高等学校

まず、「AI理解教育」の観点から見ると、日本では中学校「技術・家庭」の「D情報の技術」で「AI理解教育」に該当する学習が行われている。具体的には、AIを情報技術の一つとして扱い、センサーなどのコンピュータ認識、AIの定義、自動運転システムなどについて学習する。また、高等学校の「情報I」では、AIとデー

タの関係、推論に関する内容を扱う。

「AI 倫理教育」に該当する学習は中学校「社会」や「技術・家庭」などで扱われている。「社会」では高齢化社会での AI の役割、AI 技術による新しい通貨の登場など AI の社会的影響について学習する。技術家庭では AI 技術が社会に与える肯定的側面と否定的側面について学習し、AI 技術を評価できるようにする。また、高等学校の「情報 I」では、AI 設計倫理やデータの偏りの問題を扱う。

「AI 活用教育」は中学校の「技術・家庭」や高等学校の「情報 II」で行われている。中学校の「技術・家庭」ではビッグデータや AI ソフトウェアを情報技術の一つとして扱っているが、技術の社会的影響を考える内容が主で、大量のデータを直接分析したり AI ソフトウェアを扱ったりすることはない。「情報 II」では、大量のデータを分析し、AI ライブラリを活用する。文部科学省が提供する「情報 II」教科の教員研修用教材では、政府統計総合サイト e-Stat を利用して様々なデータを提供できるようにし、TensorFlow などのサイトを活用して学生がニューラルネットワークを体験できるように案内している[40]。

「AI 融合教育」は、中学校の「社会」や高等学校の「農業」において取り扱われている。融合教育の観点では、教科との AI の融合を検討する。融合教育に関する概念は長い間議論されており、広範で複雑であるが、ここでは一般的な意味として、教科内容の統合と方法の統合の両方を指す。前述のように、中学校の「社会」では現代社会の問題における AI の役割などが取り扱われている。また、高等学校の「農業」では、AI を活用して省力化や精密化など次世代農業について指導することになっている。

一方で、AI を直接体験し利用する「AI 活用教育」は、小・中学校の学習指導要領には記載されていない。「AI 活用教育」が高等学校で行われることに伴い、AI を各教科に結びつける「AI 融合教育」も取り込まれつつある。

4. 韓国における AI 教育

4.1 韓国の政策における AI 教育

韓国政府は 2019 年に「AI 国家戦略」を発表し、AI 生態系の構築、AI の積極的活用、そして人間中心の AI 開発を主要課題とした。この戦略には、政府による技術投資や規制革新を含み、国民全体のデジタルリテラシー向上と「教育課程」の改善を目指している。この報告書では AI 専門家が絶対的に不足していると判断し、今後もその不足が深刻化すると予測した。このような取り組みが制度的にしっかりと支えられるように、2020 年から AI 教育実施のための教育政策ロードマップが策定された[9]。特に、人間の生活の質向上を AI 戦略の核心とし、AI 倫理問題に対応するための規範の策定も計画している[27]。

2020 年、教育部は「AI 時代教育政策の方向性と核心課題」報告書を通じて AI 時代の人材像に関する方向性を示した。AI 時代には人間中心の創造性が重要であり、「感性的創造」に重点を置いた人材育成を目指してい

る。具体的には、「人間を中心とする心」と「自律的な態度」を人材像の核心としており、これを反映するために今後の「教育課程」を改訂すると発表した[8]。

同年、政府部処合同で発表された「韓国版ニューディール総合計画」では、AI 関連分野の人材を修士・博士レベルの「高級人材」と、既存産業と AI を融合する「融合人材」に分け、2025 年までに 4 万人を育成する目標を設定した[28]。

韓国教育課程評価院 (2020) は、初・中等教育での AI 教育の目的を「児童生徒が未来の AI 社会に備え、AI を理解し、様々な分野での AI 社会的影響力を認識して AI の倫理的活用を促進すること」としてまとめた[29]。

教育部 (2020) は、AI 教育を単に新しい技術に関する知識習得とみなすのは時代遅れのアプローチであると指摘した。技術の原理のみならず、哲学、社会的意味、技術と生活の調和についての深い探求が重要という観点である。したがって、AI 教育は他の教科との「融合」に重点を置くべきであると説明している。この方向性を反映し、教育部は 2020 年 9 月からソウル大学を含む全国 38 大学に「AI 融合教育」修士課程を新設した[9]。

このように、韓国では AI は主に「融合」という言葉とともに説明される。2019 年に発表された「AI 国家戦略」では「融合」という言葉が 33 回登場している。翌年発表された「韓国版ニューディール総合計画」でも「融合人材」育成を課題として設定している。AI 教育もいわゆる「AI 融合教育」の形態で進行されるが、これを理解するためには、まず新たに改訂された「2022 改訂教育課程」における「AI 融合教育」の登場背景を検討する必要がある。

一方、韓国政府は 2024 年に AI デジタル教科書の開発を完了し、2025 年から英語、数学、情報などの科目で AI デジタル教科書を普及させると発表している[30]。

4.2 「2022 改訂教育課程」における AI に関する学習事項

韓国の「教育課程」は、日本の「学習指導要領」と法的地位や役割が以てている。

韓国の「教育課程」は「初・中等教育法」に基づき、2022 年に改訂され、2024 年から 4 年間にわたって全国の学校に順次適用される予定である。過去には日本と同様に約 10 年ごとに改訂されてきたが、急速に変わる時代に対応するため、2007 年から随時改訂制度に変更された。随時改訂制度以降は全面的かつ一時的に改訂されるのではなく、必要や状況に応じて部分的に改訂される方式が変わった。2007 年以降は大小様々な改訂が行われてきたが、大きな流れとして統合教育または融合教育に向かっている。

「AI 国家戦略」以降に改訂された「2022 改訂教育課程」では、AI が「AI に関する学習 (learning about AI)」の観点から扱われている。韓国の AI 教育は、小学校「実科」、中学校「情報」・「技術・家庭」、高等学校「情報」・「技術・家庭」・「数学」を中心に行われる。

ここでは Jun ら (2023) の AI 教育分類に基づいて「2022 改訂教育課程」を分析した結果を表 3 に示す。

まず、「AI 理解教育」は小学校「5~6 学年群」の「実

科」から始まる。「デジタル社会とAI」という内容体系の中で「生活の中のAI」を理解し、「AIがどのように作られるか」を探る内容を扱う。また、データを学習する際に「AIに活用できるデータの種類や形態」も探ることができるようにする。中学校の「情報」では「AIの概念と特性」・「AIソフトウェア」などを扱い、高等学校の「情報」では「機械学習」を理解し、「AI基礎」・「AI数学」などの選択科目を履修することができる。

表3 Junら(2023)によるAI教育の内容領域と「2022改訂教育課程」の対応関係

分類	内容	教育段階
AI理解教育	AIの概念	小
	コンピュータ認識とデータ	小
	表現と推論	中
	AI学習	小
AI倫理教育	AI設計倫理とデータ倫理	中
	AIの社会的影響	小
AI活用教育	AIソフトウェアの使用	小
	ビッグデータの分析と活用	小
	AIロボットの使用	小
AI融合教育	AIと人文科学	小
	AIと社会科学	小
	AIと自然科学	高
	AIと芸術・体育	小

※ 小:小学校 中:中学校 高:高等学校

「AI倫理教育」は、小学校「5～6学年群」の「道徳」から登場する。小学校の「道徳」の内容体系は、「自分との関係」、「他者との関係」、「社会・共同体との関係」、「自然との関係」の4つで構成されている。このうち「他者との関係」では、「AIロボットと友達になれるか?」「AIロボットと関係を持つときに必要な倫理的原則を点検する」「AIロボットとの適切な関係を形成する意思の涵養」が学習内容に含まれている。しかし、これはあくまでAIの進展により現れた新しい「関係」を中心に構成された内容であり、AI設計やデータ倫理に関する内容は含まれていない。AI設計およびデータ倫理は中学校の「情報」から登場し、「道徳」では高等学校段階で「ビッグデータとアルゴリズムの偏り」とそれに伴う「社会的責任と公正性」などの内容を扱い、教科ごとに学習時期が異なることがわかる。

「AI活用教育」も小学校「5～6学年群」の「実科」から始まる。小学校の「実科」はAIの体験中心で構成されており、「2022改訂教育課程」には「AI技術を単に体験することを超え、AIの機械学習過程を理解できるように指導し、児童・生徒がAI素養を涵養できるようにする。」と記載されており、活用教育を理解教育と連携して実施できるようにしている。

韓国における「AI融合教育」は、多様な科目で小学校から実施することが推奨されている。しかし、実施内容は多岐にわたるため、ここでは教育課程に記載されている内容のみを取り上げることとする。小学校の「英語」では、AIを利用して学生を診断し、AIツールを外国語学習に積極的に導入することが記載されている。

また、小学校の「体育」でも、学校で体験しにくい多様な身体活動をAIツールなどを活用して指導することが記載されている。小学校の「道徳」では、前述のように、人間とAIの関係を学習する。そして、高等学校の「AI数学」では、AI技術全般に活用される数学概念を学習する。

5. 日韓のAI教育の比較

これまで見てきたように、日本と韓国のAI教育には共通点と相違点がある。

まず、両国はAIを国家競争力において重要な位置にあると見なし、全ての国民を対象としたAI教育の必要性を強調している。

両国ともリテラシー教育の重要性を強調しており、日本は「数理・データサイエンス・AI」に関連する基礎的なリテラシー習得の重要性を強調し、全ての高校生が基本的な情報知識を獲得できるようリテラシー教育目標を設定している。韓国も初等中等教育課程で習得すべき基礎教養として言語、数理、デジタルリテラシーを設定し、教科に関係なくデジタルリテラシーを習得できるようにしており、これが「AI融合教育」を通じて達成されることを求めている。

両国とも学校教育課程でAIを扱っているが、AI教育の導入時期や方法では両国間に差があり、次の表4のように整理できる。

表4 Junら(2023)に基づく日韓の教育段階別AI教育の比較

	日本			韓国		
	小	中	高	小	中	高
AI理解教育	-	△	○	△	○	○
AI倫理教育	-	△	○	△	○	○
AI活用教育	-	-	○	△	○	○
AI融合教育	-	△	△	△	△	△

※ - 記載されていない △ 記載されているが不十分 ○ 記載されている

日本では、AI教育が主に中学校から行われ、韓国では、小学校から行われることがわかる。

今回の分類では、記載されていないことが分かった日本の小学校段階でも、プログラミング教育を中心に情報教育が行われている。このプログラミングを含めソフトウェア中心の情報教育（以下、SW教育;Software教育）を小学校と中学校段階で行い、AI教育は高等学校と大学を中心に行われる[22]。つまり、情報活用能力においてAI教育が上位の概念として扱われることがわかる。

韓国ではAI教育の全面導入が行われたとされているが、小学校「5～6学年群」からAI教育が始まるため、小学校全学年でAI教育が行われるとは言い難い。ただし、日本の「総合的な学習の時間」に相当する「創意的体験活動」を活用して、低・中学年でもAI教育が行われる可能性はあるが、これは学校や教師の裁量に委ねられる。

もう一つの違いは、小学校での情報教育を担当する

教科の有無である。韓国には「実科（技術家庭）」が「5～6学年群」に設置されており、中学校の「技術・家庭」および「情報」との連携ができる。この他にも学校や教師の裁量によって「創意的体験活動」時間を活用したり、他の教科と組み合わせて「AI 融合教育」を実施することができる。しかし、日本では小学校で情報教育を扱う科目が「総合的な学習の時間」であり、この教科でどのような内容を扱うかは学校ごとに異なるため、安定した AI 教育の実施が保障されていない。

韓国の「2022 改訂教育課程」の「AI 融合教育」では、「教科等横断的な視点」や融合教育の観点から AI 教育が行われることが強調されているが、次のような指摘がされている。AI 自体に関する「AI 理解教育」がまだ定着していないのに、融合教育の枠組みにまとめるのは時期尚早であり、不十分な内容になる恐れがあると指摘されている[32]。また、教科の再構成は学校教育課程や教師の裁量によって異なるため、両国ともに AI 教育及び SW 教育の程度や質が保証されているとは言い難い。

6. AI 教育の課題

6.1 AI 教育の位置づけ

日本の教育課程では情報活用能力の向上を掲げ、SW 教育と AI 教育を実施している。文部科学省が発表した「情報活用能力の要素」を見ると、問題解決や探求における情報を活用する能力の向上が目指されている[24]。一方、韓国の教育課程では AI 融合教育を中心とし、SW 教育を AI 教育の中に組み込んでいる[9]。このように、AI 教育を学校に本格的に導入する際、既存の情報教育との関係をどう設定するかによって、AI 教育の形態は異なるものとなるだろう。

両国とも AI 教育を内容的に SW 教育の上位教育と考え、AI 教育の先に SW 教育を実施している。小学校から AI 教育を導入しようとしている韓国でも、AI 教育は小学校 5～6 年から始まる。しかし、AI が既に日常生活に広く普及し、その重要性がますます高まっている点を考慮すると、簡単なレベルでも小学校低学年から AI に対する概念的理解と活用、倫理教育などの導入を検討すべきだと考える。

また、両国は AI およびプログラミング教育を教育課程全体に位置づけ、他の教科との連携と融合を通じて実施することを求めている。しかし、情報活用能力やデジタルリテラシーが、言語や数理と同じくらい重要な能力として浮上している現状を鑑みると、小学校低学年から情報に関する教育を担当する科目が必要であると考えられる。この教科を導入することで、充実した体系的な「教科としての情報教育」が整備され、その中で AI 教育を取り扱うことで、他の科目との連携がより活発に進むだろう。

AI リテラシー、AI 素養、デジタル素養、AI 融合など、AI 教育を取り巻く用語も整理が必要である。AI が教育現場に適用されている時期であり、現場教員の認識が曖昧である可能性があるため、AI 教育の効果的な定着のためには、これらの概念に対する研究がまず先行する必要がある。

このように学校における AI 教育の定義、導入時期と段階、方法について十分な議論が必要とされ、現在の AI 教育実践研究がさらに蓄積されることが期待される。

6.2 情報教員数の拡充

AI 教育の重要性が増す中、AI 関連教員の拡充が新たな課題となっている。

日本では、2023 年基準で全国の高等学校に 4,411 人の情報教員が配置されている（表 5 参照）。そのうち「免許外教科担任または臨時免許状所持者」が 192 人で、約 4%に相当する[36]。この数値は前年度（2022 年）の 17%であったが、文部科学省の「高校情報科指導体制の充実に向けて」計画により大幅に減少した[37]。

表 5 日韓の情報教員配置状況

校種	日本 (2023)		韓国 (2021)	
	情報教員※[36]	学校数 [33]	情報教員※[34]	学校数 [35]
中学校	-	9,944	1,612	3,245
高等学校	4,411	4,791	2,643	2,375
合計	4,411	14,735	4,255	5,620

※「情報教員」は中等学校の「情報科」教員を意味する。

韓国では「AI 融合教育」は全教師が行うべき教育であるため、全教師を対象に AI 教育研修を実施する一方で、AI に関する理解教育を担当する情報教員の拡充が重要な課題とされる。2021 年現在、韓国の中学校に配置されている情報教員は 1,612 人で、中学校の「情報」が必修科目であるにもかかわらず、学校数に対する情報教員の割合は半分に満たない（49.6%）。残りの学校では他校の教員や非常勤講師などを活用している。高等学校では選択科目として「情報」を開設した 1,578 校に 2,643 人の情報教員が配置されている。これにより、韓国政府は「中長期教員需給計画」を発表し、2027 年までにすべての中・高等学校に少なくとも 1 人の情報教員を配置し、一定規模以上の小学校にも「情報」教科専任教員を配置する計画を立てた[38]。情報活用能力、デジタルリテラシー教育のために、教員研修はもちろん、小学校への情報教員の配置や外部の専門家と教員の協力・連携を検討する必要がある。

このように情報教員を拡充する前に、AI 教育を「AI 理解教育」中心に行うか、融合教育の形態で行うか、またどの段階から実施するかにより、教育課程の運営や教員配置にも大きな変化が予想される。また、情報教員を講師として外部から採用するか、正教員として採用するかについても AI 教育の性質により異なるだろう。したがって、AI 教育に対するより中長期的なビジョンと計画が必要とされる。

6.3 「AI 倫理教育」の迅速な導入

AI 技術は検索エンジンや IoT など、すでに日常生活で広く利用されている。AI 時代を生きるためには、AI 技術の原理はもちろん、設計倫理や AI によって生じる可能性のあるリスクについて深く学ぶ必要がある[39]。

特に「AI 倫理教育」は小学校の低学年から実施することも検討する必要がある。文部科学省（2023）は、「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」で、「個人情報やプライバシーに関する情報の保護の観点」、「著作権保護の観点」などに留意することを強調した[4]。Junら(2023)は、小学校低学年段階での「AI倫理教育」として「AIとの共存」、「AIの有用性」、「データによる結果」、「AIの適切な使用」を提案した[5]。

このように「AI倫理教育」が強調されているため、教師や学校の裁量に任せるのではなく、学校教育課程内で最低限の基準として位置づける必要があると考えられる。韓国の「2022改訂教育課程」における「AI倫理教育」も教科ごとに体系が異なり、内容や時期が統一されていない。したがって、AIが日常生活で誰もが触れるものとなる中で、AI倫理教育を早急に実施する必要があると考えられる。

7. おわりに

本研究では、日本と韓国のAI教育の動向を調査した。両国ともに情報活用能力やデジタルリテラシーを重視し、情報教育を強化している。しかし、AI教育の導入時期や方法には違いが見られた。これは両国の教科体系やAI教育とSW教育の関係設定に違いがあるためである。

特に韓国では、AI教育を融合教育の形で実施することが推奨されているが、融合教育の方法や教育水準の質を管理する仕組みがないため、「2022改訂教育課程」が現場に適用され、その効果が検証される必要がある。

日本と韓国のAI教育の動向を通じて、AI教育がもつ3つの課題が明らかになった。

第一に、学校におけるAI教育の定義と範囲、他教科との関係設定・用語整理が必要である。

第二に、情報教員の拡充である。場合によっては小学校にも専門家を配置する必要がある。

第三に、「AI倫理教育」の強化である。既に社会の多くの部分にAIが適用されているため、AIに関する倫理的な理解が小学校低学年から必要とされる。

本研究では、日本と韓国のAI教育が類似点を持ちながらも、それぞれ異なる特徴と課題を有していることが明らかになった。日本は情報活用能力とリテラシー教育を重視し、高等教育段階での実践に力を入れる一方、初等中等教育段階では統一的なAI教育の枠組みが不十分である。一方、韓国は小学校段階からAI教育を導入し、AI融合教育を通じた学際的なアプローチを強調しているが、倫理教育の体系化や教員の専門性向上といった面で課題を抱えている。

これらの比較から、両国に共通する課題として、初等教育段階での倫理教育の整備と教員確保の重要性が挙げられる。また、AI教育を他教科と連携させる枠組みを明確にすることが必要である。

本研究の意義として、両国のAI教育における特色と課題を整理することで、今後の教育政策やカリキュラム設計の指針を示すことができた点が挙げられる。日本と韓国の教育モデルを相互に参考にすることで、AI時代に適応した教育実践の可能性が広がることを期待したい。

参考文献

- (1) 教育部：「2022 개정교육과정」(2022)。
- (2) NHK：「解任のアルトマン氏が復帰！ChatGPT どうなる？」、<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20231120/k10014263491000.html> (2024年11月8日閲覧)。
- (3) CNET Japan：「ニューヨーク市、学校での「ChatGPT」利用を禁止」、<https://japan.cnet.com/article/35198179/> (2024年11月8日閲覧)。
- (4) 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」(2023)。
- (5) 전수진, 이주강, 최희원, 이석, 김민정：「인공지능 융합교육을 위한 초중등학교 연계형 인공지능 교육 내용체계 개발」(2023)。
- (6) 総務省：「情報通信白書」(2016)。
- (7) 総務省：「情報通信白書」(2019)。
- (8) 人工知能学会：「一般社団法人 人工知能学会設立趣意書」、https://www.ai-gakkai.or.jp/about/about-us/jsai_teikan/ (2024年11月8日閲覧)。
- (9) 教育部：「인공지능시대 교육정책방향과 핵심과제」(2020)。
- (10) Rose Luckin, Wayne Holmes, Mark Griffiths, Laurie B. Forcier：「Intelligence Unleashed; An argument for AI in Education」(2016)。
- (11) Wayne Holmes, Maya Bialik, Charles Fadel：「Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning」(2019)。
- (12) 김현진, 박정호, 홍선주, 박연정, 최정윤, 김유리, 이항섭, 이인숙：「AI 시대 대비 국가수준 교육과정 운영 지원 방안 연구」, 教育部(2019)。
- (13) 大浜陽子：「Duolingo アプリ —補助教材としての可能性—」, 中央大学人文研紀要, 巻99, pp.335-363 (2021)。
- (14) FasterCapital：「Education artificial intelligence: The Future of Learning: AI driven Strategies for Startup Success」, <https://fastercapital.com/content/Education-artificial-intelligence--The-Future-of-Learning--AI-driven-Strategies-for-Startup-Success.html> (2024年11月8日閲覧)。
- (15) EdTechZine：「松蔭中・高、生徒600人に英会話アプリ「TerraTalk」採用で外部試験合格率10%向上」, <https://edtechzine.jp/article/detail/3149> (2024年11月8日閲覧)。
- (16) ICT教育ニュース：「バーチャル理科実験プラットフォーム「Labster」をクラーク記念国際高が国内初導入」, <https://ict-enews.net/2020/03/06dragonfruit/> (2024年11月8日閲覧)。
- (17) AI4K12 ホームページ, <https://ai4k12.org/> (2024年11月8日閲覧)。
- (18) 박상우：「홍후조, SW·AI 교육을 위한 학교 수학 교육과정 개선 연구」(2022)。
- (19) 内閣府：「AI戦略2019」(2019)。
- (20) 内閣府：「AI戦略2022」(2022)。
- (21) 文部科学省：「数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度」, https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/suuri_datascience_ai/00001.htm (2024年11月8日閲覧)。
- (22) 文部科学省：「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について」(2016)。
- (23) 文部科学省：「小学校学習指導要領」(2017)。
- (24) 文部科学省：「学習の基盤となる資質・能力としての情報活用能力の育成」(2020)。
- (25) 和泉田政徳, 尾崎誠, 川崎武晴：「New技術・家庭技術分

- 野」, 教育図書 (2021) .
- (26) 坂村健: 「高等学校情報1Next」, 数研出版 (2021) .
- (27) 정부: 「인공지능국가전략」 (2019) .
- (28) 정부: 「한국판 뉴딜 종합계획」 (2020) .
- (29) 홍선주, 최인선: 「학교 교육에서 인공지능(AI)의 개념 및 활용」, 한국교육과정평가원 (2020) .
- (30) 교육부: 「2024 년 교육부 주요 정책 추진계획 발표(부총리 브리핑문)」 (2024) .
- (31) 교육부: 「유치원 및 초등·중등·특수학교 등의 교사자격 취득을 위한 세부기준」 (2023) .
- (32) 電子新聞: 「2022 교육과정 'AI·디지털' 걸맞기... "인재양성 비전 실증"」, <https://n.news.naver.com/article/030/0002941605> (2024 年 11 月 8 日 閱覽).
- (33) ナレッジステーション, <https://www.gakkou.net/> (2024 年 11 月 8 日 閱覽).
- (34) 교육부: 「디지털 인재양성 종합방안 발표 브리핑」 (2022) .
- (35) e-나라지표, https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1537 (2024 年 11 月 8 日 閱覽).
- (36) 文部科学省: 「高等学校情報科に係る指導体制の一層の充実について」 (2023) .
- (37) 文部科学省: 「高等学校情報科担当教員の配置状況及び指導体制の充実に向けて」 (2022) .
- (38) 교육부: 「중장기(2024-2027년)교원수급계획」 (2023) .
- (39) AI 戦略會議: 「AI に関する暫定的な論点整理」 (2023) .
- (40) 文部科学省: 「高等学校情報科「情報II」教員研修用教材」 (2020) .

(2024 年 11 月 30 日 受付)

(2025 年 1 月 28 日 採録)

スマートフォンを用いた放射線検出アプリの開発と 科学教育アウトリーチへの展開

- 宇宙線検出アプリによる科学教育の新たな可能性 -

Development of a Smartphone-Based Radiation Detection App and Its Application to Science Education Outreach

鷹野 和紀子*1・日比野 欣也*2・有働 慈治*2

Email: r201970105fg@jindai.jp

*1: 神奈川大学工学研究所

*2: 神奈川大学 工学部 応用物理学科

抄録

本研究では、スマートフォンやタブレットに搭載された CMOS イメージセンサーを活用し、宇宙線の観測と科学教育への応用可能性について検討を行った。CMOS イメージセンサーは、シリコンを基材とした半導体デバイスであり、荷電粒子が通過する際に発生する電荷を検出し、デジタル画像として記録する特性を有する。この特性を活かし、宇宙線を観測できるアプリ「そらまめ (宙豆)」を開発し、その実用性を検証した。また、特別な設備を必要としない、低コストの観測環境を提供することで、科学教育への応用可能性についても検討を行った。この取り組みは、科学的探究心を育む学びの場を提供し、データ解析能力や学際的学びの促進を通じて、教育格差の是正に寄与することが期待される。さらに、「そらまめ」を活用した科学教育プログラムの提案を通じて、主体的・対話的で深い学習を支援し、科学リテラシーの向上を目指すとともに、教育現場における新たな活用モデルの提供を目指している。今後は、観測手法の精度向上や教育プログラムの具体化を進めるとともに、一般市民が参加可能な国際観測ネットワークの構築を目指す市民科学の普及と教育の発展に貢献していきたいと考えている。本研究の成果は、科学教育に新たな可能性を切り開くものであり、科学技術の理解促進と教育イノベーションの実現に向けた重要な一歩となると考えられる。

©Key Words CMOS イメージセンサー, 宇宙線, スマートフォンアプリ, 科学教育, 市民科学, アウトリーチ, 学際的学び, 国際観測ネットワーク

1. はじめに

宇宙線は、宇宙の成り立ちや構造、動態を解明するための重要な情報をもたらす「宇宙からのメッセンジャー」の一つである。我々の目には見えないものの、宇宙線は常に地球に降り注いでおり、私たちの身の回りに最も身近に存在する宇宙からの信号の一つと言える。

宇宙線には、宇宙空間で起こる高エネルギー現象の痕跡や、銀河系外の天体から放たれる情報が含まれており、その観測は天文学や物理学において重要な役割を果たしている。一方で、このような目に見えない宇宙線や電波、放射線といった現象を正しく理解することは、科学教育における最も基本的かつ重要なテーマの一つでもある。特に、現代社会においてテクノロジーの基盤を支える物理現象や、それらを解明するための科学的アプローチを学ぶことは、生徒たちの科学への興味や論理的思考を育む上で非常に重要である。

一方、私たちの社会はかつてないほど「接続された世界」を実現している。現在、世界中で 159 億台以上のインターネットに接続された IoT デバイスが存在する¹⁾。これらのデバイスの多くに搭載されているのが、シリコン素材の CMOS イメージセンサーである。本研究ではこの CMOS イメージセンサーを活用した宇宙線

検出器を教育目的で使用することを提案する。カメラとして用いられている CMOS イメージセンサーが、宇宙線という宇宙からの信号を捉える能力を持つことを知ることは、素材科学や電子技術への興味を喚起するきっかけとなる。生徒たちは、自らの手でスマートフォンを使った観測実験を行う中で、宇宙からの信号を「キャッチする」というダイナミックな体験を得ることができるだろう。これにより、宇宙や科学技術の基礎への理解が深まると同時に、環境資源の再利用という持続可能な発想も学ぶ機会が提供される。

さらにスマートフォンやタブレットといった身近なデバイスを利用し、宇宙線観測をすることで、グローバルな観測ネットワークを構築できる可能性が広がる。このネットワークは、地球規模での宇宙線観測を可能にするものである。地球規模の観測ネットワークを構築することは直接的な科学的成果への期待はもちろん、違った国の違った環境にいる市民、生徒たちと共に学ぶ体験を得ることとなり、市民科学の普及と教育の新しいアプローチとしても注目に値する。

本研究では、CMOS イメージセンサーを活用した簡便で身近な宇宙線検出システムを提案し、その教育的意義を考察し、生徒たちが宇宙という広大なスケールを体感し、地球や科学技術に対する理解を深めるきつ

かけを提供することを目指す。

2. CMOS イメージセンサーの基礎と宇宙線観測

2.1 構造と動作原理

CMOS イメージセンサーは、光を電気信号に変換する半導体センサーであり、デジタルカメラやスマートフォンなどに広く利用されている撮像素子である。その基本構造は、多数の画素（ピクセル）で構成されており、各画素にはフォトダイオードとトランジスタが含まれている²⁾。

CMOS イメージセンサーの最大の利点は、低コストで大量生産が可能であり、消費電力が低いことからバッテリー駆動のデバイスにも適していることである。一方で、初期の CMOS イメージセンサーはノイズが多いという課題があったが、近年の技術進歩により、感度や画質が大幅に向上しており、現在では高性能カメラにも広く採用されている。

以上の特性を持つ CMOS イメージセンサーは、可視光などの光だけでなく宇宙線や環境放射線の荷電粒子にも反応し粒子の通過によって電荷が生成される³⁾。センサー内を通過した経路に沿って電荷が生成され、回収されるため飛跡をデジタル画像から抽出することができる。

2.2 CMOS イメージセンサーを用いた宇宙線検出のメカニズム

CMOS イメージセンサーを利用した宇宙線検出は、その基本的な原理として、シリコン半導体内での荷電粒子と物質の相互作用を活用している。シリコンは半導体としての特性を有し、荷電粒子が入射すると、そのエネルギーがシリコン原子の結合を解離させ、電子と正孔の対を生成する。この生成されたキャリア対は、センサー内部の電極間に存在する電場によって加速され、それぞれ正孔は負極に、電子は正極に引き寄せられる。この過程により電流が生じ、荷電粒子の入射イベントが検出される。

生成された信号は、CMOS イメージセンサーの回路に組み込まれたアンプによって増幅される。その後、アナログ信号は AD コンバータによってデジタル信号に変換される。この一連のプロセスを通じて、入射した荷電粒子の位置や軌跡を示す情報が、センサー内の個々の画素に対応するデータとしてデジタル画像に記録される。

宇宙線が検出された場合、真っ黒な背景に、荷電粒子の飛程を反映した白い点や線として表示される。この白い傷のようなパターンは、荷電粒子がシリコン内を通過した経路を直接的に示している。パターンの形状、長さ、強度、方向性などの特徴が計測され、宇宙線の大きなエネルギーや入射角度、粒子種を推定するための基礎データとなる。CMOS イメージセンサーを用いた宇宙線検出は、小型かつ安価なデバイスでありながら、飛跡を視覚情報として得られるため、専門家ではなくても感覚的に宇宙線の存在を実感できるという大きなメリットがある。

2.3 スマートフォンやタブレットを活用した宇宙線観測

CMOS イメージセンサーを利用した宇宙線検出のメカニズムを応用し、消費者向けの一般的なデバイスであるスマートフォンやタブレットに内蔵されたカメラセンサーを用いて宇宙線を直接観測するためのアプリケーション「そらまめ (宙豆)」を開発した⁴⁾。本節では、先行研究の紹介、開発の目的、本システムの特徴、対応環境、および観測結果の可視化について述べる。

2.3.1 先行研究と開発の目的

スマートフォンのカメラセンサーを活用した宇宙線観測や教育活動への応用は、いくつかの先行研究が存在する⁵⁾⁶⁾⁷⁾。それらの取り組みでは、専用アプリを開発し、一般市民や学生に配布してデータ収集を行っている。これらにより、特別な機材や専門的な知識を必要とせず、日常的に使用されるデバイスで宇宙線観測を行うことが可能となっている。しかし、日本語対応のアプリケーションは存在せず、既存のアプリは研究段階に留まっており、工夫改善の余地が多くある。

そこで本研究では、これらの先行研究を踏まえ、観測アルゴリズムやインターフェースの改良を行い、日本語環境下での実用性や教育的価値を高めることを目的に、「そらまめ (宙豆)」を独自に開発した。

2.3.2 アプリの特徴・対応環境

「そらまめ」アプリは iOS 11 以上の iPhone や iPad、または Android 4.4 以上を搭載したデバイスに対応している。アプリを Apple App Store もしくは Google Play からインストールし、アプリを起動することで自動的に宇宙線の測定が開始される。図 1 はダウンロードページへ直接アクセスできる QR コードであり、図 2 がアプリのインターフェースである。

デバイス内の CMOS カメライメージセンサーを動画モードで起動し、撮影を継続することで、カメラセンサーに入射した荷電粒子の飛跡を検出し、画像処理を通じて計測データとして集計する仕組みを備えている。検出された信号はリアルタイムでサーバーに送信され、データベースに蓄積される。さらに、本システムはインターネット環境がない場合でも使用可能であり、その際はデータをデバイス内に一時保存し、ネット接続が復旧した時点でまとめてサーバーへ送信する機能を提供している。

2.3.3 観測結果の可視化

観測されたデータは、アプリ内でリアルタイムに処理され、宇宙線候補データとして記録される。アプリのインターフェースで最新の検出情報が確認できるほか、そらまめの公式ウェブサイトでもリアルタイムで公開される仕様となっており、図 3 で示す通りデバイスごとの画像や時系列の頻度がグラフ化して表示される。また、図 4 で示すように観測地点が世界地図にプロットされ、世界中のユーザと観測情報を Web サイト

上でデータ共有することができる。

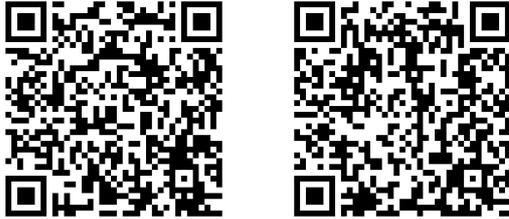


図1 アプリをインストールするためのQRコード
左: iOS用 右: Android用



図2 そらまめアプリのインターフェース



図3 観測状況サイト。観測状況は観測頻度のグラフと画像とともに確認ができる



図4 そらまめアプリが利用された観測地点

2.4 「そらまめ」を利用した宇宙線の観測方法

本節では、観測の手順について簡単に説明する。

2.4.1 観測開始の手順

アプリを起動することですぐに観測が開始される。観測の初期段階では、端末ごとに異なるノイズレベルを調整するキャリブレーションが行われる。キャリブレーションの完了後、本番の測定モードへと切り替わる。

2.4.2 遮光

「そらまめ」による宇宙線観測では、CMOS イメージセンサーへの光の侵入を遮断する必要がある。宇宙線や荷電粒子の飛跡は明度が低いいため、光の入らない真っ黒な画像からしか抽出することができない。そのため光が入ると測定がエラーとなり停止する仕様となっている。観測時にはデバイスの背面カメラを下向きに配置し、暗所に設置するか、黒いテープなどを用いてカメラレンズに入る光を遮蔽する必要がある。これにより、正確な宇宙線検出が可能となる。

2.4.3 長時間観測の推奨

小さなCMOS イメージセンサーに入射する宇宙線の荷電粒子の到来頻度は低く、多い場合でも数分に1回程度である。さらに、端末によってはセンサーの感度が低いいため、数十分かかる場合がある。そのため、電源アダプターを接続したまま、長時間の観測を行うことが推奨される。観測期間を長くすることで、より多くの宇宙線を検出し、統計的な精度を向上させることが可能である。

3. 検証実験

本研究では、CMOS イメージセンサーを用いた宇宙線および放射線荷電粒子の検出性能を確かめるため、2種類の検証実験を実施した。第1の実験は、航空機を利用した高高度での宇宙線観測であり、第2の実験は放射線源を用いた荷電粒子の検出実験である。本章では、それぞれの実験の概要、結果、および考察を述べる。

3.1 航空機を活用した宇宙線観測実験

3.1.1 実験概要

宇宙線とは、宇宙の銀河系内、系外から地球へ飛来する高エネルギー粒子を指すが、地球の大気に突入すると大気原子核と衝突し、衝突で発生した粒子がさらに大量の粒子を発生させる空気シャワーという現象を起こす。地上ではこの空気シャワーにより生成された二次宇宙線粒子を観測しているが、これらの粒子は大気で吸収され地上まで到達しないものも多いため、地上ではかなり粒子量は減衰している。そのため高度を上げると大気に吸収される前の粒子も観測でき、観測量が増加することが広く知られている。この特性を利用し、高高度におけるCMOS イメージセンサーの宇宙線検出頻度を検証する実験を行った。実験は高度約

10,000メートルを飛行する航空機内で実施された。

3.1.2 実験装置と設定

デバイスは、iPad Air (第3世代) を使用した。図5で示すように2024年2月28日13:56から17:43までの3時間47分、東京羽田空港からバンコクスワンナプーム国際空港までのルートで測定を行った。

3.1.3 観測結果と考察

図6は、検出された宇宙線候補の飛跡画像の一部を示している。航空機内では、1分あたり0.119個の信号が検出され、地上の0.043個と比較して約2.75倍の宇宙線候補イベントが観測された。使用したデバイスは、研究で使用している機種の中でもノイズレベルが高く、測定時の閾値が自動設定で最大値の70に達していた。これは、明るさレベル0から255のうち、0から70の範囲の信号がノイズとして除去されることを意味し、多くの信号がノイズに埋もれて観測できない条件下であった。

このようなノイズの多いデバイスを使用した厳しい観測条件にもかかわらず、宇宙線候補を一定数検出できたことは、科学実験には不向きとされる消費者向けデバイスのCMOSイメージセンサーでも、宇宙線観測が有効であることを示している。今後は、デバイス特性を踏まえた検出精度の向上や、観測データの詳細な解析を進め、さらなる信頼性の向上を目指す。



図5 航空機内でそらまめアプリをインストールしたiPadで観測している様子



図6 航空機内でそらまめアプリをインストールしたiPadで観測された宇宙線候補の飛跡

3.2 放射線源を用いた検出性能評価

3.2.1 実験概要

次に、「そらまめ (そらまめ)」アプリをインストールしたデバイスを用い、放射線源から放出される荷電粒子への応答を確認する実験を行った。使用したデバイスはiPad mini (第5世代) のタブレットである。放射線源として ^{60}Co (コバルト60) および ^{90}Sr (ストロンチウム90) を用い、図7で示すように、それぞれの線源を数分間デバイスの背面のカメラセンサーに近づけ、1分ごとの信号検出頻度を測定した。



図7 そらまめアプリをインストールしたタブレットのカメラセンサー付近に放射線源 ^{90}Sr (ストロンチウム90) を置いて観測を行っている様子

3.2.2 観測結果と考察

図8で示すように結果は放射線源を近づけた場合に観測量の増加が確認された。これは、放射線源から放出された、または周囲の素材との反応で二次的に生成された荷電粒子がCMOSイメージセンサーに入射し、そこで発生した電荷が信号として記録されたことを示している。線源を用いない背景観測量と比較すると、図8で示す様に、いずれの放射線源においても顕著な増加が見られた。

^{60}Co (コバルト60) からは、0.318 MeVの電子および1.17 MeV、1.33 MeVのガンマ線が放出され、 ^{90}Sr (ストロンチウム90) からは、0.546 MeVの電子が放出され ^{90}Y (イットリウム90) になり、その崩壊により更に2.28 MeVの電子が放出される。これらのエネルギー帯域はデバイス内部の素材との相互作用でエネルギーを失いやすく、一部の粒子はCMOSセンサーに到達する前に停止してしまう。また素材との反応で新たな粒子が生成されている場合もある。そのため、放射線源から放出された全ての粒子を直接観測しているわけではない。

本実験では、電子による明確な応答が確認され、CMOSイメージセンサーが荷電粒子に感度を持つことが確認できた。つまり二次宇宙線に含まれる荷電粒子成分を本手法によって計測できることを示している。ただし、

ガンマ線や中性子などの電荷のない粒子の影響については今後の課題である。

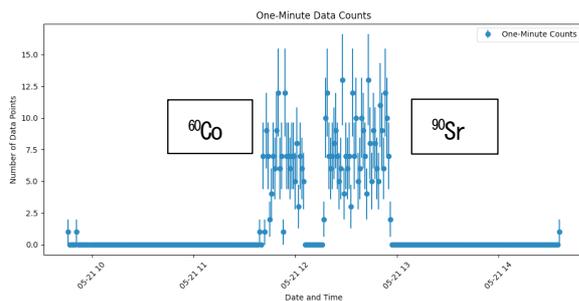


図 8 放射線源の照射実験。iPad に放射線源 ^{60}Co , ^{90}Sr をそれぞれ約 20 分当て 1 分ごとの観測量の増加を計測した。グラフの増加が見られる時間帯が放射線源を置いた時間とあっている。

3.3 まとめ

高高度での航空機を用いた観測では、二次宇宙線の荷電粒子が高度に応じて増加する様子を観測することができた。具体的には、航空機内での 1 分あたりの信号検出数が地上と比較して約 2.75 倍に増加しており、CMOS イメージセンサーが高度による宇宙線強度の変化に応答していることが示された。また、放射線源を用いた実験では、センサーが荷電粒子によって明確な信号を検出していることが確認された。

これらの結果から、CMOS イメージセンサーが宇宙線の荷電粒子に対して適切に応答し、その観測に有効であることが実証されたといえる。この成果は、一般向けに製造された安価で扱いやすいデバイスを活用し、特別な設備を必要とせず宇宙線観測を可能にするものであり、科学教育や市民科学への応用可能性を大きく広げる重要な一歩となる。

一方で、本システムにはいくつかの課題も存在する。データは主に荷電粒子の飛跡などの位置情報に限定されており、また粒子のエネルギーの推定はできない。しかし、観測される粒子密度の情報を活用し、宇宙線空気シャワーを観測する試みや、鉛などの付加的な材料と組み合わせることで、光子（ガンマ線）の検出する試みについても進めている。

デバイス特性を生かしつつ、さらに高精度な観測手法の開発を目指している。

4. 教育活動への応用

スマートフォンやタブレットを活用した宇宙線観測は、科学教育の現場において新たな学びの形を提供する可能性を秘めている。本節では、宇宙線観測を通じた教育活動の具体的な活用例を挙げ、教育上の課題に対する改善と期待される効果について述べる。

4.1 探究型学習を支援する新たな教材として

文部科学省が提唱する探究型学習の中核には、「主体的・対話的で深い学び」が据えられている⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。しかし、宇宙物理学は抽象的な理論や難解な数式に偏りが

ちな学びが多く、学習者が科学的興味を持つきっかけを得にくいという課題がある。「そらまめ」アプリを活用した宇宙線観測は、スマートフォンやタブレットを用いることで、目に見えない現象を可視化する体験を提供する。このプロセスは学習者に科学の魅力を実感させるだけでなく、宇宙物理学や放射線物理学の基礎を直感的に理解させる教材として機能する。

4.2 低コストで実現する実験的学び

従来の宇宙線観測装置は高価で大型なものが多く、専門知識を必要とするため、教育現場での活用が難しいという課題があった。飛跡を直接目で観察できるという利点がある霧箱を使用した宇宙線観測は、比較的小型化かつ安価であり、教育現場での実施例も多い。ただ、冷却剤の取り扱いや設置スペースが必要で、準備や運用に一定のハードルが伴う。

これに対して、スマートフォンやタブレットを活用する方法は、既に普及しているデバイスそのまま利用できるため、低コストで手軽に導入可能である。特別な設備や高度な技術を必要とせず、教育現場や地域社会においても幅広く活用できる。このアプローチは、設備の制約がある環境でも高度な科学教育を可能にし、宇宙線観測を通じた学びの機会をさらに広げることが期待される。

4.3 データ活用を通じた探究型学習の促進

宇宙線観測は、単なる現象の観察にとどまらず、観測データの記録・解析というプロセスを通じて探究型学習を促進する。例えば、生徒が異なる場所や条件（地上と高層ビル内、昼夜、高度など）で宇宙線の到来頻度を比較し、その結果を考察することで、データに基づいた科学的な議論を行う能力を養うことができる。また、観測結果を他校やオンラインコミュニティと共有することで、協働的な学びの場を広げることも可能である。

4.4 宇宙線を通じた地球環境と宇宙の理解

学習者が地球環境と宇宙のつながりを理解するきっかけとして宇宙線観測の体験は適している。例えば、宇宙線の大気中での減衰過程や高度ごとの違いを実際の観測を通じて学ぶことで、地球を守る大気的重要性を実感することができる。さらに、宇宙線の起源となる銀河系や超新星爆発のような宇宙現象について興味を持つことが期待される。

4.5 学際的な学びの実現

宇宙線観測を通して得られる体験は、物理学だけでなく情報科学や数学、さらには地学や天文学といった多くの分野に深く結びついている。そのため、データ処理や統計解析を活用することで ICT スキルを習得する機会を提供すると同時に、学際的な知識を広げるための効果的なツールとしても位置づけることができる。これにより、理系分野の基礎を総合的に学ぶための学習環境を構築することが可能となる。

以上のように、宇宙線観測を活用した教育活動は、以下の効果が期待される。

期待される教育的効果

- **科学的興味の喚起:**
実体験を通じて科学の魅力を伝え、学習者の探究心を刺激する。
- **データ活用力の向上:**
実際のデータ解析を通じて、科学的思考力や論理的な問題解決能力を育成する。
- **格差の是正:**
コストを抑えた科学教育ツールとして、教育機会の平等性を高める。
- **学びの多様化:**
学際的なアプローチにより、理系分野への興味を多方面に広げる。

これらの効果は、次世代を担う学習者の科学リテラシーを高め、未来社会における科学技術分野での活躍を支援する基盤となる。

5. おわりに

CMOS イメージセンサーを活用した宇宙線観測アプリは、科学教育アウトリーチへの応用において極めて有望と考えられる。本研究の成果をさらに発展させることで、宇宙物理学の理解を深めるとともに、次世代の科学リテラシー向上に寄与することが期待される。協働的な探究の体験を提供できることが大きな利点となり、教育現場での広がりや国際的な協力の深化が、学びの加速を促す新たな起爆剤となることが期待できる。今後も、観測手法の精緻化や科学教育アウトリーチへのさらなる応用を進め、科学の魅力を広く伝える取り組みを続けていきたい。

参考文献

- (1) Statista Research Department : “Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030” (2024).
- (2) 町田真一、西村佳壽子、宍戸三四郎、三宅康夫、徳原健富、柳田真明、中田学、村上雅史 ほか「特集 イメージセンサ技術の最新動向 2. 技術トピック (1) ～有機CMOSイメージセンサの開発動向～」『映像情報メディア学会誌』第72巻第3号、映像情報メディア学会、198-203頁(2018).
- (3) J. J. Cogliati, K. W. Derr, J. Wharton, “Using CMOS Sensors in a Cell-phone for Gamma Detection and Classification”, arXiv:1401.0766 (2014).
- (4) W. Takano and K. Hibino "Consumer Devices with CMOS camera image sensors as Pocket-Sized Particle Detectors." PoS(ICRC2023)162 (2023).
- (5) M. Meehan et al., "The particle detector in your pocket: The Distributed Electronic Cosmic-ray Observatory", PoS(ICRC2017)375 (2017).
- (6) P. Homola, et al., “Search for Extensive Photon Cascades with the Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory”, arXiv:1804.05614 (2018).
- (7) Daniel Whiteson, Michael Mulhearn, Chase Shimmin, Kyle Cranmer, Kyle Brodie, Dustin Bums, “Observing Ultra-High Energy Cosmic Rays with Smartphones”, arXiv:1410.2895 (2014).
- (8) 文部科学省, 「探究型学習に関する手引き(令和3年7月)」,

https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/sougou/20210729-mxt_kouhou02_1.pdf, (2024年11月29日閲覧).

- (9) 文部科学省, 「探究型学習の実践ガイド(令和4年4月)」, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/sougou/20220426-mxt_kouhou02-2.pdf, (2024年11月29日閲覧).

- (10) 文部科学省, 「総合的な探究の時間に関する指導の手引き(令和5年5月)」,

https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/sougou/20230531-mxt_kyouiku_soutantebiki03_2.pdf, (2024年11月29日閲覧).

