

神奈川工科大学

先進 A I 研究所
研究報告

第 6 号

2025 年度

研究推進機構

目次

- ・ AI 時代に量子コンピューティングを学ぶ

山本富士男

- ・ 生成 AI による記憶想起トレーニングと回想法の拡張

関根慧、三枝亮

- ・ 障害者支援における ChatGPT 活用型ワークショップの設計

～生成 AI とメタバース体験による自己表現実践モデル～

西村美緒、廣川茉衣、中村舞衣子、山口宙輝、石田正浩、北野理洋、白井暁彦

- ・ 生成 AI を用いた生理現象の数理モデル化

～血糖値制御機構のモデル化と理解に向けて～

宮本理人

- ・ LLM を介した教育資料データベース接続および質疑応答・講義記録システムの構築と今後の教育への応用について

鈴木亮吾、柴田陽平、酒井優成、武田力、橋本龍輝、東千夏子、
中込拳斗、宮本元稀、池毅恒、千葉天翔、松山慈桜、山崎日向杜、
田中元気、宮澤主吏、黒田悠斗、中村享矢、菅原颯太郎、広井賀子

- ・ 運転能力低下に対する介入効果と学校教育歴の関係

～高齢ドライバーの実運転情報に基づく個別安全指導における AI 活用の試み～

野中卓志、根本哲也、伊藤安海

- ・ フィジカル AI を用いた自動運転競技における工学・情報学の統合教育実践

小宮聖司、脇田敏裕

- ・ LLM から教員制御可能な問題生成システムへ

～生成戦略の DSL 形式化による教育支援～

前田篤彦

- ・ 科学技術英語教育における音読学習システムの活用

河野智子、栗原磨娑斗、大木富、鷹野孝典

- ・ 感情を考慮した教育支援ピア AI の検討

設楽楓、佐藤和也、鷹野孝典

AI 時代に量子コンピューティングを学ぶ

山本 富士男

1 はじめに

量子コンピュータの実用化はまだ先のことと言われる場合もあるが、量子コンピュータのハードウェアとソフトウェア、応用に関する研究開発は近年著しく進んでいる。一般技術者や学生等の、この新しい計算パラダイムへの関心は高まっている。すでに、誰でも Web 経由で量子コンピュータを使用できる状況にある。

ここでは、主にソフトウェア開発者・IT 技術者、および情報系学生の立場から、量子コンピューティングに取り組む場合の懸念事項を検討する。一つは、「事前に量子力学を習得しておく必要があるのか」であり、2つ目は、「量子コンピューティングは今後本当に有用なのか、期待できるのか」である。

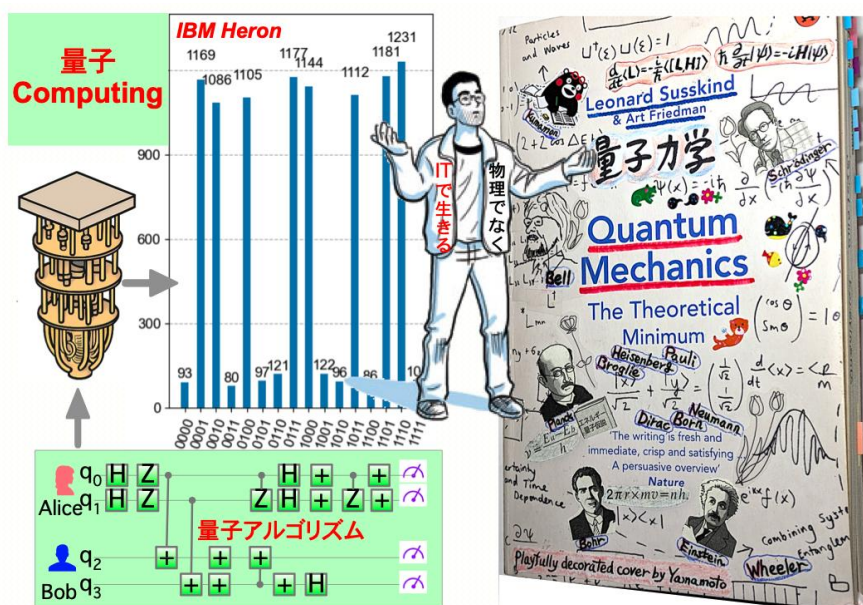


図 1. IT 技術者にとっての量子コンピューティング

図 1 は、左側に量子コンピューティングを、右側に量子力学の基礎的なテキスト[1]を描き、IT 技術者が抱くであろう戸惑いを象徴的に描いている。これらの懸念に答えるために、量子力学の基本的な考え方に基づいた説明を、具体例を用いて行う。引き続き、(1) 量子コンピュータにとって依然として最大の課題の一つであるハードウェアエラーの低減の進歩、(2) 量子機械学習などの新たな応用分野、そして(3) スーパーコンピュータとの連携によって可能になる実用的なコンピューティング、という 3 点に焦点を当て、今後の発展を考察する。

2 過去4年間の取り組みの経緯

本件の検討にあたり、まず、量子コンピューティングに関する筆者の過去4年間の取り組みを簡単に振り返る。論を進める上で、バックグラウンドは重要と考える。詳細は[2]を参照されたい。