(2024年11月30日 受付)
(2025年2月4日 採録)

論文

ゲーム要素を取り入れた教育方法に関する要素分類と傾向の調査 - システマティックレビューによる 2010 年以降の研究動向を基に - An Investigation of Element Classification and Trends in Educational Methods Incorporating Game Elements

-Based on a systematic review of research trends since 2010

大多和 秀樹*1・石切山 大*1・酒井 郷平*2
24421004h@sz.tokoha-u.ac.jp

*1: 常葉大学大学院 学校教育研究科

*2: 常葉大学 教育学部

抄録

教育現場において「ゲーミフィケーション」が注目され、効果的な教育方法の一助として期待されている。一方で、こうしたゲーム要素を取り入れた教育方法には、具体的にどのような要素が取り入れられており、その動向を概観した研究は見当たらない。

そこで、本研究では、2010年以降の日本のゲーム要素を取り入れた教材の教材開発・実践的研究を対象に、国立情報学研究所の論文情報ナビゲータ (CiNii) の検索機能を用いて調査し、得られた結果を分類し、その傾向や動向について考察を行い、今後の導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。その結果、「英語」や「国語」などの実践があまりなされていない教科が今後課題となりうる可能性や、ゲームジャンルによって使用されるゲーム教材の種類が固定化している傾向にあること、教師の意図に適した「競争性 (レース)」や「可視化 (スコア・ランキング)」等のゲーム要素がよく活用されていることについて確認でき、ゲーム教材は、活用目的などを明確化し、その有効性を図る必要があることについて示唆を得ることができた。

◎Key Words ゲーミフィケーション, 教育方法, システマティックレビュー

1. はじめに

ゲームを教育に活用していく取り組みは、デジタルゲームを活用した教育以前から関心を持って進められてきた。藤本によれば、「エデュテイメント」、「シリアスゲーム」などと呼び名を変えながら各時代の技術を活用し、2010年代に入ると「ゲーミフィケーション」が提唱され、ゲームの社会的な応用の取り組みとしてさらに広がりを見せ、教育現場においても研究が進められてきたという⁽¹⁾。「ゲーミフィケーション」とは、「すでに存在する対象に対して、ゲーム的な要素を付け加えること」である⁽²⁾。近年では、「教育版マインクラフト (Minecraft: Education Edition)」の普及などによる授業への導入にも注目が集まってきている。

その導入の効果として、藤川は教材にゲーミフィケーションを取り入れ、子どもたちが教材の世界に没入し、集中して課題に取り組むことができ、ゲーミフィケーションの導入によって授業を飛躍的に改善できる可能性があることが確認されたと報告した⁽³⁾。さらに、坂井らはゲーム要素を付与したプロジェクト学習が生徒の学習意欲やキャリアビジョンを高める可能性を示唆する⁽⁴⁾など、様々な授業や教材に取り入れながら、教育方法としての有効性が示されてきた。

また、経済産業省の令和5年度地域デジタル人材育成・確保推進事業 (ゲーミフィケーションを活用した人材育成等に関する調査事業) を通しては、ゲームの要素

を取り入れて学習者が楽しみながら学習するための工夫は、教育現場において従来から行われてきており、GIGA スクール構想など、昨今の学校教育現場においてもデジタル活用が進展し、ツールの一つであるゲーミフィケーション導入は教職員の取組の支援につながることを期待されると述べられている⁽⁵⁾。一方で、教育現場におけるゲーミフィケーションの実践は、クイズ形式の教材をはじめ、ゲーム的な要素を持ちつつもゲーミフィケーションと意識せずに実践されている事例を含め、ゲーミフィケーションを学校現場に取り入れる際に、どのような要素を取り入れると効果的であるか、教材に頻繁に活用されるゲーム要素などを明らかとしなければ、義務教育段階の教育現場への積極的なゲーミフィケーションの導入は推進されないと考えられる。

しかし、それらゲーム要素をどのように取り入れられているか、という視点から教育方法を概観した研究は管見の限り見当たらない。そのため、ゲーム教材の実践を調査し分類することは、現在のゲーミフィケーションの傾向や課題を明らかにし、その積極的な導入に貢献できる意義があると考えられる。

そこで、本研究では、「ゲーミフィケーション」が提唱されたとされる2010年以降の日本のゲーム要素を取り入れた教材 (以下「ゲーム教材」と表記) の教材開発・実践的研究を対象に、その傾向とゲーム要素の特徴を明らかにするため、国立情報学研究所の論文情報ナビ

ゲータ (CiNi) の検索機能を用いて調査を行い、調査によって得られた結果を分類し、その傾向や動向について考察を行い、今後の導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法

2.1 調査の対象

研究を行うにあたり、対象文献の抽出を行った。調査における対象文献を抽出する方法としては、国立情報学研究所の論文情報ナビゲータ (CiNi) の検索機能により、2010年から2024年10月31日までに刊行されている文献について収集を行う。検索のワードとしては、『ゲーム』『教材』について AND 検索を行い、本文リンクがあるものを対象として文献の抽出を行った。ここで得られた文献を「一次抽出文献」と設定し、この一次抽出文献について、①日本学術会議において学術研究団体として登録されている学会が発行する学会誌 (日本教育工学会、日本教育情報学会、日本情報科教育学会、コンピュータ利用教育学会等)、②日本教育工学会、日本教育情報学会、電子情報通信学会などの研究報告集に掲載されている文献、③大学が発行する研究紀要及び報告書に掲載されている文献、④4頁以上を条件として、対象文献を「二次抽出文献」として再抽出を行った。なお、学会発表の要旨や博士課程の論文等については、内容が学会誌及び研究報告書と重複するところが多いことから調査対象から除外している。また、検索には該当したものの取り寄せることができなかった文献や、実践研究とは関連性がないと判断した文献については、二次抽出文献を抽出する過程で調査対象から除外している。特に、本稿では、「ゲーム教材」を『学習内容の習得や資質・能力の育成といった教育活用を目的とし、学習目標を達成するために構築された、定められた約束事・システムとプレイヤーの選択との相互作用を基に行われる優劣 (勝敗、達成・未達成) を決める行為や活動』と定義した。そのため、既存のサッカーやカルタなどはゲームであってもゲーム教材ではないと判断し、歴史人物カルタの開発といった教育活用のために新たに開発された教材を抽出文献として残すこととした。

2.2 分類の方法

そして、二次抽出文献を対象とし、学校種別、各教科別、ゲーム教材の種類、ゲームジャンル、ゲーム要素についての分類を行った。これらの分類は、情報教育を専門とする教育学研究者1名、小学校教員免許状を有する教職大学院生2名の計3名で行った。

はじめに、ゲーム教材の開発・実践内容がどの学校段階であるかを検討し、分類を行った。分類は、「小学校」「中学校」「高校」「大学・高等専門学校・専門学校・短大」「その他」の5つに分類を行った。「その他」については、幼児教育や社会人を対象とした実践、得られた文献のみでは判断が難しい場合に分類した。また、ゲーム教材が狙っている対象と効果検証の際の対象が異なっている場合は、そのゲーム教材が今後活用されていくことを想定し、ゲーム教材が狙っている活用対象の校

種で分類した。「小学校」と「中学校」で活用できる実践など、教材の活用対象が複数ある場合はそれぞれにカウントすることとする。

ゲーム教材の種類については、ゲーム教材がアプリなどのデジタルゲームか、カードゲームなどのアナログゲームであるかを分析するため、「ソフト (ソフトウェア)」「カード (ハードウェア)」「ボード (ハードウェア)」「ワークシート (ハードウェア)」「その他 (ハードウェア)」「分類不可」で分類した。「その他 (ハードウェア)」については、ワークシートらを活用せずに行っている場合に分類した。また、カードゲームとワークシートを併用してゲーム教材を活用している場合 (ボードゲームの場合も同様) には、ワークシートは記録用として用いられていることから、「カード (ハードウェア)」に分類した。内容から判断ができない文献は、「分類不可」とした。

各教科等については、「国語」「社会」「算数 (数学)」「理科」「生活」「音楽」「図画工作 (美術)」「技術・家庭」「保健・体育」「外国語 (英語)」「道徳」「総合」「特別活動」「情報」「商業」「その他」の18で分類を行った。これらで統一して行う理由としては、2010年以降の文献を調査対象とし、調査対象の期間中に学習指導要領の改訂が行われているため、高等学校では世界史探究などの新設科目と世界史Aなどの無くなった科目も存在するからである。「その他」については、それらには含まれない幼児や大学、社会人向けの実践の場合や判断が難しい場合に分類した。

そして、各実践で提示されたゲーム教材のゲームのジャンルについて分析するために、先行研究⁶⁾の中で用いられていたゲームのジャンルを参考に、ゲーム教材を分類した。この分類の基準を Table 1 に示す。

また、ゲーム教材で活用されているゲーム要素について分析するために、先行研究のゲームのジャンルから計3名で想起される15のゲーム要素を挙げ、そのゲーム要素を基に得られた文献から判断できる要素を分類した。どちらもこれらには該当しないと考えられる場合や得られた文献からでは判断が難しい場合は「その他 (分類不可)」とした。この分類を Table 2 に示す。

3. ゲーム教材の分類の結果と分析

3.1 文献の抽出と学校種の分類

対象文献の抽出を行った結果、541件が一次抽出文献に該当し、129件が二次抽出文献に該当した。その中で文献を入手できなかった1件 (0.77%) を除いた128件を二次抽出文献とした。二次抽出文献について、発表年、学校種別で集計した結果を Table 3 に示す。しかし、先述したように、複数の学校種を跨る実践の場合はそれぞれカウントしたため、二次抽出対象文献の合計数128件とは異なっている。また、5年ごと各課程の件数の増減を Table 4 に示す。

分類の結果から、ゲーム教材を活用した研究は、義務教育段階における実践が49.3%で約半分を占めることが分かった。また、2020年から2024年の直近5年間においては、「小学校」が1件減ただけで、それ以外の学校種で研究数の著しい増加がみられた。

Table1 ゲームのジャンル

ゲームのジャンル	説明
ロールプレイングゲーム (RPG)	プレイヤー自身がとある人物になりきって、冒険や戦闘などを行うゲーム。
シミュレーションゲーム (SLG)	現実世界や仮想世界で起こる出来事や体験を再現するゲーム。
アドベンチャーゲーム (AVG)	文字による会話や、画像による状況説明を基に、推理し選択して進んでいくゲーム。
アクションゲーム (ACT)	キャラクターの行動を操作し、アイテム収集など様々な目的を達成するゲーム。
レースゲーム	他のプレイヤーとタイムや順位を競うゲーム。
パズルゲーム	謎解きなどのお題解決を行うゲーム。
スポーツゲーム	キャラクターを操作し、身体運動で争うゲーム。
音楽ゲーム	リズムに乗って点数を競うゲーム。
位置情報ゲーム	GPS などを用いて行い、仮想空間のゲームを現実世界で行っているように感じるゲーム。
ボードゲーム	チェスなどの専用のボード (盤) の上コマを動かしたり、取り除いたりして遊ぶゲーム。
カードゲーム	トランプなどの専用のカードを使って遊ぶゲーム。
リアル系ゲーム	脱出やサバイバルゲームなどの現実世界で行うことのできるゲーム。
スポーツ (リアル)	サッカーなどのプレイヤーの身体運動を中心としたゲーム。

Table2 ゲーム要素

ゲーム要素	教材で見られる場面
上達 (スキルアップ)	何度も挑戦せざるを得ない設計となっている。
育成 (デベロップメント)	プレイヤーが木などの物や人などを育てている。
生成 (プロダクション)	プレイヤーによって新たに何かが生み出される。
揃える (アランジ)	写真やアイテムなどの物と物を組み合わせている。
並べる (ラインナップ)	写真やアイテムなどの物を一列など規則的に並べている。
収集 (コレクション)	写真・アイテムなどの物を集めている。
選定 (セレクション)	複数の選択肢を迫り、回答しないと次に進めない場合がある。
比較 (コンペア)	複数の事象に対して、どちらがよいかなどの優劣をつけている。
物語性 (ファンタジー・ミステリー)	仮想空間を用いる、または、設定されたお話に沿ってゲームが進む。
役割演技	誰か別の人物になり切り、ゲームをプレイしている。
協力・協働 (チームワーク)	他者と一緒に取り組み課題や問題などがある。
競争性 (レース)	他者と争う場面がある。
可視化 (スコア・ランキング)	点数や現在の進捗状況などが一目瞭然である。
報酬 (実績)	アイテムなどが手に入ることがができる。
運	プレイヤーが操作できない場面・行動がある。
その他 (分類不可)	上記のもの以外を指す。

Table3 学校種における年代別分類 (研究数・学校種ごとの発表年の度数 (%))

発表年	小学校	中学校	高等学校	高専・短大・大学	その他	計					
2010年	0	0.0%	4	9.8%	2	7.1%	0	0.0%	1	8.3%	7
2011年	2	6.5%	4	9.8%	3	10.7%	1	2.9%	0	0.0%	10
2012年	1	3.2%	1	2.4%	3	10.7%	5	14.7%	2	16.7%	12
2013年	1	3.2%	3	7.3%	1	3.6%	2	5.9%	0	0.0%	7
2014年	4	12.9%	0	0.0%	0	0.0%	3	8.8%	1	8.3%	8
2015年	0	0.0%	1	2.4%	0	0.0%	1	2.9%	0	0.0%	2
2016年	3	9.7%	3	7.3%	3	10.7%	3	8.8%	0	0.0%	12
2017年	3	9.7%	5	12.2%	2	7.1%	2	5.9%	0	0.0%	12
2018年	2	6.5%	1	2.4%	1	3.6%	1	2.9%	1	8.3%	6
2019年	4	12.9%	1	2.4%	0	0.0%	2	5.9%	0	0.0%	7
2020年	1	3.2%	6	14.6%	4	14.3%	3	8.8%	0	0.0%	14
2021年	1	3.2%	4	9.8%	3	10.7%	3	8.8%	5	41.7%	16
2022年	3	9.7%	6	14.6%	4	14.3%	4	11.8%	0	0.0%	17
2023年	5	16.1%	2	4.9%	1	3.6%	2	5.9%	1	8.3%	11
2024年	1	3.2%	0	0.0%	1	3.6%	2	5.9%	1	8.3%	5
計	31	21.2%	41	28.1%	28	19.2%	34	23.3%	12	8.2%	146

この要因としては、ゲーム業界の市場規模が拡大しており、現在デジタルネイティブな子供たちにとって身近なゲームを学習として提供する「教育版」ゲームが増加している。こうした社会的注目が集まる中で、同時期 GIGA スクール構想により1人1台端末や高速大容量の通信ネットワークが整備され、デジタルとアナロ

グを使い分けたゲーム教材の取組が行いやすくなり、研究自体も活発になったと考えられる。

3.2 ゲーム教材の種類分析

ゲーム教材の種類別分類については、「分類不可」が0件であったため、削除し、その結果を Table5 に示す。

Table4 学校種における5年ごとの推移(前5年との増加率(%))

発表年	小学校	中学校	高等学校	高専・短大・大学	その他	計
2010年～	8	12	9	11	4	49
2014年	(- %)	(- %)	(- %)	(- %)	(- %)	(- %)
2015年～	12	11	6	9	1	39
2019年	(150.0%)	(91.7%)	(66.7%)	(81.8%)	(25.0%)	(79.6%)
2020年～	11	18	13	14	7	63
2024年	(91.7%)	(163.6%)	(216.7%)	(155.6%)	(700.0%)	(161.5%)

Table5 ゲームの種類における年代別分類(研究数・ゲーム教材の種類ごとの発表年の度数(%))

発表年	ソフト (ソフトウェア)		カード (ハードウェア)		ボード (ハードウェア)		ワークシート (ハードウェア)		その他 (ハードウェア)		計
2010年	2	5.4%	0	0.0%	0	0.0%	2	33.3%	1	4.5%	5
2011年	2	5.4%	2	3.9%	1	11.1%	1	16.7%	2	9.1%	8
2012年	4	10.8%	6	11.8%	1	11.1%	0	0.0%	1	4.5%	12
2013年	1	2.7%	3	5.9%	0	0.0%	0	0.0%	1	4.5%	5
2014年	1	2.7%	4	7.8%	2	22.2%	0	0.0%	0	0.0%	7
2015年	2	5.4%	0	0.0%	0	0%	0	0.0%	0	0.0%	2
2016年	2	5.4%	4	7.8%	1	11.1%	0	0.0%	1	4.5%	8
2017年	4	10.8%	6	11.8%	0	0.0%	0	0.0%	1	4.5%	11
2018年	2	5.4%	1	2.0%	0	0.0%	.0	0.0%	.3	13.6%	6
2019年	1	2.7%	5	9.8%	1	11.1%	0	0.0%	0	0.0%	7
2020年	5	13.5%	6	11.8%	0	0.0%	1	16.7%	0	0.0%	12
2021年	3	8.1%	4	7.8%	1	11.1%	0	0.0%	3	13.6%	11
2022年	6	16.2%	3	5.9%	2	22.2%	1	16.7%	4	18.2%	16
2023年	0	0.0%	4	7.8%	0	0.0%	1	16.7%	5	22.7%	10
2024年	2	5.4%	3	5.9%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	5
計	37	29.6%	51	40.8%	9	7.2%	6	4.8%	22	17.6%	125

ゲーム教材の種類の変向として、GIGA スクール導入後の2019年から2023年にかけて、ソフトウェア媒体で行われるデジタルゲームにおける実践が増えていることが分かった。特にソフトウェアの実践が多かった2022年の小中学校を対象とした文献には、「Minecraft」を活用した授業実践⁷⁾や、小学校家庭科における授業実践⁸⁾ではワークシートを活用しながら行うという、デジタルゲームの実施事例と、デジタルとアナログを組み合わせた学習の可能性が見受けられた。

このことから、直近5年の研究数の増加には、GIGA スクール構想における1人1台端末の導入や高速大容量の通信ネットワークを基盤としたデジタルゲーム教材の実践の増加が関わっていることが明らかとなった。

また、アナログゲーム教材において、ボードゲームやワークシートを主として活用する事例が圧倒的に少なく、カードゲーム教材が多く用いられていることが分かった。これは、多忙な教育現場の中で教材開発を行う教員が、先行研究で明らかとされてきた学習意欲を高める⁹⁾ための仕掛けとして活用していく中で、ボードゲームを作成することはトランプのように扱いやすいカードゲームに比べ大掛かりである。そのため、準備に時間がかかりにくいカードであれば、手軽に学習指導に活用できることが要因であると考えられる。

3.3 各教科等の分析

各教科等については、「音楽」「図画工作(美術)」「道

徳」「特別活動」「商業」が0件であったため、削除し、分類した結果をFigure1に示す。また、「その他」に該当した文献の内容からキーワードを抽出し、カテゴリ別に分類し、1カテゴリあたりの実践件数、カテゴリ数、合計数を示した結果をTable6に示す。

分類の結果から、特に「算数(数学)」(25件)や「社会」(17件)において実践されている一方で、主要5教科の中でも、「英語」「国語」は2件と相対的に少なかった。ここから、教科間でばらつきがあり、教科間で導入しやすい教科と導入しにくい教科があると分かる。

また、「その他」の分類結果から、キャリア教育や防災教育、金融経済教育、環境教育など、現在の学校教育で取り上げられる内容も多く実践されていることがわかる。さらに、図書館に関する事項や社会的ジレンマなど、一般的ではない領域でも活用が見込めることも明

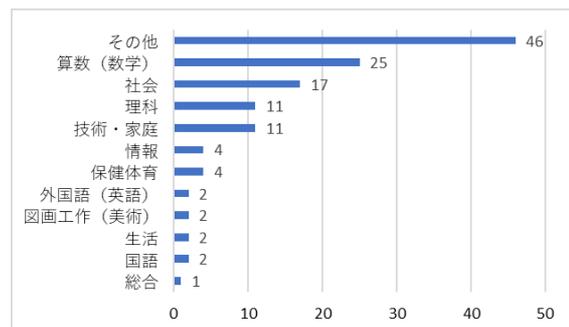


Figure1 各教科等におけるゲーム教材の実践

Table6 その他の内容カテゴリ別の件数

キーワードにおける カテゴリ	実践 件数	カテゴリ 数	合計
キャリア教育	4	1	1
防災教育, 環境教育, 金融経済 教育, 社会的ジレンマ, 科学技 術と社会, 図書館	3	6	18
安全教育, 健康, 栄養教育, 看 護教育, 保育・知育, 経営, 討 論	2	7	14
リメディアル, 患者教育, 福祉, いじめ防止, サイバー, 土木測 量技術, ゲーム論, 栽培活動, パーソナルコーチング, マナー	1	10	10
合計		24	46

らかとなった。これはゲームを導入する目的として、興味を持ちやすいという特徴を生かして、一般的ではない領域について興味をひくように工夫していることが要因であると考えられる。

3.4 ゲームジャンルの分析

「アクションゲーム (ACT)」「スポーツゲーム」「音楽ゲーム」「位置情報ゲーム」が0件であったため、「カテゴリ外」と同じく削除した。このゲームジャンルについての分類とゲーム教材の種類との対応表を Table7 に示す。

この分類から、カードゲームが38件と一番多くを占めており、次にシミュレーションゲーム (SLG) 26件と多いことが明らかとなった。また、活用されるゲーム教材の種類として、シミュレーションゲーム (SLG) は半数をソフトウェアが占めるなど、ゲームジャンルによって、活用される教材の種類が決定している可能性が示唆された。そのため、ゲーム教材を作成する際には、どのゲームジャンルで行いたいかを明確化し、教材を

開発することで、教材の特性を活かしたゲーム教材となりうると考えられる。

3.5 ゲーム要素の分析

ゲームの要素についての結果を、Table8に示す。

分類から、本筆者らが作成した要素の中では、「競争性 (レース)」が圧倒的に多く、「可視化 (スコア・ランキング)」、「物語性 (ファンタジー・ミステリー)」が続いて多いことが分かった。この要因として、教員側がゲーム教材を活用する際に、グループごとの競争やランキング付け、ポイントなどのスコアを伸ばしたいという思いによってモチベーションを高め、学習に取り組ませたいという思いが現れていると考えられる。また、ゲームの良さとして挙げられている現実の自己と切り

Table8 ゲーム要素の分類

ゲーム要素	活用数
競争性 (レース)	58
可視化 (スコア・ランキング)	43
協力・協働 (チームワーク)	37
物語性 (ファンタジー・ミステリー)	29
選定 (セレクション)	28
比較 (コンペア)	18
収集 (コレクション)	17
上達 (スキルアップ)	15
生成 (プロダクション)	14
揃える (アランジ)	14
運	12
並べる (ラインナップ)	10
役割演技	6
育成 (デベロップメント)	4
報酬 (実績)	4
その他 (分類不可)	2

Table7 ゲームのジャンルと教材の種類

ゲームのジャンル	ソフト (ソフト)	カード (ハード)	ボード (ハード)	ワークシート (ハード)	その他 (ハード)	計
ロールプレイングゲーム (RPG)	5 (38.5%)	5 (38.5%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	2 (15.4%)	13
シミュレーションゲーム (SLG)	13 (50.0%)	7 (26.9%)	1 (3.8%)	2 (7.7%)	3 (11.5%)	26
アドベンチャーゲーム (AVG)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2
レースゲーム	1 (50.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (50.0%)	2
パズルゲーム	1 (50.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (50.0%)	2
ボードゲーム	1 (9.1%)	0 (0.0%)	7 (63.6%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	11
カードゲーム	2 (5.3%)	36 (94.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	38
リアル系ゲーム	1 (12.5%)	2 (25.0%)	0 (0.0%)	1 (12.5%)	4 (50.0%)	8
スポーツ (リアル)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	6 (100%)	6

離して活動できる世界観を作り出し何度も試行させ⁹⁾、授業における魅力的な教材への惹きつけや主体的に学習に取り組む態度を誘発するために「物語性(ファンタジー・ミステリー)」が活用されていると考えられる。

一方で、実践で活用されるゲーム要素としては「報酬(実績)」や「育成(デベロップメント)」が少なく、ゲームジャンルとは異なり、「役割演技」も少ないことが分かった。この要因として、「報酬(実績)」においては、もので釣るという状況が外発的な動機付けとなり、子供自らが進んで学習を行わなくなることを避けたいという意図が現れていると考えられる。さらに、「育成(デベロップメント)」においては、ゲーム教材を通して実施するのではなく、実物に触れ、育てていくという体験活動を重視しているのではないかと考えられる。また、「役割演技」については、ほとんどの場合、行う際の対象が人物だけに限られていることから、人物以外の場面でほとんど活用することができず、ゲーム要素としては扱うことが難しいと考えられる。

以上の結果を基に、ゲーミフィケーションの傾向や課題、動向について考察を行っていく。

4. 考察

ゲーム教材の整理を行った結果、2010年以降のゲーム教材の傾向や課題、研究動向について以下の特徴が5つ挙げられる。

1つ目に、直近5年間の研究数の増加¹⁰⁾には、GIGAスクール構想における1人1台端末の導入や高速大容量の通信ネットワーク環境を基盤としたデジタルゲーム教材の実践の増加が関わっていることが明らかとなった。これは、今後も国内の教育動向によって傾向が大きく異なる可能性が考えられる。そのため、国内外の動きとの関連を踏まえながら、教材や授業を開発していくことが求められる。

2つ目に、「英語」や「国語」など、ゲーム教材を用いた実践がなされていない教科がある。これは、ゲーム教材が一定の教科だけに実践が偏ってしまっていると指摘できる。これは、今後、保護者のニーズとしてそれらの科目において導入が求められた際に、教員は先行事例がないまま、教材や授業開発をしなければならない。そのため、国語科においては漢字の部首に着目して、カードを活用し、漢字を揃え完成させるゲームなど、導入できる単元や活用場面を考えておくことが必要であるだろう。

3つ目に、カードゲームはアナログゲームで、シミュレーションゲーム(SLG)はデジタルゲームなど、ゲームジャンルによって、使用されるゲーム教材の種類が固定化している傾向にある。これは、Table7からも伺えるように、学校現場でゲーム教材を活用していく際に、行う活動場面などによって、どのゲームジャンルでどの媒体が適しているのかを考えることが求められる。内容に則した学習活動を展開していくためにも、ゲームジャンルと対応し合う媒体との関係性を見出していく必要があるだろう。

4つ目に、学習者の意欲を高め、子供を教材に惹きつける仕掛けとなる「競争性(レース)」などのゲーム要

素がよく活用されている。一方で教員の意図にそぐわないと考えられる「報酬(実績)」や「育成(デベロップメント)」などのゲーム要素は、あまり活用されていない。これらは、ゲーム教材の作成の際に、教員が留意しなければならない点として挙げられる。これは、藤本がゲームの教育利用において、導入する際には、具体的な目的や期待する効果を明確化することや、目的に応じた様々な工夫が必要であるという先行研究¹⁰⁾の指摘にもあるように、ゲーム教材を活用した指導の際には、教員の活用目的がどこにあるのかを概観した調査も検討していく必要があるだろう。また、それらを示し、ゲーム教材を活用した単元カリキュラムの開発・作成なども求められる。

以上のことから、今後も実践や調査研究を積み重ねていく必要がある。また、学習指導要領の改訂やNEXT GIGAなど、教育における方向性を見据えながら、研究について検討する必要があるだろう。

また、本研究を通して、今後の学校教育の教育方法として、ゲームの種類や教材の種類、活用目的を明らかにして活用する必要性が確認できた。これは、教材の有効性を問う際に、従来の教材検討だけではなく、さらに学習の目的に則したゲームジャンルの妥当であったか、教材の種類としてデジタルまたはアナログで実施したことが有効であったかを検討することで、ゲーム教材の有効性を見とる必要があることを示唆している。その視点を持ち、研究を検討する必要もあるだろう。

5. おわりに

本研究では、ゲーミフィケーション提唱後(2010年以降)から行われてきたゲーム教材の開発・実践的研究を対象に、国立情報学研究所ナビゲータ(CiNii)の検索機能を用いて調査し、学校種別、各教科別、ゲーム教材の種類、ゲームジャンル、ゲーム要素についての分類を行った。

分類によって得られた結果から、ゲーム教材を活用した研究において、ゲームジャンルによって、使用されるゲーム教材の種類が固定化している傾向や「算数(数学)」(25件)や「社会」(17件)において特に実践されている教科がある一方で、主要5教科の中でも「英語」「国語」は実践事例が2件ずつと圧倒的に少ないことで今後教材や授業開発の際に課題となりうること、学習者の意欲を高め、子供を教材に惹きつける仕掛けとなる「競争性(レース)」などのゲーム要素がよく活用されている一方で教員の意図にそぐわないと考えられる「報酬(実績)」や「育成(デベロップメント)」などのゲーム要素は、あまり活用されていないことなどが明らかとなった。

今後は、実践事例の少なさなどの課題を改善していくためにも、様々な領域で様々なジャンルのゲーム教材開発・実践研究を行っていくことが求められる。

さらに、GIGAスクール構想といった国内の教育動向がゲーミフィケーションに少なからず影響を与えている可能性がある。そのため、どのように影響を与えているのかを考察していくことも必要がある。

また、本研究の限界として、国立情報学研究所ナビゲ

ータ(CiNii)の検索機能を用いて、閲覧可能であった文献からの学校種別などの分類に留まり、掲載されているすべてのゲーム教材の実践事例の分類には至らなかった。また、何を目的として、どのようなゲーム要素を取り入れゲーム教材を開発してきたかを明らかにすることができなかった。

今後は、本調査の結果を踏まえ、学校現場における効果的なゲーム教材の開発についての研究を進めるとともに、何を目的としてどんなゲーム要素を取り入れ活用してきたか、調査を進める。

参考文献

- (1) 藤本徹：「ゲーム学習研究の動向と今後の課題」, コンピュータ&エデュケーション, 56, pp.12-17 (2024) .
- (2) 井上明人：「ゲーミフィケーションとは何かーデザイン史との比較からー」, デザイン学研究特集号, 21, 2, pp.2-7 (2014) .
- (3) 藤川大祐：「ゲーミフィケーションを活用した「学びこむ」授業の開発」, 千葉大学教育学部研究紀要, 64, pp.143-149 (2016) .
- (4) 坂井裕紀, 藤本徹, 池尻良平：「ゲーム要素を付与したプロジェクト学習が学習意欲とキャリアビジョンに及ぼす影響」, 日本教育学会論文誌, 43 (Suppl.), pp.81-84 (2019) .
- (5) 経済産業省：「令和5年度地域デジタル人材育成・確保推進事業（ゲーミフィケーションを活用した人材育成等に関する調査事業）」に関する報告書を公表しました (METI/経済産業省)
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/contents/2024_gamification-jinzaiikusei.html, (2024年11月30日閲覧) .
- (6) 藤本徹, 鈴木真保, 福山祐樹, 池尻良平：「ゲームプレイヤーの学習経験認識に関する調査」, デジタルゲーム学研究, 14, 2, pp.1-8 (2021) .
- (7) 岩橋純子, 安藤明伸, 西岡芳晴, 川畑大作, 白石喬久：「コンピュータゲーム「Minecraft」を用いた仙台上杉地区の地質に関する教材開発」, 地学雑誌, 131, 4, pp.463-472 (2022) .
- (8) 上野顕子, 新谷洋介, 長谷川元洋：「小学校家庭科におけるオンラインゲーム利用時のおこづかいの使い方を考える授業効果の検証ープリペイドカードで課金ができる教材を活用してー」, 消費者教育, 42, pp.171-182 (2022) .
- (9) 藤本徹：「ゲーム学習の新たな展開」, 放送メディア研究, 12, pp.233-252 (2015) .
- (10) 藤本徹：「効果的なデジタルゲーム利用教育のための考え方」, コンピュータ&エデュケーション, 31, pp.10-15 (2011) .

(2024年12月1日 受付)

(2025年2月11日 採録)

統計的な問題解決のための図解表現を用いた授業実践と評価

A Classroom Practice and Evaluation of Visual Representation for Statistical Problem Solving

納庄 聡*1・若杉 祥太*1

Email: nosho-s92@ex.osaka-kyoiku.ac.jp

*1:大阪教育大学 理数情報教育系

抄録

平成30年の学習指導要領改訂に伴い、高等学校情報科では、データを問題の発見・解決に活用するなどの統計的な問題解決に向けて問題の発見・解決の手法や過程に関する学習の充実が求められている。そこで本研究の目的は、統計的な問題解決のために与えられた課題の目的の明確化や、データの分析の流れの可視化を行うための図解表現を開発することである。本稿では、高等学校情報科情報Ⅰにおけるデータの分析に関する学習内容を整理し、統計的な問題解決のための図解表現を開発し、その使用方法や記号などの解説を行う。また、開発した図解表現を用いた授業実践の概要について述べる。図解表現に関するアンケート調査の結果、図解表現の記号を使い分け、効果的に学習に取り組めたことで、統計的な問題解決の学習での図解表現の有効性が示唆された。一方で、その記号の理解や活用については難しさが残る結果となった。

©Key Words 図解表現, 統計的な問題解決, 情報Ⅰ, データの分析

1. はじめに

学校教育におけるデータサイエンスに関わる教育内容として、我が国の統計教育は、学習指導要領(平成29年,平成30年,平成31年告示)の改訂に伴い、小学校算数科や中学校・高等学校数学科,高等学校情報科において内容の追加・充実が行われた。特に算数科では、Wild & Pfannkuchが提唱した統計的な問題解決(問題—計画—データ—分析—結論)の段階を経る学習プロセスを知ることが新しく追加¹⁾されるなど、その重要性が増している。

さらに高等学校情報科では、情報Ⅰと情報Ⅱが設置され、データの表現・収集・整理・分析などのデータサイエンスに関わる内容を扱うことになった。

情報Ⅰは必修科目として設置され、これまで行われてきた基本的統計量やグラフ化などのコンピュータを用いた学習に加え、統計的指標や仮説検定、質的・量的なデータの分析に関する学習が取り扱われる。また、学習指導要領の解説では、統計的な手法の活用も含めた問題の発見・解決の手法や過程に関する学習の充実が示されている²⁾。

選択科目である情報Ⅱでは、第3章「情報とデータサイエンス」が設けられ、重回帰分析や分類、クラスタリング及びその可視化や結果の予測・評価に関する学習が取り扱われる。このように単にデータを分析するだけでなく、問題解決の手法や過程を意識し、可視化や予測、評価を行う学習が求められる。

情報科のデータの分析における学習方法の先行研究として、成瀬らはICT機器を用いて気象データの比較や分析、評価をする授業実践とその結果について報告している³⁾。また、村上らはクリック操作のみで重回帰分析できるWebアプリケーション教材の提案と授業実践について報告している⁴⁾。さらに、若杉らは通年型のデータサイエンス教育を行い、「数理・データサイエン

ス・AI」に関する基礎的リテラシーの習得を目指したカリキュラムに基づいた授業実践とデータサイエンスに関する項目の調査結果とその課題を報告している⁵⁾。

これまでの先行研究は、ICT機器の効果的な活用やExcelなどの表計算ソフトを用いた学習、通年での統計的探究プロセスを用いた学習など、データの分析に関する学習活動全体に着目したものが中心である。そのため、授業実践の多くで表計算ソフトを用いたデータの分析や通年でのカリキュラム開発などの授業実践が占める一方、データの分析の問題解決の過程における学習者の理解を向上させる研究が十分にされていないと言いが難い。

高等学校情報科では、これまでの事例を提示しながら学習を進めていく従来の学習方法とは違い、前述の統計的な問題解決に向けて問題の発見・解決の手法や過程に関する学習の充実が求められている²⁾。先行研究として、PPDACサイクルを用いた統計的な問題解決の手法は、若杉らが行っているものの、通年での授業実践であるため、一般の高等学校の限られた授業時間内で展開することは難しく、課題が残る。

情報科における問題解決の場面では、フローチャートやブレインストーミングなどの図解表現が用いられている。永山らによると、図解とは図の一種で、主に抽象的な概念や仕組みなどを円や矢印で表現した概念図を指し、箇条書きや表、具象的な図は対象から外れる⁶⁾。さらに、送り手の考えを図解の形に簡潔化するとき、受け手と送り手に共通したある種のルールが必要になることを指摘している⁶⁾。

そこで本研究の目的は、統計的な問題解決のため、与えられた課題の目的を明確にし、データの分析の流れを可視化するための図解表現を開発することである。

本稿では、高等学校の情報Ⅰにおけるデータの分析に関する学習内容を整理し、統計的な問題解決のための図解表現を開発し、その使用方法や記号などの解説

を行う。また、情報Ⅰの「(4) 情報通信ネットワークとデータの活用」で行うデータの分析の学習を実践研究の対象とした授業実践の概要について述べる。さらに、図解表現に関するアンケート調査を実施し、図解表現を用いた学習の有用性を検証する。

2. 情報Ⅰ「データの分析」に関する先行研究

データの分析について、学習指導要領には、高等学校情報科における情報Ⅰ(2単位)で「(4) 情報通信ネットワークとデータの活用」が取り扱われている。表1にデータの活用に関する学習内容を示す。

表1 データの活用に関する学習内容²⁾

項目	学習内容
知識及び技能	データを表現、蓄積するための表し方と、データを収集、整理、分析する方法について理解し技能を身に付けること
思考力、判断力、表現力等	データの収集、整理、分析及び結果の表現の方法を適切に選択し、実行し、評価し改善すること

上記の内容を指導するための資料として、平成31年発行の情報Ⅰの教員研修用教材では、(1) 尺度水準や質的データなどを扱うデータの表現、(2) Web スクレイピングやデータクリーニングを扱うデータの収集と整理、(3) テキストマイニングや単回帰分析を行うデータの分析と評価に分けられている⁷⁾。つまり、データの分析については、データの活用に関する学習内容の最後に位置付けられている。また、データの分析に関する総合演習を行う際には、「収集、整理、分析・可視化、評価の一連の流れで実施することが望ましい」と記載されている⁷⁾。

このような内容に関する研究としては、成瀬らによるICT機器の効果的な活用やExcelなどの表計算ソフトを用いた学習⁸⁾や、村上らによるアプリケーション教材の提案⁴⁾など、データの分析の学習方法に着目したものが中心である。一方で、平成30年告示の学習指導要領においては、これらのデータの分析に関する学習に留まらず、問題解決の視点を取り入れることが求められる。若杉らによる通年での統計的探究プロセスを用いた学習⁹⁾などの統計的な問題解決のプロセスに全体に着目した研究も実施されている。

このように、先行研究では、データの分析の学習においては、表計算ソフトの活用やその開発、データの分析の流れに着目した研究が実施されているものの、データの分析を行う上での思考の過程の可視化に焦点を当てた研究は管見の限り見られない。

3. 図解表現を用いたデータの分析の検討

3.1 問題解決のための図解表現

情報科における問題解決については、新設された平成10年から重要な学習内容の一つとして位置づけられ、情報Aの(1)情報を活用するための工夫や情報機器「A問題解決の工夫」、情報Bの(1)問題解決とコンピュータの活用「A問題解決における手順とコンピュータの活用」で取り扱われた。具体的には、教科書に記載されている問題解決の学習場面では、フローチャートやブレインストーミングなどの図解表現が用いられていた。

前述のように、永山らは概念図で表される図解の使用には、送り手と受け手の共通理解に基づいたルール作りが不可欠であることを指摘している⁶⁾

問題解決に図解表現の手法を取り入れた試みとして、小原らは教科書分析を行い、問題解決の手法の中でも効果的である手法について整理し、原因分析ができる系統図法(ロジックツリー)や、順序や手順を矢印で表記するアローダイアグラム図法などを用いた実践とその有用性を報告している⁸⁾。

このように情報科では、教科の設置当初から問題解決が学習内容として明文化されるとともに図解表現の有用性が示されている。

3.2 情報Ⅰにおける図解表現の取り扱い

情報科における図解表現は、情報Ⅰにおいて改訂された「(2) コミュニケーションと情報デザイン」において情報のデザインに関する学習が取り上げられ、その指導内容は「メディアとコミュニケーション手段及び情報デザインに着目し、目的や状況に応じて受け手に分かりやすく情報を伝える活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」と示された²⁾。

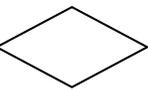
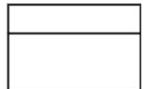
さらに、学習指導要領の解説の内容の取り扱いでは、問題解決のために、情報の整理や受け手にわかりやすく伝えること、操作性を高めることが記載されている²⁾。また、身に付けることが求められる知識及び技能の内容として、「情報デザインが人や社会に果たしている役割を理解すること」、「目的や受け手の状況に応じて伝達する情報を抽象化、可視化、構造化する方法」などが取り上げられている²⁾。

このように、(2) コミュニケーションと情報デザインで情報の抽象化や可視化、構造化について学習している。また、これらの考え方は、(3) コンピュータとプログラミングで学習するプログラミングの分野で学習するフローチャートにおいても活用される。

3.3 統計的な問題解決のための図解表現の検討

統計的な問題解決を育むデータの分析を行う学習場面において、図解表現を用いることにより、与えられた課題の目的やデータの分析のための条件・結果を構造化し、その分析の手順や解釈の可視化ができる。具体的には、表2に示す様々な記号を用い、思考を可視化することにより、より効率的に進める図解表現ができると考えた。

表2 統計的な問題解決のための図解表現一覧

記号	名称	意味
	矢印	記号同士の処理の流れを示す
	強い結びつき	処理の流れの中で、強い結びつきを示す
	双方向	交換や相互作用を示す
	分岐	一つの要素から目的に応じて二つ以上への分岐を示す
	丸	抽象的な言葉(広がり、変化)を表す
	四角	安定した言葉(システム、構造的)を表す
	強調	丸や四角の重要性を示す
		
	条件判断	条件によって対象を選択する基準を示す その際には、線の横に判断基準を併記する
	人	人の存在の区別を示す
	リスト	箇条書きで複数の項目や内容を示す
	吹き出し	気づきや補足を示す

統計的な問題解決のための図解表現を具体的に提案した先行研究は管見の限り見られないため、生徒がフローチャートの学習を終えていることを想定して図解表現を考案した。フローチャートの記号を取り入れつつ、その場での気づきを記入できるなど、思考が可視化されるように工夫した。基本的に左から右に流れるように記号を配置し、順次構造や分岐構造を用いて記入する。

問題解決のためには、やみくもにデータを集めるのではなく、明らかにしたいことや検証したい仮説を整理して必要なデータを集めることが必要である。その理由としては、やみくもに検定をかけると本来は無関係である2変数間の相関が有意になることが挙げられる。そのため、明らかにしたいことや検証したい仮説を明確にするために図的表現を用いて考えを整理することが必要となる。

図1はラーメン店への来客数の増加という問題解決での図解表現の例である。表2の「丸」を使用して、「来店意向」が高いのはなぜかという問題あるいは目的を明確化している。また、検討した項目については、他者から見てわかるようにすべて記載することにした。

次に、1種類のアンケートデータを一つの塊で捉えるだけでなく、対象者を条件によって区別することができる。例えば、テストの点数を平均点以上と以下で分けたり、対象者を性別で区別することによって、対象者の特

徴や違い、傾向などを捉えることができる。この条件は、その後の分析結果や考察に大きく影響を与えるため、どのような基準で判断したのかについて図解表現を用いて強調しておくことが必要と考える。具体的には、図1で示した問題(「来店意向」が高いのはなぜか)に対して、関係があるのではないかと仮説(食べたラーメンの種類によって評価に差が出る)を立てている。さらに、先ほどの仮説から食べたラーメンの種類と「来店意向」の項目についてクロス集計を行い、ラーメンごとにその平均値を調べ、図1の右端の○に記入することで結果を可視化している。ここでは、来店意向に関するアンケート結果を数値に変更(また来たい:4, 機会があれば来たい:3, たぶん来ない:2, 絶対来ない:1)して、その平均値を計算している。

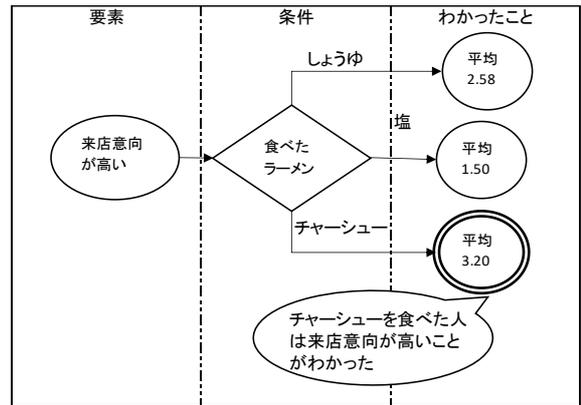


図1 図解表現の記号の使用例

統計的な分析の結果からの気づきについては、後から見返してもわかるよう丁寧に記録することで行った分析の結果が構造化でき、その過程を含めた記録をつけることができる。しかしながら、仮説が外れた結果の記載は、目的の解決にはつながらないため雑になることがあるが、その外れた事実の記録も必要と考える。

その後の学習者の行動としては、求めた平均値に差があるかどうかを検討する。一般的に情報Iの学習内容では、t検定などを用いず数値情報やデータの分布、可視化などにより平均値の差を判断する。例えば、図1内の食べたラーメンごとの来店意向の平均値では、チャーシューの平均値が高いと数値情報から判断した場合、「丸」から「強調」記号に修正し、気づきを「吹き出し」希望で追記している。さらに、その気づきを強化できる要素とし、他の項目と比較・考察し、既習のクロス集計などの方法で分析を続ける。一方で、平均値に大きな差がないと判断した場合には、別の新たな仮説を立て再度分析を行っていくことも可能である。

次に、図2に問題解決における図解表現の禁止事項の例を示す。図2では、一見すると適切な図解表現ではあるが、例えば広告や素材などについては与えられた調査項目や元データにはないため、今回の演習においては、不適切な図解表現であるとされた。

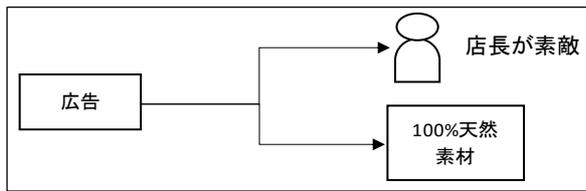


図2 図解表現の禁止事項の例

このような図解表現をもとに学習することで、生徒自身だけでなく、他者にも理解しやすい言葉や記号などの表現ができ、円滑なコミュニケーションを図ることができる。

以上の考えなどを元に、データの分析の学習を行う際には、思考の流れを表現することに加え、原因を分析する過程も表現するために、生徒間で表2に示す共通の記号による図解表現を用いることで、統計的な問題解決につなげることを考えた。

4. 授業実践

4.1 対象および期日

2023年9月から2023年12月にかけて、大阪府内のA高等学校の情報科の授業を受講する2年生(160名)を対象に計7回分の授業を実施した。

4.2 到達目標および指導の流れ

授業の到達目標は「データの分析に関する統計的な知識や技能の習得に加え、統計的な問題解決の流れについて体験的に習得する」ことである。授業では、一人一台のPC端末と表計算ソフト(Google スプレッドシート)、演習のための各種ワークシートを用いた。その他、各授業回においては、学習の感想や振り返り、意見共有などにLMS(Google Classroom)を活用した。

表3に「データの活用」の授業計画を示す。1~4時間目では、基本的な統計的な知識や技能に関する学習を行い、本研究の対象として5~7時間目の統計的な問題解決に関するデータの分析演習を行った(表3 灰色部分①~③)。各授業回では、データの分析のために必要な統計的知識や統計的スキルをデータの分析の流れを意識し、体験的に習得できる授業計画とした。特に、データの分析に関する学習経験が少ない生徒が多いことを想定し、それぞれの学習内容が表計算ソフトを用いて導出できるだけでなく、問題の発見や明確化などの背景となる部分について丁寧に説明した。

データの分析演習①(5時間目)では、これから3時間かけて取り組む内容として、生徒はラーメン屋の亭主になり、集めたデータを分析し、「売上向上のために来店意向の向上を目指し、どのような取り組みが求められるか」を説明した。単に分析するのではなく、統計的な問題解決の過程を意識して分析を行うために、データの収集までの流れとして問題・計画・データの過程について下記の内容を説明した。

- ・問題：最近、売上が向上しない
- ・計画：売上の向上に向けた要因を探るための項目を検討する
- ・データ：来店したお客様にアンケートを実施する

つまり、演習開始時には、統計的な問題解決の過程としてデータ収集(アンケートの実施)までが終わっており、その後の分析や結論の過程に取り組むことになる。

指導の際、図解表現記号の使い方や、図解表現を用いた分析時の注意事項を明記したワークシートを配布した。また、図解表現を行うための共通のルールや表2に示す記号やその使用例をもとに、どのように図解表現を行っていくか例を用いて説明した。さらに、分析をする前に、各アンケート項目の平均値などから「問題」や「課題」を想定し、図解表現を用いて明記するように指導した。その他、理想と現実の間にあるギャップ(問題)と、そのギャップを埋めるためにすべきこと(課題)を設定するために、これまでのラーメン屋に行った自身の経験とアンケート項目の平均値をもとにどのようなラーメン屋に行きたくなるのかを想像できるよう説明した。その後、図解表現の作成のために、図1のように、着目した要素や用いた条件、わかったことが可視化されるように、それぞれの欄を明記したワークシートを配布し、思考の過程と分析した結果について図解表現を用いて記録するように指導した。また、ワークシートの作成状況が好ましくない生徒については翌週授業までの課題とした。

データの分析演習②(6時間目)では、図解表現を用いて記録したワークシートを基に、前時の分析した内容を整理・確認し、4・5名のグループごとに作成した図解表現の共有を行った。その際、指導の留意事項として、他者に伝える際に、図解表現の誤記・誤解や論理の飛躍・矛盾がないかについて相互に意見交換と考えの共有を図るよう指導支援を行った。また、翌週授業までにグループごとに図解表現を用い問題解決のために何に取り組むべきかまとめることを課題とした。

データの分析演習③(7時間目)では、グループごとに、問題解決のために図解表現を用いてまとめた結果や、その分析過程について成果発表を行った。また、他のグループの成果発表を受けた自身の気づきや違い、感想をまとめた。

表3 「データの活用」の授業計画

時間	テーマ(学習内容)
1	量的データの表現と分析① (代表値(平均値, 中央値, 最頻値), 外れ値)
2	量的データの表現と分析② (標準偏差と箱ひげ図)
3	量的データの表現と分析③ (相関分析と因果, 回帰分析と予測)
4	データの可視化とグラフの作成 (ピボットテーブルと様々なグラフ)
5	データの分析演習① (統計的な問題解決, 図解表現, 個別学習)
6	データの分析演習② (統計的な問題解決, 図解表現, グループ活動)
7	データの分析演習③ (統計的な問題解決, 図解表現, 成果発表)

図解表現は、常に使うのではなく、統計的な問題解決を行う場面で活用した。特に、授業回数を重ねることによって、テーマごとの学習内容についての統計的知識や統計的スキルの習得ができるが、それらを問題解決の場面でどのように活用したら良いかを整理することが難しい。そのため、図1に示した例を用いながら、改善すべき問題を見出し、これまでに学習した統計的知識を用い、データを分析する目的やその結果について図解表現を用いて可視化した。さらに、各授業回の学習の理解度を把握するために、毎回の授業において、生徒に本時での学びや気づきについての自由記述と学習の理解度を割合で記述させた。

5. 調査方法

5.1 調査対象

統計的な問題解決学習のための図解表現を用いた授業実践の効果を検証するため、統計的な知識に関する項目と図解表現の使用度合いやその活用に関する項目について Google Forms を用いてアンケート調査を実施した。また、事前事後を比較するために統計的な知識に関する項目は、初回授業のはじめと最終授業回のおわりにアンケート調査を実施した。図解表現の使用度合いやその活用に関する項目は、活用状況を把握するために最終授業回のおわりにアンケート調査を実施した。調査対象は、1回目から7回目の授業を受講した高校2年生160名とした。なお、アンケート調査の実施の際には、研究の趣旨・目的や回答したデータの取り扱い等について説明し、生徒の了承を得て回答を得た。調査項目の内容については、1項ずつ説明しながら内容の誤解がないよう注意を促した。

5.2 調査項目

調査項目は、統計的な知識に関する項目(表4, 8項目)と図解表現の使用度合いやその活用に関する項目(表5, 10項目)とした。なお、統計的な知識に関する項目については、授業で用いた情報Iの教科書(東京書籍)における授業対象分野の学習内容をもとに設定した。また、表4の質問項目の項番1については、「外れ値について知っている」とし、他の項目も同様の質問形式とした。

回答は、4件法(1:当てはまらない, 2:あまり当てはまらない, 3:少し当てはまる, 4:当てはまる)とした。また、事後アンケートでは、データの分析における図解表現を用いることについての印象を自由記述式で調査した。

事前調査と事後調査の分析には、Bellcurve Excel 統計を用いて対応のあるt検定(有意水準5%, 両側)、対応のないt検定(有意水準5%, 両側)、重回帰分析を行い、テキスト分析についてはKH Coder3を用いた。

6. 調査結果

表4に統計的な知識に関する事前事後調査の結果を示す。なお、調査結果に関しては、感染症の流行に伴い、欠席者が相次いだため、全授業回を出席した生徒114名を対象とした。

表4 統計的な知識に関する事前事後調査の結果

項番	項目	事前		事後		t
		M	S.D.	M	S.D.	
1	外れ値	2.83	0.94	3.33	0.72	6.33 **
2	質的・量的データ	1.73	0.73	2.32	0.96	6.75 **
3	平均値	3.73	0.63	3.84	0.43	1.88
4	中央値	3.70	0.66	3.85	0.42	2.21 *
5	最頻値	3.67	0.67	3.86	0.42	2.70 **
6	標準偏差	2.95	0.76	3.24	0.75	3.55 **
7	相関係数	2.35	1.00	2.87	0.95	5.14 **
8	回帰係数	1.14	0.42	1.64	0.80	7.30 **

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, $n=114$

「平均値」以外の項目で平均値の向上が認められたが、「質的・量的データ」や「相関係数」、「回帰係数」のように今回初めて学習したと考えられる項目については、いずれも事後の平均値が3.00未満の結果となった。

次に、表5に図解表現の使用度合いやその活用に関する調査結果を示す。

まず、授業で用いる図解表現の使用度頻度を調査した結果、「記号の形(丸, 四角, 人)を使い分けた」(M=3.46)や「記号の強調(◎などの二重記号)を使用した」

(M=3.04)、「分岐記号(⇨:一つから複数に分かれる記号)を使用した」(M=3.42)、「条件判断(◇:条件を付けて分かれる記号)を使用した」(M=3.76)については、それぞれ3.00を超える平均値となった。一方、「吹き出しを使用した」(M=2.39)については、あまり使用しなかった、あるいは、まったく使用しなかった生徒の割合が57%を占めた。また、「図解表現に使用した記号の種類は適切だと感じた」(M=3.18)、または「使用した記号は適切に選択できた」(M=3.32)と考えている生徒は、それぞれ平均値が3.00を超える結果となった。その図解を選択する過程において、「選択した記号を変更した」(M=2.61)については、約56%の生徒が記号を変更したことが明らかになった。次に、図解表現のどのような使い方が統計的な問題解決に寄与するのを探るために、項番10「問題解決に図解表現が役に立った」を目的変数とし、重回帰分析を行った結果を表6に示す。分析の結果、「記号の形(丸, 四角, 人)を使い分けた($\beta=0.28$, $p<0.05$)」と「使用した記号は適切に選択できた($\beta=0.26$, $p<0.05$)」についてのみ、有意な正の標準回帰係数を示した。

さらに、表4における①統計的知識を習得した生徒(事後調査において統計的な知識に関する項目の平均値が3.00以上)と②それ以外の生徒(事後調査において統計的な知識に関する項目の平均値が3.00未満)の図解表現の使用度合いやその活用に関する項目の平均値を比較した結果を表7に示す。

表5 図解表現の使用度合いやその活用に関する調査結果 (n=114)

項番	項目	1	2	3	4	M	S.D.
1	記号の形（丸、四角、人）を使い分けた	2	3	49	60	3.46	0.64
2	記号の強調（◎などの二重記号）を使用した	14	20	28	52	3.04	1.06
3	分岐記号（⇒：一つから複数に分かれる記号）を使用した	9	9	21	75	3.42	0.94
4	条件判断（◇：条件を付けて分かれる記号）を使用した	1	4	16	93	3.76	0.55
5	吹き出しを使用した	36	29	18	31	2.39	1.19
6	図解表現に使用した記号の種類は適切だと感じた	1	20	50	43	3.18	0.74
7	使用した記号は適切に選択できた	0	14	49	51	3.32	0.68
8	選択した記号を変更した	21	29	38	26	2.61	1.03
9	統計的知識を問題や課題の設定に役立てた	12	28	40	34	2.84	0.97
10	問題解決に図解表現が役に立った	4	10	48	52	3.30	0.77

表6 項番10（問題解決に図解表現が役に立った）を目的変数とした重回帰分析の結果

項番	説明変数	β	t	単相関
1	記号の形（丸、四角、人）を使い分けた	0.28	2.26 *	0.40
2	記号の強調（◎などの二重記号）を使用した	0.00	-0.07	0.11
3	分岐記号（⇒：一つから複数に分かれる記号）を使用した	0.10	1.34	0.20
4	条件判断（◇：条件を付けて分かれる記号）を使用した	-0.03	-0.26	0.27
5	吹き出しを使用した	0.02	0.31	0.07
6	図解表現に使用した記号の種類は適切だと感じた	-0.05	-0.46	0.25
7	使用した記号は適切に選択できた	0.26	2.13 *	0.40
8	選択した記号を変更した	0.07	1.18	0.10
9	統計的知識を問題や課題の設定に役立てた	0.05	0.81	0.11

*: $p < 0.05$ 表7 ①統計的な知識を習得した生徒と
②それ以外の生徒を対象とした調査結果の比較

項番	①		②		平均の差 (①-②)	t
	M	S.D.	M	S.D.		
1	3.41	0.86	3.40	0.74	0.00	0.028
2	2.93	1.07	3.00	1.13	-0.07	0.271
3	3.34	1.03	3.37	1.02	-0.03	0.142
4	3.67	0.82	3.71	0.70	-0.04	0.264
5	2.51	1.19	2.29	1.23	0.22	0.794
6	3.08	0.96	3.15	0.80	-0.07	0.365
7	3.34	0.87	3.25	0.76	0.09	0.536
8	2.96	0.88	2.44	1.10	0.52	2.251 *
9	3.48	0.84	3.17	0.87	0.31	1.620
10	3.34	0.85	3.28	0.81	0.05	0.287

※① : n=26 ② : n=88, *: $p < 0.05$

※項番1~10は表5と同じ内容を示す。

表7では、表5で取り扱った図解表現に関する項目において、対応の無い t 検定を行ったところ、項番8「選択した記号を変更した」についてのみ母平均に差が認

められた ($p < 0.05$)。

7. 考察

図解表現の使用について、表5に示す結果からは、記号の形、強調の記号、分岐の記号、条件判断の記号などを使用し、学習に取り組んでいることがわかった。さらに、記号の種類は適切であると考えたり、適切に選択できたと考える生徒が多いことから、最終的に自身の目的に合った記号を選択して学習に取り組めたと考えられる。その図解を選択する過程においては、統計的な知識を習得している生徒の方がより図解を変更しており、約56%の生徒が図解表現を変更したことから、試行錯誤しながら学習に取り組めたと考えられる。この試行錯誤する過程は、統計的な問題解決において図解表現をはじめて扱うことから、他の学習において形成された図解表現を活用するイメージとの差を埋めるために必要な過程であろう。

次に、表6の重回帰分析の結果からは、基本的な図形である丸、四角、人などの記号の形を使い分け、使用した記号を適切に選択できた生徒ほど、問題解決に図解表現が役に立ったと考えていることが示された。一方で、その他の記号の使用の有無については、影響がない結果となった原因を分析するために、図解表現に対す

る印象に関して、自由記述で行ったアンケート項目をテキスト分析した。表 8 にテキスト分析結果の単語頻出度（7回以上）を示す。

表 8 単語頻出度（7回以上）

動詞	出現頻度	形容詞	出現頻度
できる	21	わかりやすい	34
思う	14	難しい	22
わかる	12	しやすい	8
使う	10	見やすい	7
まとめる	7		

表 8 の動詞については、「できる」や「わかる」、「使う」など、肯定的な単語が多く使われていることがわかった。また、形容詞においては「わかりやすい」、「しやすい」、「見やすい」と肯定的な単語と「難しい」という否定的な単語が使われていることがわかった。さらに、最も多く出現した「わかりやすい」が使われた図解表現に対する印象の具体的な自由記述について代表的なものを図 3 に示す。

<肯定的な意見>

- ・複雑な問題を視覚化して**わかりやすく**する
- ・図で表すことで問題の原因などを**わかりやすく**可視化できる
- ・**わかりやすく**まとめることができるのでデータ分析には効果的

<やや否定的ではあるが肯定的な意見>

- ・理解すれば**わかりやすい**がそれまで難しい
- ・上手く使えば**わかりやすい**

図 3 図解表現に対する印象の具体的な自由記述

わかりやすいという表現は多く出現しているものの図 3 の通り、「肯定的な意見」と「やや否定的ではあるが肯定的な意見」が挙げられている。このことから、図解表現を理解するまでの過程やうまく使えるようになるまでに課題があることが考えられる。さらに、同項目において少数ではあるが、図形の種類が多いことに苦言を示している回答（「すべての記号を使いこなすのが大変」や「記号の意味を理解するのが難しかった」）もあったことから、表 2 で示した図解表現の一覧においてもその数や使い方について精査する必要があると考えられる。

8. おわりに

本研究では、高等学校情報科のデータの分析の学習を実践研究の対象分野とし、統計的な問題解決のために与えられた課題の目的の明確化やデータの分析の流れを可視化する図解表現を開発し、授業実践を行った。

図解表現に関するアンケート調査の結果、図解表現の記号を使い分け、効果的に学習が取り組めたことで、

統計的な問題解決の学習への図解表現の活用の有効性が示唆された。一方で、記号の理解や活用については依然として難しさが残る結果となった。

本研究における図解表現を用いた授業実践は、与えられたデータによる授業内のみの取り組みであることから、今後は、本研究の成果が他の学習活動に活かされるかどうかの追加の検証などを行い、データの分析において図解表現を用いることの有効性の検証と改善に取り組みたい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 22K13725 及び Google for Education、日本数学検定協会の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 文部科学省：「小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 算数編」。
- (2) 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」。
- (3) 成瀬喜則、早勢欣和：「データ比較分析学習のための効果的な ICT 活用」、富山商船高等専門学校研究集録, 41 号, pp.29-36 (2008) 。
- (4) 村上綾菜、伊藤貴之：「データサイエンス初学者向け Web アプリケーション教材の実践と分析」、日本デジタル教科書学会発表予稿集, Vol.11, pp.13-14 (2022) 。
- (5) 若杉祥太、増田高行：「高等学校情報科における通年型データサイエンス教育の実践研究」、日本情報科教育学会学会誌, 15 号, pp.27-36 (2023) 。
- (6) 永山嘉昭、山崎紅：「説得できる図解表現 200 の鉄則 第 2 版」、日経 BP (2010) 。
- (7) 文部科学省：「高等学校情報科「情報 I」教員研修用教材（本編）」。
- (8) 小原格、辰己丈夫、川合慧：「高等学校情報科における問題解決学習の指導法について」、情報教育シンポジウム 2013 論文集, 2, pp.99-106 (2013) 。

(2024 年 11 月 27 日 受付)

(2025 年 2 月 4 日 採録)

メタバース教育におけるデジタルリテラシーの役割

The role of digital literacy in the metaverse education

倉茂 友杜*1・菅谷 克行*1・石崎 菜々美*1

Email: 2111050s@vc.ibaraki.ac.jp

*1: 茨城大学 人文社会科学部 現代社会学科

抄録

教育の ICT 化が多くの学校や地域で急速に進んでいる。とりわけ、三次元空間にアバターとして入り込むメタバースは、学習者と教師の双方向コミュニケーションや視覚的で体験的な学習を可能にするだけでなく、学習者の多角的な協働や交流を可能にする点で大きな注目を集めている。一方で、メタバースは、導入にコストがかかることやデジタルリテラシー、認知度と経験度の乖離など、教育活用に向けた課題も多く残る。本研究では、量的調査からメタバースに対する認知度と経験度の乖離があるだけでなく、ゲームなどの自発的な動機がない限り、難しそうという印象からメタバースに触れないことや、公教育ではサードプレイスとしての役割を期待している意識があることを明らかにした。また、実際にメタバースの基本操作をしてもらい、メタバースとオンラインの授業をそれぞれ受けてもらう実験を行った。この結果、日常的にコンピュータを操作する人ほど、メタバース操作をスムーズに習得できることが分かった。また、メタバースを活用した授業は学習者の好奇心を刺激し、モチベーションを高める一方で、メタバース操作に気を取られてしまう点から学習効率はオンラインよりも高くはないことが明らかになった。これらの結果から、メタバースを教育活用する上では、学校側で適切なサポート制限を行う必要があるだけでなく、コストやデメリットとメリットを比較したうえで、課題解決に向けた現実的な妥当性のある手段であるかについて十分に検討することが重要であると結論付けた。

©Key Words メタバース, 教育活用, デジタルディバイド, デジタルリテラシー, 家庭教育

1. はじめに

ICT 化が進む情報社会において、学校教育の現場においても電子黒板の導入、コンピュータやタブレットなどのデジタル機器の導入、インターネットを活用した学習支援ツールの活用など、ICT 化が進んでいる。

とりわけ、文部科学省が教育現場の ICT 端末の活用を目的に制定した GIGA スクール構想は、新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けて計画が前倒しとなり、多くの学校や地域で急速に ICT 化が進んだ。

中でも、近年ではインターネット上に構築された三次元空間にアバターとして入り込む“メタバース”の技術を活用した教育に大きな注目が集まっている。例えば、学校法人角川ドワンゴ学園 N 高等学校・S 高等学校では、メタバースを積極的に導入しており、文部科学省と連携しながら、実証研究が進められている。

しかし、メタバースを教育活用するためには、ハードウェア上の課題や、メタバースを利用するユーザーに対するデジタルリテラシーが必要であると指摘する声もあり、高い注目度の割に、その普及率は伸び悩んでいるという実態も存在する⁽¹⁾。

そこで、本研究ではメタバース教育の現状や利点・課題点を整理したうえで、大学生を対象とした意識調査や実験の結果から、教育現場でメタバースを効果的に活用するための提言を行う。

2. メタバース教育の実態と課題

2.1 メタバースをとりまく現状と教育活用の実態

総務省によると、メタバース技術の進展とサービス開発によって、メタバースの世界市場規模は、2021 年

の 4 兆 2640 億円から 2030 年に 78 兆 8705 億円まで拡大すると予想されている⁽²⁾。

日本の教育分野においては、多くの地域や学校で実証研究が既に行われており、先端技術としてメタバースを導入・活用すること自体を目的とするのではなく、教育現場における課題解決の手段としてメタバースが適切であるかどうかを慎重に検討する必要がある。

また、メタバースという言葉は、確立した定義をもたない曖昧な表現である。とりわけ、一般論として述べられるメタバースの必要条件に「経済性（仮想通貨などの金銭をメタバース内でやり取りすること）」などについては、教育活用の観点では適合しないと言える。

文部科学省によると、メタバースの教育活用は、仮想空間にアクセスするデバイスや仮想空間の利用方法によって主に以下の 3 種類に大別され、導入目的や用途に応じて最適な形式での導入を検討する必要がある⁽³⁾。

- コンピュータやパソコンなどで 2D 上のアバターなどを操作し、Web 会議等を起動するもの
- コンピュータやパソコンなどから立体空間にアクセスし、アバターなどを操作するもの
- HMD（ヘッドマウントディスプレイ）などの VR 機器を活用してアバターなどを操作するもの

2.2 メタバース教育の利点

メタバースを教育活用する利点は、主に三点に整理される。

一点目は、教師と学習者の双方向なコミュニケーションが可能となるという点である。ZOOM や Microsoft Teams のようなオンライン同期形式の授業や、事前に収

録した映像を学習者が閲覧するオンデマンド形式の授業に比べて、アバターを活用することでよりインタラクティブなコミュニケーションをとることができる。

これについて澤崎は、「学生にとっては、アバターをとおして仮想空間の中で議論する方が、Zoom 等と比較して抵抗が少ないのではないかと考えた。メタバース内では、仮想的な距離や方向によって音声の聞こえ方なども変化し、自由に空間を行き来してコミュニケーションを取ることができる⁽⁴⁾」と述べている。

二点目は、視覚的・体験的なアクティブラーニングが可能であるという点である。物体を多角的かつ拡張性をもって観察できることから、学習者の効果的な学習を期待できる。

また、現実ではリスクや危険が伴うために実施が困難な学習や、資材や資金面から実現できなかった体験型学習を疑似的に可能にすることで、学習者のより高度な探究活動を可能にする。

三点目は、共同体形成による社会性習得を促進する点である。複数のアバターが同時に一つの空間に接続することで、より多元的な交流や協働が可能となる。

2.3 メタバース教育の課題点

メタバースを教育に活用する課題点は主に以下の二点に整理される。

一点目は、ハードウェアやソフトウェアの準備・維持にコストがかかるという点である。メタバースを教育活用するためには、学習者や学校がハードウェアやソフトウェア・インターネット環境を整備する必要がある、とりわけ HMD のような高額な機器を学習者の数だけ用意するには、コスト的な負担が大きい。また、BYOD (Bring Your Own Device) のように学習者がデジタル機器を持ち込む際や、学校が端末を配布する際は、デバイスに対して一定のスペックが必要となる。そうしたスペックの要求をすべての学習者が円滑に満たすのは、依然として困難であると言えるだろう。

二点目は、メタバースユーザーのリテラシーである。メタバースユーザーのリテラシー上の課題について、倫理的論点、生態的論点、技術的な論点の3つに大別している⁽⁵⁾。

倫理的論点については、ユーザー同士によるトラブルや暴言などの誹謗中傷、差別的言動などがその例に挙げられる。とりわけ、学童期・思春期の発達段階においては、大人に比べて感情のコントロールが困難なことが多いためにトラブルなどを招きやすく、適切なリテラシー教育は不可欠である。

身体的論点については、いわゆる“VR 酔い”などがその例に挙げられる。これについて、朝日新聞の記事によると、「特に初期は酔っているような感覚に陥ることがあり、これは個人差があります。酔いがある場合、体を動かさずに参加できる学習や交流で徐々に慣れることを推奨しています。⁽⁶⁾」と述べられている。

技術的論点については、メタバース教育に必要な専門的な知識を身につけた教員の不足や学習者の参入障壁の高さがその例に挙げられる。学習者がメタバースの基本操作に慣れるまでには、一定の時間とサポート

が必要になるため、より簡単に参入できるような UI(ユーザーインターフェース)などの工夫が必要となるだけでなく、指導教員への事前研修なども不可欠となる。

2.4 メタバース教育の認知度と経験度の乖離

教育に限らず、多くの分野でメタバースが注目を集めている昨今、メタバースは認知度が高い割に、経験率は低い現状が存在する。

電通が行った調査によると、メタバースの認知度は2023年に82.1%であったのに対し、メタバースプラットフォームの利用経験率は18.0%にとどまった。Z世代(15歳~27歳)については、認知度が81.7%、利用経験率が39.9%であった⁽⁷⁾。

こうしたメタバースの認知度と経験度の乖離は、ユーザーがメタバースに対して十分な知識やリテラシーをもっていないにも関わらず、メタバースの教育活用に対して過剰な期待を生み出す可能性を示唆している。

2.5 メタバース教育の認知度と経験度の乖離

一般的に、教育における“デジタル格差”は、教育機関や地域の間におけるデバイスの格差や ICT 教育の格差のことを指すことが多いが、学校教育などの公教育の現場で一律の教育を実施した際の学習者間で発生する“デジタル慣れ”による格差も、重要な論点である。

特にメタバースのような先端技術に対する学習者の適応能力は、日常生活におけるデジタルデバイスの利用度に応じて個人差が生じるため、学習者間の適応能力の差が、学習効果の個人差を生み出す可能性は高い。

こうしたデジタル慣れの個人差は、学校教育の現場よりも家庭教育の現場の方が大きな影響を与えていると考えられる。そのため、学校の指導教員だけでなく、学習者の保護者等も正しい知識を身につけたうえで、学習者に適切なデジタル慣れを促す必要があると言える。

3. メタバース教育に対する意識調査

3.1 調査目的

本調査では、前章で述べた「メタバースの認知度と経験度の乖離」の実態を確認したうえで、メタバースの教育活用に対する意識や期待される役割などを明らかにする。

3.2 調査概要

調査は、Google Forms を用いた無記名形式による質問紙調査を行った。

調査期間は、2024年1月~6月、調査対象者は大学生であり、286名からの回答を得た。

調査内容は、メタバースの認知度や利用実態、メタバースに対する印象、期待される役割などに関する設問を4件法や5件法などの選択形式で回答してもらった。なお、本調査における“メタバース”は以下のように定義し、質問紙の表紙に記載することで、調査実施前に回答者に対して共有を行った。

(以下、実際に用いた質問紙より引用)

- ・インターネット上に仮想の三次元空間が存在する

こと

- ・ 複数のデバイスで同時にアクセスすることができること
- ・ ユーザーは、アバターを用いて同空間に接続し、空間内のコンテンツを用いて、他のユーザーとの交流を行うこと

3.3 調査結果

まず、メタバースの認知度について調査をしたところ、表1のような結果となった。

表1 メタバースの認知度について

メタバースの認知度	人数	割合
詳しく知っている	2	0.7%
ある程度知っている	73	25.5%
見たり聞いたりしたことがある	158	55.2%
ほとんど知らない	53	18.5%

(N=286 複数回答なし)

表1の結果より、メタバースの認知度は全体の81.4%を占めており、メタバースの認知度は先行研究⁹⁾と概ね同じ程度の割合となった。

次に、メタバースの経験度について調査をしたところ、表2のような結果となった。「メタバースを日常的に利用している」または「過去に利用したことがある」と回答した68名のうち、最も多かった利用目的は「ゲームをプレイするため」の61名(89.7%)で、「友人や他者と交流するため」の21名(30.9%)が続く結果となった。

表2 メタバースの経験度について

メタバースの経験度	人数	割合
日常的に利用している	11	3.8%
過去に利用したことがある	57	19.9%
利用したことはないが、興味はある	112	39.2%
利用したこともなく、興味もない	49	17.1%
よくわからない、知らない	57	19.9%

(N=286 複数回答なし)

表2の結果より、メタバースの経験者は全体の23.7%であり、認知度と経験度については、電通による調査結果⁹⁾と近い結果となった。また、メタバースを経験したことはないけれども、興味がある人が非常に多いことが窺える。

メタバースに対する印象について調査をしたところ、図1のような結果となった。

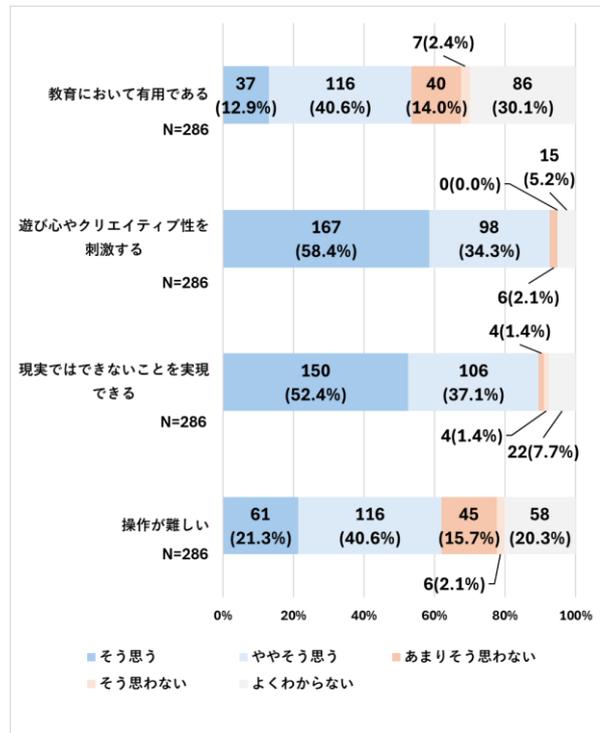


図1 メタバースに対する印象について

この結果より、メタバースは現実ではできないことを実現できることで、遊び心やクリエイティブ性を刺激すると考えている人が多い一方で、操作を難しいと感じている傾向があり、メタバースを教育活用できるかどうかを判断できる程のメタバースに関するリテラシーがない人が多いことが窺える。

また、メタバースの教育活用をするべきかについて、意識調査を行ったところ、公教育・民間教育・家庭(親)のそれぞれの項目で、図2のような結果となった。

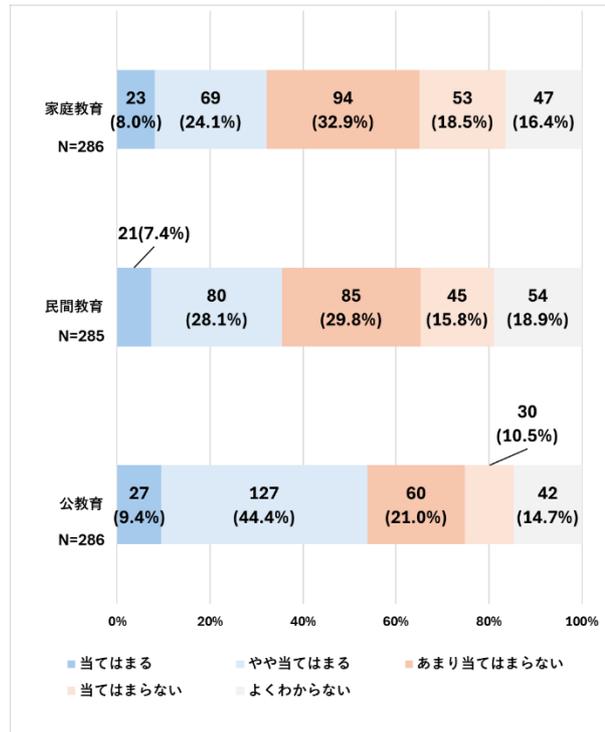


図2 メタバースの教育活用に対する意識について

この結果より、家庭教育や民間教育よりも公教育での活用に対して積極的な意識がある傾向が窺える。

最後に、メタバースを教育活用することに対して、期待している役割について調査をしたところ、図3のような結果となった。

この結果により、メタバースは学習者の学習効果を高めるための補助教材というよりも、学校に通うことができない学習者にとっての学校機能の代替や学校・家庭以外の第三の居場所(サードプレイス)となる役割が期待されていることが窺える。

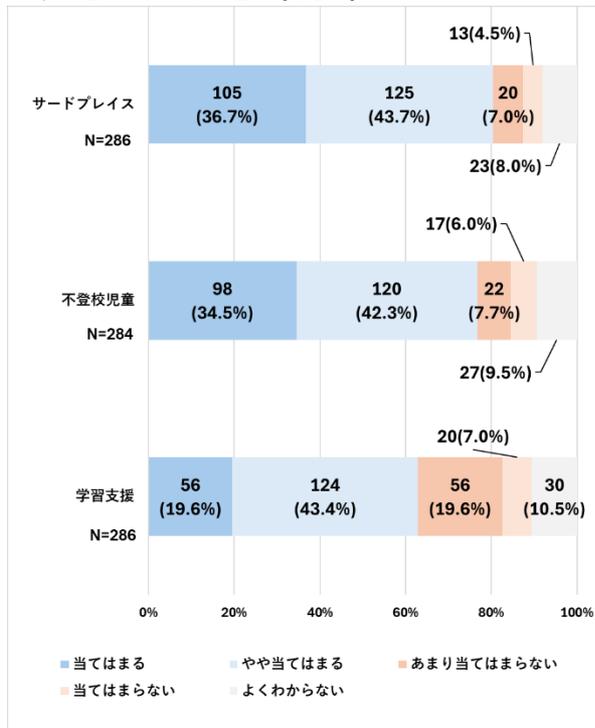


図3 メタバースの教育活用に期待する役割について

3.4 考察

電通による調査結果⁷⁾と同様に、調査対象者の多くは「メタバースという言葉を知っているものの、実態については経験したことがない」という認知度と経験度の乖離があることが分かった。また、メタバースの利用目的のほとんどがゲームであり、ゲームをやらない人にとっては、「メタバースを経験する動機が無い」状況があることが窺えるだけでなく、メタバースプラットフォームが未だ十分に浸透していない状態にあると言えるだろう。

そうした背景的な要因の一つには、「メタバースは難しい」という印象が強いことが挙げられる。メタバースを経験したことが無い人のうち、メタバースに興味があると回答した人は、161名中112名であったことから、メタバースの参入障壁をいかに下げ、メタバースに触る機会や習慣をユーザーの生活の中で作りだすことができるかがメタバースの浸透において重要であると言える。

また、メタバースが教育において一定の役割を担うことに期待している人は多く、学習支援としての役割以上に、学校や家庭以外の第三の居場所としての役割を期待している人が多い。これは、不登校の学習者や離

島などの遠隔地に住んでいる学習者が協働し、多角的なコミュニケーションを行うための有効なツールとなりうる可能性を示唆している。

一方で、メタバース教育は、家庭教育よりも公教育での活用に積極的な傾向が見られた。これは、メタバースを家庭教育で活用する上での知識や経験が不足しているために、公教育に一任する姿勢が表れたためと捉えることができる。

メタバースに対する知識と経験の不足は、ユーザーに対する漠然とした不安となるため、参入障壁はより高いものとなる。ゲームなどの自発的な動機がない限りメタバースを利用することが無い状況は、メタバースの普及において大きく阻害していると言えるだろう。

こうした状況を打破するためには、ハードウェアにかかるコストを下げるだけでなく、よりメタバースが身近に感じてもらえるような文化・社会風潮を生み出すことで、メタバースに対するリテラシーを高め、教育活用への適切な理解をしていかなければならない。

そして、「メタバースは難しいからやらない」という考え方は、デジタル格差をさらに拡大させる要因となる。「たとえ難しくてもやりたい、やらなければならない」といったメタバースに触れるきっかけとなる状況を、いかに日常生活の中で大きなインパクトとして作りだせるかが、メタバースを活用する教育が効果的に浸透する上での鍵となるだろう。

4. メタバースの教育活用に関する実験

4.1 実験目的

本実験では、以下の内容を質的分析により明らかにすることを目的に実施した。

- ・ メタバースの基本操作における習得過程の比較
- ・ メタバース教育とオンライン教育における学習効果の比較

4.2 実験概要

実験期間は2024年10月～11月で、大学生20名を対象にVR Chatを利用した操作実験を行った。

また、メタバースを活用した授業とオンライン形式での授業をそれぞれ受講してもらい、その学習効果を比較した。以下に、その実験手順を示す。

- (1) 実験目的と内容の説明および実験参加への承諾
- (2) VR Chatを用いたメタバースの基本操作の習得過程の分析(図4)
- (3) メタバースを活用した授業の受講(図5)
- (4) オンライン形式の授業の受講(図6)
- (5) 5分間のインターバル(内容の復習可)
- (6) Google Formsを用いた無記名式の質問紙調査
- (7) 実験後、半構造化インタビュー

ただし、それぞれの授業の順序による影響をなくすため、カウンターバランスに考慮して、半数の実験参加者は、手順(3)と(4)を入れ替えて実施した。また、実験はコンピュータ等デバイスのスペックによる影響を受けないようにするために、すべての実験で同一のデ

バイスを使った。

基本操作の習得については、視点操作・移動・オブジェクトを掴む・オブジェクトを離す・ジャンプ・しゃがむ・テキストチャットを入力する・リアクションを行う・マイクをオンするという操作を実験参加者に行ってもらった。

授業については、「海外の食文化・スポーツ・歴史・伝統文化」をテーマに、メタバースではブルガリア、オンラインではトルコを選択し、約5分間のスクリプトをAIの音声を活用して作成した。

このテーマを設定した背景は、二つの授業を対比的に比較しやすいテーマであったことと、学校教育の現場に近いテーマであったこと、実験参加者の既存の知識レベルの影響を受けにくいテーマであったことが挙げられる。

また、実験参加者は授業中、事前に配布したメモ用紙にメモを取ることを可能とした。

学習内容の比較は、放送された授業内容に関する問題をメタバース・オンラインそれぞれで10問ずつ出題し、問題の内容は4択形式の選択問題と短文記述形式で構成した。

実験後に行った半構造化インタビューでは、次の内容を質問した。

- ・ 基本操作の難易度は妥当であったか。
- ・ VR酔いなどは生じたか。
- ・ メタバース・オンラインの授業について、操作に余裕をもって授業を受けることができたか。また、授業に集中することができたか。
- ・ メタバースの基本操作に対する自己評価
- ・ メタバースの授業とオンラインの授業を比較してみても、どのような違いがあったか。
- ・ 総合的な感想

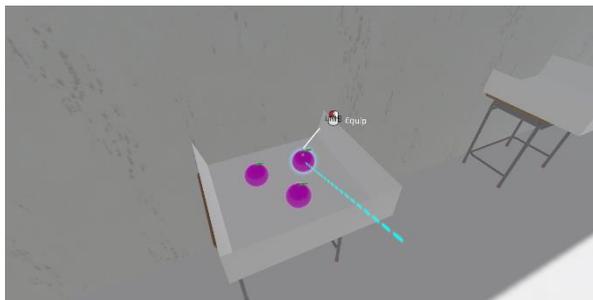


図4 メタバースの基本操作の習得過程の様子



図5 メタバースを活用した授業のオブジェクト



図6 オンラインを活用した授業スライド

4.3 実験結果

まず、メタバースを活用した際の基本操作について、質問紙調査では、表3のような結果が得られた。

表3 メタバースの基本操作に関するフィードバック

項目	操作が難しい	操作にすぐ慣れた	リアクションしやすい
当てはまる	3	6	3
やや当てはまる	7	3	3
やや当てはまらない	1	8	10
当てはまらない	9	3	4

(N=20(人数))

この結果より、基本操作を難しいと感じた人は、全体の約半数であり、操作にすぐ慣れたと感じた人もおよそ半数であった。また、VR Chatのリアクション機能については、リアクションしにくいと感じている人の方が多い結果となった。

また、メタバースの動作について重たいと感じたかと、VR酔いが生じたかどうかについて併せて調査した。

集計結果として、メタバースの動作について、重たいと感じた人は3名(15.0%)、やや重たいと感じた人は5名(25.0%)、やや重たくないと感じた人は5名(25.0%)、重たくないと感じた人は7名(35.0%)であり、VR酔いが生じたかについて、酔いがあったと感じる人はいなかった。ただし、長時間の活用を行った時に、酔うかもしれないと半構造化インタビュー内で回答した人が2名いた。

基本操作について、半構造化インタビューで得られた回答には、以下のようなものがあった。

- ・ 初めてなので、思ったよりも難しかったが楽しかった。自分でも触ってみたいと思う。
- ・ 自分視点でアバターが動いている実感があり、新鮮だった。
- ・ リアクションがどこにあるのか、一瞬どこにあるのかわからなかった。
- ・ WASD操作のゲームは、慣れているので余裕をもって操作できたと思う。
- ・ 思った以上にヌルヌルと動く感触があり、人によっては酔うかもしれないと思った。
- ・ リアクションのRやボイスのVなど、自分なりに

操作キーの法則を見つけると楽しかった。

- ・ 直感的に操作できなかったため、難しかった。
- ・ デジタルネイティブな子供たちにとっては簡単で、すぐに慣れると思う。
- ・ 入力と出力に時間差があったため、正しく入力できているのかわからなかった。
- ・ オブジェクトを掴む時に焦点を物体に合わせることで、初見ではわからなかった。
- ・ 自分でキー操作を最適化すると、より操作がしやすくなると感じた。

次に、メタバース教育とオンライン教育の比較について、質問紙調査を通じて行ったテスト結果について、表4のような結果となった。

表4 それぞれのテスト結果

教材媒体	平均点	標準偏差
メタバース	5.15	1.15
オンライン	5.70	1.10

この結果より、メタバースに比べてオンラインの方が全体的に高い結果となった。

また、図表では示していないが、メタバースの授業について、好奇心やクリエイティブ性を刺激するかという質問をした結果、当てはまると回答した人は8名(40.0%)、やや当てはまると回答した人は9名(45.0%)、やや当てはまらないと回答した人は2名(10.0%)、当てはまらなると回答した人は1名(5.0%)であった。

表3のメタバース操作に関する調査と操作にすぐ慣れたという質問について、それぞれの項目の回答者の平日と休日のPC利用時間の平均は、表5・表6のような結果となった。

表5 操作が難しいと感じるか平均PC利用時間

項目	平日におけるPCの利用時間	休日におけるPCの利用時間
当てはまる	6.0	5.0
やや当てはまる	2.3	1.6
やや当てはまらない	3.0	2.0
当てはまらない	4.7	5.3

表6 操作にすぐ慣れたと感じるか平均PC利用時間

項目	平日におけるPCの利用時間	休日におけるPCの利用時間
当てはまる	3.8	4.2
やや当てはまる	4.0	5.0
やや当てはまらない	4.4	3.9
当てはまらない	3.0	1.7

表5で当てはまると回答した3名のうち1名が外れ値(平日、休日ともに12時間と回答)となってしまうため、以下の考察からは除外することとした。

表5の結果を見ると、やや当てはまる < やや当てはまらない < 当てはまらないの順に、PCの操作時間が平日・休日ともに長くなっている。そのため、パソコンを利用している時間が長ければ長いほど、メタバース操作を難しいと感じないのではないかと考える。

表6の結果からは、すぐに慣れたと感じた人(当てはまる、やや当てはまる)は、平日よりも休日の方がPCの利用時間が長くなっており、休日の自由な時間に積極的にコンピュータを利用していることが窺える。

また、メタバース教育とオンライン教育の結果を比較してみると、構造化インタビューで得られた回答には、以下のようなものがあった。

メタバースの授業に肯定的な回答

- ・ メタバースの方が、自分の見たい角度で見られることができ、印象に残った。
- ・ 授業により近い雰囲気や授業を受けることができた。
- ・ 2Dからイメージできない立体などの情報を視覚的に理解する上では、役立つと思う。
- ・ メタバースは小学生の好奇心を刺激するためのきっかけとしては良さそうだと思う。
- ・ 危ない場面の再現や、不登校の子、メッセージでならコミュニケーションを取れる子には向いていると感じた。
- ・ メタバースの方が、モチベーションが高かった。

メタバースの授業に中立的な回答

- ・ オブジェクトに焦点を当てた時に、オブジェクトの名称や解説がテキストで出てほしい。
- ・ オンライン授業とメタバースの授業に差は感じられなかった。
- ・ 手書きのメモに慣れているので、ほとんどメタバースを活用しなかった。

メタバースの授業に否定的な回答

- ・ メタバースの授業中に、好奇心から操作してしまい、結果的に集中できなかった。
- ・ 肉体的な動作に対する反応が、ペンや音声に比べてついてきていないと感じた。
- ・ 操作をする際には、操作専用の時間を設けたり、操作時間を制限させたりしないと集中できないと思う。先生のみが操作する補助資料でも良さそう。
- ・ 学校というリアルな三次元空間に、わざわざ別の三次元空間を導入する必要はないと感じた。
- ・ 授業を受けながら、マルチタスク的に操作するのが難しかった。

4.4 考察

メタバースの基本操作について、難しいと感じる人は多く、慣れるまでには一定の時間を要することが分かった。デジタル慣れに関する経験を質問したところ、

比較的操作に素早くなれた人は、コンピュータゲームの経験があったり、別のデバイスでメタバースを操作したことがあったりする人が多かった。日常的にコンピュータを活用していない人は、やはり本実験時間内だけでは基本操作を習得できず、授業でメタバースを十分に活用できる程、操作に慣れるレベルには達しなかったと言える。

そのため、メタバースを導入する際には、UIの工夫をしたうえで、デジタルデバイスの利用経験が少ない人に対し、適切なサポートをしていく必要がある。

メタバースを活用する授業では、より高度な操作が必要になったり、操作することに夢中になってしまったりするため、教師の説明を聞き漏らしてしまう可能性が示唆される。

例えば、学校現場において導入する際には、操作をする時間や操作範囲を限定するなどの工夫が必要である。

一方で、メタバース教育は学習者の高いモチベーションを促すことが分かった。そのため、知識習得の補助よりも、クリエイティブな創作活動としての活用や生徒が学習に対して好奇心を持つためのきっかけとして利用していくことが有効である。

5. メタバース教育とデジタルリテラシー

メタバースを活用した教育は、学習者と教師の双方間コミュニケーションが可能であることや、視覚的で体験的な学習ができることから、教育現場での実用においては、学習者が特定の分野に好奇心をもつためのきっかけとして、大きな期待が集まっている。

一方で、電通による調査結果⁹⁾や3.3の結果で示した通り、メタバースの導入に対してかかるコストや、メタバースの認知度と経験度に乖離があるために、メタバースに関するデジタルリテラシーが低い実態がある。学校教育で活用するためには、自発的にメタバースを経験する機会を学校以外の社会全体で創出していくことが重要である。

また、メタバースを活用した授業では、4.3の半構造化インタビューの結果が示した通り、学習者がメタバース操作に気を取られてしまうことで、教師の説明等を十分に理解できない場合がある。そのため、学習者が直感的に操作できるようになるためのUIやサポートを行う必要があるだけでなく、操作する範囲や操作できる時間を学校側が適切に制限していく必要がある。

メタバースは、3.4で考察した通り、教育活用以上に、学習者間の多角的な交流や協働の機会創出として効果的で、不登校児童や離島に住む学習者などの社会性習得のためのコミュニティとしては、現実の学校では成し遂げられない機能を持っている。

このように、メタバースを教育活用するにあたって必要なサポートや学校側で行う制限・管理、導入コスト等を踏まえたうえで、改めてメタバースを教育活用する意義や目的、メリット等を再確認し、目的達成のための現実的な手段として妥当性があるかどうかは再検討されなければならない。

6. おわりに

本稿では、メタバース教育におけるデジタルリテラシーの役割について、メタバース教育の特徴と現状を整理し、量的調査と実験のそれぞれからその有用性を検討したうえで、教育に活用する際の提言を行った。

一方で、メタバースという言葉の定義が持つ重要な必要条件の一つに「同時接続性」が挙げられる。複数のアバターで同時接続した際には、本実験とはまた違った協働・多角的なコミュニケーションが生まれるだけでなく、実験対象者が変化すれば結果が大きく変わる可能性があると言える。

また、大学生がサンプルである点から、リテラシーに一定のバイアスがある点も言及しておきたい。

そこで、本研究の今後の課題として、以下のようなことが挙げられる。

- 複数のアバターで同時に接続をした際の多角的なコミュニケーションや居場所としての機能、学習効果を比較・検討する。
- 大学生以外のより幅広い属性のサンプルを対象に実験調査を行う。
- より長期的かつ継続的に実験を行うことで、メタバース慣れをした際の学習効果等を調査・観察する。

謝辞

本研究の遂行にあたって協力を賜った合同会社Stidea 代表 早川航氏および調査や実験に参加いただいた皆さまに心より感謝を申し上げます。

参考文献

- (1) 総務省：令和4年「ICT基盤の高度化とデジタルデータ及び情報の流通に関する調査研究の請負」, (2024.11.28 閲覧), https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/r05_01_houkouku.pdf.
- (2) 総務省：令和4年 情報通信白書「国内外におけるサービス・アプリケーションの動向」, (2024.11.20 閲覧), <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/pdf/n3600000.pdf>.
- (3) 文部科学省：「メタバース検討チーム 委託調査の概要」 (2024.11.25 閲覧) https://www.mext.go.jp/content/20240702-mxt_kanseisk01-000036875_1.pdf.
- (4) 澤崎敏文：“メタバースを活用した多様な学習環境の構築と実践”, 日本教育工学会研究報告集, 2023 巻, 2 号, pp.83-87 (2023).
- (5) 倉茂友杜・菅谷克行：“メタバースの教育活用における可能性と課題”, 2024PC カンファレンス論文集, pp.172-175 (2024).
- (6) 小林香織：“VR 学習に高い満足度 N 高・S 高に聞く「メタバース」の効果 課題は「酔い」とポリシーの理解”, pp3, 朝日新聞 EduA (2024.11.20 閲覧), <https://www.asahi.com/eduA/article/14554217?p=3>.
- (7) 株式会社電通：“電通「メタバースに関する意識調査2023」を実施”, (2024.11.20 閲覧), <https://www.dentsu.co.jp/news/release/2023/1211-010670.html>. (2024 年 11 月 28 日 受付) (2025 年 1 月 28 日 採録)