図2(A)に、これまでの経緯を示す。①初期段階で、独自にスマホで動く量子回路シミュレータを開発した。これを利用しながら、②様々な試行を行い、これまでに約150件のブログ記事を公開した。それらをもとに、③洋書の著者らとSNSなどを通して交流を深め、当方の記事を紹介してもらった場合もある。また、④本学のITシンポジウムで連続3回、関連タイトルで発表した。この間、⑤ハミルトニアン等、量子力学の基礎を再確認した。直近では、⑥量子機械学習/量子変分法に関する、IBMの中級及び上級認定資格を取得した。次節では、このような背景のもとで、(B)量子力学は必須なのか、(C)量子コンピューティングは今後有望なのか、の2点を検討する。

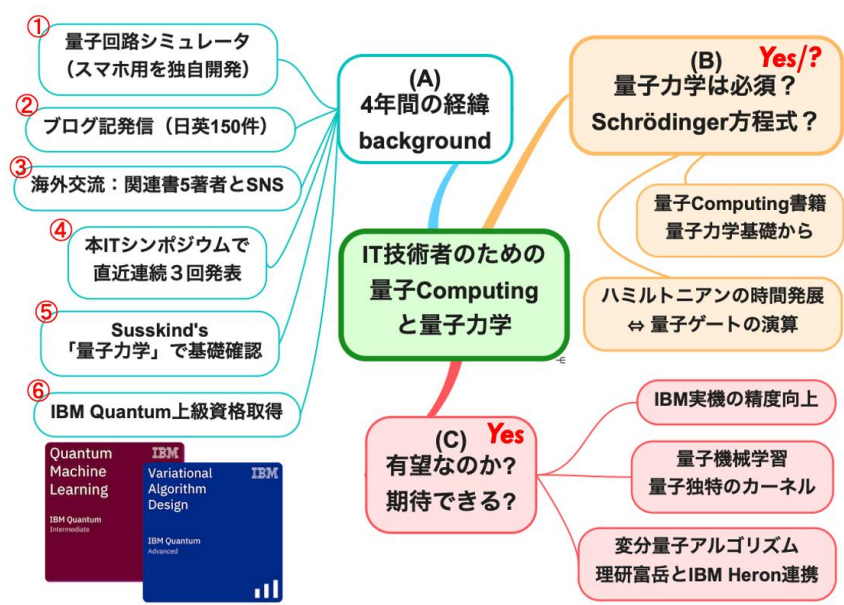


図2. 4年間の取り組みと検討事項

3 量子力学は必須なのか?

実は、この質問自体、少し曖昧である。まともに答えるとすれば、absolutely Yes!となる。量子コンピューティングは、量子力学と情報科学の融合であるから。しかし、この質問の意図は、恐らく「量子コンピューティングに取り組むに当たって、事前に量子力学（シュレディンガー方程式などが出現する）を習得しておく必要があるのか?」の意味であろう。そうならば、答えは消極的 Yes (little Yes) である。

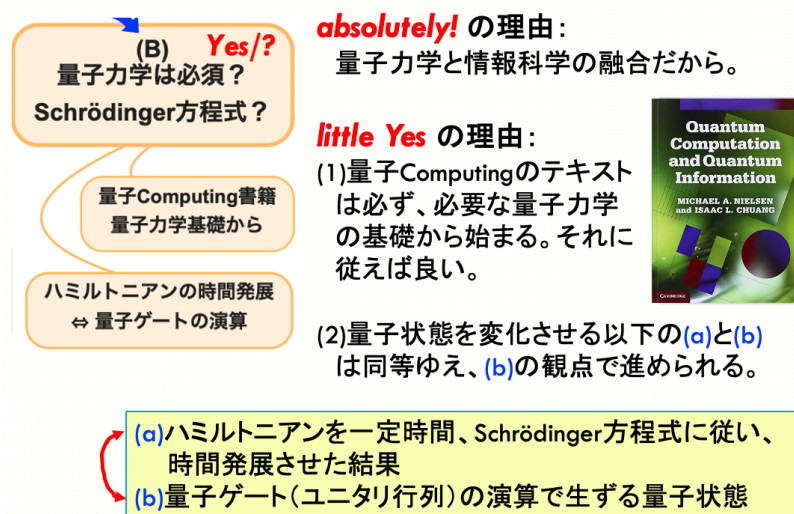


図 3. 量子コンピューティングと量子力学との関係

それは、図 3 に示すように 2 つの根拠に基づく。(1) ひとつは、量子コンピューティングのテキストは、例外なく、必要な量子力学の初歩（ディラック記法、量子ビット、重ね合わせ、内積やテンソル積を含む線形代数など）から始まるので、それに従って学べば良い。事前に量子力学を別途学んでいる必要は特にないと言える。