ゲーミフィケーションを取り入れた学習活動の教育実践 - Kahoot!の活用に着目して -

小川 智博*1・下田 航*2・小林 博典*3
Email:ee24003@student.miyazaki-u.ac.jp

*1: 宮崎大学 教育学部 教育学研究科

*2: 日向市立財光寺小学校

*3: 宮崎大学 教育学部

抄録

本研究では、小学校における Kahoot!の活用によるゲーミフィケーションを取り入れた学習活動の教育実践を行い、その教育的価値を評価し、得られた知見を考察することを目的とした。実践の考察にあたっては、自由記述の内容をもとに、導入前後の比較を行い、その変化を分析した。結果、児童は楽しみながら学習に取り組むだけでなく、学ぶことの意義を理解し、自分の学びを自発的に活用する能力を高めるとともに、学習活動の中で成功体験や達成感を促進する一助となる可能性が示唆された。とりわけ、学習意欲が低い傾向にあった児童の学習態度や行動にもポジティブな変化が表れるなど、学習活動を支援するツールとしての可能性が確認された。

◎Key Words ゲーミフィケーション, Kahoot!, GIGA スクール構想

1. はじめに

GIGA スクール構想の推進¹⁾により、1人1台端末など、ICTを効果的に活用した学習環境の整備が行われている。授業においては、学習指導要領に基づいた児童生徒の資質・能力の育成に向けて、ICTを最大限に活用し、個別最適な学びや協働的な学びの一体的な充実に向けた授業改善のための資料が示され²⁾、学習活動に対する創意工夫が図られている。ICTを活用した新たな授業展開の一つに、ゲーミフィケーションがある。ゲーミフィケーションとは、ゲームのメカニズムを非ゲーム分野に応用することを通じて、学習者の意欲の向上や持続につながる要素を導入しようとする概念³⁾であり、教育・学習支援における動機付けを高める観点から、注目を集めている。ゲーミフィケーションは、藤本(2011)⁴⁾によれば、学習をより魅力的で効果的なものにする手法であり、ゲームの持つ競争や達成感といった要素が学習者の興味を引き、学習への積極的な参加を促すとされている。しかしながら、ゲームで勝つことを優先して学習が疎かにされやすい、必要以上に時間がかかりやすい、教師による統制が困難になりやすい、従来型の学習への興味が下がりやすい、娯楽ゲームと比較して評価されやすいなどの短所も指摘されている。

一方、ゲーミフィケーションを取り入れた実践に関する報告では、動機付けの向上に効果をもたらしたとされる Kahoot!の事例がある。Kahoot!は、4択クイズなどのゲーム性を活かした学習プラットフォームであり、スマートフォン、タブレット、PCのいずれからでも利用可能である(熊井, 2019)⁵⁾。山内(2017)⁶⁾は、高等教育機関における英語学習において、習熟度の低い学生を対象に、2013年に公開されたゲーム型授業応答システ

ムの Kahoot!を活用したゲーミフィケーションを導入したところ、学習者の学習意欲や満足度を高める上で効果的であったことを示している。また、Kahoot!を活用することにより、クイズ作成の容易さや成績管理の簡便さなどの成果も示されるなど、教員の負担も少なく、手軽に始められるといった報告もなされている。

中西ら(2021)⁷⁾は、Google Formsを活用した実践を通して、学習者自らが Kahoot!の問題を作成する取り組みを行なった。単に既存の問題に答えさせるのではなく、学習者自身が問題内容を考え作問し、それらを Google Forms のアンケート機能を用いて集約し、配信した。この実践により、単語の意味の緻密化や単語学習へのモチベーションの向上が期待されたことを示している。

GIGA スクール構想下における義務教育段階の学校現場においては、ICTを活用した授業改善のための新たなツールの活用が広がり始めている。学習指導要領⁸⁾に示されたアクティブラーニングや、主体的・対話的で深い学びに向けた授業観の広がり⁹⁾、学習者中心の教育への転換¹⁰⁾が進む中において、ゲーミフィケーションの活用は、これらの教育目標にも合致することから、今後の広がりが期待できるのではないかと考えられる。小学校においては、ICT環境が整備される一方で、その有効性に関する研究はまだ少ない状況である。したがって小学校段階での Kahoot!を用いた実践は、教育的意義を考察するための重要な手がかりを得られる可能性があると考えられる。そこで本研究では、小学校における Kahoot!の活用によるゲーミフィケーションを取り入れた学習活動の教育実践を行い、その教育的価値を評価し、得られた知見を考察することを目的とした。

2. Kahoot!について

Kahoot!は、4択クイズなどのゲーム性を活かした学習プラットフォームであり、スマートフォン、タブレット、PCのいずれからでも利用可能である。ブラウザでの利用が可能のため、アプリのダウンロードを必要とせず、学習者が容易に取り組むことができる。授業者はKahoot!のアカウントを作成することで、クイズの作成や出題が可能となる。学習者は、ゲームピン（問題画面に入るためのパスワード）の入力またはQRコードの読み取りを行うだけでクイズに参加できる（図1）。



図1 ログイン画面

（左：モニター画面 右：学習者画面）

問題文は、図2のようにテレビモニターおよび学習者の手元の端末に表示されるため、教室での座席の遠近に左右されずに取り組むことができる。全員が回答を終えるか制限時間（20秒～120秒）が経過すると、即座に正解が表示される（図2）。

その後、上位5位の学習者が画面に表示され、学習者の端末には自身の獲得ポイントや順位、前後の順位にいる学習者の名前が表示される。

すべてのクイズが終了すると、最終的な総合順位の上位3名が表示される。同時に、回答状況などのデータはサーバーに保存され、ダウンロードすることも可能である。さらに、個人の回答状況や問題ごとの正答率なども確認できるため、学習の進捗や理解度を可視化するツールとして活用できる。



図2 上 問題場面出題時 下 問題場面採点時

3. 研究の方法

3.1 授業構成・実施方法

対象はA小学校の5年生、3学級、89名とし、授業後半の10分程度を目安に計4回実施した（表1）。

表1 作問者・実施場面

	作問者	実施場面
第1回	筆者と授業者	授業後半で実施
第2回	筆者と授業者	授業後半で実施
第3回	筆者と授業者	授業後半で実施
第4回	筆者と児童	単元テスト前の復習の時間で実施

授業者は教職経験2年目であり、対象学年を第4学年時にも担任している。実施科目は社会科とした。授業者と話し合いを行った結果、社会科での実践が児童にとって取り組みやすいと判断したことによる。授業者の学年は教科担任制を採用しており、3学級全ての社会科の授業を、授業者が担当している。また、授業構成や実施方法については、児童に事前に説明が行われており、授業の流れや取り組む内容について予備知識がある状態で授業に臨んだ。制限時間については、児童が集中して解答に取り組むことができるよう配慮し、各問題の解答時間を20秒に設定した。第1回から第3回のKahoot!実践では、扱う問題の作成を筆者が担当した。この際、授業者と事前に話し合い、どのような問題を出題するかを検討した。授業の進捗や内容に合わせてKahoot!で使用する問題を作成することで、これまで教員が行ってきた授業方法を大きく変更することなく、Kahoot!を取り入れることが可能となるよう配慮した。また、Kahoot!の問題を授業内容と関連して設計することで、児童に学習の意義を理解させることもできるようにした。第4回のKahoot!実践では、これまでに児童が考えた問題を出題した。対象学年は、第4学年時にKahoot!を利用した経験があるものの、アンケート機能を活用した問題作成を行った経験はなかった。そのため、児童が問題を作成しやすいよう、マイクロソフトFormsを活用した（図3）。

図3 問題作成用の画面の例

具体的には、問題文、選択肢1、選択肢2、選択肢3、選択肢4、正解の番号という項目をアンケート形式で入力させ、児童が作成した問題をExcelデータとして収集するとともに、Kahoot!に読み込ませることで、計10問

とした。この手順は、Excel データを Kahoot! に読み込ませるだけで完了できることから、児童の発案を効率的に授業に活かすことができるといった利点がある。

このように、第1回の授業開始から、児童自身が問題作成に関与することで、従来の受動的な授業の受け手から、問題作成者としての視点を持ち、授業に参加することを意図した。本研究の実施方法は、学習の動機付けを高める観点からも有意義な方法ではないかと考えられる。図4に児童が作成した問題の一部を抜粋して示す。

3.2 実践の評価の方法

実践の評価として、事前・事後で児童に実施した自由記述（必須）の回答については、KHCoder3⁽⁴³⁾による計量テキスト分析を行い、共起ネットワーク分析を行うため、出現数が多い語ほどバブルを大きく、共起度が強いほど太い線で、最小出現数は5に設定して、比較を行った。これにより、児童の学習に対する認識や動機付けの変化を、定性的に評価した。

4. 結果と考察

4.1 児童の事前事後アンケートの比較

「社会の授業について、あなたが考えていることや感じていることを書いてください」についての事前・事後の自由記述の回答結果より、共起ネットワーク図を描画した（図5）。

事前アンケートでは頻出語として「社会」「生活」「面白い」「役立つ」などが見られた。児童は授業内容に対して一定の興味を持ちながらも、具体的な学びや主体的な姿勢に関する言及は少なかった。一方で事後アンケートでは、新たに「教える」「自分」「工夫」などの語彙が頻出語として出現した。また、「教える」や「工夫」といった語彙から、学びに対する主体的な姿勢を抱いている様子が読み取れる。事後アンケートでは、授業を通じて児童が自分自身の学びや成長を意識するようになり、学習活動において自発的・能動的になったことが確認された。

自由記述のデータを精査し、内容の共通点と関連性を考慮した分類を行った結果、4つの観点に集約された。表2は具体的な記述内容例とともに整理したものである。「学習の効率化」に関しては、Kahoot!を活用することで復習に取り組みやすくなり、繰り返し問題を解く中で学びを深めたという感想などが寄せられた。特に、児童からは、イラストがあることで説明が分かりやすいという意見も見られ、復習がよりスムーズに進められたと

感じている様子が伺える。「学習の楽しさ」に関しては、Kahoot!のゲーム形式により、授業や復習が楽しくなったとの声が多く寄せられていた。さまざまな問題形式やクイズ要素が児童の興味を引き、学習への取り組みを楽しい経験として捉える児童が多かった。「協働的な学習」に関しては、Kahoot!を通じて友達と一緒に学ぶ場面があったと感じている記述などが見られた。チーム戦を取り入れたモードのKahoot!が、友達と共に楽しむ学習の機会として認識されていたようである。「学習の動機付け」に関しては、「また頑張ろう」などの感想から、Kahoot!を通じた学びが児童の前向きな姿勢を引き出す一因となった可能性が示唆された。分からないことを解決する楽しさや達成感が、児童の学習意欲を高めたようである。これらの感想から、Kahoot!の活用が児童の学びにポジティブな変化をもたらした可能性が読み取れる。

4.2 授業者による感想・印象と課題

授業者の自由記述より次の感想・印象が見られた。今回の授業にKahoot!を取り入れたことで、「復習に対する意欲が上がった」「授業の最後に設定することで集中力が上がった」「楽しんでいた」という感想が聞かれた。これは、Kahoot!のゲーム形式が児童の関心を引き、復習を単なる反復作業として捉えるのではなく、楽しみながら取り組む中で、復習に対する意欲が向上したと考えられる。そして、授業の最後にKahoot!を取り入れることで、児童の集中力が持続し、授業全体の流れが効率的かつ効果的になった可能性が考えられる。

さらに、授業者の印象では、学習意欲が低い児童には以下のような変化も見られた。授業に消極的だった児童Aや児童Bが、Kahoot!の実施時には問題を真剣に読み、授業内容を把握しようとする姿勢が見られた。また、授業そのものに対する興味が低かった児童Cや児童Dが、Kahoot!のゲーム要素や勝負要素に刺激され、積極的に問題に取り組むようになったことが挙げられる。さらに、自己肯定感が低かった児童Eは、Kahoot!の活動を通じて復習に取り組みテストで高得点を取る結果を示している。このように、普段の授業では見られなかった積極性や学習意欲の高まりが、Kahoot!の実践によって引き出されたことが分かった。これらの事例から、Kahoot!の導入が学習意欲の低い児童に対しても効果的であり、児童の学習への態度や行動に変化をもたらすツールとしての可能性が確認された。

問題文を書いて！	最後に名前もね！	選択肢1は？	選択肢2は？	選択肢3は？	選択肢4は？	答え
自動車の輸出方法は？		飛行機	船	潜水艦	トラック	2
1日に、何台作られているか。		約1000台	約2000台	約5000台	約10000台	2
せっけんは、何工業？		金属工業	せんい工業	その他の工業	化学工業	4
一番大きい工業地帯、地域はどこ？		東海工業地域	京浜工業地帯	中京工業地帯	京葉工業地域	3
工業がたくさんあるのは？		都会ぞい	山ぞい	海ぞい	平地ぞい	3
従業員の数が、300人以上の工場？		大工場	中小工場	工場	中工場	1

図4 児童が作成した問題例（一部抜粋）

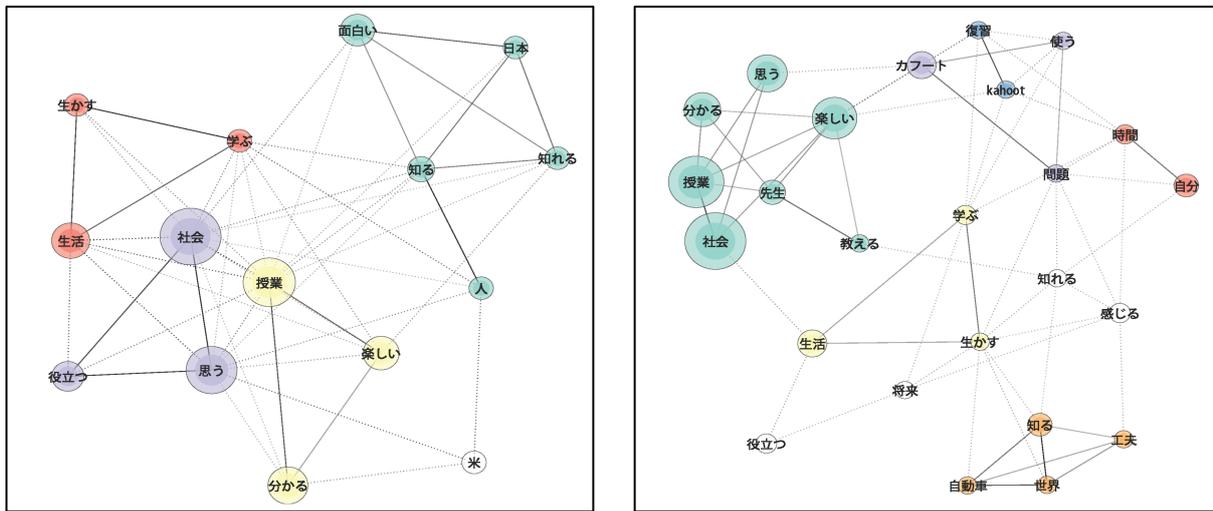


図5 共起ネットワーク図

(左：事前 右：事後)

表2 Kahoot!に関する自由記述に示された観点と記述内容例

観点	記述内容例
学習の効率化	Kahoot!を使ってやると、社会科の授業がもっと楽しくなりました。私は1回目の授業を休んでいただけですが、Kahoot!で復習することでみんなに追い付いて、とても安心しました Kahoot で復習などをすることで学んだことをもっとあたまにはいることがうれしいし、みんなと いっしょにすることで楽しくべんきょうができるから毎時間楽しく授業が受けられる カブートを使って、繰り返しできるのがいいと思いました 板書や説明が分かりやすく、カブートで復習を楽しくすることが出来て良かった
学習の楽しさ	Kahoot!がとても楽しい カブートで復習が楽しくなった カブートでいろんなもん題ができて楽しかったです
協働的な学習	友達に聞いたりクイズを出し合ったりしてふくしゅうしようとおもう みんなでカブートをすることで、わからなかったことも楽しく学べたと思う 社会の時間にカブートを取り入れて、毎時間10分程度カブートができて、チーム戦をしたり、サブマリン隊をやったり、自分で問題を作ったりして楽しかったです
学習の動機付け	クイズやカブートで楽しみながら問題が解けるから「また頑張ろう!」と思うことができる 先生は、わからないことは、しっかり教えてくれるし、社会の授業もカブートで楽しく学べてずっとやりたいと思いました

一方で、次の課題が示された。1点目が、「ネット環境の不具合がある時の対応」である。ネット環境の安定性は、ICTを活用した授業においては非常に重要であり、これが欠けた場合に授業の進行が妨げられる可能性がある。これについては、ネットワーク環境に対する定期的なアセスメントの実施を行うことが重要である。2点目が、「書くテストになった時に思うように書けなくなってしまう場合がある」である。ゲーム形式の授業では児童の「書く力」を育む場面が不足する可能性があり、従来の筆記活動とのバランスを考慮する必要がある。実際に今回行った Kahoot!は4択問題から選択する形式のもののみを使用しており、記述式の問題は採用していなかった。また、現在の Kahoot!に書字の認識機能が搭載されていないことは、Kahoot!の機能の限界を示している。3点目は、「順位がつく場合に下位にいる子たちは

意欲が下がってしまう場合がある」である。この点に関して、今回の実践では自由記述のデータから直接的な確認は得られなかったものの、ゲームの特性上、順位が可視化されることが一部の児童にとって意欲低下に繋がった可能性があるのではないかと考えられる。実践では個人順位が示されるモードを扱っていたが、Kahoot!内にはクラス全員で協力し合うモードや、成績が示されないモードが存在する。これらのモードの存在は、順位の可視化が意欲に与える影響を考慮した設計がなされていることを示唆している。したがって、今後の実践や研究においては、選択するモードが学習者に与える影響について、より多角的なデータ収集を行い、類似研究の成果を参照しながら検討を進める必要があると考える。

5. おわりに

本研究では、小学校における Kahoot!の活用によるゲーミフィケーションを取り入れた学習活動の教育実践を行い、その教育的価値を評価し、得られた知見を考察することを目的とした。実践の考察にあたっては、自由記述の内容をもとに、導入前後の比較を行い、その変化を分析した。結果、児童は楽しみながら学習に取り組むだけでなく、学ぶことの意義を理解し、自分の学びを自発的に活用する能力を高めるとともに、学習活動の中で成功体験や達成感を促進する一助となる可能性が示唆された。とりわけ、学習意欲が低い傾向にあった児童の学習態度や行動にもポジティブな変化が表れるなど、学習活動を支援するツールとしての可能性が確認された。

これらのことから Kahoot!などのゲーム形式の学習ツールは、児童の学びへの前向きな姿勢を引き出し、教育現場での活用が今後さらに広がることが期待されると考えられる。しかし、その効果を最大限に引き出すためには、ネット環境の整備や競争による意欲低下への対策、従来型の筆記活動とのバランスを考慮した授業デザインが必要である。

本研究の成果は、ICTを活用した教育の可能性を広げるものであり、義務教育段階における Kahoot!の導入に関する可能性と課題を具体的に示した。今後は、さらに多様な学年や教科での実践研究を進めるとともに、長期的な学習効果の検証が求められる。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた関係校および職員の皆様に深く感謝申し上げます。特に、授業実践の場を提供して下さった学校関係者の皆様、貴重なご意見やサポートをいただいた教職員の皆様にこの場をお借りして、心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 文部科学省:「GIGA スクール構想の実現へ」2019年12月,
https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_1.pdf (2024.11.29 最終閲覧)
- (2) 文部科学省:「個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料」2021年3月
https://www.mext.go.jp/content/210330-mxt_kyoiku01-000013731_09.pdf (2024.11.29 最終閲覧)
- (3) 藤本 徹:“ゲーム学習の新たな展開”, 放送メディア研究, Vol. 12, pp. 233-252 (2015)
- (4) 藤本 徹:“効果的なデジタルゲーム利用教育のための考え方”, コンピュータ&エデュケーション, Vol.31, pp. 10-15 (2011)
- (5) 熊井 孝弘:“NutQUIZ: Kahoot! を用いたコンセプトクイズ”, 物理教育通信, Vol.177, pp.50-53 (2019)
- (6) 山内 真理:“Kahoot!による学生参加の促進-ゲーム要素による学習態度の変容”, コンピュータ&エデュケーション, Vol.43, pp. 18-23 (2017)
- (7) 中西 淳, 神谷 健一, 山内 真理:“スマートフォンを用いた新たな英単語学習の検討-Google Form と Kahoot!を組み合わせた授業実践をふまえて-”, e-Learning 教育研究, Vol.15, pp. 13-24 (2021)

- (8) 文部科学省:「学習指導要領 総則」2019年7月,
https://www.mext.go.jp/content/220221-mxt_kyoiku02-100002180_001.pdf (2024.11.29 最終閲覧)
- (9) 文部科学省:「主体的・対話的で深い学びの視点からの授業改善」2020年1月,
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/fieldfile/2020/01/28/20200128_mxt_kouhou02_01.pdf (2024.11.29 最終閲覧)
- (10) 文部科学省:「個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料」2021年3月
https://www.mext.go.jp/content/210330-mxt_kyoiku01-000013731_09.pdf (2024.11.29 最終閲覧)
- (11) 樋口 耕一:“社会調査のための計量テキスト分析-内容分析の継承と発展を目指して-「第2版」”, ナカニシヤ出版, 京都, (2020)

(2024年11月29日 受付)

(2025年2月8日 採録)

コンセプトマップを用いた学習における創発的な対話を促進するグループ編成支援システムの構築

Development of a Group Formation Support System to Facilitate Active and Interactive Learning Using Concept Maps

徳竹 圭太郎*¹

Email: tokutake.k.aa@m.titech.ac.jp

*1: 東京科学大学

抄録

本研究では、コンセプトマップを用いた学習を前提として、生徒の主体的・対話的な学びにおける創発的な対話を促進するためのグループ編成支援システムを開発した。開発したシステムの特徴は、①各生徒が作成したコンセプトマップの形成状況をもとに、創発的な対話を促進する可能性があるキー生徒を特定して、各グループに配置されること、②各生徒のノード間のリンク情報を考慮してグループが編成されること、③システムが提案したグループに対し、教師が意図に応じて容易に修正・調整を行えるインターフェースを提供していることの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証するため、高校1年生を対象とした歴史総合の授業において本システムを試験的に導入した。その結果、キー生徒を中心とした創発的な対話が行われること、互いのリンクの相違点に着目して創発的な対話が行われることが明らかになった。

©Key Words コンセプトマップ, 主体的・対話的な学び, 協働学習, 貪欲法, システム開発

1. はじめに

文部科学省が示す学習指導要領⁽¹⁾では、習得・活用・探求という学びの過程の中で、各教科等の特質に応じた見方・考え方を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、情報を精査して考えを形成したり、問題を見いだして解決策を考えたり、思いや考えをもとに創造したりすることに向かう「深い学び」の実現を目標としている。

生徒に知識を関連付けてより深く学習内容を理解させるための学習手法として、Novak のコンセプトマップピングアプローチ⁽²⁾や、佐藤の ISM 構造チャート⁽³⁾などがある。これらの学習手法では、生徒に学習内容が記載された複数のノードを与え、関係性があるノード間にリンクを引くことで、単元全体の知識間の関係を体系的にまとめた知識構造を構築させることを目標としている。本研究では、ISM 構造チャートはコンセプトマップの1つの表現形式であると捉える。

一方、文部科学省はあらかじめ個人で考えたことを意見交換したり、議論したりすることで新たな考え方に気が付いたり、自分の考えをより妥当なものとしたりする「対話的な学び」の実現を掲げている⁽⁴⁾。そのため、生徒に知識構造を構築させようとする際には、グループ学習などの活動を通じて、自身の考えの妥当性を検討させたり、新たな知識間の関係性に気づかせたりすることが必要であると考えられる。

しかし、グループ学習を進める際には、グループを構成する生徒らの理解状況や学習に対する姿勢、生徒同士の関わり方が原因で、新たな認識の形成が阻害される可能性がある。また、教師が目標とする認識が形成できたとしても、特定の生徒だけが意見を述べ、他

の生徒がそれに同調するのみで、新たな気づきや視点が得られずに学習が進行することもある。

生徒の対話的な学びを促進することを目的とした研究としては、議論の流れを生徒に入力させることで、議論が十分に行えていないグループを抽出する稲葉らの研究⁽⁵⁾や、教師がグループの議論過程と理解の変容を把握するシステムを開発した沖田らの研究⁽⁶⁾がある。これらは教師が各グループの学習活動に介入し、助言・指導を行うことを目的として、議論の過程の可視化を行う研究である。

しかし、対話的な学びが、新たな考え方に気が付いたり、自分の考えをより妥当なものとしたりすることを目的とするのであれば、学習中の介入だけでなく、グループ学習前に、各生徒が持つ知識構造に基づいて、対話が促進されるグループ編成を検討することが必要であると考えられる。

本研究では、生徒が新たな知識構造を形成したり、自身の考えを捉え直して再構成化したりすることに繋がる対話を、創発的な対話と定義する。

これらの議論を踏まえ、筆者はコンセプトマップをグループで共有する学習活動を前提として、各生徒が作成したコンセプトマップの形成状況に基づいて、創発的な対話を促進するグループ編成を支援するシステムを構築することには、一定の意義があると考えた。

2. 先行研究

2.1 生徒が作成したコンセプトマップの評価手法

加藤らは教師と生徒が描いたコンセプトマップを一対比較し、教師と生徒で一致しているリンクを共通結線、教師のみが引いているリンクを不足結線として分

類することで、生徒の知識構造の形成状況を把握する手法を提案している⁷⁾。

Tokutakeらは生徒全体のコンセプトマップのリンク情報を集約し、教師が作成したコンセプトマップと比較することで、生徒全体の知識構造について教師との差分を評価するS-R表の開発を行っている⁸⁾。表1に、S-R表におけるリンクの分類項目を示す。

表1 S-R表におけるリンクの分類項目

大項目	中項目	内容
分野	同分野	同じ分野の事象間に引かれたリンク
	別分野	異なる分野の事象間に引かれたリンク
教科書記述	記述有	教科書に関係性が明示されているリンク
	記述無	教科書に関係性の記述が無いリンク
認知段階	知識	教科書に明示された関係を読み取って引くリンク
	解釈	抽象的な記述などから推測して引くリンク
	分析	事象から生起する因果関係を推測して引くリンク

仮に、教師が「政治」と「文化」に関する事象が書かれたノード1とノード2にリンクを引き、その関係性が教科書に明示のないしは抽象的に記述されておらず、生徒が各事象を多面的・多角的に捉えて、事象間の因果関係を推測して関係を発見しなくてはならない場合、ノード1とノード2の間に引かれたリンクは「別分野、記述無、分析」として分類される。

このような手順で分類されたリンクに対する共通結線、不足結線の割合から、生徒全体の知識構造の形成状況及び、事象間の関係性を見出すための視点の有無を評価している。

また、S-R表では異質なリンク傾向の生徒を抽出する指標である注意係数(以下、C.S.i)が算出される。C.S.iは概ね0.5以上である場合には、全体の傾向から外れた異質な知識構造を形成している可能性があるとして解釈することができる。

2.2 創発的な対話が促進されるグループの特性

徳竹らは、社会科の授業におけるコンセプトマップを用いた学習においてS-R表を適用し、C.S.iの高い生徒がグループに所属することで、対話的な学びにおける創発的な対話が促進される可能性があることを明らかにしている⁹⁾。徳竹らの研究では、C.S.iが高い生徒が所属していないグループでは、事象間の関係性に対する「提案」の発話の割合が多く、C.S.iが高い生徒が所属しているグループでは、「提案」に対する妥当性を吟味する「再考」、提案と再考を踏まえてコンセプトマップを修正する「修正」の発話が多くなることを明らかにしている⁹⁾。

2.3 ソシオメトリックテストによるグループ編成

遠西らは、ソシオメトリックテストの結果に基づいたグループ編成を行った結果、ランダムに編成されたグループよりもメンバー間の社会的相互作用を促進し、メンバーの満足度・参加度及び結果としての成績上昇率が向上したことを報告している¹⁰⁾。

3. システムの設計

3.1 本研究の目的

本研究の目的は、各生徒が作成したコンセプトマップを共有する学習活動を前提として、生徒間の創発的

な対話を促進するグループ編成を支援することにある。

これを実現するため、S-R表をベースとしたグループ編成支援システムを構築するとともに、学校現場において試験的に導入し、その有用性について検討する。

3.2 本研究におけるシステムの設計要件

上述の先行研究を参考に、創発的な対話を促進するグループ編成支援システムの要件を以下に示す。

<要件1>C.S.iが高いキー生徒を各グループに配置

生徒が作成したコンセプトマップの共通結線・不足結線といったリンク情報に着目し、全体傾向から外れた異質な知識構造を構築している可能性がある生徒を、創発的な対話を促進する可能性があるキー生徒として設定して各グループに配置する。

<要件2>「記述無」リンクを引いている生徒を各グループに優先的に配置

教科書にノード間の関係性を説明する記述が無いリンクについては、生徒が自身で関係性を推測する必要があり、リンクを引いた理由の妥当性について話し合う過程で、創発的な対話が促進されると考える。そのため、「記述無」に分類される各リンクを引いている生徒をそれぞれのグループに優先的に配置する。

<要件3>教師による意図的なグループメンバーの変更が可能

本研究では、生徒が作成したコンセプトマップのリンク情報に基づいて、創発的な対話を促進するグループ編成を支援するシステムを開発することに重点を置いている。そのため、グループ編成を行う際に、人間関係や各生徒のグループ学習への参加態度は考慮しない。一方で、メンバー間の人間関係が学習の満足度や参加度、結果としての成績上昇率に影響を与えることは先行研究でも明らかにされている通りである¹⁰⁾。

そこで、システムによるグループ編成が行われた後、教師が意図的にグループメンバーを変更することを可能にする。これにより、教師が他の指標も踏まえてグループ編成を検討することができるように設計する。

4. 開発したシステムの概観

本研究で開発したグループ編成支援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。

本研究では、Pythonを用いて機械学習やデータサイエンス向けのアプリを実装可能なオープンソースのwebアプリケーションのフレームワークであるStreamlit¹¹⁾を用いて、webアプリとして実装した。

ユーザーである教師がweb上で提供されたインターフェースに、生徒が作成したコンセプトマップのリンク情報を入力することで、S-R表の作成とグループ編成の提案が行われる。ユーザーの操作は、①生徒のリンク情報の入力、②グループの上限人数の設定、③システムから提案されたメンバーの変更の3点である。

4.1 生徒のコンセプトマップのリンク情報の入力

S-R表を作成するにあたり、各生徒のコンセプトマップのリンク情報をCSVファイルに入力する。ユーザーが用意するCSVファイルの例を図2に示す。

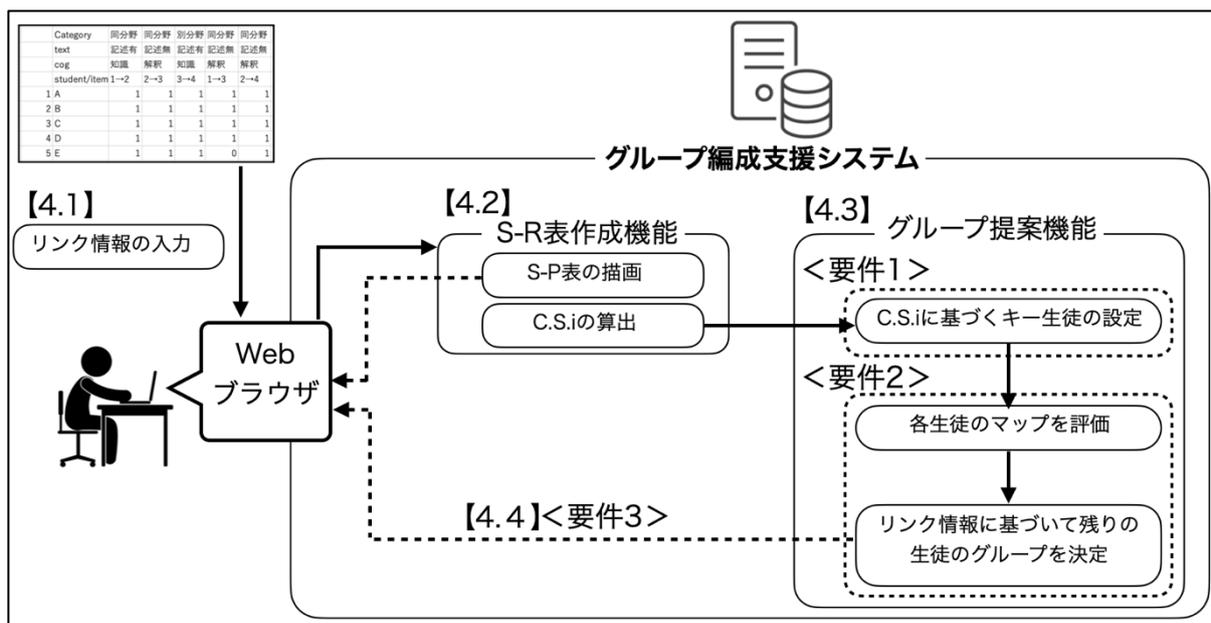


図1 開発したグループ編成支援システムの概観

①	Category	同分野	同分野	別分野
	text	記述有	記述無	記述有
	cog	知識	解釈	知識
	student/item	1→2	2→3	3→4
	1 A	1	1	1
	2 B	1	1	1
②	3 C	1	0	0
	4 D	1	1	1
	5 E	0	1	0

図2 リンク情報の入力用CSVファイルの例

図2中①に示すように、教師が作成したコンセプトマップの各リンクに対して、Tokutakeらが示す項目⁸⁾で分類を行う。次に、図2中②に示すように、それぞれのリンクに対する各生徒の共通結線を「1」、不足結線を「0」で入力する。リンク情報を入力したCSVファイルをシステムにアップロードすることで、S-R表の描画とC.S.iの計算が行われる。本研究で開発したシステムのファイルアップロード画面を図3に示す。

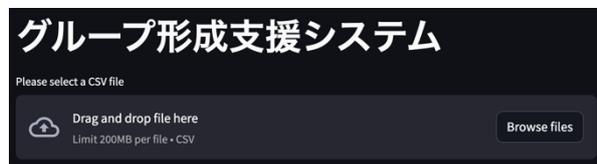


図3 ファイルアップロード画面

4.2 S-R表の描画

生徒のリンク情報が入力されたCSVファイルのアップロード後、Tokutake⁸⁾と同様の手法で、S-R表の描画とC.S.iの算出が行われる。システムが作成したS-R表の例を図4に示す。

図4中の青い実線は「S (Student) 曲線」であり、各生徒の共通結線数が可視化されている。図中の「%」は、各生徒の共通結線の割合を示す。図4中の赤い点線は「R (Recognition) 曲線」であり、各リンクに対する共

Category	別分野	同分野	別分野	別分野	別分野			
text	記述有	記述無	記述無	記述有	記述有			
cog	知識	解釈	分析	知識	知識			
student/item	6→10	5→7	8→11	1→2	3→4	S-SUM	%	C.S.i
2StudentB	1	1	1	1	0	4	80.0	0.0
1StudentA	1	0	0	1	1	3	60.0	1.43
5StudentE	1	1	1	0	0	3	60.0	0.0
3StudentC	0	1	1	0	0	2	40.0	0.53
4StudentD	1	0	1	0	0	2	40.0	0.26
6StudentF	1	1	0	0	0	2	40.0	0.0
7StudentG	1	1	0	0	0	2	40.0	0.0
R-SUM	6	5	4	2	1	18		
%	86.0	71.0	57.0	29.0	14.0	51.4		
C.P.I	0.0	0.87	0.58	0.0	0.7			

図4 システムによって作成されたS-R表

通結線数が可視化されている。

また、各生徒の共通結線数を「S-SUM」、各リンクの共通結線数を「R-SUM」で示している。システム下部には「Print」ボタンを配置し、印刷レイアウトの表示が可能となっている。

ここで算出された各生徒のC.S.iとリンク情報に基づいて、各グループのメンバーを決定する。

4.3 貪欲法によるグループメンバーの決定

S-R表作成後、各生徒のC.S.iとリンク情報に基づいて、最適化問題を解くためのアルゴリズムである貪欲法¹²⁾を用いて、グループメンバーの決定を行う。貪欲法とは、各段階で局所的に最適な選択を行うことで、全体の解を構築する手法である。本システムでは、グループ編成にあたり、<要件1>及び<要件2>を満たす必要がある。そのため、局所的に最適な選択が可能で貪欲法が最適であると考え、同手法を採用した。以下に、本研究で開発したシステムによるグループ編成の実行手順を示す。

(1) C.S.i が高い生徒の優先配置

C.S.i が高いキー生徒を各グループに配置するため、 n 人の生徒全体の集合 $S_n = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ を C.S.i に基づいて降順にソートする。この時、各 s_i は生徒を示す。これにより、各生徒の C.S.i ($C(s_i)$) に対して、 n 人の生徒における $C(s_i)$ の最大値 m_n を持つ生徒から順に処理が可能になる。

次に、各グループ G_j ($j = 1, 2, \dots, g$) に対して $s_i \in S_n$, where $C(s_i) = m_n$ for all $s_i \in S_n$ を、 $n - 1$ しながら各グループに対して C.S.i の高い生徒を 1 人ずつ配置するまで繰り返す。これにより、各グループに 1 人、キー生徒を配置することが可能になる。

(2) リンク情報に基づく生徒の配置

グループへの割当がされていない ($n - g$) 人の生徒に対しては、以下の条件で割当を行う。

<条件 1> 「記述無」に分類される各リンクについて、グループメンバーの誰か 1 人が共通結線を引きしていること。

グループ G_j において、この条件を満たしていないリンク k が存在している場合、 $\exists k$, where $coverage_{j,k} = 0 \wedge link_k(s_i) = 1$ を繰り返し評価することで、その条件を満たす生徒 s_i を割り当てる。ここで、 $link_k(s_i) = 1$ は、ノード間のリンク k に対して、生徒 s_i が共通結線を引きしていることを示す。 $coverage_{j,k}$ はグループ G_j において $link_k$ の条件が満たされているかを示す 2 値変数であり、条件が満たされている場合は 1、満たされていない場合は 0 をとる。

<条件 2> 「記述有」に分類される各リンクについて、グループメンバーの誰か 1 人が共通結線を引きしていること。ただし、条件 1 が優先される。

条件 2 についても、条件 1 と同様の方法で生徒の割当が行われる。

上記の条件を満たさない場合には、ユーザーが設定したグループの人数制約を満たすように生徒を配置する。これらの条件を満たすことで、互いのリンクの妥当性についての対話が生じ、グループ内の創発的な対話が促進されると考える。

(3) グループの人数制約を満たす配置

グループメンバーの総数は、ユーザーが指定した条件を満たすように割り当てる。具体的には、各グループの構成人数が、ユーザーの指定した値 N を超えないようにする。この制約は次のように表現される。

$$|G_j| \leq N, \text{ for all } j$$

グループの人数が割り切れない場合、余った生徒は新しいグループとして編成される。この場合、最後のグループ G_g の人数は次のように表現される。

$$|G_g| = n \bmod N$$

(4) 条件適合率の向上

C.S.i が高い生徒の配置は固定した上で、リンクに基づく生徒の配置を通じて <条件 1> と <条件 2> の適合率を最大化するように割当を行う。この目的のために、以下の式を最大化することを目指す。

$$\sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^K coverage_{j,k}$$

ここで、 K は「記述無」及び「記述有」に該当するリンクの数を示す。

本研究で開発したシステムにおいて、上記の手順で編成されたグループの提示例を図 5 に示す。



図 5 グループ編成の提案画面

図 5 について、ユーザーが 1 グループあたりの構成人数を選択することで、各グループのメンバーが出力される。キー生徒は左端に表示されている。

4.4 教師による意図的なグループメンバーの変更

本研究で開発したシステムは、人間関係やグループ学習への参加態度を踏まえた編成を行っていない。そのため、システムによって提案されるグループ編成を確認した後、教師が意図的にグループメンバーの構成を変えることができるようにした。

図 5 に示すように、本システムではグループの各メンバーの C.S.i が出力されており、教師は各グループのメンバーの人間関係などを考慮しつつ、C.S.i も参考にしながらグループ構成を決定することが可能になっている。メンバーの変更は、ドラッグ&ドロップで操作できるように実装した。

5. 学校現場での試用と有用性の検証

本研究で開発したグループ編成支援システムを、関東圏内の私立高等学校において試験的に導入し、システムの有用性について検討した。

5.1 対象者と実践の概要

開発したシステムを適用してコンセプトマップの共有を行った対象の学校（以下、対象校）について説明する。対象校は関東圏内の私立高校であり、分析対象者は高校 1 年生の歴史総合の受講者 34 名（男子: 18 名、女子 16 名）であり、2024 年 10 月に実施した。

対象の生徒は、2024 年 4 月からコンセプトマップを作成してグループで共有する作業を複数回にわたって経験しており、学習活動の進め方については、理解していると考えられる。このことから、上記の生徒は本研究の対象者として適切であると判断した。

象校の社会科学教諭の2名で行った。発話の分類及び、創発的な対話としての判定方法の具体例を示す。

<生徒の発話>

生徒A: バルカン同盟の成立が戦争に繋がっていったところに結んだんだけど。 [提案]

生徒B: どこそれ。

生徒C: 8と11でしょ。

生徒A: 書いては無いけど、話の流れ的にそうじゃないの? [提案]

生徒B: 直接関係してるのかなこれ。 [再考] どちらかというとなスニア併合じゃない? [連想]

生徒C: 両方影響しているんじゃない?これ。 [連想]

生徒D: 2つのカードから伸びるようにした方がいいかな。 [修正]

上記の会話では、生徒Aの提案を受けて、生徒Bがその妥当性について指摘した上で、別の事象との関係性について提案している。これらの意見を参考に、生徒Cは2つの事象がともに第一次世界大戦に関係しているという関係性を見出し、その指摘に基づいて生徒Dがコンセプトマップの構造の修正を行っている。このように、「提案」、「連想」、「再考」、「修正」に分類される発話の3連鎖目以降に、関係性の捉え直しが行われているものを、「創発的な対話が一回行われた」としてカウントした。各グループの発話の分類と創発的な対話の出現回数をカウントした結果を表3に示す。生徒は表2に対応した出席番号で示す。なお、表中の「%」は、発話数に対する創発の出現割合を示す。

表3 各グループの発話分類

グループ	生徒	発話数	発話分類				創発
			提案	連想	再考	修正	
1	12,4,3,10	63	22(34%)	3(4%)	16(25%)	12(19%)	7(11%)
2	20,6,1,32	44	14(31%)	0(0%)	8(18%)	9(20%)	6(13%)
3	15,26,16,9	72	24(33%)	1(1%)	9(12%)	13(18%)	6(8%)
4	21,22,17,31	56	18(32%)	2(3%)	12(21%)	10(17%)	8(14%)
5	24,14,13	58	25(43%)	4(6%)	8(13%)	9(15%)	5(8%)
6	5,29,34,25	61	24(39%)	3(4%)	5(8%)	9(14%)	4(6%)
7	8,7,23	32	14(43%)	3(9%)	1(3%)	8(25%)	1(3%)
8	18,28,11,30	93	22(23%)	0(0%)	16(17%)	23(24%)	8(8%)
9	2,19,33,27	41	19(46%)	2(4%)	6(14%)	7(17%)	2(4%)

5.3 開発したシステムの有用性の検証

本研究では、C.Siが高いキー生徒を各グループに配置するとともに、「記述無」に分類されるリンクを優先事項として、各リンクを引いている生徒をグループに配置することで、創発的な対話を促進するグループ編成支援システムの構築を行った。そこで、本研究で開発したシステムの有用性について検証するため、グループの発話内容及び、グループ学習前後のコンセプトマップの変容について確認した。

5.3.1 キー生徒の配置による影響の検証

開発したシステムによって各グループに振り分けられたキー生徒の発話に着目し、キー生徒がグループの創発的な対話を促進することを検証する。キー生徒は全体の傾向から外れたコンセプトマップを作成している可能性がある生徒である。そのため、キー生徒の「提案」が、グループ内の創発的な対話のきっかけになる

と考える。そこで、創発的な対話の出現回数1回に対して、キー生徒の「提案」が、グループの「連想」、「再考」、「修正」の連鎖生み出したと判断される場合に、「1」としてカウントした。その結果を表4に示す。

表4 キー生徒の発話の出現頻度

グループ	キー生徒	提案	創発
1	12生徒	4	7(11%)
2	20生徒	2	6(13%)
3	15生徒	3	6(8%)
4	21生徒	4	8(14%)
5	24生徒	3	5(8%)
6	5生徒	2	4(6%)
7	8生徒	0	1(3%)
8	18生徒	3	8(8%)
9	2生徒	1	2(4%)

表4を見ると、グループ7を除く全てのグループにおいて、キー生徒の発話がグループ内の創発的な対話の創出のきっかけとなっていることが読み取れる。

グループ全体の発話数に対する創発的な対話の出現割合が最も高かったグループ4の対話の具体例を示す。キー生徒は太字で表示する。

<グループ4の対話>

22生徒: 4の次6 [提案]

17生徒: 4は6... そうだね。

21生徒: 私6から4 [提案]

22生徒: 時系列で見たら違うんじゃないの? [再考]

21生徒: 4と6って同じ年代だ。時系列じゃないのかもこれ。 [再考]

17生徒: 他の年代も確認してみたけど、ロシア革命の後って書いてあるから、時系列で見ても4から6なんじゃない? [再考]

21生徒: あ、本当だ。じゃあ4から6ですね [修正]

上記の発話を見ると、「22生徒」の提案に対して、キー生徒は異なる方向性のリンクを引いていることを提案している。その後、キー生徒が引いたリンクの妥当性についての議論が展開され、「22生徒」が主張した「4から6」という提案を結論として、キー生徒が自身のリンクを修正してグループの結論を出している。他のリンクに対する対話でも、キー生徒の発話がグループの創発的な対話に影響を与えていることが確認された。

次に、創発的な対話の割合が中央値である8%だったグループ5の発話の具体例を示す。

<グループ5の対話>

14生徒: じゃあ4から6に繋げて完成かな。 [提案]

24生徒: なんか7だけ分かれてるのが気になるなって思って、6に繋げてる。 [提案]

13生徒: 10とかにも繋がる? [連想]

24生徒: それは因果関係じゃない? [再考]

14生徒: 他の国の話だから、他からは結ばないんじゃないのこれ。 [再考]

24生徒: 無理に繋げなくてもいいわ。 [修正]

上記の発話を見ると、グループで得られた結論に対して、キー生徒が追加のリンクを検討することを提案している。その上で、他のノードからの関係性につい

での議論が行われ、作成したリンクが妥当であると結論付けている。

これらのことから、C.S.i を基準としてキー生徒を各グループに配置する本システムの機能は、創発的な対話を促進するためのグループ編成支援を行う上で有用であると考えられる。ただし、表 4 から分かる通り、すべての創発的な対話のきっかけにキー生徒の提案があるわけではない。他の要因がどの程度グループ内の創発的な対話に影響を与えるかという点については、今後検証していく必要がある。

次に、グループ 7 に着目すると、キー生徒の発話がグループ内の創発的な対話に影響を与えていないことが分かる。以下に、グループ 7 の対話の具体例を示す。

<グループ 7 の対話>

23 生徒：10 から 6 繋げた？多分いいよね [提案]

8 生徒：そこ繋げるんだ。

7 生徒：そこは繋がりそう。

23 生徒：良さそうだよ、ここは。

8 生徒：じゃあ結ぼうか、そこ。 [修正]

23 生徒：これでいいかな？

8 生徒：大体いいんじゃないの？きれいじゃん。

上記の発話を見ると、「23 生徒」の提案に対して、「7 生徒」が同意することで、議論が収束しており、キー生徒である「8 生徒」は決定事項のみをまとめている。

表 3 のグループ 7 の発話の分類に着目すると、「提案」に対して「再考」の頻度が低いことが読み取れる。そのため、グループ 7 は他者が引いているリンクは基本的に正しいものであると認識してグループ学習を進めていた可能性があると考えられる。

本研究では、生徒が作成したコンセプトマップのリンク情報に基づいてグループ編成を行っている。しかし、グループ 7 の事例からも分かる通り、メンバーのグループ学習に対する姿勢の影響を完全に排除することはできない。そのため、今後はグループ編成時にソシオメトリックテストの結果や、Rothmann らが提案する Big five などのパーソナリティ特性⁽¹⁴⁾の結果などを踏まえることが必要であると考えられる。本システムでは教員による意図的なメンバー変更が可能であるため、こうしたシステム外の指標をもとに、教員が提案されたグループを参考に再編成することもサポートされている。

5.3.2 リンク情報による生徒配置の影響の検証

本研究で開発したシステムでは、「記述無」に分類されるリンクを中心に、各リンクを引いている生徒をそれぞれグループに配置している。これにより、各リンクの妥当性について検討する過程で、創発的な対話が促進されると考えられる。

当該機能の有用性について検証するため、まず「記述無」、「記述有」の各リンクについて、グループ学習前後での共通結線数の変化を検証した。グループ学習前の「記述無」のリンクと「記述有」のリンクに対する共通結線数の平均をグループごとに算出し、グループ学習後の共通結線数との差分を「前後差」として設定した。なお、グループ学習後のリンクはグループ内で一致しているため、平均ではなくグループのコンセ

プトマップの共通結線数を算出している。その結果を表 5 に示す。

表 5 各グループの共通結線数の変化

グループ	記述無			記述有		
	事前	事後	前後差	事前	事後	前後差
1	2	3	1	5	7	2
2	2.5	3	0.5	6	7	1
3	2.3	3	0.7	5.8	6	0.2
4	3.5	4	0.5	6.5	7	0.5
5	3	4	1	7	8	1
6	1.2	2	0.8	4.5	5	0.5
7	2.6	3	0.4	5.3	7	1.7
8	2.3	3	0.7	5.3	6	0.7
9	2	3	1	4.5	6	1.5

表 5 を見ると、すべてのグループで「記述無」、「記述有」の共通結線数が増加していることが分かる。このことから、グループ内で互いに引いていないリンクに対する妥当性の議論が行われたと考える。これを検証するため、各リンクを共有している際のグループの発話内容に着目した。キー生徒は太字で表示する。また、氏名の後に、事前に該当ノード間のリンクを引いていたか否かを「(有)」、「(無)」で示す。

<グループ 3：ノード 9→4 に対する発話>

26 生徒 (有)：9 ってどこにいった？イギリスの外交だから 4 にしたんだけど。 [提案]

15 生徒 (無)：そこ引いてないわ。なんか内容よくわからなかった。

16 生徒 (有)：私引いてるわ。なんか、パレスチナの話って前にしてなかったっけ。 [連想]

15 生徒 (無)：あー、なんかあった。でも、オスマン帝国関係するの？これ。 [再考]

26 生徒 (有)：オスマン帝国で少数民族が、ってのがあるから。ここかなって。 [再考]

15 生徒 (無)：一旦繋いでおこうか。 [修正]

上記の対話内容を見ると、キー生徒が引いていなかったリンクについて、別の生徒がリンクを引いて関係性があることを主張し、その妥当性について検討した上で、キー生徒がリンクの修正を行っている様子が見える。これは、本研究で開発したシステムが、可能な限り各リンクを引いている生徒をそれぞれのグループに配置することで、リンクを引いている生徒とリンクを引いていない生徒の対話の創出を支援しているためであると考えられる。

一方で、共有されているにも関わらず、修正がされなかったリンクもある。リンクの修正が行われなかったグループの対話の具体例を以下に示す。

<グループ 1>

12 生徒 (有)：5 は 11 に繋げてる。 [提案]

4 生徒 (無)：2 から 5、5 から 8、8 から 11 じゃないの？ [再考]

12 生徒 (有)：これ両方から伸びても…ん〜… [再考]

3 生徒 (無)：全部作ってからもう一回考えようか。

上記の対話内容を見ると、「12 生徒」が明確な理由を述べられていないために、共通結線が引けなかったことが分かる。これは、本研究で開発したシステムが、各ノード間のリンクの有無にだけ着目して生徒のグル

ープ編成を行っており、生徒の理解度を十分に考慮していなかったためであると考えられる。

これらのことから、本システムにおける生徒のリンク情報に基づいて生徒を配置する機能は、創発的な対話を促進するためのグループ編成支援を行う上で有用であると考えられる。ただし、上記の対話の具体例からも分かる通り、リンクの有無から生徒の理解状況を判断するのは不十分であり、各ノード間の関係性の理解に対する生徒の理解度をどう考慮するかという点については、今後検討していく必要がある。

6. まとめと今後の展望

本研究では、コンセプトマップを用いた学習を前提として、生徒の主体的・対話的な学びにおける創発的な対話が促進されるグループ編成支援システムの構築を行った。開発したシステムを学校現場において試験的に導入し、グループ学習時の発話の分析と、コンセプトマップの変化からシステムの有用性について検討した。その結果、本研究で開発したシステムは、グループ内の創発的な対話を促進するためのグループ編成を行う上で有用であることが示された。

しかし、人間関係やグループ学習に対する姿勢の影響を完全に排除することはできず、他の指標を踏まえたグループ編成の方法を検討する必要があることがわかった。また、本システムではリンクの有無に基づいて生徒の配置を決定したが、各生徒のリンクに対する理解度については考慮していなかったために、創発的な対話の実現に至らないグループがあったことが確認できた。

今後の課題としては、以下の5点が挙げられる。

- ① 本研究で開発したシステムについて、対象者の母数を増やして同様の検証をすることで、システムの有用性をより明確にすること。
- ② ランダムなグループ編成を行った場合と、システムを適用した場合の対話の質の違いについて検証し、開発したシステムの有用性を再度十分に検討すること。
- ③ 性格特性など、他の指標を踏まえたグループ編成を行い、システムの信頼性を向上させること。
- ④ 生徒の理解度に応じたグループ編成機能を検討すること。
- ⑤ 本研究で開発したシステムを他教科にも適用し、システムの有用性について検討すること。

謝辞

本研究は、日本学術振興会、科学研究費助成事業の奨励研究(24H02486)の助成によるものである。

参考文献

- (1) 文部科学省：“新しい学習指導要領等について”，https://www.mext.go.jp/content/20221223-mxt_kyoiku02-000026761_02.pdf, (2024年11月2日閲覧)。
- (2) Novak, J.D. : “Concept Mapping: A Useful Tool for Science Education”, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949 (1990).
- (3) 佐藤隆博：“ISM 構造学習法”，明治図書出版 (1987)。

- (4) 文部科学省：“主体的・対話的で深い学びの実現（「アクティブ・ラーニング」の視点からの授業改善）について”，https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2017/10/24/1397727_001.pdf (2024年11月2日閲覧)。
- (5) 稲葉晶子, 柳葉泰孝, 岡本敏雄：“分散協働型作業学習環境における知的議論支援”，*電子情報通信学会論文誌 A*, J79-A, (2), pp.207-215 (1996)。
- (6) 沖田真咲, 徳竹圭太郎, 小尻智子：“S-P 分析法を用いた注目生徒検出と協調学習過程の可視化による教師支援システム”，*日本教育工学会研究報告集*, 19, (1), pp.117-124, (2019)。
- (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*, vol.A J-71, no.10, pp.1955-1965, (1988)。
- (8) Tokutake, K.; Sakuma, D. and Murota, M. : “Development of a Concept Map Evaluation Support System for Social Studies Learning”, In *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management - Volume 3*, pp.214-221 (2024)。
- (9) 徳竹圭太郎, 佐久間太, 後藤正樹, 室田真男：“社会科の学習における生徒間の創発的な対話が促進されるグループ特性の検証”，*信学技報*, vol. 123, no. 406, ET2023-57, pp. 25-31 (2024)。
- (10) 遠西昭寿, 伊藤聡子, 円谷秀雄, 高橋忠雄：“理科実験学習におけるグループ構成とその効果 (I) -ソシオメトリックなグループ構成について-”，*日本教科教育学会誌*, 第8巻, 第1号, pp.9-20 (1983)。
- (11) Streamlit:<https://streamlit.io/cloud>, (2024年11月24日閲覧)
- (12) Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. : “Introduction to Algorithms”, MIT Press (2009)。
- (13) 安斎勇樹, 益川弘如, 山内雄平：“創発的コラボレーションを促すワークショップの活動構成-アナログ的・ジグソーメソッドの効果の検討-”，*日本教育工学会論文誌*, 第37巻, 3号, pp.287-297 (2013)。
- (14) Rothmann, S. Coetzer, E. P. : “The Big Five Personality Dimensions and Job Performance”, *SA Journal of Industrial Psychology*, 29(1), pp.68-74 (2003)。

(2024年11月29日 受付)

(2025年1月28日 採録)

情報セキュリティ教育における 高校生の生成 AI に対する意見の分析

Analysis of high school students' opinions on generative AI in information security education

増山 一光^{*1}

Email: kazu-masuyama@pen-kanagawa.ed.jp

*1: 神奈川県立相原高等学校

抄録

教育現場において徐々に導入が進んでいる生成 AI について、生徒が適切に利用することで自らの学習活動を高められるような授業実践の方策を検討した。その際、先進的な取り組みを行っている学校の取り組みを参考にしつつも、どのような学校でも実践できるような取り組みを立案し、情報セキュリティを学習内容として取り上げ、高校2年生および3年生を対象として授業実践を行った。この授業実践の中で、生徒に生成 AI に対する意見を自由記述させて、その内容に対して KHCoder を用いた計量テキスト分析および生成 AI を用いた意見集約を用いて分析した。これにより、生徒の生成 AI の捉え方を把握するとともに、教育現場での生成 AI の利用に関する課題を指摘した。

◎Key Word 生成 AI, 情報教育, 情報セキュリティ教育

1. はじめに

近年、生成 AI はもっとも注目されているテクノロジーの1つである。企業などでは、これを導入することにより、DXの推進を進めようとする取り組みがみられる。教育現場においても生成 AI が働き方改革や授業改善につながるのではないかとといったことが期待されている。

こうした中で、2023年7月に文部科学省より初等中等教育における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドライン^① (以下、暫定的ガイドラインとする。) が公表されている。このガイドラインは、教育現場での生成 AI の利用を一時的に禁止するようなものではなく、生成 AI の活用にあたっての適否を判断する際の参考資料として位置づけられている。ここで、適切でないと考えられる例と活用が考えられる例が示され、情報教育に携わっている先生方の多くが生成 AI を利用した授業を展開している。

しかし、教育現場においては生成 AI の技術的なインパクトは理解しているものの、その利用については否定的な側面が目立つのが現状である。さらに、生成 AI の利用にあたっては制限が多く、授業で活用するような環境整備がされていないのが現状である。文部科学省の初等中等教育段階における生成 AI に関するこれまでの取り組み^②においても、教育現場に生成 AI の技術が活用可能かを判断するためには、引き続き成果・課題を検証しつつ、諸外国の取組も踏まえながら、様々な視点で検討していく必要があるとしている。

そこで、本稿では教育現場において徐々に導入が進んでいる生成 AI について、生徒が適切に利用することで自らの学習活動を高められるような授業実践の方策を検討する。その際、先進的な取り組みを行っている学校の取り組みを参考にしつつも、どのような学校でも実践できるような取り組みを立案し、情報セキュリティ

ィを学習内容として取り上げて授業実践を行うものとする。そして、この授業実践の中で生徒に生成 AI に対する意見を自由記述させて、その内容に対して生徒の生成 AI の捉え方を把握するとともに、教育現場での生成 AI の利用に関する課題を指摘することを目的とする。

2. 授業設計

暫定的ガイドラインでは、次のような生成 AI を用いた教育活動としてパイロット的な取り組みを示している。保護者の十分な理解の下、生成 AI を取り巻く懸念やリスクに十分な対策できる学校において、大まかな活用ステージは図1の通りである。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ①生成 AI 自体を学ぶ段階 ②使い方を学ぶ段階 ③各教科等の学びにおいて積極的に用いる段階 ④日常使いする段階 |
|---|

図1 生成 AI の活用ステージ

こうしたパイロット的な取り組みが示されているが、これに基づいて一般的な高等学校において生成 AI に関する学習に取り組むことは現状では、かなり難しい側面がある。その理由としては、第1に保護者の理解および生成 AI の利用の同意を得られない点がある。これは、高等学校の授業において生成 AI に関する授業を取り扱ってほしいという教育的ニーズは高くなっているが、生成 AI の利用に関しては課題などを生成 AI に行わせるなど不適切な利用を危惧して同意が得られないことが多い。これに関しては、スマートフォンのフィルタリング機能で使用できない場合もある。また、本校の実習用のパソコンでは基本的に生成 AI を使用することはできない。

第2に授業を行う教員自体が生成AIに対する理解が不足している面がある。教育機関では生成AIに対する感情的なわだかまりがあり、その利用が必ずしも積極的ではない。これは授業における教材作成や校務での活用があまりされていないことから明らかである。そのため、生成AIを授業で扱う状況になっていないのがほとんどであろう。

このような生成AIを授業で使用するにあたっての課題を踏まえて、ここではパイロット的な取り組みを行わない学校での生成AIを扱った授業展開についての検討をする。まず、生成AI自体に関する学習が必要である。これは、基礎学習の段階であり、そもそも生成AIがどのようなものであるかを学習する。ただし、学習者の準備状態によっては、学習内容の取舍選択が必要となる。さらに、情報技術や知的財産権に関する知識が十分でない場合には、生成AIを扱う前提としての授業が必要になる。

次に、生成AIの利用規約に関して、クラス内のすべての保護者からの同意を得ることは難しいので、教員が生成AIを操作することでの授業を構成しなければならない。このことは、教員が生成AIを十分に操作できるとともに、生成AIの動作を生徒が視聴できる環境が求められる。ここでは、教員による生成AIの適切な操作と質問に対する想定される回答を事前に検討して、不適切な内容が表示されないように準備することが必要となる。

そして、生成AIが出力したものと生徒が考えた解答を比較検討することで、その違いから分かることをまとめることで、生成AIの適切な利用を身につけることができ、今後、自分自身が生成AIを利用するにあたっての指針を形成することが可能になるであろう。

3. 授業実践

3.1 概要

これまでの検討を踏まえて、生成AIのパイロット的な取り組みを行わない学校として教育実践を行うこととした。具体的には商業科目である「プログラミング」を受講している本校2・3年生を対象にして、学習課題として情報セキュリティを取り上げた。情報セキュリティを取り上げた理由としては、高校1年生の段階で基礎を学習していることから、これまで学んだ内容と生成AIから出力される内容を比較・検討すること学習を進めることで、情報セキュリティへの理解を深めるためである。授業時間は全3時間で構成し、生成AIはChatGPT3.5, Copilot, Geminiの3種類を使用した。また、生徒の学習用ソフトウェアとしてはロイロノートを使用した。

3.2 事前アンケート

授業を行う前に、参加生徒に対して事前アンケートを5件法で行った。このときに使用した選択肢を表1に示すことにする。

ここでは、情報セキュリティや生成AIに関する理解や認識について調査した。情報セキュリティについては、昨年度、基礎的な学習をしているが、現在の理解度

はあまり高くない状況である。生成AIに対する認識度は高いものであったが、その利用度はかなり低いものであった。このことは、生徒たちが生成AIに対して懐疑的であることがわかった。

表1 事前アンケートの選択肢

【1】 5:大変よく理解している, 4:よく理解している, 3:どちらともいえない, 2:あまり理解している, 1:ほとんど理解していない
【2】 5:大変よく実践している, 4:よく実践している, 3:どちらともいえない, 2:あまり実践していない, 1:ほとんど実践していない
【3】 5:大変よくトラブルに遭う, 4:よくトラブルに遭う, 3:どちらともいえない, 2:あまりトラブルに遭わない, 1:ほとんどトラブルに遭わない
【4】 5:大変よく対処できる, 4:よく対処できる, 3:どちらともいえない, 2:あまり対処できない, 1:ほとんど対処できない
【5】 5:大変よく知っている, 4:よく知っている, 3:どちらともいえない, 2:あまり知らない, 1:ほとんど知らない
【6】 5:大変よく使用している, 4:よく使用している, 3:どちらともいえない, 2:あまり使用していない, 1:ほとんど使用していない
【7】 ~ 【10】
5:大変そう思う, 4:よくそう思う, 3:どちらともいえない, 2:あまりそう思わない, 1:ほとんどそう思わない

表2 事前アンケート

【1】 情報セキュリティを理解していますか。	2.46
【2】 情報セキュリティを日常生活で実践していますか。	2.97
【3】 情報セキュリティに関するトラブルに遭いますか。	1.74
【4】 情報セキュリティに関するトラブルに対処できますか。	2.56
【5】 生成AIを知っていますか。	3.66
【6】 生成AIを使用していますか。	2.21
【7】 今後、生成AIが様々な用途で使用されると思いますか。	4.21
【8】 生成AIを使用することは便利だと思いますか。	4.11
【9】 生成AIを自身の学習活動で活用したいですか。	3.57
【10】 生成AIの利用には問題点も多くあると思う。	4.41

3.3 授業展開

1時間目は、まず、情報セキュリティと生成AIの概論に関する授業をプレゼンテーション形式で行った。その内容としては、情報セキュリティに関しては基礎的内容の復習ということでJNSAの資料⁹⁾を活用した。生成AIについては多くの解説や利用方法に関する参考

文献がある。しかし、高校生を対象とした解説など行っているものは少ない。今回は情報セキュリティとのコラボレーション型の教育実践であることから、IPAの「情報セキュリティ 10 大脅威 2024」解説書⁴⁾に記載されている生成 AI に関するコラムを参考にした。

2時間目は、生徒に情報セキュリティに関する基本的な課題として、「パスワードの保護」と「データの保護」を示して個人で検討した後に、この課題に対する生成 AI の出力と比較して、自らの意見をまとめる実習を行った。ここで生成 AI の出力といった操作は教員が行っている。

具体的な授業展開の例としては、まず、「パスワードの保護」をテーマにしたときには、「あなたのパスワードを守るための対策にはどのようなものがありますか。」という問いを示して生徒に回答させる。回答はロイノートを使用して自由記述させ、この画面を参考にし生徒との対話的なやり取りをしている。

次に、生徒の回答が終了した後に、書画カメラで生成 AI を起動したタブレット端末の画面を映して、プロンプトに対して生徒に示した問い自体そのものを入力して、出力したものを提示した。プロンプトの入力にあたって、ここではあえて工夫などをしないで生徒に提示したものと同様のものを入力した理由は、生徒と生成 AI に対して同じ問いを示すことで、自分と生成 AI の差異を理解するためである。

生徒が自らの回答と生成 AI の出力を比較した意見としては、生成 AI が多様な回答を出力しており、自らの意見がほぼ含まれていることを確認している。このときに情報を羅列的に出力しているので情報がまとめられているという点では生成 AI がツールとして優れていると考えていた。一方で、生成 AI を用いても最終的な判断は人間がしなければいけないという意見が多数得られた。その後、「データの保護」をテーマにして同様の展開で行っている。

こうした授業展開を通じて複数の生成 AI を使用しているが、その出力内容の違いに着目してそれぞれの特徴を指摘したり、単なる Web サイトにおける情報の集約をしているだけではないかとの疑問を呈している生徒もいた。

3時間目は、「フィッシング詐欺」や「ランサムウェア」による被害事例⁹⁾からどのような対応をすべきかを検討して、生成 AI の出力との相違点や参考にすべき点など指摘させた。2時間目と同様に生成 AI の操作は教員が行っている。

具体的な授業展開は、ほぼ2時間目と同様の展開である。3時間目の「フィッシング詐欺」をテーマとしたときには、図2のようなインシデントの事例を提示している。その対応に関して生徒の回答と、提示した事例をそのままプロンプトとして入力して得られた生成 AI の出力を比較させている。その後、次のテーマとして「ランサムウェア」を扱った。

それぞれのインシデントに対して生徒は多様な対応策を考えており、このような活動が情報セキュリティ対策の向上に寄与したと思われる。一方で、生成 AI の出力を比較したところ、一般的な対策が多くみられ、実

際に被害に遭ってしまったときに、生成 AI の出力だけでは十分に対応できないのではないのかという疑問を呈していた。そして、授業の最後にまとめとしての解説を行った。

最近ではほとんどの買い物が Web でできるようになり、価格比較も簡単にできる。今回、かねてから欲しかった物品を格安で入手できるサイトをみつけて注文した。しかし、発送通知メールがいつまで経っても来ない。

さらに、注文した Web サイトに行ってみると、サイト自体が無くなっている。もしかしてこれは詐欺だったのかと考えるようになった。顧客登録に、これまでほかのサイトで使用していた ID とパスワードを使ってしまった上に、クレジットカード情報も入力してしまった。

早急に手続きしないと、悪用されて大きな被害につながる可能性があるのではないだろうか。どのように対応すべきだろうか。

図2 フィッシング詐欺の事例⁹⁾

3.4 事後アンケート

授業後に、事後アンケートを5件法(5:大変そう思う、4:よくそう思う、3:どちらともいえない、2:あまりそう思わない、1:ほとんどそう思わない)で実施した。

表3 事後アンケート

【1】 今回の授業で、情報セキュリティを理解することができた。	4.14
【2】 今回の授業から生成 AI は情報セキュリティに活用できる。	3.94
【3】 今回の授業で、情報セキュリティに関するトラブルに対応できるようになった。	3.91
【4】 今回の授業で、情報セキュリティを生成 AI に教わるすることができた。	4.23
【5】 今回の授業で、生成 AI の特徴を理解することができた。	4.61
【6】 今回の授業内容を理解することができた。	4.35
【7】 今回の授業から生成 AI の課題を理解することができた。	4.30
【8】 今回の授業を受けて、今後、学校において生成 AI の利用を促進すべきだ。	3.39
【9】 今回の授業を受けて、生活のさまざまな場面において生成 AI を使用したい。	3.73
【10】 生成 AI の回答には、信用できないものがある。	4.32

商業高校では情報処理に関する検定試験を行っており、検定試験の受験に向けて取り上げた内容についてはすでに学習している。しかし、日常の授業を通じて表面的な理解にとどまっている状況であった。そこで、生成 AI からの出力の利用と、生成 AI の出力内容を授業で補完することで、今回の実践が情報セキュリティの

基礎的な理解を深めることができた。

しかし、実際のインシデントへの対応については、生成 AI からの出力では概要を理解することはできたが、より具体的な対応を行うことが可能であるかについては疑念の残るようである。

このような情報セキュリティを題材とした授業展開を行ったことで、生成 AI の特徴や課題の理解に役立っていることがわかった。

また、今後、学校において生成 AI の利用を促進すべきだという問いについては、多くの生徒がどちらでもないという回答をしており、生成 AI を授業で使用するということについても判断しかねる状態になっている。さらに、生成 AI を自分自身の生活における利用については躊躇している回答が目立っていた。

4. 生徒の生成 AI に対する意見

4.1 KHCoder による計量テキスト分析

このような生成 AI を用いた情報セキュリティ教育を実践する過程において、「現在の生成 AI に対するあなたの意見」について自由記述で回答してもらい、生徒の生成 AI に対する意見を多角的に収集した。回答数は2年生 35 件、3年生が 34 件の計 69 件となっている。この自由記述の回答に対して、KHCoder⁶⁾を用いて計量テキスト分析を行った。

まず、自由記述の回答に含まれる抽出語リストは表 4 の通りである。表 4 では、名詞、サ変名詞、形容動詞を対象にして、4 回以上のものを抽出している。なお、生成 AI は 44 回、AI は 31 回出現している。この抽出語リストと回答内容から、生成 AI から情報を得るために参考にしており便利であることを指摘していることがわかる。加えて、生成 AI に関わる技術、知識、利用、学習、判断という視点からの指摘がみられる。一方で、鵜呑みが 7 回も指摘され、他の抽出語では動詞では間違うが 8 回、形容詞では怖いが 7 回、悪いが 4 回、危ないが 2 回となっており、否定的な記述も多くみられている。

表 4 抽出語リスト

名詞	サ変名詞	形容動詞
自分	30 参考	21 便利 28
情報	24 回答	16 必要 9
使い方	10 質問	10 重要 4
答え	9 意見	7 大事 4
鵜呑み	7 利用	6
人間	7 使用	5
技術	5 発展	5
考え	4 学習	4
知識	4 活用	4
程度	4 信用	4
文章	4 判断	4

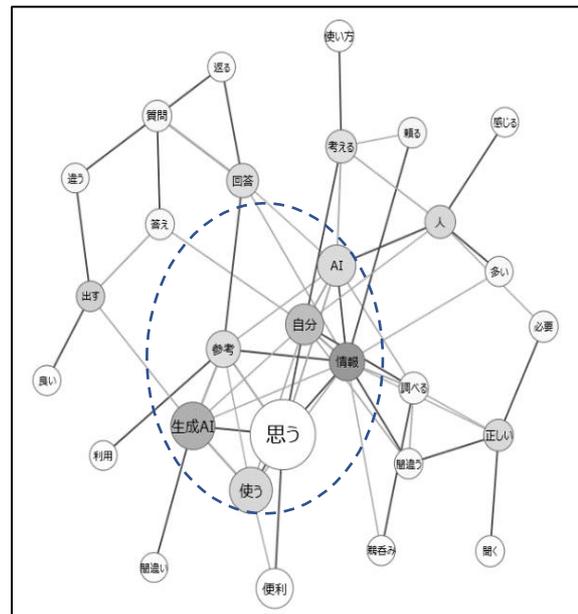


図 3 自由記述の共起ネットワーク

次に、自由記述の回答の共起ネットワークは図 3 の通りである。この共起ネットワークの作成条件は、最小出現数 6 語以上とし、強い共起関係ほど太い線で描画し、出現数の多い語ほど大きい円で表示している。この共起ネットワークでは、図 3 の破線で囲まれた場所である「思う」という語を中心として生成 AI の利用に関するつながりが構成されており、その周りに付随した状況が表現されている。ここでも、生成 AI に関わる否定的な記述が散見される。

4.2 生成 AI による意見集約

自由記述の回答の分析をさらに進めるために、生成 AI を使用して自由記述の内容を集約した。ここで、使用した生成 AI は ChatGPT3.5, Copilot, Gemini である。入力したプロンプトは、「次の意見を 5 つに集約してください。」とし、すべての自由記述の意見を入力した。結果は図 4 から図 6 の通りであるが、出力された項目のみを表示している。

このように 3 つの生成 AI を使用して自由記述の回答を 5 つに集約したところ、それぞれの生成 AI が指摘している内容に大きな差異は認められず、ほぼ同等の内容を出力している。

さらに、図 4 から図 6 のように出力されたものを、文章を含めて共起ネットワークで表すと次のようになる。このときの作成条件は、最小出現数 2 語以上とし、強い共起関係ほど太い線で描画し、出現数の多い語ほど大きい円で表示している。

図 7 の ChatGPT3.5 の共起ネットワークでは、出力された意見集約の項目の語を把握することができることから、項目の説明を中心としている。図 8 の Copilot の共起ネットワークは、生成 AI の利用や使用といった視点から意見集約を行っているとともに、同じ用語をあまり使用しない特徴があり、シンプルなものとして表示されている。図 9 の Gemini の共起ネットワークは、

生成AIの出力がもっとも詳細であり大項目と小項目を記載するとともに、独自に重要なポイントを指摘していることから、様々な語が繋がっていることが示されている。

このように、多くの自由記述の意見であっても生成AIや計量テキスト分析を用いることで、全体の意見の概要を知ることが可能となる。

以上のことから、今回の生成AIを用いた情報セキュリティ教育を通じて、生徒が生成AIに対して、生成AIが途上の技術であり、重要なことに生成AIを使用することに対して懐疑的であり、使用上のリスクが存在することを認識していることがわかった。

1. 生成AIの便利さと活用方法
2. 誤情報のリスクと信頼性の限界
3. 倫理的・法的な問題
4. AI依存への懸念
5. 進化の期待と恐怖感

図4 ChatGPT3.5による意見集約

1. AIの利便性とリスク
2. AIの急速な発展に対する不安
3. 適切な使用方法の重要性
4. 依存しすぎないことの重要性
5. 教育と倫理の必要性

図5 Copilotによる意見集約

1. 生成AIの便利さ、可能性
 情報収集の効率化
 アイデア創出
 学習の効率化
 新しい可能性
2. 生成AIの課題、リスク
 情報の正確性
 著作権・倫理問題
 人間への依存
 悪用される可能性
3. 生成AIの適切な使い方
 情報の取捨選択
 多角的な視点
 目的意識を持つ
 倫理観を持つ
4. 生成AIの発展への期待と不安
 更なる発展
 人間との共存
 制御不能の恐れ
5. 教育への示唆
 情報リテラシーの重要性
 批判的思考の育成
 AIの活用法

図6 Geminiによる意見集約

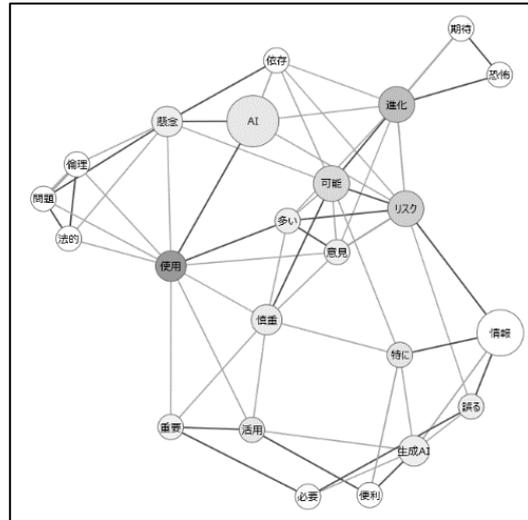


図7 ChatGPT3.5の共起ネットワーク

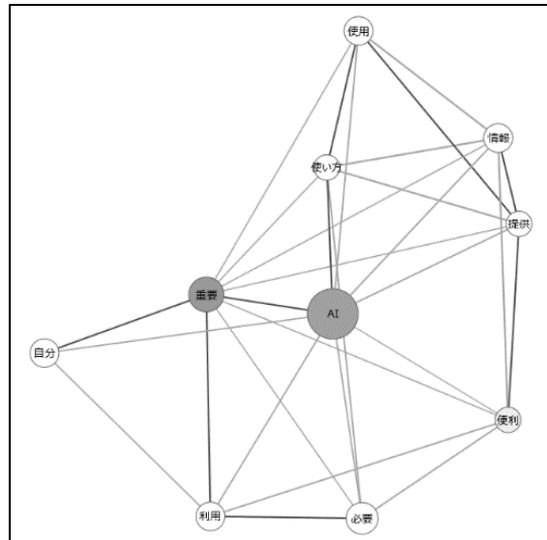


図8 Copilotの共起ネットワーク

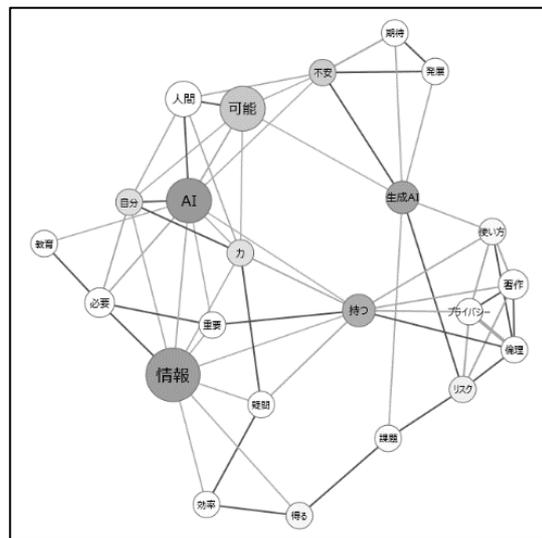


図9 Geminiの共起ネットワーク

5. 考察

5.1 生成 AI を用いた授業実践について

今回の生成 AI をした教育実践を行う場合には、暫定的ガイドラインに示されているチェックリストに適合することが求められている。そのため、授業設計の段階から、授業における各段階での適合性の検証を行っている。この検証のプロセスにおいて重視したポイントは、生成 AI を活用した授業であっても、生徒が主体的に学習活動を行えるようにしたところである。

さらに、実践にあたっては、事前の教材準備を十分に行わなければならないが、生成 AI の利用にあたってはさらに慎重な対応が求められる。今回の実践において、授業内で使用する情報セキュリティに関わる課題は、実践で使用した生成 AI に予め入力し出力を確認するとともに、様々なバリエーションについても確認を行った。これは、生成 AI のさらなる学習や利用状況に応じて出力内容が変化するためである。そのため、授業者が生成 AI を日々活用することで、教員が対応能力を身につけなければならない。

生成 AI の特質として、質問に対する回答が機械学習や統計的にみておおよそ適切な内容を出力することになる。一方で、生徒の学習活動には、思考、計算、言語活動など様々な学習プロセスが統合されて結果が導き出される。これらのことから、生成 AI によって出力されるものと、教育活動における生徒の学習活動によって生み出されるものには根本的な違いがあるため、生成 AI の出力のみをもって学習課題の解答として受け入れるべきではない。

このようなことから、生成 AI を用いた教育実践は、生成 AI が出力する結果を評価するものではなく、生成 AI を活用した生徒の学習プロセスを評価するようなものでなければならないのである。

5.2 生成 AI による意見集約について

今回の分析を通じて、生成 AI を用いて意見集約することは集団における考え方などを把握するために有効であることがわかった。しかし、教育活動において生成 AI をもいた意見集約を用いるときにはいくつかの注意点がある。1 つ目は、少数意見の軽視である。生成 AI を用いることで大勢となる意見の集約は容易であるが、少数の大切な意見を見失うことがままある。今回の分析では、生成 AI を日常的に活用し、その過程で見出した有用性等に関する意見を述べている生徒がいたが、生成 AI による意見集約では表示されていない。そのため、こうした分析において丁寧に少数意見を汲み取ることで新たな視点からの学習アプローチが可能となる。

2 つ目が生成 AI によって強調点が違うことである。これは、意見集約によって箇条書きされた内容を確認すると、類似している記載も多いが、表示される順番や表現に大きな違いがみられる。そこで、学習活動で生成 AI を使用する場合には 1 つの生成 AI に限定するのではなく、いくつかの生成 AI を併用することが必要である。

3 つ目が生成 AI によって言葉の置き換えが行われていることである。意見集約において Gemini と Copilot が

教育という言葉を用いているが、生徒の自由記述の中には 1 度もこの言葉は使われていない。これは、生成 AI が自由記述の内容を書き換えることによって意見集約を行っているため、生成 AI の出力とプロンプトを比較してどのような解釈をしているかを確認することが大切となる。

6. おわりに

本稿では、生成 AI のパイロット校でない高校において、情報セキュリティを題材にして生成 AI を用いた教育実践を行った。ここでは、生徒が生成 AI を操作はしていないが、情報セキュリティと生成 AI に対する理解を深めることができた。

そして、生成 AI に対する自由記述の回答を、KHCoder を用いた計量テキスト分析を行った上で、生成 AI を用いて意見集約を行って概要を把握した。生徒の文章による成果物について、1 つのツールだけでなく様々なツールを使用して分析することで多角的な理解が得られた。

今後の展開としては、生徒の自主的な学習活動を保証したうえで、生成 AI を情報教育に取り入れて、学習プロセスの評価を行えるような研究を行いたいと考えている。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP24H02389 の助成を受けたものです。加えて、授業に参加してくれた生徒に感謝します。

付記

本研究は、PC カンファレンス 2024 で発表した「高校生を対象とした生成 AI による情報セキュリティ教育の検討」のを発展させて、加筆したものである。

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.mext.go.jp/content/20230710-mxt_shuukyuo02-000030823_003.pdf(2024 年 11 月 28 日閲覧).
- (2) 文部科学省：初等中等教育段階における生成 AI に関するこれまでの取り組み, https://www.mext.go.jp/content/20240725-mxt_jogai01-000037149_21.pdf(2024 年 11 月 28 日閲覧).
- (3) JNSA：中小企業情報セキュリティ対策促進事業, <https://www.jnsa.org/ikusei/>(2024 年 11 月 28 日閲覧).
- (4) (独)情報処理推進機構：「情報セキュリティ 10 大脅威 2024」解説書, https://www.ipa.go.jp/security/10threats/nq6ept000000g22h-att/kaisetsu_2024.pdf(2024 年 11 月 28 日閲覧).
- (5) NICT：サイバー攻撃事例集, <https://cyder.nict.go.jp/casestudies/index.html>(2024 年 11 月 28 日閲覧).
- (6) 樋口耕一：KHCoder, <https://khcoder.net/dl3.html>(2024 年 1 月 28 日閲覧).
- (7) 増山一光：高校生を対象とした生成 AI による情報セキュリティ教育の検討, 2024PC カンファレンス論文集, pp55-56(2024).

(2024 年 11 月 30 日 受付)

(2025 年 2 月 6 日 採録)

拡張可能な e ラーニング VR 中国語教材の開発

- 『鹿港慢旅時光～我和老屋的相遇～』を例として -

Development of an Expandable e-Learning VR Chinese Language Learning Material:
Taking "A Leisurely Journey in Lugang: My Encounter with the Old Houses" as an Example

簡 珮鈴*1・難波 康治*2・Elton Su *3
Email: chien.pei.ling.019@m.kyushu-u.ac.jp

- *1: 九州大学 工学研究院
*2: 大阪大学 国際教育交流センター
*3: Super720

抄録

本稿は、中国語教育における教材不足、特に中級・上級レベルへの対応が課題となっている現状を踏まえ、著者らが開発した、台湾の鹿港を舞台とした VR 教材『鹿港慢旅時光～我和老屋的相遇～（和訳：鹿港：時を忘れる古民家の旅；英訳：A Leisurely Journey in Lugang : My Encounter with the Old Houses)』について報告するものである。本教材は、CEFR A1～B1 に対応し、初級レベルの旅のストーリーと中級レベルのインタビューセクションを設けている。8K 解像度の 360 度映像を採用し、多言語字幕対応やマルチデバイス対応により、より幅広い学習者のニーズに応える。さらに、SDGs 目標 11「住み続けられるまちづくりを」の理念を反映した台湾の地方創生や台湾レトロ建築、伝統工芸といった文化的要素を取り入れ、内容言語統合型学習（CLIL: Content and Language Integrated Learning）としての拡張・展開も可能である。また、付録の「探索する」では、Google ストリートビューに類似した 360 度画像を基盤にインタラクティブ性を付与し、地域文化への理解を深めるコンテンツを提供することができる。本教材は言語運用能力のみならず、異文化理解を促進することや他人との交流を深めるために学習者が自身の考えを持つことを目指している。

©Key Words 仮想現実 (VR), e ラーニング教材開発, 中国語教育, SDGs, COIL

1. はじめに

日本における中国語教育は、近年、教育環境の充実や教材の量的増加が見られる一方で、その質的改善については依然として多くの課題が指摘されている。張 (2017) は、日本の中国語教育では「文法や語彙など言語形式の学習が優先され、ドリルなどの反復練習によって言語項目の定着を図るスタイルが主流であり、読解指導も、読んで考えるよりも、語彙や文法解説による分析的学習と中文和訳を組み合わせたものが多い」と述べている⁽¹⁾。同様に、西 (2021) も、「日本の大学における中国語教育は、全体的には、いまだに文法訳読法（文法と語彙学習）、オーディオ・リンガル教授法（Audio-Lingual Method, 反復練習、構造中心の文型練習、機械的やりとり、暗唱）が席卷している。現在、日本で出版されている数多^(ママ)ある大学生向け中国語教材の圧倒的多数が文法シラバスによるものである」と指摘している⁽²⁾。

これに加え、劉 (2024) の調査では、1970 年から 2022 年までの 53 年間に出版された中国語教材のうち、2000 年以降に出版された教材数は 610 冊に上り、1970 年から 1999 年までの 80 冊に比べて大幅に増加していることが明らかとなった。しかし、この増加は初級レベルの教材に集中しており、「量から質への転換が重要」であるという課題が示されている⁽³⁾。

また、許 (2018) は大学生向けの初修外国語として出版された文法シラバス中国語教材 12 冊を対象に練習問

題を詳細に分析した。その結果、練習問題全体のうち、次のような構成比が明らかになった。「翻訳タイプ」の練習問題（例：日本語を中国語に訳すや提示されたピンインを漢字に書き、さらにそれを日本語に訳す）が全体の 20.2%を占め、「構文練習タイプ」の練習問題（例：単語を並べ替えて文を完成させるや指示に従って文の形を変えるや文中の一部を置き換える）が 23.9%を占めていた。この 2 つのタイプを合わせると全体の 44.1%に達し、練習問題のほぼ半数が文法訳読法や構造中心の練習に基づいて構成されていることが分かる⁽⁴⁾。この結果は、張 (2017) や西 (2021) の指摘とも一致しており、日本の中国語教育が文法や語彙の習得を中心とするスタイルに依存している現状を示している。

こうした教育スタイルの背景には、日本の中国語教育が長い歴史をもつ漢文教育の影響を受けていることが挙げられる。西 (2021) は、文法訳読法からの脱却が困難である要因の一つは、この歴史的背景にあると述べている。このような状況に対し、従来の教育方法や教材の限界を認識し、新たな学習方法を模索する必要性が高まっている。

本研究では、このような課題を解決するため、中国語教育における新たな教育アプローチとして、拡張可能な e ラーニング VR 中国語教材の開発に取り組む。VR 技術を活用することで、従来の文法訳読法を補充し、学習者が実践的で没入感のある学習体験を得られる学習環境を構築することを目指す。本論文では、開発した教

材の設計プロセスや中国語教育における新たな可能性と未来像を提示する。

2. 外国語学習における VR の活用

2.1 VR と AR がもたらした学習効果について

小田 (2024) は, Google Scholar を用いて 2017 年から 2023 年までの 7 年間にわたる日本国内外の外国語学習における AR および VR の活用に関する先行研究の動向を分析した。その結果, 学習者の動機づけに関しては, AR と VR のいずれも「学習意欲や学習への積極的な関与, 学習態度の向上, 自己肯定感の向上および言語不安の緩和に寄与する」ことが確認された。一方で, 学習成果においては, AR が語彙の習得に効果を発揮するのに加え, VR は語彙習得のみならず, 「スピーキング, 読解力, 構文の習得にも幅広く効果が認められた」と報告されている⁽⁵⁾。

AR (Augmented Reality : 拡張現実) と VR (Virtual Reality : 仮想現実) は, いずれもコンピュータグラフィックス (CG) や位置情報などの通信技術の進展によって開発された技術であるが, それぞれ異なるアプローチを採用している。AR は現実世界にデジタル情報を重ね合わせて表示する技術であり, 映像や画像, 動画, テキストなどを現実の一部として提示することで, 現実感を拡張させる。一方, VR は 360 度映像や臨場感のある音響, さらに触覚的要素を駆使し, 実在しないデジタル情報をあたかも現実のように体験させる技術である。このように, AR は現実世界の延長線上での体験を提供し, VR は完全没入型の体験を可能にするという点で, 両者は異なる体験様式を有している。

小田 (2024) のレビュー研究によれば, 外国語学習においては, 学習環境の構築という観点から, VR による完全没入型の学習体験がより理想的である可能性が示唆されている。この知見は, 外国語学習における AR および VR の活用方法を検討するうえで重要な示唆を与えるものである。

2.2 中国語教育における VR の活用

アメリカ・ニューヨーク州のレンセラー工科大学は, IBM 基礎研究所 (IBM Research) との共同研究で人工知能 (AI) と仮想現実 (VR) を中国語教育に導入する試みをした。学習者は, 360 度のバーチャル環境に作られた北京の街並みや飲食店といったシチュエーション内で中国語を学習することが可能である。この仮想環境内では, 学習者が食事の注文や買い物をシミュレーションしながら, あたかも中国を訪問しているかのような没入感のある空間で実践的な会話を体験的に学習することができる⁽⁶⁾。当研究では, 大型プロジェクトで学習者を囲み, その近くに複数のカメラやセンサーが設置されおり, AI や音声認識機能を搭載しているマイクロフォンも使用されているので, 学習者が発した言葉や行動に応じることができる。

大井田・吉住・中辻・尾久土 (2018) は, 学習者の内的動機づけを高める要因として注目されるフロー体験に着目し, ドームシアターに投影されるバーチャルリアリティの 360 度ドーム映像 (以下, ドーム映像と称

す) がフローを引き起こしやすいと仮定した。その上で, ドーム映像を活用した第二外国語学習プランを策定し, 実験授業を実施した。実験授業中に撮影された映像および授業後のアンケート結果を分析したところ, ドーム映像が外国語学習において有効であり, 学習者のフロー体験を誘発する効果があることが確認された。また, ドーム映像は従来の映画やビデオを上回る学習効果を有することが示されている。さらに, ドーム映像を用いた外国語教材および学習プランは, 特に外国語初学者における導入段階での利用に適しているとの知見が得られた⁽⁷⁾。

2.3 市販の VR 中国語教材 – Mondly VR と ImmerseMe

Mondly VR は, 英語, フランス語, 中国語をはじめとする多言語の VR 言語学習コンテンツを提供するアプリケーションである。このアプリケーションには音声認識技術が組み込まれており, 学習者は Meta Quest 2 (旧称 Oculus Quest 2) や Meta Quest Pro などのヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使用することで, 日常会話や旅行場面を中心とした中国語会話練習をチャットボットとともに行うことができる。これにより, 学習者は没入型の学習体験を通じて中国語のコミュニケーションスキルを向上させる機会を得る。

一方, ImmerseMe は, 学習者のレベルに応じた 3 段階 (初級者, 中級者, 上級者) のコンテンツを提供し, 各学習者の能力やニーズに適した教材を用意している。さらに, 学習プロセスは 4 つの段階的な学習モード (発音モード, ディクテーションモード, 翻訳モード, イマージョンモード) に分かれており, これらを通じて学習者は言語スキルを体系的かつ段階的に向上させることが可能である。

対応言語はドイツ語, スペイン語, フランス語, 英語, 日本語, 中国語, イタリア語, ギリシャ語, インドネシア語の 9 言語に及び, 多様な言語スキルを多様な言語環境で習得する機会を提供する。

学習コンテンツの観点から見ると, 大井田・吉住・中辻・尾久土 (2018) が制作したドーム映像は, 異文化要素を取り入れた簡易な会話文を中心に構成されており, アメリカ・ニューヨーク州のレンセラー工科大学と IBM 基礎研究所 (IBM Research) が共同開発した VR 中国語学習システム (以下, VR 中国語学習システムと称す) や ImmerseMe, Mondly VR の学習内容と大きな差異は見られない。これらはいずれもホテルや飲食店など学習者が日常生活や特定の場面における会話を想定し, 学習者に学習内容となる実践的な会話練習を提供する場面シラバスに基づいたものである。

技術的な観点から見ると, 大井田・吉住・中辻・尾久土 (2018) のドーム映像や ImmerseMe は, 360 度カメラで撮影した 2D 動画や写真を加工して 3D 風に見せる技術を採用しており, 視聴者 (カメラ) を中心とした視点から 360 度の映像を楽しむ構造を構築している。一方, VR 中国語学習システムや Mondly VR は, プログラミング言語を用いて完全な仮想空間を構築しており, 没入感の提供方法が異なる。

コンピューターグラフィックスによって作り出された仮想空間は、実際には存在しないキャラクターや世界観、目に見えないものなど、自由に表現することができる一方、360度映像は、実在するものを撮影した動画なので、実際の場の雰囲気や人の表情変化など、物事をよりリアルで正確に伝えることができる。

Mondly VR は、学習者が仮想環境内を自由に移動しながら360度の視界を体験できる設計であるのに対し、VR 中国語学習システムはドーム型の大型プロジェクションを用い、学習者を映像で包み込む形を取っている。このため、VR 中国語学習システムはHMD（ヘッドマウントディスプレイ）を使用するシステムに比べて没入感はやや低いものの、VR 酔いや首や身体への負担を軽減する利点がある。

これらの中国語教材は、いずれも360度の視覚体験を通じて文脈を重視したVR 言語学習を実現しているが、その技術的アプローチには明確な違いがある。VR 中国語学習システムやMondly VR では仮想空間の構築に高度なプログラミングスキルが必要であり、専門的な知識がなければ独自にコンテンツを制作することは困難である。一方、ドーム映像やImmerseMeのように360度カメラで撮影した素材を活用するアプローチは、専用ソフトウェアを用いることで比較的容易にコンテンツ制作が可能であり、技術面でのハードルが低い点が特徴である。

本研究で開発する教材は、物事をよりリアルかつ正確に伝えることを重視し、技術的な側面も考慮した結果、比較的制作の難易度が低い360度映像を活用する手法を採用した。また、VR 技術を活用することで学習者に具体的な文脈を提供できるという特性を活かし、学習内容には場面シラバスを採用することとした。

3. 拡張可能なeラーニングVR 中国語教材『鹿港慢旅時光～我和老屋的相遇～』

今回開発した360度VR 中国語教材は、『鹿港慢旅時光～我和老屋的相遇～（和訳：鹿港：時を忘れる古民家の旅；英訳：A Leisurely Journey in Lugang : My Encounter with the Old Houses）』（以下、『鹿港』と称す）である。次節は、『鹿港』の企画・開発・制作について詳しく説明する。

3.1 『鹿港』の開発について

3.1.1 360度動画撮影機材

『鹿港』における360度動画の撮影においては、解像度が8Kの複数のカメラを組み合わせ、場面に応じて異なる手法で撮影した。移動しながら撮影する場合、軽量で持ち運びが容易な機材が必要であるため両面球形魚眼レンズ（片側185度）を搭載したカメラ「Insta360 RS 1 inch」を使用した。また、ジンバル（Gimbal）を搭載した装置を使用し、撮影中の動きや手振れのデータを記録することで、ポストエディティングでの補正および360度動画の安定化を可能にしている。

一方、固定された場面で移動が不要な場合には、四眼構成の「TechE Anywhere 8K」カメラを採用した。このカメラは4つの4K魚眼レンズ（縦185度 x 横110

度）を同期させて録画し、ポストエディティングで8Kパノラマ360度動画として結合するものである。

3.1.2 360度静止画撮影機材

静止画の360度写真の撮影には、Nikon D810/D850の一眼レフカメラと8-15mmフルフレーム魚眼レンズを使用した。撮影は4方向（各方向90度）にわたり、各方向で5段階の露出設定によるRAW写真（ブラケット撮影）を撮った。ポストエディティングでは、Adobe Lightroomを用いてHDR（ハイダイナミックレンジ）合成を行い、最終的にPTGui Proを使用して写真を結合した上で16Kの高解像度パノラマ360度写真として出力している。

3.1.3 ポストエディティング

撮影された360度動画および写真は、SGO Mistika VRを用いて360度動画の結合を行い、マスター素材を作成した。その後、Adobe Premiere Proを用いて編集、テロップ挿入、最終出力を行った。

3.1.4 360度VR教材としての制作

PC、スマートフォン、タブレット、Meta Quest2・Meta Quest3（以下、Questと称する）などのVRゴーグルといった複数のプラットフォームで使用可能なパノラマオーサリングツールであるKvrpanoを利用し、JavaScriptを組み合わせてアイコンやメニューなどを『鹿港』に統合した。これにより、インタラクティブな360度VR教材の開発を実現している。

3.2 教材の利用方法

本教材の利用方法は、HMDによる利用と非HMDによる利用とに大別できる。HMDには、Questのようなスタンドアロン型HMDがあり、スマホ用簡易VRゴーグル・カードボード（以下、簡易ゴーグルと称する）のようなHMDがある。Questの場合、まず、3D VistaというアプリをMeta Questストアからダウンロードし、次に、本篇のデータをQuest本体にダウンロードし、インストールした3D Vistaで視聴する。一方、簡易ゴーグルでは、スマートフォンを利用することにより、教材を視聴する。本教材は、Web VRに対応しているため、Chrome等インターネットブラウザがあれば、スマートフォン、PC、ノートパソコン、タブレットといったデバイスを問わず教材を視聴することが可能であり、Moodle、BlackBoard、Manabaのようなeラーニング学習管理システムのコンテンツとしてリンクを設けて使用することもできる。

3.3 題材の選定

拡張可能なeラーニングVR 中国語教材を開発するにあたっては、題材の選定が極めて重要であり、その選択が教材の拡張性を左右する主要な要素の一つであると言える。これを踏まえ、本教材では場面シラバスを採用する一方で、既存のMondly VRやImmerseMeが提供するような、「カフェで」「レストランで」「売店で」といった特定の場面を提示し、A（従業員）とB（お客

の間で行われる簡単な会話に限定した形式には留まらない教材設計を目指した。本教材では、全体を貫くテーマを設定することで、単なる場面ごとの会話練習を超え、そこからさらなる拡張が可能となる構造を意図している。

言語によるコミュニケーションは、話者が属する言語共同体の価値観や規範、文化的背景に基づくものである。そのため、言語学習においては、単なる文法や語彙の習得にとどまらず、人・文化・歴史・伝統といった異文化理解に資する要素を包括的に取り入れることが不可欠である。このような視点から、住民を含む地域の文化的文脈を含む古都が理想的な題材と考えられる。台湾における三つの有名な古都（台南、鹿港、艋舺）の中から、今回は鹿港を題材として採用した。鹿港はそのコンパクトな都市規模や町全体の良好な保存状態、さらに地元での街づくり活動の活発さにおいて、教材のテーマとして適していると考えた。このような題材選定により、学習者が異文化理解を深めるとともに、より豊かで拡張性のある学習コンテンツを提供することを目指している。

3.4 『鹿港』について

言語の根底にある文化や社会の多様性への理解と配慮は、高度な外国語運用能力を育成する上で不可欠な要素である。中国語圏（中国、台湾、香港、マカオ、シンガポール、マレーシアなど）では、地域ごとに異なる中国語のバリエーションが存在し、それぞれの文化や社会背景も極めて多様である。『鹿港』は、このような中国語の多様性を反映し、台湾で話されている中国語を基盤として開発されたものである。

学習者の没入感を高めることを重視し、8Kの高解像度で教材を制作した。また、教材はマルチデバイス対応であり、HMD、スマートフォン、ノートパソコン、タブレットなど、学習者が所有するさまざまなデバイスを用いて学習することが可能である。特に、高い没入感を伴う体験型学習を希望する学習者に対しては、HMDを活用した学習方法を推奨している。このように、技術と内容の両面から学習者の多様なニーズに応える教材設計を実現している。

『鹿港』は、全8課から構成されており、本篇と付録の二部構成で制作されている（図1）。また、多言語字幕（繁体字中国語、簡体字中国語、日本語、英語）に対応しており、幅広い学習者層に向けた利用を想定している（図2、図3）。

本篇では、学習者が登場人物の一人としてストーリーに参加できる設計となっており、女性または男性の主人公として台湾人俳優が演じる台湾の友人とともにゲーム感覚で鹿港を歩き回る体験型学習を提供する。学習者が選んだキャラクターの性別に応じて、店主からの質問が変わり、学習者が扮した主人公が台湾の友人や店主へ返答となる二択の選択肢（日本語、英語併記）もそれに応じて変更されることで、インタラクティブな学習体験を提供するよう工夫している（図4、図5）。

一方、付録には「全体をもう一度観る」「チャプターごとに観る」「シナリオ（ピンイン表記）のダウンロード

ド」「文の練習」「探索する」「インタビュー」など、学習支援機能や発展的な学習コンテンツが含まれている（図6）。



図1 スタート画面



図2 言語設定（オン・オフ可能）



図3 字幕設定（オン・オフ可能）



図4 主人公のキャラクター設定

「全体をもう一度観る」では、本篇全体を繰り返し視聴できる一方、「チャプターごとに観る」では、ストーリーを部分的に再生し、特定の場面を重点的に復習できる（図7）。「シナリオ（ピンイン表記）のダウンロード

ド」では、繁体字中国語および簡体字中国語にピンインを付した PDF のシナリオ（日本語訳・英語訳付き）を提供し、学習者がメモを取ったり復習に活用したりすることが可能である。「文の練習」では、各課のセリフから6つのフレーズを選び、練習用に提示している。これにより、フレーズの練習とともに、台湾の友人との旅での会話を再度想起する効果が期待される（図8）。



図5 鹿港にあるチャイナドレスの店を訪れる

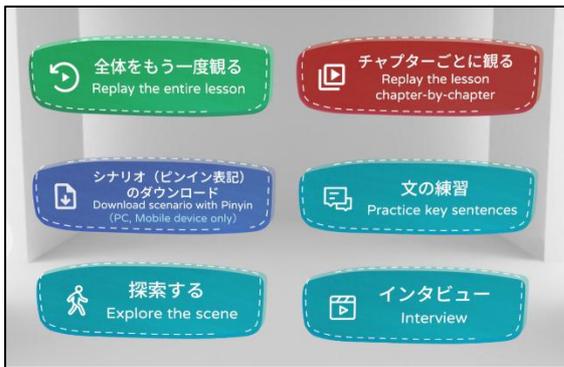


図6 付録のメニュー画面



図7 チャプター一覧

「探索する」では、学習者が台湾の友人とともに訪れた古民家などのロケ地を探索できる（図9）。Google ストリートビューに類似した 360 度画像を通じて、学習者は没入感を持って現地の雰囲気を経験することが可能である。表1には、各課で取り上げた探索地（ロケ地）の一覧を示している。「インタビュー」では、中国語ネイティブスピーカーによる談話が収録されている。鹿港の古民家でビジネスを営む人物たちが、ビジネスを始めたきっかけや直面した課題、鹿港への思い、そし

てその将来への展望について語っており、学習者は現地の視点をリアルに感じ取ることができる（図10）。

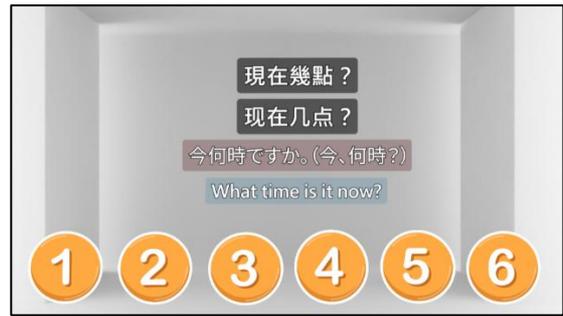


図8 文の練習（6つのフレーズ）



図9 第3課の探索地—旗袍美学文化センター

表1 各課の探索地（ロケ地）の一覧表⁽⁸⁾

課	タイトル	探索地（ロケ地）
1	最近怎麼樣？ 最近，どうしていますか？	—
2	您好，我是王莉亞。您貴姓？ こんにちは，私は王莉亞です。お名前は？	小艾人工房 (古民家)
3	你能推薦嗎？ おすすめの場所ありますか？	旗袍美学文化 センター (古民家)
4	我們要去力野茶陶所 力野茶陶所に行くつもりです。	九曲巷 (歴史的な建物)
5	架子上放著好多個杯子 棚の上にたくさんさんのカップが置いてあります。	力野茶陶所 (古民家)
6	我不會說台語，但是我會說日語 私は台湾語を話せませんが，日本語を話すことができます。	書集喜室 (古民家)
7	你把帽子忘在廟裡了嗎？ 帽子をお廟に忘れてしまいましたか？	埔鹽廟(廟宇) (お廟)
8	這間丁家古厝有名得不得了 この丁家古厝はすごく有名です。	丁家古厝 (歴史的な建物)

出所：簡・難波・Su 2024, p. 246



図10 鹿港の住民たちへのインタビュー

これにより、学習者は個々のニーズに応じて教材を

活用しやすく、より効果的な学習体験を得られるよう工夫されている。

3.5 教材のレベル

「はじめに」で述べたように、市販の中国語教材の多くは初級レベルを対象としており、中級・上級レベルの教材が不足しているという現状が指摘されている。この課題を克服するため、『鹿港』は、より幅広いレベルの学習者に対応できる教材として開発された。本教材は、本篇と付録の二部構成であり、それぞれ異なる学習レベルに対応している。

本篇では、日本人大学生の主人公が台湾の友人とともに鹿港を訪れる旅を描いたストーリーが展開され、初級レベル (CEFR A1~A2) に適した内容となっている。一方、付録には、旅の中で出会った人々 (店の経営者など) のインタビューが収録されており、これは中国語ネイティブスピーカーによるまとまりのある談話であるため、中級レベル (CEFR B1) の学習者を対象としている。インタビューでは、鹿港の古民家でビジネスを営む人々が、その経営のきっかけや課題、鹿港に対する思いや展望を語っており、学習者に現地の視点を提供している。

本篇の旅のストーリー部分は、初級レベル (CEFR A1~A2) の復習として活用できるだけでなく、中級レベル (CEFR B1) の学習者にとってリスニング練習のウォーミングアップとしても効果的である。また、本教材は多言語字幕 (繁体字・簡体字中国語、日本語、英語) に対応しているため、初級レベルの学習者であっても付録のインタビューを通じて、鹿港の文化や人々の生活について理解を深めることが可能である。

3.6 拡張可能なコンテンツ

本教材における「拡張可能」とは、本篇から派生したテーマからなる教材コンテンツ利用の可能性を指す。

『鹿港』は、内容 (例: SDGs の取り組みなど) を充実させることで、内容言語統合型学習 (CLIL: Content and Language Integrated Learning) としての提供が可能である。

『鹿港』のストーリーでは、学習者が台湾の友人とともに鹿港を巡り、古民家を訪問する内容が描かれており、これを基盤に SDGs 目標 11 「住み続けられるまちづくり」の理念を反映した台湾の地方創生 SDGs (図 11) を取り入れることができる。さらに、本教材は、台湾のレトロ建築 (図 12, 図 13)、かつて繁栄を誇った港町としての鹿港、そして鹿港に根付く伝統工芸など、地域文化を包括的に扱うことで、人・文化・歴史・伝統の各側面を深く学ぶ機会を提供する。これら拡張されたコンテンツは Web VR に対応しており、教材から外部のホームページにリンクする場合、3D Vista を利用して『鹿港』を視聴する Quest などの HMD の場合は外部のホームページにアクセスできないが、スマートフォンを使用する簡易ゴーグルの HMD では、スマートフォンに Chrome などのインターネットブラウザを介して外部のホームページにリンクしたコンテンツ内容を視聴することができる。



出所: <https://www.twrr.ndc.gov.tw/>

図 11 台湾の地方創生について

これにより、学習者は中国語運用能力を向上させると同時に、異文化理解やグローバルな視点を養うことができる。本教材の拡充は、言語学習と社会的課題に対する理解を統合する CLIL の教育的意義を体現するものである。



出所: 辛永勝・楊朝景著、小栗山啓輔訳 (2021) 『台湾レトロ建築さんぽ』

鉄窓花を探して』エクスタレッシュ社版

図 12 台湾のレトロ建築とそれに見られる特徴



出所: 辛永勝・楊朝景著 (2020) 『老屋頌』馬可孛羅出版社

図 13 台湾のレトロ建築に見られる特徴

また、付録に含まれる「探索する」のコンテンツでは、Google ストリートビューに類似した 360 度画像を基盤としつつ、インタラクティブ性を付加することでより多様な学習内容を提供できる構造を目指している。たとえば、学習者が興味を持つ箇所を目で凝視、あるいはコントローラー・マウス・指などで選択することにより、古民家が示す台湾レトロ建築の特徴やその歴史的背景

に関する説明や、拡大した写真・動画などが追加表示され、建築様式を中心とした地域文化の理解を深める学習が可能である。このように、視覚的体験を活かしたインタラクティブな教材設計により、学習者はより具体的かつ実感を伴った形で台湾の文化を学ぶことができる。

4. おわりに

本稿は、中国語教育をはじめとする次世代外国語教育の「新たな在り方」を構想し、仮想現実 (VR) を活用した拡張可能な e ラーニング VR 中国語教材の開発について、その概要を報告したものである。現時点では、九州大学および大阪大学において少人数の学習者 (大学院レベル) に『鹿港』の一部を試用してもらい、フィードバックを収集している段階であるが、概ねよい反応を得ている。

本教材の最終的な目標は、単に中国語の表現を学ぶだけでなく、VR によるさまざまな疑似体験や多様な内容言語統合型学習 (CLIL) コンテンツから、他人との交流を深めるために学習者が自身の考えを持つことである。今後、内容 (地方創生 SDGs の取り組みなど) についての講義をさらに充実することにより、内容言語統合型学習 (CLIL) として機会を提供したい。また、多言語対応の e ラーニング中国語教材でもあるため、ICT を活用し、国内外の大学や教育機関との交流や協働を通じて、母語の異なる中国語学習者間で COIL (Collaborative Online International Learning: 国際連携型協働学習) を展開することを可能とするためのプログラムを企画、実施し、その効果の検証を目指すとともに、大規模な授業実践を行って客観的な評価を得たいと考えている。

謝辞

本研究は科研費 22K00697 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 張彤: 「内容言語統合型学習 (CLIL)」を取り入れた中国語授業の試み, *Lingua*, 第 27 号, pp.161-170 (2017) .
- (2) 西香織: 「大学中国語教育の現状と実践, そして課題」, *外国語教育研究ジャーナル*, 第 2 巻, pp.224-229 (2021) .
- (3) 劉国彬: 「日本における中国語の教材と出版社に関する一考察」, *福山大学 大学教育論叢*, 第 10 号, pp.99-110 (2024) .
- (4) 許挺傑: 「日本の初級中国語教科書における練習問題についての一考察: 12 冊の教科書調査を通して」, *筑波応用言語学研究*, 25, pp.19-32 (2018) .
- (5) 小田理代: 「外国語学習における AR と VR の活用に向けた先行研究の動向: 諸外国と日本の研究から」, *麗澤大学紀要*, 第 107 巻, pp.11-22 (2024) .
- (6) A new immersive classroom uses AI and VR to teach Mandarin Chinese : Students will learn the language by ordering food or haggling with street vendors on a virtual Beijing street: <https://www.technologyreview.com/2019/07/16/65550/ai-vr-education-immersive-classroom-chinese-ibm/>, (2024 年 11 月 27 日閲覧).
- (7) 大井田かおり・吉住千亜紀・中辻晴香・尾久土正己: 「フロ

- ー理論に基づく外国語学習—360 度ドーム映像を使った第二外国語学習—, *教育メディア研究*, 25, 1, pp.1-18 (2018) .
- (8) 簡珮鈴・難波康治・Elton Su: 「VR を活用した新たな e ラーニング中国語教材の開発—語学学習の未来像—」, 2024 PC カンファレンス論文集, pp.243-246 (2024) .

(2024 年 11 月 30 日 受付)

(2025 年 1 月 20 日 採録)

教育学部学生の生成 AI リテラシー育成を目的とした授業の設計と評価

Class design and evaluation aimed to develop generative AI literacy for students in the university of education

加藤 司*¹

Email: tukasa39@edu.u-ryukyu.ac.jp

*1: 琉球大学大学院教育学研究科高度教職実践専攻

抄録

近年、生成 AI 技術が急速に進展しており、現在、教育界においても高い関心が寄せられている。文部科学省から発表されたガイドラインにおいて、「生成 AI の仕組みの理解」、「学びに活かす視点」、「使いこなす力の育成」の 3 つの観点で生成 AI リテラシーの必要性が示された。しかし、現在、この観点に基づく生成 AI リテラシー教育プログラムは存在しない。そこで、本研究では教育学部学生を対象として、上記の 3 観点に基づいた授業を設計し、その有効性を検証した。その結果、学生の倫理観やリスク認識が大幅に向上し、学生の多くが生成 AI の仕組みを例え話で説明することで理解し、テーマに沿った画像生成の課題においても全員が高い成績を残した。以上より本授業の有効性が示された。また、課題として、生成 AI の応用スキルを一層深める演習の拡充、リテラシー教育の継続的な効果の検証、教育現場での実践に向けた教員研修プログラムの開発が挙げられた。

◎Key Words 生成 AI リテラシー教育, 教育学部, 学生

1. はじめに

近年、AI の技術的発展は目覚ましく、特に 2022 年 10 月に OpenAI 社が公開した ChatGPT を皮切りに、多くの企業から生成 AI を搭載した Web アプリケーションやスマートフォンアプリケーションが開発され、私たちの身近なアシスタントツールとして実装されるようになった。こうした生成 AI は、さまざまな分野での活用が世界的に進んでおり、教育界においても高い関心を集めている。

一方で、生成 AI が出力する内容には誤りが含まれる場合（いわゆる“ハルシネーション”）があるほか、著作権侵害や情報漏洩のリスクも指摘されており、AI の利用に対する課題や懸念が多く議論されている。こうした状況を受け、2023 年 7 月に文部科学省が公表した「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」⁽¹⁾ では、児童・生徒に対する生成 AI の適切・不適切な使用場面の想定など、暫定的なガイドラインが示された。また、情報活用能力育成の観点から、「生成 AI の仕組みの理解」「学びに活かしていく視点」「使いこなすための力の育成」という 3 つの基本的な考え方が提示された。

日本における AI 教育を概観すると、2018 年に文部科学省が「AI 時代の教育」に関する方針を策定⁽²⁾し、2019 年に小学校から高等学校までの教育課程に AI 教育を組み込む方針を示した⁽³⁾。それを踏まえ、2020 年度から施行された新学習指導要領にプログラミング教育が導入され、特に中学校・高等学校の技術科や情報科の授業で、AI に関する基本的な概念を学ぶことが推奨されている。

また、大学などの高等教育機関における AI 教育については、内閣府が「AI 戦略会議 2019」⁽⁴⁾ において「大

学生や高等専門学校（高専）生全員を対象に、文理を問わず初級レベルの数理・データサイエンス・AI の教育を必修化し、日常や仕事の場で活用するための基礎的な素養を習得させる」ことを教育目標として掲げている。これらのプログラムは、データリテラシーや統計解析、プログラミングなどのデータサイエンスをベースにした AI 教育となっている。しかし、生成 AI に関する教育については、生成 AI の基幹技術であるトランスフォーマー型ニューラルネットワークが 2017 年に Google 社から発表され、さらに 2022 年にこの技術を用いた ChatGPT が公開されることによって、一般社会で広く認知された経緯があることから、従来の AI 教育には組み込まれていないのが現状である。

さらに、ChatGPT をはじめとする生成 AI の登場により、従来の AI ツールには困難だった文章・画像・動画・音声の生成が可能になったことから、現在の AI 教育では十分にカバーされていない新たな知識や活用技術が求められるようになった。具体的には、生成 AI の仕組みや活用時に必要なモラル・著作権への配慮、および実践的活用に関する新たな視点が重要視されるようになってきている⁽⁵⁾。こうした点については、2023 年に文部科学省が示した「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」⁽⁶⁾ に加え、2024 年 12 月に策定された「初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン」⁽⁷⁾（以下、「文部科学省ガイドライン」）においても、「生成 AI の仕組みの理解」「学びに活かしていく視点」「使いこなすための力の育成」という 3 つの観点を意識的に育てる必要があると明言されており、教師が一定の AI リテラシーを身につけることの重要性が指摘されている⁽⁸⁾。この学校教育で

養うべき AI リテラシーについて、佐藤⁶⁾は「人工知能に関する知識・理解」、「人工知能を適切に活用するための思考力・判断力」として分類しており、また、向田⁷⁾は、「技術の長所と短所を踏まえた AI との向き合い方」と定義しており、明確な定義がまだ十分に確立されていない。また、学習指導要領では、AI リテラシーという文言は使われておらず、情報活用能力として大きくまとめられている。

しかし、生成 AI については、文部科学省ガイドラインによって、子供たちが生成 AI を活用するための資質・能力を意識的に育成する上で不可欠な要素として、「生成 AI の仕組みの理解」「学びに活かしていく視点」「使いこなすための力の育成」という 3 つの観点が示されている。そして、これらは教員にも必須の AI リテラシーであるため、本研究では、これら 3 つの観点を総称して「生成 AI リテラシー」と呼ぶことにした。しかしながら、筆者の知る限り、教員に対する生成 AI リテラシー育成を目的とした教育プログラムや授業に関する研究・開発事例はほとんど見当たらない。そのため、教員や教員志望者を対象とした生成 AI リテラシーを育成するための授業開発は急務であると考えられる。

そこで、将来教員となる大学教育学部学生を対象に、生成 AI リテラシーの育成を目的とした授業（以下、「本授業」）を設計・実践することで、教育学部学生の生成 AI リテラシーを高められると考えた。これにより、今後の教育現場での生成 AI 活用が促進されるとともに、児童生徒の生成 AI リテラシー育成にもつながるであろう。

わが国における生成 AI の教育的利活用に関する先行研究を概観すると、主に生成 AI を活用した教材やシステムの開発に関する研究⁸⁾⁹⁾と、生成 AI を学習支援ツールとして利用する教育実践に関する研究¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾、生成 AI の活用スキルの育成に関する研究¹⁴⁾があり、生成 AI の教育的活用が模索されるなかで一定の知見を提供している。しかし、これらの取り組みは、文部科学省ガイドラインに示される「生成 AI を使いこなすための力の育成」に寄与する面はあるものの、「生成 AI の仕組みの理解」や「学びに活かす視点」といったリテラシー育成の観点から見ると、十分とは言い難い状況である。

このように、現在、3 観点に基づく生成 AI リテラシー教育を題材とした取り組みは少なく、その授業設計に関する研究もほとんど見当たらない。今後、教育現場における生成 AI の普及が進むことを考えると、子ども

たちの生成 AI リテラシー育成を視野に入れた取り組みが必要となる。

そのためには、教員志望者を対象とした、文部科学省ガイドラインの内容を踏まえる生成 AI リテラシー育成のための教育設計と授業実践が重要である。さらに、リテラシーが向上することによって、生成 AI を効果的に活用した授業の実践へとつながるだろう。

本研究では、上記の課題を解決するため、国立大学法人琉球大学教育学部の学生を対象とし、生成 AI リテラシーの育成を図る授業を設計・評価することを目的とする。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第 2 章で生成 AI の利用状況に関する実態調査について述べ、第 3 章では本授業の設計を説明する。続いて、第 4 章で本授業の効果を検証し、第 5 章ではその結果を分析する。そして、第 6 章で分析結果の考察とともに本授業を評価し、第 7 章で結論と今後の課題を示す。

2. 生成 AI 利用に関する実態調査

2024 年 11 月に琉球大学教育学部 1 年生に対し、生成 AI の学習利用に関する実態調査を行った。なお、本アンケートは、本授業を行う科目「教育における ICT 活用」において行ったため、この科目を履修している 71 名（教育学部 1 年生）のうち、欠席者 3 名を除いた 68 名に対して実施した。

2.1 生成 AI の学習利用の経験と頻度

琉球大学教育学部の 1 年生の生成 AI の学習利用の経験と頻度を調査した。その結果を図 1 に示す。

「いつも学習に使っている」が 5 名、「学習で少し使っている」が 35 名と学習に使用している学生が約 60%いることが分かった。また、「以前使用した経験がある」の 5 名も含めると約 70%の学生について利用経験があることが分かった。

2.2 生成 AI の学習利用の内容

次に 2.1 で学習利用経験のある 45 名の学生にその利用内容について質問した。その結果を図 2 に示す。回答を利用に関して 4 つのカテゴリーに分類し、それぞれ、「翻訳等、英語に関する利用」が 26 名、「レポート・課題の作成に利用」が 8 名、「アイデア出し・ヒントに利用」が 7 名、「文章校正に利用」が 4 名となった。多くの学生が英語翻訳や英文法、英単語の正誤について利用していることが分かった。また、アイデア出しや文

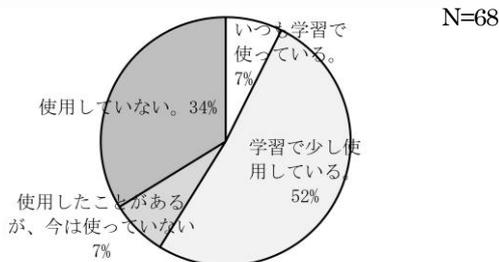


図 1 生成 AI の学習利用の経験と頻度

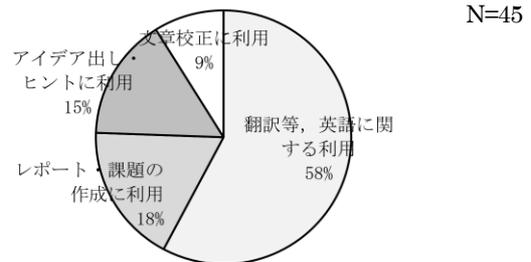


図 2 生成 AI の学習利用の内容

表1 生成AI リテラシー教育の授業計画

第1回【生成AIについて考える】		リテラシー:【仕組みの理解:A, 学びに活かす視点:B, 使いこなすための力の育成:C】	
授業の流れ	リテラシー	学習内容	学習支援
1. 導入		・講義の概要と目標の確認	・生成AIの理解と活用に関するアンケートを実施
2. AIの歴史と生成AIの仕組み	A	・従来のAIとの違いの理解。 ・AI開発の歴史の理解 ・トランスフォーマー型ニューラルネットワークの仕組みと処理プロセスの理解	・AIの歴史とアルゴリズムの進化について説明。 ・生成AIの仕組み(エンコーダー, デコーダー, 埋め込み層, 線形変換, アテンション機構, フィードフォワード層等)について, 例を示して説明。 ・生成AIの仕組みを例え話をういて説明する課題を提示。 ・Google Classroomに記入させ, グループでコメント交換。
3. 生成AIによる社会変化	B	・社会における生成AIのインパクトを考察する。	・社会における生成AIの活用事例についてミニディスカッションし, 意見を共有。
4. 生成AI活用のガイドライン	B	・文部科学省「生成AIガイドライン」に基づき, 生成AIを教育でどう活用できるかを探究する。	・「ガイドラインに基づき生成AIを使った教育活動案を考える」課題を提示。 ・各グループでアイデアを発表
5. 振り返り	A・B	・学びを整理し, 次回につなげる。	・振り返りシートに記入。
第2回【生成AIを活用する】			
授業の流れ	リテラシー	学習内容	学習支援
1. 導入	A・B	・前時の復習。講義の目標の確認	・生成AIの仕組みと学びに活かす視点の確認。本時の目標の提示。
2. 演習①: プロンプトエンジニアリング	C	・効果的なプロンプト設計を学ぶ。	・プロンプトの種類(Zero-Shot, Few-Shot, 深津式, ゴールシーク)の理解と練習。 ・Microsoft Copilotを使用した自己紹介文作成演習。
3. 演習②: 教育活用	B・C	・業務や授業設計に生成AIの活用方法を考える。	・Microsoft Copilotを使用した通知表所見作成, 業務メール文作成, 学習指導案作成, ルーブリック作成。
4. 生成AIの応用	B・C	・生成AIを使った教育データの分析 ・画像生成手法を学ぶ。	・Microsoft Copilotを使用した教育データ(数値, テキスト)を使って分析演習。 ・Microsoft Copilotを使用したロゴマークの作成の課題の提示, 学生間で相互評価。
5. 振り返り	A・B・C	・学びを整理する。	・振り返りアンケートに記入。

章校正に利用している学生もいる反面、レポートや課題の作成に利用している学生も生成AI利用者の18%おり、回答者全体の12%に相当した。また、アンケートに回答した学生全員に大学から通知されている生成AI利用に関するガイドライン¹⁵⁾について、その存在を口頭で確認したところ、全員がその存在を認知していなかった。

以上から、学生たちが生成AIを学習に活用している一方で、大学から提供されているガイドラインの存在を認知していないことが明らかになった。特に、レポートや課題の作成に生成AIを使用している学生が一定数存在することは、学問的な誠実性や倫理的な観点からの懸念がある。これらから、生成AIの急速な普及に伴い、学生が適切にこれらのツールを使用するためのリテラシー教育が不可欠であることが実態調査からも明確になった。

3. 本授業の位置づけと設計

3.1 本授業の授業計画上の位置づけ

本授業を実施する科目「教育におけるICT活用」は、教育職員免許法施行規則及び教職課程認定基準等の改正に基づき、2022年度より琉球大学教育学部に新設された必修科目で、教育学部学生が将来教員になるためのICT活用能力、情報リテラシー、情報活用能力の育成を目標としている。この科目の授業計画は全8回あり、様々な教育場面におけるICT活用の意義や実践例の紹介をしており、課題や演習を通して情報リテラシーと情報活用能力を育成している。本授業は、その一環として、授業計画の中に講義と演習を含めた2回の授業として計画し、AI時代に必要な資質・能力の向上を

図ることとした。

3.2 本授業の設計

本授業の計画を表1に示す。第1回「生成AIを考える」で生成AIの仕組みであるトランスフォーマー型ニューラルネットワークについて学び、また文部科学省ガイドラインに基づき、教育活用における注意、虚偽情報、著作権侵害に関して学ぶ。第2回「生成AIを活用する」では、プロンプト(生成AIへ入力する指示文)の作り方と文章及び画像生成方法について学び、演習する。第1回で「生成AIの仕組みの理解」、「学びに活かす視点」のリテラシーの育成、第2回で生成AIを「使いこなす力の育成」を主に、「学びに活かす視点」のリテラシーの育成も図っている。

授業の設計については、M・デイビッド・メルルのID第一原理¹⁶⁾を参考に、2回の授業に「問題」、「活性化」、「例示」、「応用」、「統合」の各要素を学習支援に取り入れた。授業の導入部では、「子供たちが宿題に生成AIを使ってきたらどうする？」などの生成AIの理解と活用に関する問題を提起し、テーマに注目させ、展開部では、これらの問いに対し、個人思考からグループでのディスカッションを通して、自身の考えをアウトプットさせ、また、学生に例え話をういた例示をさせるなど理解を深める取り組みを行った。また、演習においては、学んだ理論や手法を応用して、制作物を作成し、それを学生間で相互評価させた。授業最後の振り返りでは、その日に学んだことを整理させ、アウトプットさせた。

なお、現在、琉球大学教育学部においてMicrosoft365が導入されており、学生は専用アカウントを持っているため、ChatGPTの有償モデルであるGPT-4をベース

にした Microsoft Copilot が使用できる。そこで、本授業における演習では Microsoft Copilot を使用した。

また、本授業実践に際し、学生の解答や制作物、振り返り等のアウトプットを共有するために、Google 社の LMS (Learning Management System) である Google Classroom を使用して教材をパッケージ化して、学生に提示した。

4. 本授業の検証

本稿では、琉球大学教育学部の学生を対象に本授業を実施し、「学びに活かす視点」については授業前後の生成 AI の学びへの活用に関する意識調査、「生成 AI の仕組みの理解」、「使いこなすための力の育成」については課題を実施し、本授業を検証した。その内容を以下に詳述する。

4.1 対象

本授業の効果を評価するにあたって、科目「教育における ICT 活用」は琉球大学教育学部 1 年生を対象とした必修科目であるため、本研究では当該科目を履修登録している琉球大学教育学部 1 年生 71 名を対象にした。

4.2 生成 AI の学びへの活用に関する意識調査

本授業の受講による生成 AI の学習への活用に関する意識を調査するため、実態調査で明らかになった生成 AI の学習への活用における倫理観やリスク認識に関連する質問 Q3, Q4, Q5, Q7 と、肯定的な教育への活用に関する Q1, Q2, Q6 の質問を設定し、計 7 つの質問項目を作成した (表 2 参照)。これらの質問を用いて、授業の前後において 4 段階評価により、「学びに活かす視点」に関する意識の変容について調査した。

4.3 課題「生成 AI の仕組みの例え話」の実施

生成 AI の仕組みについては、第 1 回「生成 AI について考える」において、生成 AI の基盤技術であるトランスフォーマー型ニューラルネットワークの仕組みと処理プロセスについて解説している。しかし、教育学部には情報工学分野に疎い学生も多いため、表 1 に示す学習内容を理論ベースで詳細に説明するのではなく、教員と学生との対話を通じた疑似体験として学習活動を設計した。具体的には、授業担当教員の問いかけを「入力情報」、学生の思考と応答を「生成 AI の処理プロセス」とみなし、トランスフォーマー型ニューラルネットワークの各処理プロセスに当てはめながら授業を展開した。

表 4 「テーマに沿った画像生成」評価基準

評価項目	配点
①学んだプロンプト手法の適用状況	60
・適切なプロンプトの構造を使用しているか	30
・修飾子やパラメータを効果的に活用しているか	30
②制作画像と設定テーマの整合性	40
・テーマに沿った画像を生成しているか	20
・創造性や独自性が表現されているか	20
合計	100

表 2 生成 AI の活用に関する意識調査項目

Q1	生成 AI が教育現場で学習効果を高めると考えている。
Q2	生成 AI を使った教材開発に興味がある。
Q3	生成 AI の倫理的な問題点を認識している。
Q4	生成 AI がもたらすプライバシーリスクについて理解している。
Q5	生成 AI による情報の信頼性を評価できる。
Q6	今後の学習や教育活動で生成 AI を積極的に活用したい。
Q7	生成 AI の利用における法的・倫理的なルールを遵守できる。

さらに、学生自身が生成 AI の仕組みを理解するだけでなく、将来教師として子どもたちにわかりやすく説明できる力を身に付けることを目指し、小中学生を対象にした例え話で各処理プロセスを説明する課題を設定した。評価は、各処理プロセスの役割を具体的かつ正確に例え話で示しているかを基準とし、その結果をもとに学生の理解度を確認した (表 3 参照)。

4.4 課題「テーマに沿った画像生成」の実施

演習で学んだプロンプトエンジニアリングの技術の習得状況を確認するために、自身の設定したテーマに沿ったロゴマークを制作し、プロンプトとともに提出する課題を設定した。評価は、学んだプロンプト手法の適用状況と、制作画像が学生自身の設定したテーマと整合しているかどうかによって行った (表 4 参照)。

5. 検証結果

生成 AI の活用に関する意識調査において、学生 71 名中 68 名が回答した。そして、これらの中で欠損値の有るもの、天井及び床効果のものを除き、学生 59 名 (有効回答率 86.8%) を対象に分析を行った。また、調査項目の信頼性の検証として、クロンバックの α 係数を求めると 0.8887 となり、調査項目に十分な信頼性が確認できた。

意識調査の結果を図 3 に示す。全ての調査項目の「とてもそう思う」、「まあまあそう思う」を合わせた肯定的な回答が授業前より授業後が向上し、かつ全ての「とてもそう思う」が授業後に向上した。特に Q3, Q4, Q5, Q6 において、授業前より授業後が 2 倍以上に向上した。また、全ての授業後の回答において「全くそう思わない」の回答者が 0 であった。

表 3 「生成 AI の仕組みの例え話」評価基準

評価項目	配点
①エンコーダーの具体的な役割を含めた比喻表現	45
・アテンション層	30
・フィードフォワード層	15
②デコーダーの具体的な役割を含めた比喻表現	15
③具体的な話を作っていること	20
④対象 (小・中学生) にわかりやすい表現	20
合計	100

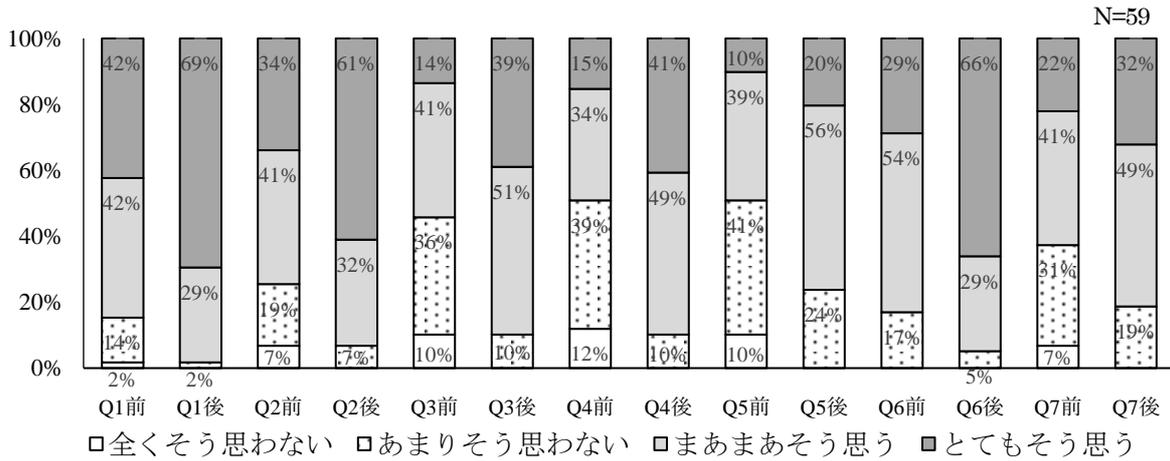


図3 生成AIリテラシーに関する意識調査の結果

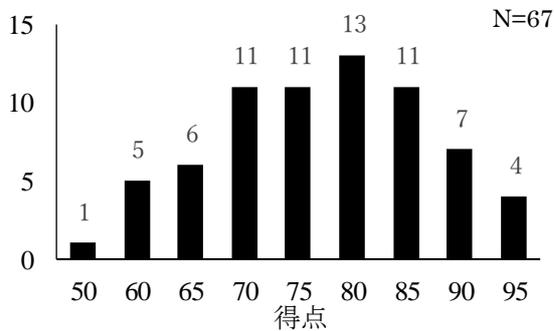


図4 「生成AIの仕組みの例え話」得点分布

次に課題「生成AIの仕組みの例え話」の得点結果について、図4に示す。表3の採点基準に基づき、エンコーダーの各仕組み（線形層、アテンション層、フィードフォワード層）について具体的な役割を含めた例え話ができていたことが合計45点、デコーダーについての具体的な例え話が15点となり、これらを踏まえて、70点以上でエンコーダーやデコーダーの基本的な仕組みを理解し、具体的な例え話ができていたとした。そして、70点以上の学生は55名（82%）であった。また、その中の90点を超えた11名の学生については、トランスフォーマー型ニューラルネットワークの各層の役割についての的確かつ具体的に例え、小・中学生にもわかりやすい話を作成していた。逆に60、65点の11名については、エンコーダーやデコーダーの基本的な仕組みに触れてはいるものの、具体的な説明や例え話が不十分であったり、仕組みの理解が部分的で、各層の役割についての説明が不足していた。50点の学生については、仕組みに関する説明が大きく不足しており、例え話の関連性も低かった。

生成AIの仕組みを理解しているとした70点以上の学生の解答の特徴として、図5で示すように小学生でもイメージしやすいように「線形層は○○」、「アテンション層は△△」、「フィードフォワード層は□□」など、役割を分けて示しており、読み取りやすい工夫があった。逆に理解が不十分とした70点未満の学生について

たとえば「少し疲れたから、カフェでコーヒーが飲みながら休みたいが良いお店はないか？」

①エンコーダー
線形層: Q(質問)Q「疲れた」疲労に関する質問→関連する情報は?
Q「良いお店」おすすめ場所に関する質問→関連する情報は?

K(索引)Q「疲れた」→K「休みたい」、「食べたい」と関連
Q「良いお店」→K「ランチ」、「食べたい」と関連

V(情報): OK「疲れたからコーヒーを飲みたい」
→V「疲労回復や」に関する情報
OK「良いお店でコーヒーを飲みたい」
→V「おすすめのカフェの場所やコーヒーの種類、時間帯」に関する情報

フィードフォワード層: 「少し疲れたので、コーヒーを飲みたいのですが、何か良いお店はありますか？」

②デコーダー
「おすすめのカフェとして、スターバックスコーヒーやドトールコーヒーなどがあります。」

図5 「生成AIの仕組みの例え話」解答例

は、どの層で何をしているかの具体的な説明が不足しているか、例えがわかりづらく仕組みのイメージがつかない解答が多かった。

次に課題「テーマに沿った画像生成」については、表4に示す評価基準に従い、①学んだプロンプト手法の適用状況及び②制作画像と設定テーマの整合性の観点で採点を行った。①については、プロンプトの構成に「役割」、「命令文」、「条件」、「出力」等を設定しているかどうか、また画風や雰囲気を指定する修飾子やパラメータを活用しているかどうかで判断した。②については設定したテーマとの整合性を保ちつつ①で設定したプロンプトによって創造性豊かなロゴを制作しているかどうかで判断した。その結果、全学生が90点以上を得点した。得点の差は、プロンプトの詳細な記述、具体性、修飾子の巧みさ、さらに独自性を引き出す工夫の度合いによるものである。とくに、一部の学生は修飾子の選択が限定的で、意図通りに生成結果を反復的に調整する作業が不十分だったため、より高い得点を獲得した学生との差として表れた。

6. 考察

本稿では、琉球大学教育学部学生を対象とした生成AIリテラシーの育成を目的に、「生成AIの仕組みの理

解]、「学びに活かす視点」、「使いこなす力の育成」の3つの観点で授業を設計し、検証を行った。本授業の検証の結果、生成AIの学びへの活用に関する意識調査では、全項目で、授業前より授業後の肯定的回答数が向上した。特にQ3「倫理的問題の認識」やQ4「リスク認識」、Q5「情報の信頼性評価」の項目で大幅な向上が見られ、これらの理解と認識が深まったと思われる。そして、Q6「今後の学習や教育活動における積極的活用」も大きく向上していることから、倫理観やリスク認識を理解した上で生成AIを積極的に今後の学びに活かしていく意欲が高まったことが分かった。次に、生成AIの仕組みを例え話で説明する課題を実施した結果、受講生の82%が基本的な仕組みを理解した一方で、説明の具体性や比喻の適切さに課題を残す学生も一定数存在した。しかし、トランスフォーマー型ニューラルネットワークの仕組みの理解は最新の情報工学の専門知識を必要とする内容のため、それらを学んでいない教育学部の1年生の多くが1授業時間で仕組みを例え話で説明することができるようになったことは本授業の設計の有効性を示していると言える。特に、比喻を用いた説明という手法は、複雑な概念を簡略化し、学生が学んだ内容を他者に教える能力を育成する点で有効であったと考えられる。しかしながら、説明の具体性や比喻の適切さに課題を残す学生が一定数存在したことから、さらなる授業改善の余地も認められる。次にプロンプトエンジニアリング技術を用いた画像生成課題を通じて、実践的なスキルの習得状況も分析した。その結果、全学生が高いスコアを獲得し、プロンプト設計の適用が適切であることが確認された。この結果により本授業が生成AIを活用する力の育成につながったと考える。

以上より、本授業が、文部科学省が示す「生成AIの仕組みの理解」、「学びに活かす視点」、「使いこなす力の育成」の3つの観点に基づく生成AIリテラシーの向上に有効であったことが示された。

7. おわりに

本授業で得た知識と技術は教育学部学生が将来教員となったときの生成AIリテラシーとなり、教育現場でのAI活用において重要な基盤となると考える。また、学生が本授業を通して自らの知識を児童生徒にわかりやすく伝えるスキルを習得したことは、今後の生成AIを用いた教育活動の質的向上に直結すると思われる。したがって、このようなリテラシー育成は、単に知識の習得に留まらず、教育者としての資質向上にも寄与するものとする。

今後の課題として、授業設計のさらなる改善が挙げられる。具体的には、生成AIの応用スキルを一層深める演習の拡充や、リテラシー教育の継続的な効果を検証するための長期的な追跡調査が必要である。また、教育現場での実践に向けた教員研修プログラムの開発や、学生間の多様な生成AI利用事例の共有を通じて、実践的な活用力を一層高める取り組みが求められる。

謝辞

本研究は琉球大学 SDGs 社会課題解決研究プロジェ

クト経費 (No.4) の助成を受けたものである。また、研究にご協力いただいた琉球大学教育学部の学生の皆様に感謝申し上げる。

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” (2023)
- (2) 文部科学省：“Society 5.0 に向けた人材育成～ 社会が変わる、学びが変わる～” (2018)
- (3) 文部科学省：“教育の情報化に関する手引” (2019)
- (4) 内閣府：“AI 戦略 2019” (2019)
- (5) 文部科学省：“初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン” (2024)
- (6) 佐藤頌太，“AI リテラシーを養う授業実践の開発：中学生が機械学習を用いた課題解決を行う授業実践を通じて”，千葉大学大学院人文公共学府研究プロジェクト報告書，vol. 346, pp.11-20 (2019)
- (7) 向田識弘，“AI リテラシー教育における AI との向き合い方を考える授業の検討”，AI時代の教育論文誌，vol.5, pp.9-15 (2022)
- (8) 中鉢直宏，久野靖，角田博保，中山泰一，“一般情報教育の教科書に基づいた生成 AI を使用した情報ブレスメントテストのための設問作成の試み”，情報処理学会研究報告，2024-CE-174, 23, pp.118-124 (2024)
- (9) 和久友親，田村哲嗣，川瀬真弓，“学習者の理解度に応じた自動問題生成 AI システムの開発”，日本教育工学会論文誌，4800 (2024)
- (10) 飯田秀延，“生成 AI を活用したプログラミング教育の実践”，東京学芸大学附属高等学校研究紀要，61, pp.113-116 (2024)
- (11) 中川 謙，“画像生成 AI による作画表現の実用性と教育への応用，その正当性と法的妥当性について”，東京工芸大学芸術学部紀要，29, pp.23-29 (2023)
- (12) 木村佐子，“生成系 AI がドイツ語学科の教育に及ぼす影響”，独協大学ドイツ学研究，82, pp. 57-91. (2024)
- (13) 平本督太郎，亀田 樹，島田高行，“SDGs 教育・ESD における大学生の ChatGPT を用いた主体的な学習方法に関する基礎的研究”，Beyond SDGs イノベーション研究，4, pp.1-14 (2023)
- (14) 保本正芳，“生成 AI を活用した AI リテラシー教育の検討”，近畿大学総合社会学部紀要，総社，vol.12, no.2, pp.33-40 (2024)
- (15) 国立大学法人琉球大学：“国立大学法人琉球大学における生成AI 利用に関するガイドラインへの教育面での対応について” (2023)
- (16) 鈴木克明，根本淳子，“教育設計についての三つの第一原理の誕生をめぐる”，教育システム情報学会誌，vol.28, no.2, pp.168-176 (2011)

(2024年12月1日 受付)

(2025年2月4日 採録)

ショートペーパー
(査読なし)

書籍媒体の違いによる文章読解過程の差異

— 視線移動データに基づく考察 —

菅谷 克行*1

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 書籍媒体, 視線移動, 注視, 読解, メディア特性

1. はじめに

近年、電子書籍サービスは質・量ともに拡がりを見せており、書籍を印刷媒体で読むのか、電子媒体で読むのか、さらに電子書籍であれば、どのデバイス（パソコン、タブレット端末、スマートフォン、専用端末）を利用して読むのかを、自由に選ぶことが可能になっている⁽¹⁾。

教育や学びの場においても、学習者用デジタル教科書の導入⁽²⁾をはじめ、多くの学習用図書や教材・資料の電子版（教育コンテンツ）も制作されるようになり、科目、状況、目的に応じて使用メディアを選択できるようになっている。

一方で、教育・学習内容と各メディア特性との関係性や、教育・学習効果を考慮した適切なメディア選択のための方法論や留意事項等、検討・解決すべき課題も存在する。

本研究では、書籍における文章読解（読書）の場面に着目し、書籍媒体の違いによって文章読解過程に差異があるのか否かについて明らかにすることを目的とする。特に本稿では、文章読解時の視線移動データを計測し、文章読解過程の差異を定量的に示すことを試みた結果について報告する。さらに、今後の電子書籍の活用に向けて、読書教育・習慣の育成と、読書文化の拡張・継承に関する意見を述べる。

2. 文章読解中の眼球運動

本研究では、文章読解過程を分析する手段として、読者の視線移動データに注目した。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、視覚情報は脳内で補完処理されているため、眼球は頻りに動いている。読書時には中心視野を移動させ、注視状態（停留）と次の停留点への順行運動（サッカード）や、一度読んだところに戻る運動（逆行）、一行を読み終わり次の行へ移る運動（行かえ）を繰り返す視線移動により文字・文章を認識している⁽³⁾。

読書中の視線移動に関する先行研究には、言語教育を対象としたもの⁽⁴⁾や、黙読時と音読時の眼球運動の役割を認知科学的に比較分析したもの⁽⁵⁾等、数多く存在する。しかしながら、文章読解中の眼球運動データに基づいて使用媒体の違い（印刷書籍と電子書籍の違い）による文章読解過程の差異について、定量的に分析を試みた事例や知見は十分あるとはいえない。

3. 研究の方法

3.1 実験の概要

本研究では、文章読解過程を分析するために、読解中の視線移動データを実験によって獲得した。

実験参加者は大学生16名であり、実験に関する事前説明の後、実験への参加を希望した者である。

読解の課題とした文章は、大学生向けに学術活動における思考法や整理法を題材とした書籍の一部分で、実験参加者（大学生）にとって、内容の適切さ、難易度ともに標準的なものを選定した。

使用する書籍媒体としては、印刷書籍、電子書籍（液晶表示）、電子書籍（電子ペーパー表示）の3種類を設定した。できるだけ媒体間でサイズ感に差が生じないように、印刷書籍（ワイド新板）の見開きサイズに近いスクリーン（10インチ程度）のデバイスを用意した。実験で使った書籍媒体の主な仕様は、以下のとおりである。

書籍媒体

- 印刷書籍：単行本（ワイド新板：縦188mm × 横128mm）
- 電子書籍（液晶画面）：Apple iPad Air 10.9インチ（解像度264ppi）
- 電子書籍（電子ペーパー）：Kindle Scribe 10.2インチ（解像度300ppi）

実験では、印刷書籍は見開きの状態で（図1参照）、電子書籍は2種類とも横置き状態で実施した。



図1 読解実験の様子

3.2 視線計測機器と獲得データ

本研究で使用した視線計測機器は、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、獲得データは以下のとおりである。

計測機器により獲得・算出されるデータ

- 眼球角度 X [deg]
- 眼球角度 Y [deg]
- 瞳孔直径 X [dot]
- 瞳孔直径 Y [dot]
- 移動速度 [deg/sec]
- 注視時間 [msec]
- 瞬きの有無 [0/1]

これらのデータと計測機器の視野カメラで撮影した動画ファイルを専用の眼球運動再生プログラムに読み込むことによって、視線の軌跡・注視点をオーバーレイ表示した動画を利用することが可能となる。

測定装置は両眼計測が可能のものであったが、予備実験を実施した時に、眼球の誤検出(全く検出できなかったり、眼球以外の箇所を誤認識したりすること等)や、片眼のみ実験途中から眼球検出が不安定(フリーズする等)になることがあり、正確なデータが獲得できない事態が複数回発生した。そのため、本実験では、眼球検出率の高い方の計測機器を用いて片眼のみをトラッキングすることとし、視線移動データを獲得することとした。そのため、本稿では、すべて片眼の視線移動データに基づいた分析結果を報告する。

また、本研究は、その知見を教育や学習の分野に活かすことを目標にしているため、できるだけ日常の読書シーンに近い状態で計測することに留意した。そのため、実験参加者に視線計測機器を装着してもらう以外、頭部が動かないように装置で固定したり、書籍と眼球までの距離を一定に保つための器具を使用したりする等のことは、一切しなかった。

3.3 実験の手順

実験では、実験参加者それぞれが、3.1 で記した3種類すべての書籍媒体を使用して文章読解を行う。そのため、参加者の日程調整と疲労を考慮し、実験は前半と後半の2回に分けて実施した。

実験参加者の多くは、前半実験と後半実験の日程を分けて実施したが、一部の参加者は、日程調整の都合上、同日の午前中と(昼に2時間の休憩を挟んだ後の)午後に実施した。

実験の手順は、以下のとおりである。

前半実験

- (1) 実験目的と内容の説明、実験参加承諾書への署名
- (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起動
- (4) 眼球パタンの登録と較正
- (5) 文章読解時の眼球運動測定(課題文章1)
- (6) 実験後インタビュー

後半実験

- (7) 実験内容の確認説明
- (8) 視線計測機器の装着と起動
- (9) 眼球パタンの呼び出しと較正
- (10) 文章読解時の眼球運動測定(課題文章2)
- (11) 実験後インタビュー
- (12) 休憩(10分)
- (13) 視線計測機器の装着と起動
- (14) 眼球パタンの呼び出しと較正
- (15) 文章読解時の眼球運動測定(課題文章3)
- (16) 実験後インタビュー

手順(1)では、実験参加希望者に対し、実験の目的、内容、手続き等を、学内研究倫理審査により許可を受けた書面(許可番号23L1200)に基づいて説明を行い、実験への参加承諾意思の確認と署名を得た。

手順(2)では、日常の読書に関する内容について質問紙調査を実施した。調査項目は、日常で読む本のジャンル(漫画、文学・小説、学術・教養・ルポルタージュ、ビジネス書、エッセイ、自己啓発書、資格・免許教本、その他)、平日の読書時間、休日の読書時間、1ヶ月の読書冊数、読書で使用している書籍媒体(文庫本、新書、単行本、印刷雑誌、電子雑誌、スマートフォンで電子書籍、タブレットで電子書籍、電子ペーパーで電子書籍、その他)とした。

手順(3)では、参加者の頭部に視線計測機器を装着してもらい、計測システムを起動した。

手順(4)では、参加者の視線を検出するために必要な眼球パターン(瞳孔を中心とした眼球画像)を、計測機器で撮影し登録した。その後、瞳孔の画像から視線を算出するために必要な較正作業を行った。参加者への負担軽減のため、視野画面上の異なる2箇所を注視してもらうことによる2点較正法で行ったが、視線検出がうまくいかない実験参加者に関しては、5点較正法(画面上の5箇所を注視してもらう)により行った。

手順(5)では、参加者に課題文章1(1節3,000字程度の文章を4節分)を読解してもらった。計測開始前に、読解に制限時間はなく、日常の読書時と同じように読んでほしいということと、確認のために「著者が読者に伝えたいことはどんなことか」と「具体的内容」について、読解終了時に質問することを伝え、丁寧な読解を促した。

手順(6)では、読解が終了し、測定機器を取り外した後、半構造化インタビューを行った。まず、読解開始前に参加者に伝えてあった「著者が読者に伝えたいことはどんなことか」と「具体的内容」について口頭で回答してもらった。次に、専用の眼球運動動画再生プログラムを起動し、読解中の視線軌跡・注視点をオーバーレイ表示した画面(図2参照)を見ながら、特徴的な視線の動きを示している箇所や、実験者が気になった箇所について半構造化インタビュー形式で質問をした。主に、読解に集中できていたか否か、疲労の具合はどうか、使用した書籍媒体(印刷、液晶、電子ペーパー)は読みやすかったか否か等について質問した。なお、すべてのインタビューデータ(音声)は、マイクを通じてパソコン内に取り込み、音声認識システムによって自動的に文字データに変換・保存した。

後半実験の手順(7)から(16)は、前半実験と同様に実施し、手順(10)では課題文章2を、手順(15)では課題

文章 3 を、それぞれ異なる書籍媒体を使用して読解してもらった。なお、課題文章と書籍媒体の順序効果が現れないよう、カウンターバランスに配慮した。

手順 (16) では、手順 (6) , (11) と同等の質問・回答が終わった後、3 回の読解で使用した 3 種類の媒体について、どの媒体が一番読みやすかったか、読みにくかったかについて、理由も含めて回答してもらった。

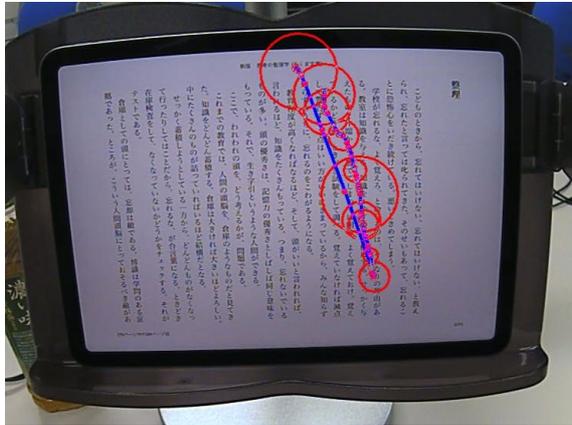


図2 読解中の視線軌跡・注視点の表示画面

4. 結果と考察

実験で獲得した、日常の読書に関する質問紙調査データ、文章読解時の視線移動データ、実験後インタビューデータについて、以下、結果を示しながら考察を行う。

4.1 実験参加者の読書習慣

実験参加者の読書習慣を把握するために、実験手順 (2) で実験参加者 (16 名) に、日常の読書に関する質問紙調査を行った。

日常の読書において、よく読む本のジャンルについて集計した結果を表 1 に示す。

表 1 実験参加者のよく読む本のジャンル (n=16)

ジャンル	人数	割合 [%]
文学・小説	15	93.8
学術・教養	13	81.3
漫画	12	75.0
資格・免許教本	8	50.0
ビジネス	3	18.8
エッセイ	3	18.8
自己啓発	2	12.5

次に、実験参加者の平日および休日の読書時間について集計した結果を表 2 に示す。なお、読書時間の平均は、平日で 35.6 分、休日で 55.3 分であった。

表 2 実験参加者の読書時間 (n=16)

1 日の読書時間	平日 [人数]	休日 [人数]
0 分	2	1
30 分未満	2	2
30~60 分未満	9	4
60~120 分未満	2	7
120 分以上	1	2

表 3 に、1 ヶ月の読書冊数を集計した結果を示す。なお、平均は、6.3 冊であった。

表 3 実験参加者の 1 ヶ月の読書冊数 (n=16)

1 ヶ月の読書冊数	人数
0 冊	0
1 冊	0
2~5 冊	8
6~10 冊	4
11 冊以上	3

表 1 から表 3 より、実験参加者の多くは、文学・小説ジャンルや学術・教養ジャンルの本を中心に、平日、休日ともに読書をしていることが判った。

文化庁による調査⁽⁶⁾や大学生協連による調査⁽⁷⁾の結果では、1 日の読書時間が 0 分や、1 ヶ月に一冊も読まない人が約半数いたことが指摘されているが、本実験参加者 (全員が文系学部学生) は、個人間で、読書時間、冊数にばらつきがあるものの、全員、読書習慣が身につけていることが判った。そのため、本実験で取り組んでもらった文章読解については、抵抗感なく取り組んでいたことと考えられる。

次に、日常の読書時に使用している書籍媒体について集計した結果を表 4 に示す。

表 4 読書時に使用する書籍媒体 (n=16)

媒体	人数	割合 [%]
印刷書籍 (単行本)	15	93.8
印刷書籍 (文庫本)	14	87.5
電子書籍 (スマホ)	9	56.3
印刷書籍 (新書)	8	50.0
印刷雑誌	5	31.3
電子書籍 (タブレット)	1	6.3
電子書籍 (パソコン)	1	6.3
電子雑誌	0	0.0
電子書籍専用 (電子ペーパー)	0	0.0
電子書籍専用 (液晶)	0	0.0

表 4 より、本実験参加者は印刷書籍を利用している者が多く、電子書籍についてはスマートフォンで利用している者は約半数いるが (9 名 : 56.3%)、本実験で使用するタブレット端末や電子書籍専用端末 (電子ペーパー) の電子書籍は、ほとんど利用されていないことが判った。

4.2 文章読解時の視線移動・注視と瞬き

まず、読解実験終了直後に行った、読解内容確認のための質問 (「著者が読者に伝えたいことはどんなことか」と「内容詳細の説明」) においては、実験参加者全員が明確に回答できていた。強く印象に残っている内容や、重要だと留意した点などについては、多少の個人差はあったものの、主旨の理解において差はなく、参加者全員が丁寧な読解をしていたことが確認できた。

以下では、実験により獲得した視線移動データの各要素について、読解時間による比較と、視線移動と注視点のオーバーレイ表示動画の分析に分けて考察する。

4.2.1 読解時間による比較

各書籍媒体使用時の読了時間について集計した結果を表5に示す。

表5 各媒体使用時の読了時間

媒体	印刷媒体	液晶	電子ペーパー
平均	19分16秒	19分43秒	19分00秒
標準偏差	6分06秒	6分30秒	6分24秒
最速者	10分35秒	9分57秒	8分07秒
最遅者	31分38秒	34分37秒	32分13秒
最遅-最速	21分03秒	24分40秒	24分06秒

この結果(表5)より、読了時間の平均は、3媒体すべてで19分台であり、標準偏差もすべて6分台であった。そのため、3媒体間に読了時間の差異はなかったと言える。

なお、課題文章ごとに読了時間を集計した結果は、課題文章1は平均19分37秒(SD 5分54秒)、課題文章2は平均19分13秒(SD 6分14秒)、課題文章3は平均19分08秒(SD 6分47秒)であった。よって、課題文章間においても読了時間に差異はなかった。

次に、各媒体で、最も読解スピードが速かった者(最速者)と、最も遅かった者(最遅者)の読了時間に注目する。

最速者と最遅者の読了時間差(最遅-最速)を見ると、印刷媒体における時間差が一番小さく(21分03秒)、他方、液晶端末と電子ペーパー端末は、それぞれ24分以上の時間差がある。そのため、読解スピードが早い者と遅い者の差、つまり読解スピードに関する個人差は2つの電子媒体の方が印刷媒体より大きかったと言える。印刷媒体においては、実験参加者全員が印刷媒体による読書には慣れているため、最速者と最遅者の時間差が比較的小さかったのかもしれない。

以上により、書籍媒体の違いや、課題文章の違いが、本実験における読了時間(読解スピード)に影響したとは認められず、実験参加者の読解スピードの個人差の方が大きかったと言える。

4.2.2 視線移動と注視点のオーバーレイ表示動画の分析

視線移動と注視点のオーバーレイ表示動画と、事後インタビューの結果を合わせて分析した結果として、以下のようにまとめる。

- ① スムーズに視線の移動と注視を繰り返している場合は、順調に読解が進んでいることを示している(図3)。ただし、視線移動スピードや注視時間については個人差が大きい。なお、図中の青直線が視線軌跡を、赤円が注視点とその長さ(円の大きさ)を示している。
- ② 視線が安定せず拡散している場合は、読解が不安定な状態であることを示している(図4)。読者によっては集中力が低下している場合や疲労を感じている場合もあった。また、計測機器が誤検出している場合もあった。そのため、視線移動オーバーレイ表示動画データのみでは、視線移動が不安定の原因を特定するのは困難である。
- ③ 視線が数行もしくは数ページに渡り、行き来しながら注視を繰り返している場合は、一度読んだ箇所に戻って読み返している可能性が高い(図5)。文章の論理構

造や前後関係を確認していたり、理解を深めるために関連するキーワードを探しながら読み返している状態であり、丁寧に読解に取り組んでいることを示している。例えば、図5のように、複数行に渡って戻り、注視している場合は、関連している内容やキーワードを想起しながら、慎重な読解を進めていることを示していることが判った。上記②の状態と異なるのは、視線移動が不安定ではないことと、戻った先で注視している点があることである。

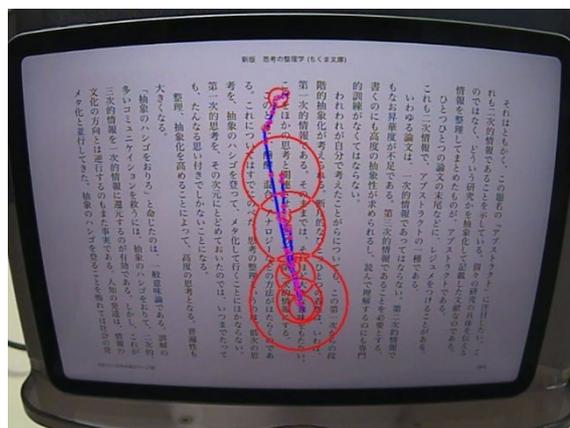


図3 読解中の視線移動と注視点

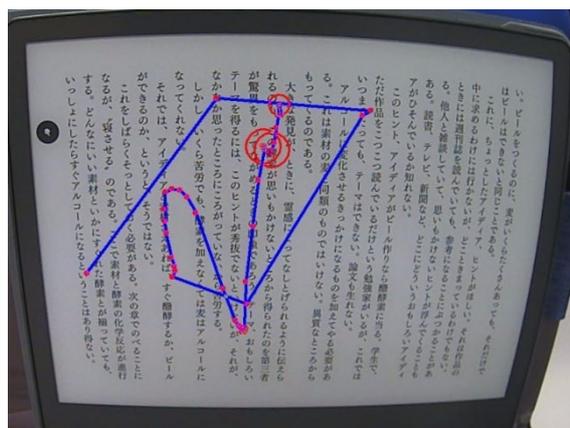


図4 視線移動が不安定な状態

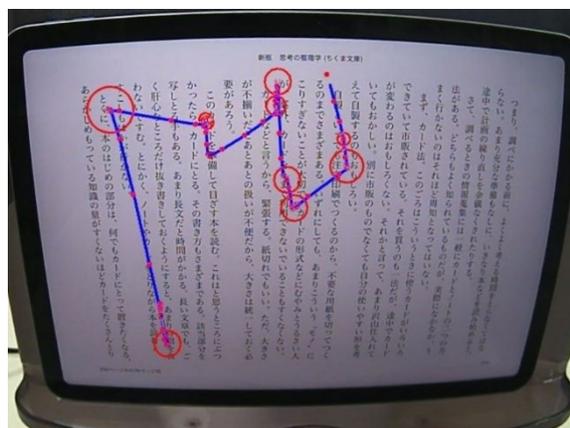


図5 読み返し時の視線と注視点の移動

- ④ 注視時間が長い場合 (図6) には、複数の要因が考えられる。単語・用語の読み方や意味が分からず止まってしまっている場合、集中力が低下して停留している場合、文章と関連することを連想したり考えたりして読解を深めている場合等があげられる。眼球運動データのみでこれらを同定することは困難である。他の生体情報 (脈拍など) と組み合わせて分析することができれば、知見が得られるかもしれない。

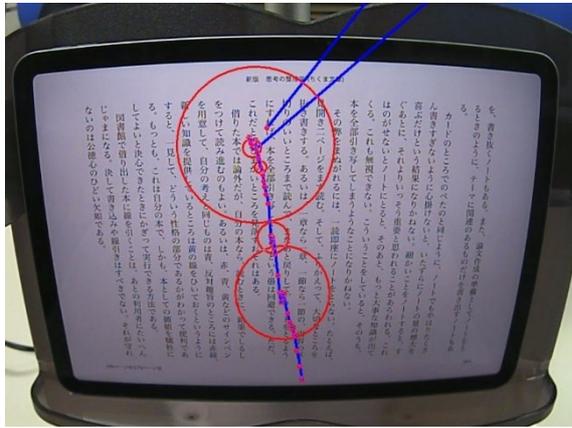


図6 注視時間が長い状態

4.3 媒体に対する主観的評価

実験後の半構造化インタビューでは、読解中の視線軌跡・注視点をオーバーレイ表示した動画の再生画面を見ながら、読解への集中度、疲労度についての説明を求めた。そして最後に、実験で用いた3種類の書籍媒体 (印刷、液晶、電子ペーパー) の読みやすさについて主観的評価してもらった。これらの結果について考察する。

まず、読みやすさの主観的評価の結果を表6に示す。

表6 最も読みやすいと感じた媒体 (n=16)

媒体	人数	割合 [%]
印刷書籍	10	62.5
液晶	2	12.5
電子ペーパー	3	18.8
印刷と電子ペーパー	1	6.3

実験参加者の主観的評価 (表6) から、ある程度まとまった分量の文章を読む場合には、印刷書籍が選ばれることが判った。理由としては、印刷書籍の物理的な特性 (紙ページの厚みや固定された文章の位置など) が大きな要因としてあげられた。特に、それらの物理的特性を無意識に利用しながら (本の厚みを指で感じながら)、読んでいる位置や読了までの残りの分量を把握することの利点が多くの実験参加者から指摘されていた。ゴール (読了点) が見えないまま読書を続けることへの不安感に対し、印刷書籍を両手で持っていることや、指でページをめくりながら1ページずつ読書が進んで行くこと (ゴールに近づいていること) に対する安心感が、媒体としての読みやすさに影響を及ぼしているようであった。

また、印刷書籍の位置 (例えば、右ページの中段あたり等の大まかな位置) で気になる用語や文章を記憶していることがあり、それらの情報は指でページをめくりなが

ら無意識に記憶に定着していることを指摘した者もいた。逆に電子書籍だと、ページ切り替え操作 (指をタップしたり、スライドしたりする操作) によって、ページごとに読書が途切れてしまうような感覚になってしまい、位置情報やキーワードの記憶定着が困難になるかもしれない、とのことだった。

同一ページ内やページを跨いで数行戻って、読み返す場合にも、この物理的特性 (ページ数や、ページ内の位置情報) を利用して、スムーズにナビゲーションしているようである。読み返しについては個人差が大きく、媒体を問わず、何度も読み返していた者もいたが、ほとんど読み返すことなく読了した者もいる。読書時に、頻繁に読み返す者にとっては、物理的特性の有無は、読解を進めるうえで重要な要素になり得るものであることが判った。

印刷書籍を読みやすさ1番に選んだ者の中には、使い慣れているため、支障なく (問題なく) 読解できたと回答した者もいた。詳しく聞いてみると、電子書籍には慣れていないため、操作がスムーズにできるか、間違ったページが表示されていないか等、書籍の内容以外のことを気にかけながら読解していたようである。その点、印刷書籍は使い慣れているのみでなく、操作ミスをしてしまう心配もなく、その結果、何の支障もなく読解に集中できたようである。

電子書籍に対する疲労感や、目の乾燥状態を指摘する者もいた。特に液晶表示では、画面のバックライトによって画面を見ている状態や、スクリーン表面の光沢によって、室内の灯りや景色が映り込んでしまい、可読性や疲労感に影響を及ぼしている可能性があることが示唆された。

また、電子書籍は、書籍を読んでいるというより資料を読んでいるような感覚に近いと言及する者もいた。たしかに、大学生は、日々の学修や研究活動の中で、インターネットを利用しながら参考文献や各種資料を読んでいる。インターネットを利用して探し出した文献や資料は、多くの場合、電子媒体であろう。それらを読んでいるような感覚に近かったことは十分理解できる。

読みやすい媒体として電子ペーパーを選んだ者からは、電子書籍でありながら印刷書籍に近い可読性が評価されていた。特にスクリーン表面の映り込みがないことや、液晶のバックライトのような光の刺激がないこと、電子ペーパーの色合い (白過ぎない) が、高評価の要因だったようだ。

電子ペーパー端末と印刷書籍を同率1位 (甲乙つけがたいとのこと) として評価している者も1名いた。

なお、本実験参加者は、全員が電子ペーパーによる文章読解は初体験だったようで、媒体に対する新鮮さや興味関心が良い評価につながった者もいれば、使い慣れないことに対する戸惑いによって良くない評価につながった者もいた。公正に評価するためには、長期間の使用を経て評価する必要があるだろう。

電子書籍 (液晶) を高く評価した者からは、読解に集中できた点を強調していた。液晶表示の綺麗さとバックライトの刺激によって覚醒効果があったのかもしれないが、日常的にスマートフォンやタブレット端末で液晶画面には慣れているため、違和感なく読解できたとする回答もあった。

5. 電子書籍の活用に向けて

実験の結果、文章読解中の視線移動データから書籍媒体の違いによる読解過程の差異は認められず、読者個人間の差（読書習慣や日常使用している書籍媒体の違い）の方が、読解過程に大きく影響を及ぼしていることが示唆された。そのため、読者個人の状況や習慣に応じて電子書籍を有効活用する方法を検討し、幅広く活用の機会を設けていくことが重要であると考えた。そこで、以下の2点について述べておきたい。

5.1 読書教育・読書習慣の育成に向けて

今後の読書教育や、読書習慣の育成に向けて、まず、印刷書籍と電子書籍の各メディア特性に関する理解を深め、状況によって適切に使い分けられることができるようになる力が必要である。

完成型メディアとしての印刷書籍は、紙によって制約されたメディア特性によって、可読性、可搬性等の特長を維持しつつ、今後も知識や文化の継承における中心的存在として活用されていくものと考えられる。

一方、物理的（空間的）制約のない電子書籍は、仮想本棚から膨大かつ多様なジャンルの書籍へのアクセスを可能とし、読者のさまざまな興味関心に対応することが可能である。電子書籍によるアクセシビリティの向上は、読者と書籍の距離を大きく縮める。さまざまな制約により、たとえ書店に行けなくても、インターネット経由で電子書籍サービスに瞬時にアクセスすれば、時間や場所を問わず、読みたい書籍に出会うことができ、すぐに購入・ダウンロードし、読書を開始することが可能である。最近では、試し読みができるサービスも拡大しており、書籍の一部分を無料で読むことができる（漫画などでは、第1巻全巻や、それ以上の巻も無料で読むことができる作品もある）。これらのサービスが、人々の読書に対する意欲や行動、読書習慣に影響を及ぼす可能性は十分ある。

読書行動や習慣は、教育のみならず、生涯における学び全般に大きな影響を及ぼす。電子書籍の特性を、読書教育や生涯における学習に積極的に活用する方策を検討すべきだと考える。

5.2 読書文化の拡張と継承に向けて

読書バリアフリー法（視覚障害者等の読書環境の整備の推進に関する法律）が2019年に成立し、電子書籍の価値や活用の可能性が大きくなってきている。読書バリアフリー法は、すべての人が読書による文字・活字文化の恩恵を受けられるようにするための法律であり、どのような人であっても利用しやすい形式で本の内容にアクセスできるようにすることを目指したものである⁽⁸⁾。それは、教育機関のみならず社会全体で読書環境を拡大・構築し、読書文化の拡張と継承に向けて改善することの重要性を説いている。

読書バリアフリーに対して、電子書籍はさまざまな面で貢献できるはずである。例えば、パソコンやスマートフォン、専用機器等を使って、文字の大きさや色を変えたり、内容を音声再生したり、漢字にふりがなを付けたり、タッチ操作でページをめくったりする等、さまざまな機能によって、多くの読者を支援することが可能である。

読者それぞれの状況に適応した電子書籍の開発と、そ

の活用機会の拡充が、今後の読書文化の発展と継承に必要なことだと考える。

6. おわりに

本稿では、使用する書籍媒体の違いにより文章読解過程に差異が生じるのか否かについて、視線移動データと実験前後の各種調査データに基づいて考察を行った。その結果、媒体の違いにおける文章読解過程の差異は認められず、それよりも、実験参加者間の差（個人差）の方が大きいことが判った。また、視線軌跡と注視点の特徴から、文章読解過程の状態（順調、不安定、読み返し等）を説明できることを明示した。

今後の課題としては、より精度の高い測定機器を用いた再実験を行うことがあげられる。今回の実験で使用した視線計測機器は、文章読解過程を正確に分析するのに十分な測定精度ではなかったと考えられる。視線検出手法、サンプリング周波数、測定精度、すべてにおいて改善した装置によって再実験することにより、今回よりも信頼度、正確度の高い知見が得られることと考えている。

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6年版）、日経印刷、東京（2024）。
- (2) 文部科学省：学習者用デジタル教科書について、https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/seido/1407731.htm（2025年1月23日閲覧）。
- (3) 荻坂直行 編：読み—脳と心の情報処理、朝倉書店、東京（1998）。
- (4) 柳澤絵美、大木理恵、鈴木美加：「アイカメラを使って観察した日本語レベルによる文章の読みの特徴」、日本語教育方法研究会誌、16(1)、p.46-47（2009）。
- (5) 高橋麻衣子、清河幸子：「読解活動における眼球運動の役割：黙読時と音読時の比較から」、認知科学、20(4)、p.470-480（2013）。
- (6) 文化庁：令和5年度「国語に関する世論調査」の結果の概要、https://www.bunka.go.jp/koho_hodo_oshirase/hodohappyo/pdf/94111701_02.pdf（2025年1月23日閲覧）。
- (7) 全国大学生生活協同組合連合会：第59回学生生活実態調査 概要報告、https://www.univcoop.or.jp/press/life/pdf/pdf_report59.pdf（2025年1月23日閲覧）。
- (8) 文部科学省：視覚障害者等の読書環境の整備（読書バリアフリー）について、https://www.mext.go.jp/a_menu/ikusei/gakusyushien/1421441.htm（2025年1月23日閲覧）。

U-18 論文
(査読なし)

ドローンによる医療物資配送の最適化 ～ESP32 の活用による専門知識・パイロットを必要としない 高度・安価な自動配送飛行技術の開発～

黒木 勇人^{*1}指導教員：吉田 賢史^{*1}

Email: yutokuroki.novi@fuji.waseda.jp

*1: 早稲田大学高等学院

◎Key Words 飛行経路最適化, K-Means クラスタリング, TSP 全探索手法, 自動配送飛行技術

1. はじめに

日本の地方では医療物資の保存・配送能力が不足し、災害時に特に脆弱である。この課題に対し、ドローンによる医療物資のオンデマンド配送が有望な解決策であるが、配送時間とエネルギー消費量のさらなる削減が課題である。本研究では、毎配送ごとにドローンが配送拠点に帰還する従来の方式に代わり、1回の飛行で複数の目的地を効率的に巡る新しい配送方式を提案する。

2. 先行研究

近年、複数目的地の効率的な同時訪問の実現に向けて、トラックとドローンを組み合わせた手法や強化学習を活用した経路最適化手法が提案されている⁽¹⁾。しかし、これらの方法は計算が複雑で実用性に問題があり、ドローン単体での配送最適化についての研究は十分に進められていない。また、ドローンの自動飛行システムの研究⁽²⁾は、機械構造の開発に重点を置いており、経路最適化手法の開発やその有効性の検証が不足している。ドローンは直線飛行や飛行高度の調整による衝突回避が可能のため、単純で高速な最適化手法でも高い効果が期待できる。この特性を活かし、計算負荷が低く安定したシステムを構築することで、技術基盤が脆弱な地方地域における配送の実現が期待できる。

3. システムの構築と検証

3.1 最適飛行経路の自動算出

本研究の第1段階では、最適な飛行経路を自動算出するシステムをPython言語で開発した。複数目的地を効率的に訪問するため、近距離の目的地をグループ化し、最短経路を算出する手法を採用した。グループ化にはK-Meansクラスタリングを用い、最短経路の算出はTSP全探索手法を使用した。K-Meansクラスタリングは、指定したクラスター数に基づき目的地を分類し、中心点を繰り返し更新してグループ化するアルゴリズムである。TSP全探索手法は全経路を列挙し、最短距離の経路を見つけることで絶対的最適解を得る効果的な方法だが、列挙する経路の数が訪問目的地の数の階乗に比例するため、全配送目的地を対象として探索を行う場合に計算負荷が膨大になる。この計算負荷を軽減するため、K-Meansクラスタリングを用いてTSPの問題を各クラスター内に分割することで、高速処理を実現

した。開発したシステムは以下3ステップの処理を行う。第1に、ランダムに生成した配送目的地をK-Meansクラスタリングでグループ化する。第2に、各クラスター内でTSP全探索手法を用いて最短な飛行経路を算出する。第3に、それぞれの飛行経路において、他の経路と交わる地点が多いものから順に高度を上昇させ、飛行経路が交わる地点における衝突の回避を可能にする。

50個の目的地に対して自動算出された飛行経路の例を図1に示す。互いの距離が近い目的地を1回の配送で効率的に訪問する飛行経路が観察できる。経路が交わる地点は青色のバツェンで表示されている。経路1(黄色)・経路2(黒色)・経路3(黄緑色)の飛行高度は+5m、経路4(ピンク色)の飛行高度は+10mの調整が適用され、他の飛行経路と高度の差により衝突を回避できる。

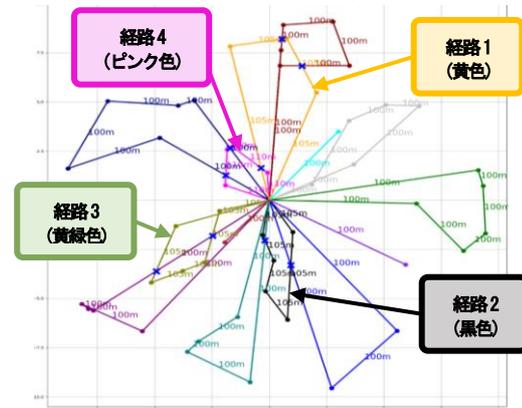


図1: 算出された飛行経路の例

3.2 シミュレーションによる検証方法

本研究の第2段階では、Python言語を用いたシミュレーションにより新方式の配送の有効性を検証した。DJI Matrice100ドローンの飛行データを基に作られた既存のエネルギー消費量算出式⁽³⁾を組み込むことで、実際の飛行を行わずに消費エネルギー量を予測可能にした。開発したシステムを使い、以下の2つの調査を行った: 使用するドローンの機数と平均配送時間の関係、1パッケージ当たりの重量と1配送当たりのエネルギー消費量の関係。検証外の条件はDJI Matrice100ドローンのスペック⁽⁴⁾に基づき以下に固定した: 飛行高度100m、飛行速度15m/s、配送範囲の半径5km、配送目的地の数100個、ドローンの重量2400g、離陸時の上昇速度5m/s、着陸時の下降速度4m/s。また、ランダムに生成された目的

地の偏りを抑えるために、検証結果は 100 回の算出の平均を使用した。さらに、DJI Matrice100 ドローンの最大積載量 1200g を考慮し、1 パッケージあたりの重量が 50g, 100g, 200g の場合は 1 回の飛行で 1~5 個の目的地、300g の時は 1 回で 1~4 個、400g の時は 1 回で 1~3 個の目的地を訪問する場合を異なる系列として比較する。

3.3 自動配送飛行技術の改善

本研究の第 3 段階では、新しい配送方式の経路に沿った飛行を容易に可能とする自動配送飛行技術 (図 2) を開発した。この技術は ESP32 マイクロコントローラ上で C++言語により構築したドローンの自動制御システムにより実現された。自動飛行は次の 4 ステップで実行される。第 1 に、Surface コンピュータ上の Python 言語のシステムが最適な飛行経路を自動算出する。第 2 に、ESP32 上の C++言語のシステムが仮想 COM ポートによるシリアル通信により、Surface コンピュータから経路のデータを受信する。第 3 に、ESP32 は受信データを基にドローン制御用のコマンドを自動生成する。第 4 に、Wi-Fi のローカルネットワークを介してドローンと無線通信を確立し、コマンドを送信することで、ドローンに飛行経路に沿った自動飛行を命令する。このシステムを使い、2機のドローンを 1000 分の 1 に縮小した飛行経路に沿って自動飛行させる実験を室内で行う。

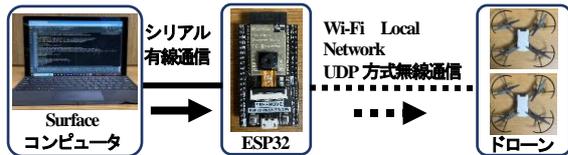


図 2: 開発した自動配送飛行システムの概要図

4. 結果

4.1 配送時間とエネルギー消費量の削減効果

シミュレーション評価の結果が図 3 に示されている。

(a)は使用可能なドローンの機数と平均配送時間の関係を示しており、配送時間の大幅削減が確認できる。例えば、10機のドローンで配送を行う場合、従来の方法と比較して、パッケージを 2 個同時に運ぶことで 43%、3 個では 55%、4 個では 59%、5 個では 63%、配送時間を削減できる。(b)は 1 パッケージあたりの重量と 1 配送あたりのエネルギー消費量の関係を示しており、幅広いパッケージ重量の配送においてエネルギー消費量の大幅削減が確認できる。例えば、1 つあたり 200g のパッケージの配送においては、従来の方法と比較して、パッケージを 2 個同時に運ぶことで 38%、3 個では 49%、4 個では 55%、5 個では 58%、エネルギー消費量を削減できる。

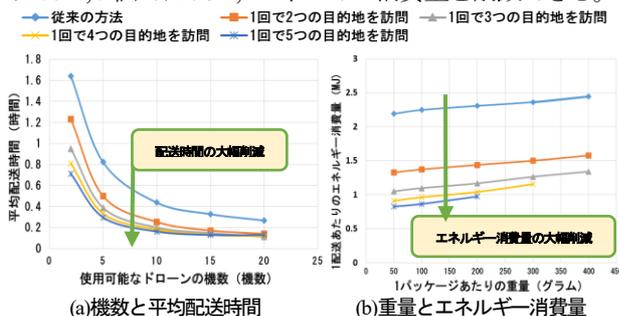


図 3: シミュレーション評価の結果

4.2 自動配送飛行実験の様子

自動配送飛行実験の結果を以下に示す。図 4 は自動算出された飛行経路の例であり、図中の 2 つの経路を経路 1(赤色)、経路 2(青色)とする。飛行実験を開始すると、2 機のドローンは離陸した後、片方のドローンは経路 1 に沿った自動飛行を開始し、もう片方は約 50cm 上昇した後、経路 2 に沿った自動飛行を開始した。図 5 は 2 機のドローンが図 4 中で示した点線矢印(赤色・青色)に沿って自動飛行する様子である。飛行高度の差により経路の交点における衝突を回避している。

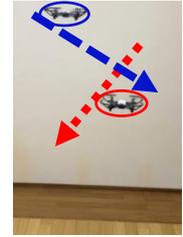
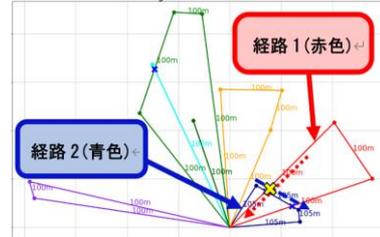


図 4: 実験中に算出された飛行経路 図 5: 衝突回避例

5. 考察

本研究の新しい配送システムは、ドローンによる医療物資配送において以下の 3 つの効果を示すと考えられる。第 1 に、グラフ 1 の結果より、高速配送の実現のために多額のコストをかけてドローンの機数を増やす必要性が下がるため、財政的に制約のある地域においても医療物資の配送を迅速に行うことができると考えられる。第 2 に、グラフ 2 の結果より、錠剤やエビペンなどの軽量の物資の配送において、エネルギー消費量を最大 50%以上削減し、電気代および環境負担を削減できると考えられる。第 3 に、高度に自動化された配送飛行技術が確立したことにより、専門技術やパイロットが不足している地域においてドローンを活用するハードルを下げ、安全な配送に貢献できると考えられる。

6. おわりに

本研究は配送時間とエネルギー消費量を従来比で最大 50%以上削減できる配送方式である。さらに、今回開発した完全自動配送飛行技術は、医療物資配送など幅広い分野での活用が可能となる技術であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、早稲田大学高等学院同窓会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。

参考文献

- (1) Stefan Poikonen, Bruce Golden: "Multi-visit drone routing problem", Computers and Operations Research 113, (2020).
- (2) Seunghyun Lee, Babar Shahzaad, Balsam Alkouz, Abdallah Lakhdari, Athman Bouguettaya: "Autonomous Delivery of Multiple Packages Using Single Drone in Urban Airspace", Proceedings of the 2022 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, Cambridge, United Kingdom, (2022).
- (3) Thiago A. Rodrigues, Jay Patrikar, Natalia L. Oliveira, H. Scott Matthews, Sebastian Scherer, Constantine Samaras: "Drone flight data reveal energy and greenhouse gas emissions savings for small package delivery", Patterns 3, 100596, (2022).
- (4) DJI MATRICE100 SPECS: https://www.dji.com/pdf/matrice_100-spec.pdf, (2025 年 1 月 6 日閲覧).

アナログ文房具とデジタル文房具の比較実験 - 僕に合うベストな使い分けは? -

阿部 恵睦^{*1}指導教員：内田 佳那^{*2}・山田 裕子^{*1}

Email: p5tv6bj3@s.okayama-u.ac.jp

*1: 市川市立稲荷木小学校

*2: 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科

©Key Words 文房具, iPad, 書字困難, 疲れやすさ, 消しやすさ

1. はじめに

僕は「鉛筆は長く使うと疲れる」「鉛筆は書き続けると芯が太くなっていくのが使いづらい」「シャープペンシル（以降、シャープペン）は芯の減りが遅くて使いやすいけど学校では使えない」など、学校で使いにくいと感じる文房具が多い。

そこで、デジタル文房具（iPad や Apple Pencil）とアナログの文房具（鉛筆やシャープペン）を実際に使用して比べる文房具実験を行い、自分にとって使いやすい文房具を調べることにした。

2. 鉛筆実験

2.1 実験内容

まずは、自分にとって使いやすい鉛筆の条件を調べるため、鉛筆の太さ（細い・太い）、濃さ（HB・B・2B）、軸の形（三角形・六角形）の違いをそれぞれ約1時間の学校や塾の授業で使って比べた。評価は10段階で、数字が大きいほど性能が良いことを表す。評価の項目は「手の疲れにくさ」「消しやすさ」「鉛筆の持ち替え回数」である。

2.2 実験結果（表1）

【鉛筆の太さ】

太い方が握る力が必要だけど、手が疲れにくく持ちやすいことが分かった。

【鉛筆の濃さ】

2B が滑らかで柔らかく、手の力を入れなくても濃く書いて書きやすかった。

【軸の形】

三角軸と六角軸の比較では、少しだけ六角形の方が疲れなかった。

表1 鉛筆実験の結果

	手の疲れにくさ	消しやすさ	持ち替え回数
細い	1/10点	同じ	0回
太い	2/10点		1回
2B	4/10点	同じ	0回
B	3/10点		0回
HB	2/10点		0回
三角形	1.1/10点	同じ	0回
六角形	1.2/10点		0回

※疲れにくさ・消しやすさは、数字が多い方が良いことを示す。

2.3 鉛筆実験まとめ

鉛筆実験の結果、自分にとって使いやすい鉛筆の条件は「太い」「六角形」「2B」であることがわかった。

3. シャープペン実験

3.1 実験内容

次に、シャープペンの実験をした。軸の形（丸、六角形）、芯の太さ（0.7mm, 1.3mm）の違いを比べた。また、鉛筆実験の結果を踏まえ、鉛筆とシャープペンを比べる時は、軸の形は六角形、芯の濃さは2Bで統一した。鉛筆は学校、シャープペンは塾の授業で使用した。

3.2 実験結果（表2,3）

表2, 3に示す通り、シャープペンの疲れやすさは鉛筆の約半分、消しやすさは約2倍となった。シャープペンは、芯の細いもの（0.7mm）は折れやすく、太いもの（1.3mm）は折れにくい。実験後に芯が長く残った。

また、シャープペンは字の太さが変わらないこと、鉛筆と同様に六角軸の方が疲れにくいこともわかった。

3.3 シャープペン実験まとめ（表2,3）

鉛筆よりシャープペンのほうが持ち替えずに済むし、疲れにくいことがわかった。また、芯は太いもので、六角軸のシャープペンが使いやすいことがわかった。

表2 シャープペン実験の結果-1

	手の疲れにくさ	消しやすさ	持ち替え回数
鉛筆	4/10点	3/10点	1回
シャープペン	8/10点	7/10点	0回
丸形	2/10点	同じ	0回
六角形	6/10点		0回

※疲れにくさ・消しやすさは、数字が多い方が良いことを示す。

表3 シャープペン実験の結果-2

	実験後に残った芯の長さ
0.7mm芯	19mm
1.3mm芯	57mm

4. 理想の文房具

これまでの実験結果から、自分の理想の文房具を考えて、図1にある作品などをサンスター文房具アイデアコンテストに応募した。

そのときに、文房具アイデアの絵をデジタル文房具(iPadやApple Pencil)で描きながら、アナログ文房具の使用感と比較した。その結果、以下のデジタル文房具の特徴がわかった。

- ・ スイスイカけて絵を描くのに適している。
- ・ 細かいところが消しやすい。
- ・ 拡大できるところが良い。
- ・ 戻るボタンで戻れるところが良い。
- ・ 摩擦力がなく、字を書くのは適していない。
- ・ 握りやすさは鉛筆と変わらない。

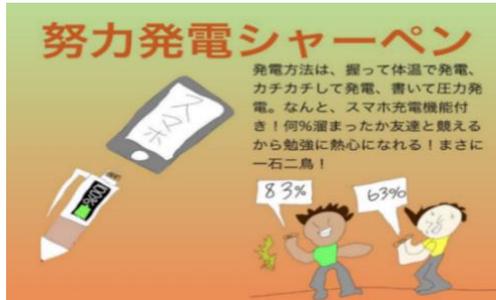


図1 文房具アイデアコンテストの応募作品

5. デジタル文房具での勉強

最後に、デジタル文房具の特徴を活かして、デジタル文房具を学校の勉強に活かす方法を検討した。

5.1 紙をPDF化してiPadで書き込む方法

家庭学習や塾のテスト用紙をPDF Expertアプリを使ってPDF化し、iPadに取り込んでApple Pencilで書き込んだ。

【良い点】

- ・ iPadは紙と比べて摩擦が少ないので丁寧に書かないと滑るから、字が綺麗になるのかも。
- ・ iPadは拡大できるから、拡大して大きな字を書いた後、画面を小さくすると上手く書ける。
- ・ 一回のタッチで消せて簡単だし、消しゴムの大きさを自由に変えられる。

【悪い点】

- ・ 摩擦力が無いから、鉛筆より思い通りの字にならないことがある。
- ・ PDFの大きさを変えたり、動かしたりしないと問題文が見えない。解答欄と問題文が離れていると面倒で時間がかかってしまう。

5.2 日記をタイピングや音声入力で作成する方法

iPadの「縦式」アプリを使って学校の日記の宿題をタイピングや音声入力で作成した(図2)。その結果を使用感で評価した。

- ・ 鉛筆よりも書くスピードが速くなった。
- ・ みんなが読める字になった(図3→図2)。
- ・ 鉛筆で書くよりも長い文章をよく考えて書ける。
- ・ 音声入力はどこでも思いついたときにできるから下書きに良い。
- ・ 音声入力だとかえって修正に時間がかかることもある。そういう時はタイピングが良い。
- ・ 同じ方法で小説を書いて一万字を突破した(図4)。

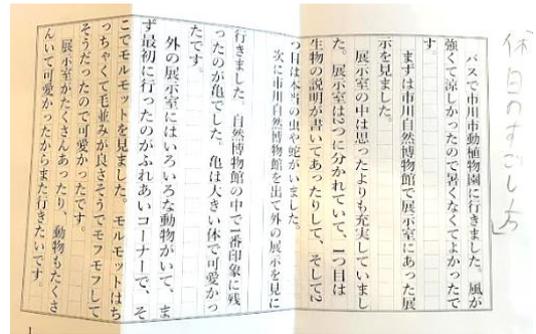


図2 タイピングと音声入力で作成した日記

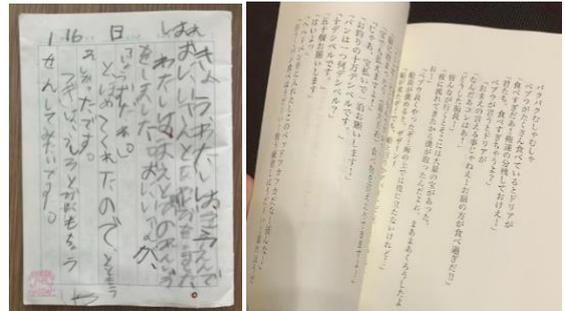


図3 手書きの日記

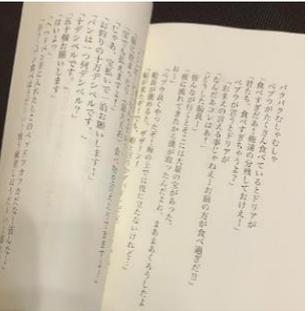


図4 iPadで書いた小説

6. 考察

鉛筆実験から、太い、六角形、2Bの鉛筆が自分にとって使いやすいことがわかった。しかし、以前は三角軸の鉛筆をよく使っていたため、使いやすい鉛筆は年齢によって変わっていくと考えられる。また、鉛筆よりシャーペンのほうが使いやすいのは、字の太さが変わらないことが影響していると考えられる。

デジタル文房具で日記の宿題をするときはだんぜんスピードが速いし、字もきれいなので、よく考えることもできて長い文章を書けるのかもしれない。

これらの特徴から、以下のような自分なりの使い分けが重要だと思った。

1. 速く文字を書く必要がある授業は、速く字が書けるアナログ文房具が向いている。
2. 上手な絵を描きたいときはデジタル文房具、暇つぶしのお絵描きはアナログ文房具が向いている。
3. 紙で配られる宿題をiPadでしようとする、宿題の写真を撮ってPDF化するまでの時間がかかるから手書きのほうが速く書けるときがある。
4. 日記の宿題は3のような作業が必要ないので、デジタル文房具が向いている。

7. おわりに

この実験全体を通じて思ったことは、学校や塾などでデジタル文房具を使う場面を増やしてほしいということだ。そうすれば、自分に合った方法で勉強ができる。勉強だけでなく、小説を書くような趣味もうまれるかもしれない。

そして、僕のようにアナログ文房具だけでなく、デジタル文房具での勉強が合う人もたくさんいると思うので、みんなにもiPadのタイピングや音声入力を使って勉強することを広めたい。

Javascript を用いたゲームと、その公開プラットフォーム開発

岡本 征己*1

指導教員：西澤淳夫*1

Email: 024-00570061kkz@e.osakamanabi.jp

*1: 大阪府立千里高等学校

◎Key Words Javascript canvas Web サイト

1. はじめに

ゲームを個人で開発するにあたって、目標となるものは数多くあり、例えば自らのコーディングスキルの向上やデザインの演習、収益の獲得等などがある。私は、その中でコーディングスキルの向上や、数学、物理の知識の活用、“楽しめる”ゲームの開発などを目的としている。しかし、“楽しめるか”という観点是非常に主観的なものであり、目標の達成には第三者の意見が必要不可欠である。そこで、私はゲームを開発するとともにそれを公開し、ユーザーからのフィードバックを受け取る事によってこの目的を達成しようと考え、ゲーム開発と公開プラットフォームの作成の2つを柱に開発を進めようと考えた。

2. ゲーム、公開プラットフォームの開発

開発には、Visual Code Studio を利用した。作成したゲームはすべて CanvasAPI を利用し、必要に応じて Javascript のライブラリも使用した。プラットフォームの開設には vercel を利用した。フィードバックの収集には googleform を用いた。

3. 作成したプラットフォームについて

作成したゲーム公開プラットフォームの外観は以下の通りである。



図 1 公開サイトのトップページ

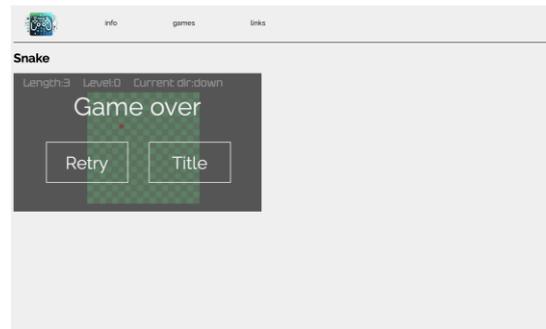


図 2 ゲーム画面

4. おわりに

本研究では、ゲーム開発において“楽しめるか”という観点について、実際に公開しユーザーからのフィードバックを受け取ることで開発に第三者の意見を取り入れ、より良い物にしていくことを目的の一つに掲げてゲームとその公開プラットフォームの開発を行った。しかし、プラットフォームを実際に開発に活用していくには以下の課題があると考えられる。

①UI, UX について

今回公開プラットフォームとして開発した web サイトは、筆者の実装レベルに合ったものであり、また web サイト自体のユーザビリティに対する調査を行っていない。そのため、web サイトのデザインがユーザーのゲーム体験や印象に影響を与える可能性や、フィードバックを回収できない、ということが起こる可能性がある。そのため、今後調査を行い、UI の再構成や、UX を向上させるための工夫が必要だと考える。

②公開サイトの知名度について

ゲームに関するフィードバックを得るには、サイトにアクセスしたユーザーにフィードバックを残してもらえようにすることも重要だが、サイトへのアクセス数を増加させることもまた重要である。現在は筆者の所属高校内での公開を想定しているが、多くのユ

ユーザーからフィードバックを集める, ということを考えると, SNS での宣伝などのサイトの知名度向上を目的とした活動を行う必要があると考える。

③動的な要素への対応

今回開発したゲームはフロントエンドで完結している, すなわち静的な物となっている。しかし, 静的な要素のみでのゲーム開発ではゲームに追加できる要素が限られ, 実装できない要素なども存在するため, サイトの動的な要素への対応が必要だと考える。

参考文献

(1)TheHTML5CanvasHandbook:<https://bucephalus.org/text/CanvasHandbook/CanvasHandbook.html>(25-1-15 最終閲覧)

(2)MDN Web Docs:<https://developer.mozilla.org/ja/>
(25-1-25 最終閲覧)

プロセッサでの高効率な命令並び替えについて

竹本 伊織^{*1}

指導教員：吉田 賢史¹

Email: takemoto@akane.waseda.jp

*1: 早稲田大学高等学院

◎Key Words アウトオブオーダー実行, バリデーションバッファ, PCBF

1. はじめに

本稿では、高性能プロセッサにおいて必須であるアウトオブオーダー実行を実現するための各種制御のための機構について、従来用いられてきた機構を代替する機構及びそれらの組み合わせに焦点を当てる。

これらの制御は、復元に必要な情報及びプログラムの特徴を精査し、条件をより正確に定義して単純化できる。本稿では(2), (3), (4)で提案された機構を紹介した後、スケジューラーとリオーダーバッファの機構における命令の疑似実行を可能にするための変更と PCBF へのアクセス方法の変更について調査した内容を報告する

2. アウトオブオーダー実行

アウトオブオーダー実行においてはプログラムの正確な実行を実現するために、メモリアクセスや命令の並び替えなどの様々な制御を行う。特に、ゼロ除算などの例外処理発生時の正確な処理には非常に多くの情報を復元する必要がある。なので、本節では、例外処理発生時の回復に用いられる各種機構について述べる。

2.1 リオーダーバッファ

アウトオブオーダー実行では、2つの状態に分けて制御を行う。1つは変更の可能性がある投機的な状態の制御であり、もう一つは、確実にプログラム通りに実行されたことが確認できた非投機的な状態における処理である。

この2つの状態の制御は、リオーダーバッファが行う。リオーダーバッファでは、プロセッサで実行中のすべての命令の状態をその命令が例外による処理を必要としない非投機的な状態だとわかるまで保存する。

プロセッサの操作の中には、一度間違っると回復が非常に困難な処理が複数存在する。そのような処理はリオーダーバッファで非投機的な状態になるまで処理を保留する。例外処理発生時は、例外が発生した命令より新しい命令をすべてリセットして、例外の処理を行った後再び処理に戻る。

2.2 スケジューラー

スケジューラーでは、命令ごとに必要なデータがすでに用意されているかどうかを管理し、命令の演算が完了したらその命令のスケジューラーのエントリーを

解放する。例外処理発生時には、例外発生でリセットされた命令が使用していたエントリーを解放しなければ利用可能なエントリーが減少する。

解放のタイミングは主に、例外処理発生が確定した時と例外処理が始まる時の2つがある。

前者の場合は、どの命令が例外を発生させた命令より新しいのかを追跡しなければならないデメリットがあるが、確定した直後に解放できるのでエントリーの不足が起こりにくいメリットがある。

後者の場合は、例外処理時にスケジューラーに残っている命令はすべてリセット対象となる。リセット対象を識別することは容易になるメリットがあるがその代わりリセットまでが長くなるデメリットがある。

そのため、例外を発生させる可能性が高い命令のみ例外発生が確定した時にすぐエントリーを開放できるよう関係を追跡して、可能性が低い命令に関しては追跡しないことで効率化を図る実装も考えられる。

2.3 ロードストアキュー

プロセッサにおいてロード命令とストア命令は、プロセッサの外部のメモリアクセスする命令なのでほかの命令とは性質が大きく異なる。一度メモリに書き込んだ情報を戻すのは極めて難しい。そのため、ロードストアキューでは、リオーダーバッファで書き込み命令は非投機的な状態まで書き込みが保留される。

ロードストアキューではアウトオブオーダー実行によるメモリアクセスの並び替えを正常に行うための制御も担当する。メモリアクセスを並び替えると、プログラム上で想定された結果と異なる処理になりかねない。

しかし、メモリアクセスすべての並び替えを行わない保守的な実装の場合、処理速度が大きく落ちてしまう。また、プログラム上で想定された処理と異なる結果となるケースは少ないことがわかっている(3)。そのため、異常を検知して処理のリセットをする機構を追加すればメモリアクセスの並び替えが十分に行える。

3. より効率的な例外処理

上記のような制御を実現するために現時点でも研究の初期で提案された機構が多く用いられている。近年では、これらの機構と同等の働きを持ちつつより効率的な機構が複数提案されている。本節では、それらの機構の特徴と従来との違いについて述べる。

3.1 バリデーションバッファ

従来のリオーダーバッファでは、ある命令以前のすべての命令が実行されていることによってその命令が例外処理に関わらないことを確認してエントリーを開放していた。しかし、実行が終わっていても例外を発生させないことがわかっている命令も多い。実行が終わるまで待つ必要がない場合もある。

バリデーションバッファでは、例外を発生させないことが実行中にわかったらその時点でエントリー解放の準備を始めることで早期にエントリーを解放できる。例外の有無を確認しなければ解放できないロードストアキューも早期に開放できる。

命令の実行が終わっていてもエントリーを開放するため実行が終わるまで解放できないレジスタに関しては従来通り実行が終わるまで待つから解放する。

3.2 PCBF を用いたロードストアキュー

メモリアクセスの並び替えによる問題は、複数の命令が同じメモリアドレスにアクセスした場合に発生するため、アドレスの被りがないかを確認することで異常の有無を判定できる。従来では、アドレスが完全に一致するかを確認していた。だが、この場合エントリーが増えるほど確認対象が増え、同時に実行する命令の個数分一致を判定する回路が必要になり高コストになる。

そのため、一致するかを効率的だが偽陽性のリスクがある単純なフィルターで判定し、フィルターで一致の可能性が検出された場合のみ実際に一致するのかどうかを検証する手法が提案されている。

フィルターとしては PCBF(Parallel Counting Bloom Filter)が提案されている(3)。このフィルターでは同時にアクセスできる回数はやや減少するものの、大量の命令が同時にアクセスする状況が少ない場合は問題ない。

4. バリデーションバッファと PCBF の実装

これら二つの機構は基本的に競合せず実装できるがいくつかの部分で実装の共通化や変更が必要になる。本節では、具体的にどのような部分の変更ができるのかを述べる。

4.1 スケジューラーの変更

PCBF を用いる場合、例外発生時に命令をすぐにリセットするのではなくしばらくスケジューラーなどに残しておき、命令を疑似的に実行することで各種エントリーの解放とフィルターのリセットを行う。また、バリデーションバッファでも、レジスタの解放のために命令の疑似的な実行が利用できる。そのため、これらの機構を共通化できる。

この手法ではスケジューラーがより長い時間使用されるデメリットがあるが、これに起因する性能の劣化は無視できる程度であることがすでに示されている。

4.2 バリデーションバッファの変更

バリデーションバッファにも変更が必要である。PCBF を用いる場合、ストア命令がバリデーションバッ

ファから解放される時点でメモリアクセスの並び替えが正常に行われたかを検証することで正確な実行を担保する。これは、バリデーションバッファから命令が解放される時点でその命令以前のすべての命令の実行が終了し、PCBF へのアクセスが終了しているためだ。しかし、すべての命令が終了していてもすべてのロード命令が PCBF へのアクセスを完了すれば正確な実行の検証は可能である。

また、PCBF へのアクセスを行う時点で例外が発生するかどうかも分かるのでバリデーションバッファでのエントリー開放の準備を行える。そのため、ストア命令の PCBF へのアクセスをエントリーの開放直前ではなく、以前のロード命令が PCBF へのアクセスを終了した段階でアクセスを前倒しにするよう変更できる。

この変更により PCBF へのアクセスがボトルネックとなりバリデーションバッファのエントリーが解放できないケースを減らせる。以前のすべてのロード命令が PCBF にアクセスしたかどうかの判定の機構はエントリーの早期解放のためにバリデーションバッファにすでに実装されているので回路の複雑性は増さない。

4.3 ロードストアキューの変更

バリデーションバッファにはロードストアキューの使用率を低下させることはすでに述べているが、これは、ロードストアキューを小型化しても性能の劣化が少ないことを意味している。PCBF は実行中の命令が多いほど偽陽性の確率が上がるため、その分エントリーを増やして偽陽性の確率を抑える。バリデーションバッファで使用率を下げれば、偽陽性の確率が下がる。

5. おわりに

本研究では従来の研究では既存のアウトオブオーダー実行のプロセッサに新たに一つの技術を適応することで行われてきて、機構同士の組み合わせに関しては考慮されることが少なかった点に着目して調査した。

他にも相乗効果について研究されていない機構は多数存在している。本稿では主にアウトオブオーダー実行のバックエンドに当たる部分の技術に焦点を当てたが、今後はフロントエンド部分にあたる実行する命令の読み込みのフェッチの高速化に関わる機構同士の組み合わせに焦点を当てたい。

参考文献

- (1) 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) .
- (2) Salvador Petit, Julio Sahuquillo :” The Validation Buffer Out-of-Order Retirement Microarchitecture”, IEEE Transactions on Computers, Volume 58, Issue 12 (2009) .
- (3) 倉田成己:” 高効率なメモリ順序違反検出機構に関する研究” (2017) .
- (4) Peter G. Sassone, Jeff Rupley II, Edward Brekelbaum, Gabriel H. Loh, Bryan Black:” Matrix Scheduler Reloaded, the Proceedings of the 34th International Symposium on Computer Architecture (ISCA-34), (2007)

肯定的なフィードバックを行う英会話練習支援 AI の開発

北村 乃愛^{*1}・古賀 千尋^{*1}・小谷 泰慶^{*1}指導教員：徳竹 圭太郎^{*1}

Email: kt-tokutake795@toyo-ushiku.jp

*1: 東洋大学附属牛久高等学校

©Key Words 第二言語学習, 大規模言語モデル, スピーキング, 肯定的フィードバック

1. はじめに

文部科学省は中高生の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⁽¹⁾。これについて、Tsiplakidesらは周囲の学習者からの否定的評価の恐れが、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⁽²⁾。AI通訳・翻訳の使用が学生の英語学習に与える影響について調査した横野の研究では、学生がAIを用いた実践的なスピーキング練習を求めていることを明らかにしている⁽³⁾。

こうした経緯を受けて、徳竹らは生成AIを用いた第二言語練習支援システムを開発している⁽⁴⁾。しかし、徳竹らのシステムでは学習者に対するフィードバック機能が実装されていないため、学習者が会話の結果を振り返ることが困難である。

そこで、本研究では生成AIを用いたスピーキング練習支援システムに、評価機能を統合したスピーキング評価システムの開発を行った。

2. フィードバックの設計

2.1 先行研究

フィードバックの設計について、言語学習におけるフィードバックのタイミングに関する先行研究と、フィードバックの内容に関する先行研究を参考にした。

まず、フィードバックのタイミングについて、Farhadらはライティングに関するインテリジェントチュータリングシステムの開発を通して、学習者のライティング特性を測定し、パーソナライズされたフィードバックを適宜行うことで、学習者のライティング能力を向上させることができることを明らかにしている⁽⁵⁾。このことから、フィードバックは会話の中で行うことが必要であると考えられる。

フィードバックのレベルについて、中里らはAIを用いた音声対話システムの開発を通して、利用者が自分の適切なレベル認識ができていないことを明らかにしている⁽⁶⁾。このことから、AIを通して学習者のスピーキングのレベルを自動で判定し、フィードバック内容を調整する仕組みが必要であると考えられる。

フィードバックの文体について、AIに対する信頼度について検証した浦らの研究では、「口調」が信頼度に影響を与えており、「丁寧」な口調よりも「ぞんざい」な口調の方がより信頼されやすい傾向があることが明

らかにされている⁽⁷⁾。このことから、丁寧な表現は避ける必要があると考える。

フィードバックの内容について、小川らはAIを活用したライティングシステムの開発を通して、学習者の質を向上させるためには、学習者が自身の間違いに気づくようにAIが改善点を提示すること、学習者のレベルに応じた代替案を提示することが必要であるとしている⁽⁸⁾。また、Norrisらは、第二言語学習においては、明示的な指導の方が暗示的な指導よりも効果的であるということを示している⁽⁹⁾。このことから、フィードバックの内容は学習者の間違いを明示的に指摘するとともに、新しい表現方法を学習者のレベルに応じて提案する必要があると考える。一方で、Kellerは第二言語学習における学習の動機づけを「関心」、「関連性」、「期待」、「結果」の4種類に分類しており、肯定的なメッセージが学習者の「期待」を向上させるため、学習に対するモチベーションが維持されやすいことを指摘している⁽¹⁰⁾。このことから、システムからのフィードバックは、常に学習者に対して肯定的である必要があると考える。

2.2 システムプロンプトの設定

上記の先行研究を参考に設計したシステムプロンプトを表1に示す。

表1 システムプロンプトの要約

会話時のプロンプト	
1.	全体を通して親しみ易い言葉遣いにする
2.	挨拶で用いられた言語を主言語とする
3.	会話中に文法や語彙の直接的な修正をしない
4.	相手の発話のレベルに沿った英語で会話する
5.	ユーザーの間違いはさり気なく言い換えて返す
6.	適宜質問で返答をする
評価時のプロンプト	
7.	発話を引用し、正しい文章とその理由について示す
8.	異なる方法で表現するための代替フレーズの提案をする
9.	終了時にはモチベーションを高めるメッセージとともに、ユーザーが今回の会話で学んだ知識を提示する

プロンプトは会話時と評価時に分けて設定している。会話時は直接的な修正はせず、自然な会話の流れでユーザーの誤った表現を修正するようにプロンプトを設定した。評価時は直接的な修正を行うが、学習者のモチベーションを維持するため、肯定的なワードを使用してフィードバックを行うように設定した。

本研究では、Gemini を基に会話の内容及び評価について Dify を通じてプロンプトチューニングで調整した。

3. スピーキング練習・評価システム

本研究で開発したスピーキング評価システムの実画面を図1に示す。Unity を用いた音声対話可能なチャットボットのフレームワークである ChatdollKit⁽¹¹⁾を基盤として、複合現実環境で実行可能なシステムを設計した。図1中①は ChatdollKit の基本機能として実装されているものであり、学習者の発話がテキスト化され、システム側に送信される。システムからはシステムプロンプトを反映した返答が生成され、音声及びテキストで出力される。図1中②は、学習者とシステムの会話のログを表示している。学習者が図1③の「フィードバックボタン」を押すことでそこまでの会話ログがシステムに送信され、会話内容についてのフィードバックが生成・表示される。

開発者数名で実験的に使用した結果、調整していない Gemini と比べて直接的な修正を行わず、肯定的なフィードバックをすることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、生成 AI を用いて肯定的なフィードバックを行うスピーキングの練習支援 AI を開発した。

今後の課題としては、下記の2点がある。

- (1) 開発したシステムを利用してもらい、フィードバックの妥当性について検証してもらう。
- (2) 本システムを通じて学習を継続的に行った際の学習効果について、質的・量的に検証する。

参考文献

- (1) 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, (2024 年 12 月 26 日閲覧)。
- (2) 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) .
- (3) 横野成美 : "AI 通訳・翻訳の使用が学生の英語学習意欲に与える影響", *星稜論苑*, 第 52 号, pp.15-16 (2023)。
- (4) 徳竹圭太郎, 坂部和音, 佐久間大 : "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", *CIEC 春季カンファレンス論文集*, 15 巻, pp.9-14 (2024)。
- (5) Farhad Ghorbandordinejad, Temirbolat Kenshinbay : "Exploring AI-Driven Adaptive Feedback in the Second Language Writing Skills Pro", *Journal of Effective Teaching Methods*, vol.2, No.3, pp.64-71 (2024)。
- (6) 中里浩之, 中村 浩章, 飛田 博章 : "生成 AI と 3D キャラクターを用いた音声対話システムの語学学習への応用", *日本教育工学研究会研究報告集*, 2023 巻, 3 号, pp.36-40 (2023)。
- (7) 浦謙太, 野村竜也 : "AI に対する信頼の測定と影響要因の実験的探索", *情報処理学会研究報告*, vol.2021, No.24, pp.1-6 (2021)。
- (8) 小川裕也, 中川一史 : "AI チャットボットを活用した個別最適化学習に関する研究", *日本 STEM 教育学会拡大研究会*, pp.28-29 (2021) .
- (9) Norris, J, Ortega, L : "Effectiveness of L2 Instruction: A Research Synthesis and Quantitative Meta-Analysis", *Language Learning*, 50, pp.417-528 (2000) .
- (10) Keller, J. M : "Instructional design theories and models: An overview of their current status : Motivational design of instruction.", pp.383-434, Lawrence Erlbaum Associates (1983) .
- (11) uezo : " ChatdollKit ", <https://github.com/uezo/ChatdollKit/blob/master/README.ja.md>, (2024 年 12 月 26 日閲覧)。

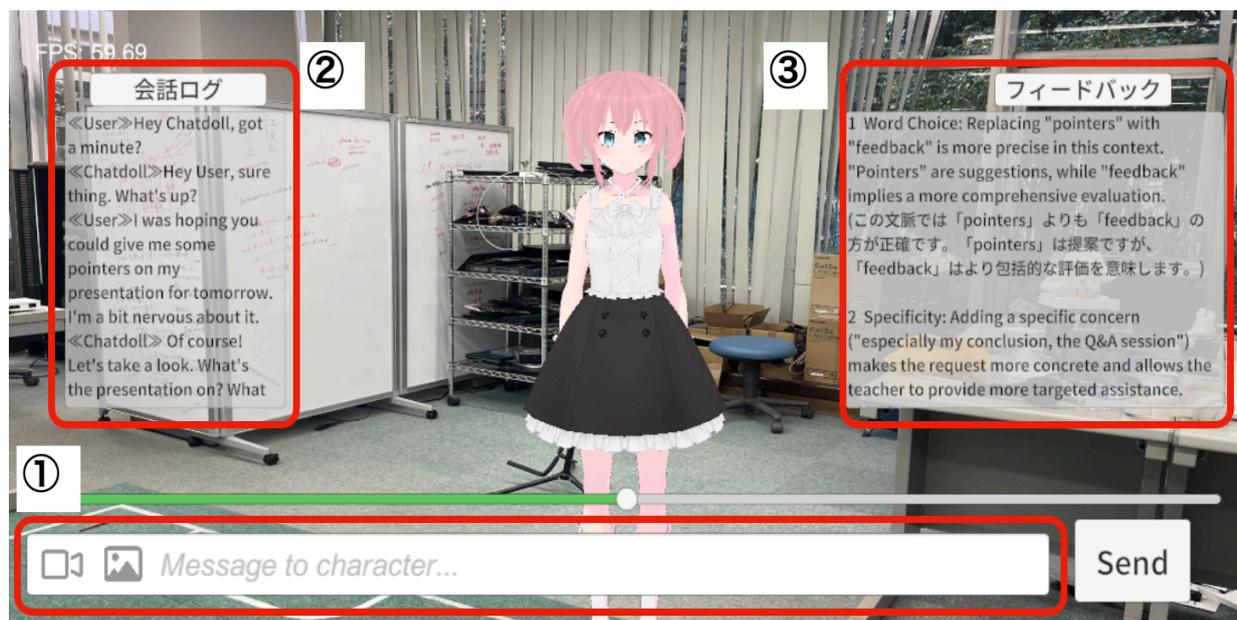


表1 開発したシステムのインターフェース

サソリモドキの移動する速さの計測

新川千博*1・栗野颯真*1・内田梗介*1・小野健人*1

指導教員：黒木 和樹*1

Email:kurogi@ikedagaakuen.ed.jp

*1: 池田学園池田高等学校

◎Key Words サソリモドキ, 教科横断型探究活動, 昼夜逆転処理, トラッキング, MATLAB

1. はじめに

1.1 探究活動と教科「情報」

日本は2022年から高等学校で探究学習が導入した⁽¹⁾。文部科学省は、『「横断的・総合的な学習」を、「探究の見方・考え方」を働かせて行う』と定義し⁽²⁾、その過程で、(A) 課題の設定、(B) 情報収集、(C) 整理・分析、(D) まとめ・表現することを重視する⁽²⁾。この(B)から(D)において、教科「情報」は他教科と連携しやすい教科と考える。

1.2 動物行動学の研究

日本の自然科学系コンクールは1957年創設の日本学生科学賞が最も古く⁽³⁾、他にも数多くある。これらでは多くの高校生が動物の行動について発表してきた。その手法は目視での計測に限られていた。

高校生にとって動物の行動は身近な研究テーマである。しかし、この分野は課題を持つ。①データの収集は、撮影した動画を再生しながら計測するため、撮影時間の数倍の解析時間が必要である。②動物の行動は、光や気温などの環境条件や繁殖期など、研究には制限が伴う。③単調な解析の繰り返しでも、探究活動は数名で取り組むため、学級規模の大人数で解析はできない。

1.3 研究対象の動物

アマミサソリモドキ *Typopeltis stimpsonii* は、クモガタ綱、鋏角亜門、サソリモドキ目に属する節足動物である(図1)。鹿児島県奄美大島、徳之島、薩摩半島に生息し、体長が40mmになる大型土壌生物である。夜行性で他の土壌生物を捕食し、その摂食量はサソリよりも多い⁽⁴⁾。土壌生態系の上位種としての生態的地位を担う。

アマミサソリモドキは細長い第1脚を持つ。佐藤は『歩き始めるとこの鞭状の脚を前方へつき出して、左右を交互に動かしたり、何かまさぐるやうな格好でこの鞭脚を振り廻したり、この動きが又妙なものである。この第一歩脚は触覚を司るもののやうに見える。』と記す⁽⁴⁾。また、同じサソリモドキ科の *Mastigoproctus brasiliensis* でも『サソリモドキは8つの眼を持つが、その視力は非常に弱く、一對の長くて細い前脚は、暗闇の中で獲物を探すときにほとんど触角のような役割を果たす。』と記す⁽⁵⁾。他の *Mastigoproctus brasiliensis* の報告では、『歩行パターンは第2脚から第4脚を使った6本足歩行である』と記し⁽⁶⁾、動画と足跡の写真を目視で解析している。

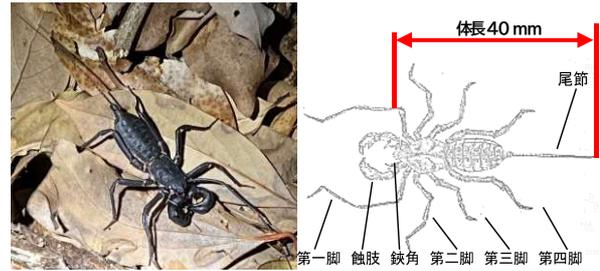


図1 アマミサソリモドキの各部の名称

1.4 本研究の目的

そこで、最終目標は、アマミサソリモドキの捕食と歩行における第1脚の役割の解明と設定した。

本研究では、夜行性の生物でも授業中に実験するために、教科「理科」の知識を使いアマミサソリモドキの行動を昼夜で逆転させる。さらに、教科「情報」で学んだプログラミングを使い、画像解析プログラムを自作する。プログラミングソフトは理工系の40万人が採用するMATLAB (MathWorks社) を用いる。

これにより前述の(A)から(D)までを満たすとともに、教科「情報」と教科「生物」の教科横断型の探究活動の可能性を探る(図2)。

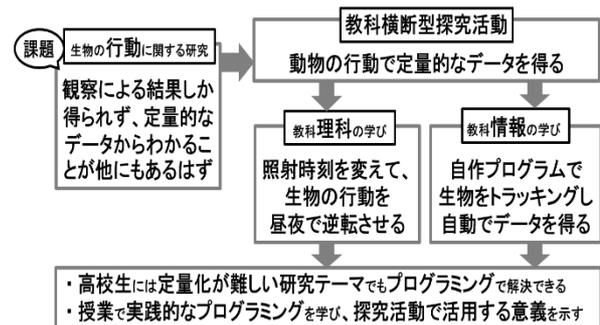


図2 本研究における教科横断

2. 結果と考察

2.1 昼夜逆転処理

アマミサソリモドキは鹿児島県南さつま市坊津町で採集する。飼育箱を遮光カーテンで覆う。その中にLEDライトを設置し、12時間周期で消灯(6時-18時)と点灯(18時-6時)を繰り返す。昼夜逆転処理をした個体群と、未処理の対照群を比較し、昼夜逆転が成功したと判断する。

2.2 プログラミング

各個体を13時に5分間撮影する。自作するプログラムでサソリモドキをトラッキングし、その座標から移動する速さを計測する。自作プログラムは次の①～⑤の作業を繰り返す。①フレーム率 (fps) に応じて、1秒間隔で動画ファイルを静止画ファイルに変換する。②アフィン変換で台形補正し、③モルフォロジー変換によりセグメンテーションをする。④領域解析にてアマミサソリモドキの重心の座標を得る。⑤ピタゴラスの定理で1秒間の移動距離を求める。

3. 結果と考察

3.1 行動の昼夜逆転

昼夜逆転処理が1か月経過した後、13時に第1脚のみを動かす個体がみられた。さらに、4か月経過すると、アマミサソリモドキは13時に盛んに歩いた。その後6か月間、昼夜逆転処理を継続したところ、アマミサソリモドキの行動は昼夜で逆転した状態を維持した。

3.2 歩行するときの速さ

トラッキングの結果は静止画に描画した(図3左上)。黄色の点は1秒間隔でプロットし、桃色の線は1秒間の移動距離を示す。移動開始直後(図3左上A)と方向転換直後(図3左上B&C)に黄色のプロットが集中した。移動開始時は第1脚を動かして探索するため、わずかな移動が記録された(図3右上A, 0001-4471 frames)。また方向転換直後に停止して探索したため、累積移動距離は増加しなかった(図3右上B, 4501-5071frames& C, 5851-6601frames)。この220秒間(6600 frames)の速さは平均で3.0 mm/sであった。

一方、220秒以降は停止せずに等速7.6 mm/sで移動した。この等速移動時にも方向転換をしたが、その直後にプロットは集中しなかった(図3右上D, 7381-7831 frames)。一度移動を始めると等速移動する傾向がわかった。しかし、秒あたりの移動距離はばらついた(図3右下, 6601-8881frames)。これは1秒間隔では第1脚で周囲を探りながら歩く様子を示す定量データである。

3.3 第1脚を使った探索

本研究は、アマミサソリモドキが第1脚で周囲の構造物を探りながら歩くという先行研究⁽⁴⁻⁶⁾の結果を裏付ける定量データを得た。220秒経過後は探索しながら歩くが、7.6 mm/sのほぼ等速で移動する。一方、移動開始220秒間は第1脚で頻繁に周囲を探索し、速さも半分以下に落ちることから移動開始時の慎重さがわかる。

4. おわりに

プログラムで自動化すれば、解析の労力と時間を削減できる。さらに、撮影条件を統一すれば、プログラムのパラメータの変更も最小限で済む。解析時間はパソコンの処理速度にもよるが、撮影時間2倍程度と手作業より大幅に短縮できた。そして手作業の解析より精度は高い。本研究のようなテーマ設定の場合、教科「情報」との教科横断型の探究活動が、効率的・効果的である。そして、本研究は、それが高校生でも可能であると

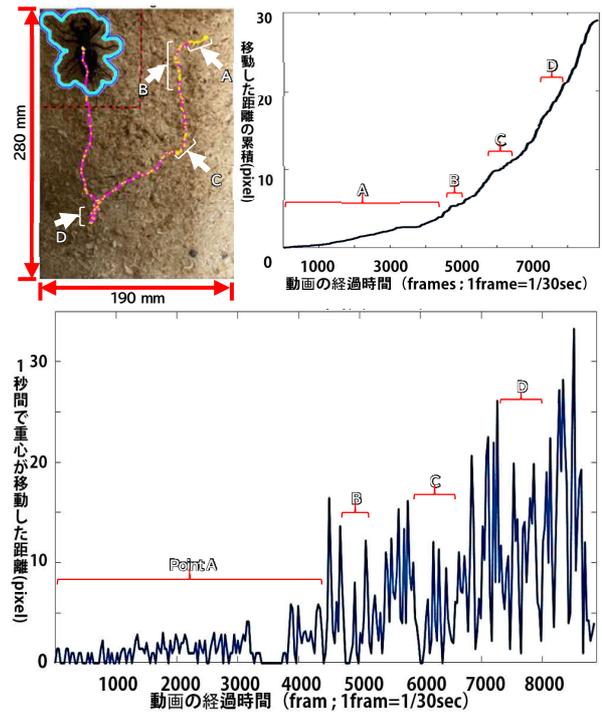


図3 自作プログラムの解析結果；(左上)トラッキング, (下)1秒間で重心が移動した距離, (右上)経過時間でのサソリモドキの移動距離

示した。この観点で、教科「情報」では探究活動で利用できる実践的なプログラミングを学ぶ意義は大きい。

動物の行動は、環境条件や時期などが影響し、研究時期が制限される。しかし、飼育環境を試行錯誤すれば、夜行性の動物の行動を昼間に観察できる。そして、本研究では自作プログラムの活用で得られた定量データからアマミサソリモドキの慎重な探索行動がわかった。

これらは文部科学省の示す主体的な探究活動と一致し、教科横断型の探究活動としてロールモデルとなる。

一方、本研究で捕食行動の撮影はできなかった。また、意図的にアマミサソリモドキの捕食行動を誘発できなかった。今後は暗視野カメラで24時間連続撮影をして捕食時の第1脚の役割を解明することが課題である。

参考文献

- (1) 文部科学省:「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説総合的な探究の時間編」, pp.2, 学校図書株式会社(2019).
- (2) 文部科学省:「(高等学校編)今, 求められる力を高める総合的な探究の時間の展開」, pp.23-27, 学校図書株式会社(2023).
- (3) 日本学生科学賞トップページ: <https://event.yomiuri.co.jp/jssa/>, (2025年1月21日閲覧).
- (4) 佐藤井岐雄:「サソリモドキの生態」, Acta Arachnologica, 6, 3, pp.72-87, (1941).
- (5) Kern, W. H. J., and R. E. Mitchell. "Giant whip scorpion Mastigoproctus giganteus giganteus (Lucas, 1835)(Arachnida: Telyphonida (= Uropygi): Telyphonidae)." Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, pp.1-4, (2011).
- (6) Ferreira, Rodrigo Lopes, et al. "Aspects of the behavior and reproduction of Mastigoproctus brasiliensis Koch, 1843.(Arachnida: Uropygi: Telyphonidae)." Revista de Etologia, 10, 1, pp.3-11, (2011).

九州のゲンジボタルを調査してわかった4つの明滅周期

田口世南^{*1}・早川 葵^{*1}指導教員：黒木 和樹^{*1}

Email:kurogi@iked-gakuen.ed.jp

*1: 池田学園池田高等学校

©Key Words *Nipponolucioa cruciata*, 明滅周期, 同調明滅, フォッサマグナ, 市民参加

1. はじめに

ゲンジボタル *Nipponolucioa cruciata* は、本州、四国、九州とその周囲の島に生息する。ゲンジボタルの明滅は周期性があり、フォッサマグナを境に西日本で2秒、東日本で4秒とされる⁽¹⁾。なお、この報告は、飛翔するオスが他のオスと同調明滅した後、目視とストップウォッチで計測していた。

ゲンジボタルの成虫は生存期間が短い。一斉に羽化し、10日程度しか発光しない。そのため、この期間に日本全国でゲンジボタルを撮影することは困難である。

また、九州南部では飛翔時間が極端に短く、22時以降は明滅しない⁽²⁾。関東から東北は飛翔時間が1時間程度と短い⁽²⁾。そのため、同調明滅後の撮影が困難な地域がある。

本研究は、NHKのシチズンラボに参加する市民の方々に協力いただき、全国から多くの動画を集めるとい、これまでのゲンジボタルの研究では見られない市民参加型の調査を行った。また、その過程で生じる課題や可能性、そして高校生による自作プログラムで解析が可能かについて検討する。

2. 方法

2.1 動画の収集方法

NHKのシチズンラボの協力で全国から動画を集める。市民調査では、長い撮影時間や細かな指示はできない。そこで、データとして不適切な動画は、受け取り後に削除する。また、ゲンジボタルではないホタルの撮影も考えられる。そこで鹿児島大学の加藤太郎准教授に鑑定いただき削除する(図1)。

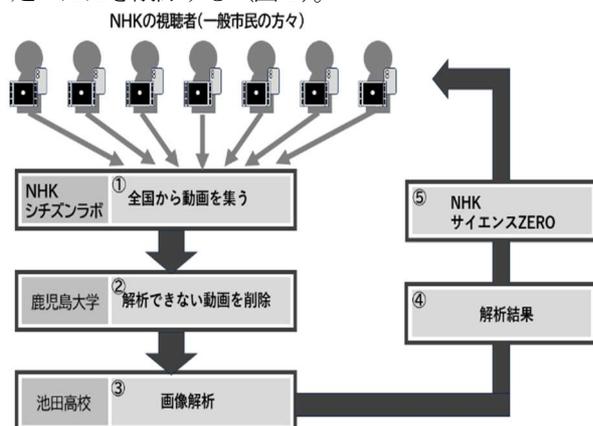


図1 研究の手順

2.2 解析に用いる動画

自作プログラムは以下の手順で行う。① 動画データをパソコンに取り込む。動画のフレーム率に応じて静止画に変換する。② 閾値を設定し、背景のノイズを除去する。③ 静止画を二値化する。④ 任意のホタル1匹を指定する。⑤ ホタルを判別する関心領域で自動追跡し、カラー画像を切り抜く。⑥ 光を構成する各画素の輝度を256段階で計測し、明滅1回分の輝度の総和を発光輝度とする。⑦ これを5周期以上プロットし、明るい時間(ft:flash time)と暗い時間(dt:dark time)から明滅周期(fc:flashing cycle)を算出する。⑧ 折れ線グラフに表示し、Excelファイルで保存する。なお、自作プログラムはMATLAB(Math Work社)を用いてプログラミングする。

2.3 気温の補正

松下⁽²⁾、笹井⁽³⁾によれば、気温が1℃上昇で明滅周期が約0.3秒速くなる。そこで、下記の式により、撮影日の気温(t℃)をもとに気温20℃に明滅周期(fc)を補正する(式①, fc20:気温20℃に補正した明滅周期)。

$$\text{補正式 } fc_{20} = fc - 0.3(t - 20) \quad \cdots \text{式①}$$

3. 結果

3.1 解析に用いた動画

全国から動画470本が集った。先行研究とそろえるため、次の条件を満たす動画は除外対象とした。

A: 飛翔するオスが撮影されていない

B: 明るい場所で撮影されている

C: 撮影者が動いている

D: ゲンジボタルではないホタルを撮影している

その結果、全国で282本の動画が残った。本研究は、そのうち九州で撮影された動画41本を解析対象にした。

3.2 自作プログラムによる解析

2年前のゲンジボタルの明滅動画を使い、自作プログラムを試行した。発光輝度は規則的に増減した。また、その明るい時間(ft)と暗い時間(dt)のft-dt散布図を作成した(図1)。なお、斜めの点線は明るい時間と暗い時間の和が定数をとるときのみやすを示す。

その結果、1個体の明るい時間(ft)と暗い時間(dt)

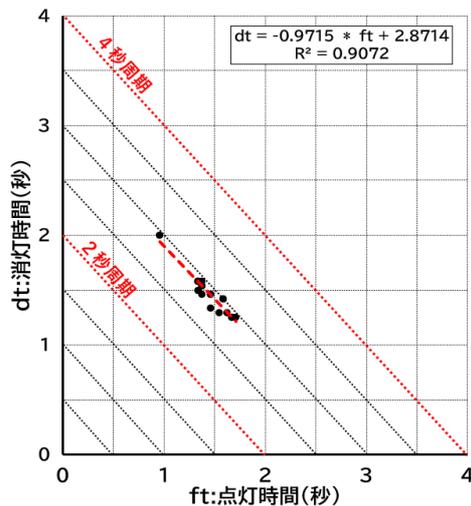


図2 ft-dt 散布図 横軸: 明るい時間 (ft), 縦軸: 暗い時間 (dt), 斜線: 周期 (fc)

はばらつき、一定ではなかった。しかし、明るい時間 (ft) と暗い時間 (dt) の和である明滅周期 (fc) は一定になった。これを「1 個体の明滅周期」と定義した(式②)。

「1 個体の明滅周期」 $fc = ft + dt \dots$ 式②

九州の動画 41 ファイルを同様に画像解析した結果、すべての地域の明滅周期は、式②を満たした。この結果から、高校生が自作したプログラムでも十分に解析できることが確認できた。

このように、明滅における明るい時間(ft)と暗い時間(dt)は、明滅ごとに異なり一定ではないが、1 個体の明滅周期は一定になる。本研究における、この研究成果は、これまでに報告例がない。

3.3 九州のゲンジボタル

九州の各地域で明滅周期は異なった。九州のゲンジボタルのほとんどが、明滅周期は2秒を超え、3秒周期や3.5秒周期もあった。なお、2020年に報告されている1秒周期の五島列島型も確認できた⁽⁶⁾。

3.4 気温の補正

撮影日の気温をもとに、明滅周期を気温 20℃に補正した。九州は3秒前後のホタルが多く存在した(図2)。

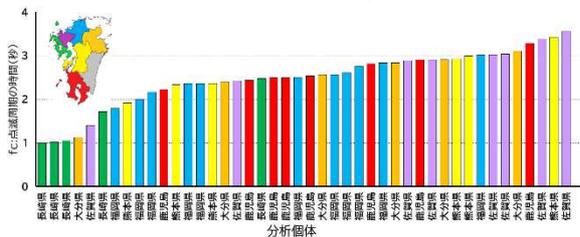


図2 補正後の九州のゲンジボタルの明滅周期 縦軸: 明滅周期の時間 (fc : 秒)

各撮影地点の緯度と経度をもとに、MATLAB(Math Work 社)を用いて地図上に撮影場所をプロットした(図3)。なお、各プロットの色は明滅周期が長ければ

赤色、短ければ青色に調整した。九州全土は明滅周期が 3 ± 0.5 秒のホタル、九州北部は 2 ± 0.5 秒のホタル、有明海周辺に 4 ± 0.5 秒のホタルが分布していた。

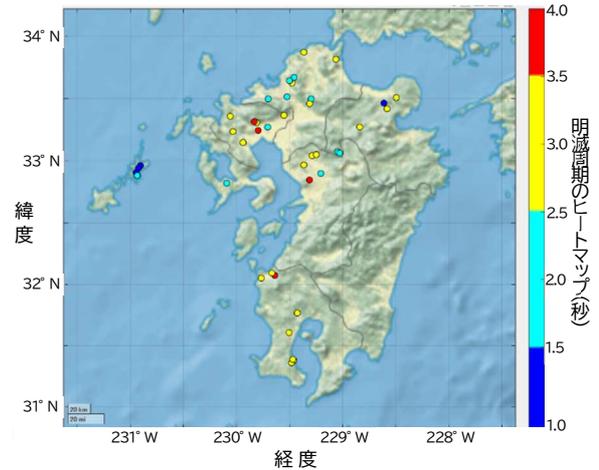


図3 各明滅周期のホタルの分布 (色は各測定場所の明滅周期(fc)を示す。地図はパブリックドメイン Natural Earth で作成された MATLAB のベースマップ Landcover を使用した。

3.5 市民調査の可能性と課題

本研究では短時間で動画を集め、九州における明滅周期の分布を明らかにできた。本研究で用いた全国の市民によるゲンジボタルの調査法は、新たな研究手法として有効である。また、高校生の自作プログラムでも十分に解析できることを示した。

一方、集められた動画の中には、解析できる条件を満たさない動画も多く含まれていた。また県によって得られた動画数に偏りがあった。そのため、撮影方法や気温の測定など、市民の方の的確に伝える必要がある。

4. 謝辞

動画をご提供いただいたシチズンラボの皆様、NHK プロデューサーの井上元様、鹿児島大学大学院理工学研究科加藤太郎准教授、この場を借りてお礼を申し上げます。

5. 参考文献

- (1) 大場信義:「ホタルのコミュニケーション」, 241, 東海大学出版会, (1986).
- (2) 松下保男:「ゲンジボタル明滅周期の地理的分布とミトコンドリア DNA 多型の関係」, 陸生ホタル研, No115, (2021).
- (3) 笹井昭一:「ゲンジボタル明滅周期と気温について」, 全国ホタル研究会誌, (32), 22-25, (1999).
- (4) 大場信義:「ゲンジボタルの同時明滅概報」, 全国ホタル研究会誌, (22), 4-5, (1989).
- (5) 井口豊:「長野県辰野町におけるゲンジボタルの明滅周期について」, 全国ホタル研究会誌, 39:37-39, (2006).
- (6) Shin-ya Ohba, Kaoru Numata, Keisuke Kawano: “Variation in flash speed of Japanese firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera:Lampyridands, e), identifies distinct southern ‘quick-flash’ population on Goto Isla Japan”, *Entomological Science*, (23), Issue2, 119-127, (2020).

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：李 凱（獨協大学）

委員：

大岩 幸太郎（大分大学）

鳥居 隆司（椋山女学園大学）

興治 文子（東京理科大学）

橋本 諭（産業能率大学）

落合 純（新潟経営大学）

三浦 靖一郎（徳山工業高等専門学校）

菅谷 克行（茨城大学）

森 夏節（酪農学園大学）

橘 孝博（早稲田大学高等学院）

森棟 隆一（白百合学園中学高等学校）

CIEC 春季カンファレンス論文集 Vol.16 Proceedings of the CIEC Spring Conference 2025

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：2025 年 3 月 24 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。