2 つ目は、より本質的であり、量子力学の理論から言えることである。量子計算の基本は、ある時点の量子状態をどのように変化させるかである。その変化のさせ方として、図 3 の下段にあるように、(a) 量子力学の基本であるシュレディンガー方程式に従って、ハミルトニアン（エネルギー演算子）を一定時間発展させること、及び、(b) 量子ゲート機能としてのユニタリ行列と呼ばれる演算を施すこと、の 2 通りがある。

詳細は次節で述べるが、この 2 つは、実は同等であるように設計されている。従って多くの場合、量子力学に基づく (a) ではなく、ユニタリ行列演算である (b) に基づいて進めることができる。出版されている量子コンピューティングの書籍 [3] [4] [5] [6] は、ほとんどすべてこのような立場で執筆されている。

4 時間依存シュレディンガー方程式の威力

(1) アダマルゲート H の時間発展

量子ゲートは一部の僅かな例外を除き、ユニタリ演算（行列演算）である。量子コンピュータでは、それはどのように実現されるのだろうか。シュレディンガー方程式を利用すれば、その動作の流れが分かる。ここでは、最も重要な量子ゲートの一つであるアダマルゲートを例として、その動作をアニメーションで確かめる。

例えば、図 4 において、量子ビットの初期状態が北極の状態 $|0\rangle$ であるとする。それに対するアダマルゲートの適用とは、図 4 に示した行列 H を初期状態ベクトルに掛けるこ

とである。その結果 $H|0\rangle$ は、ブロッホ球の赤道と X 軸の正方向の交点で表される、 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ の均等な重ね合わせ状態となる。その操作は一瞬の出来事のように見える。だが、そこへ至る経過を観察してみる。

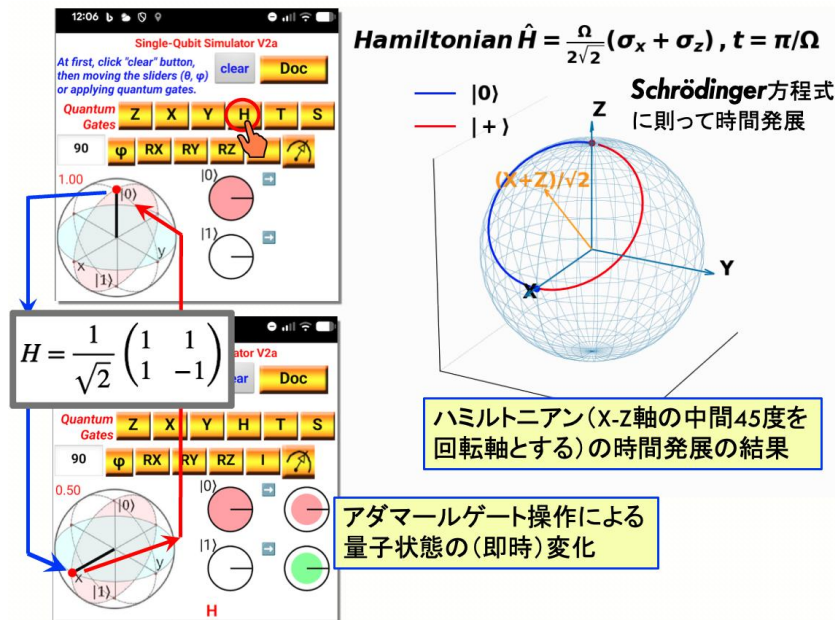


図 4. アダマール変換のユニタリ行列と時間発展

時間依存シュレディンガー方程式に基づいて、「量子ゲートの機能は、量子状態をある規則に従って一定時間だけ変化させることで実現される。」ことが広く知られている。

この「状態の変化の規則」を決めるのがハミルトニアン Hamiltonian と呼ばれるものである。量子ビットの世界では、量子状態の変化は、量子をある回転軸（座標軸とは限らない）で回転させることで生ずる。その回転軸と回転速度の情報をハミルトニアンが持つ。そして、一定時間 T は、 $T = \pi/\Omega$ となる。この Ω は、システムの駆動強度に対応する角周波数（ラジアン毎秒）である。従って、 Ω の値が非常に大きければ、量子ゲートの動作は一瞬にして終わることになるが、 Ω は有限なので実際にはそうならない。図 4 の右側のブロッホ球上に、時間 $0 \sim T$ に至る量子ビットの状態変化の経路を示した。これにより、アダマールゲートは、 x 軸と z 軸の中間 45° の傾き方向を軸として、 π (180°) だけ回転させることが確認できた。その結果は、時間発展を $T = \pi/\Omega$ 進めた時点での状態となる。なお、回転軸を示す、大文字の X , Y はそれぞれパウリ演算子 σ_x と σ_z に対応する。

(2) Bell 回路のゲート H と $CNOT$ の時間発展

次に、2 量子ビットで量子もつれを生じさせる Bell 回路を対象として、同様の考察を行った。多くの量子コンピューティングの書籍では、1 番目の量子ビットにアダマール変換を施し、次に 2 つの量子ビットに $CNOT$ を施すと、瞬時に量子もつれ状態になると説明されて

いる。だが、そこへ至るまでの時間発展を観察することは、量子力学を少し深く知ることに繋がり、量子コンピューティングを学ぶ上で有用であろう。

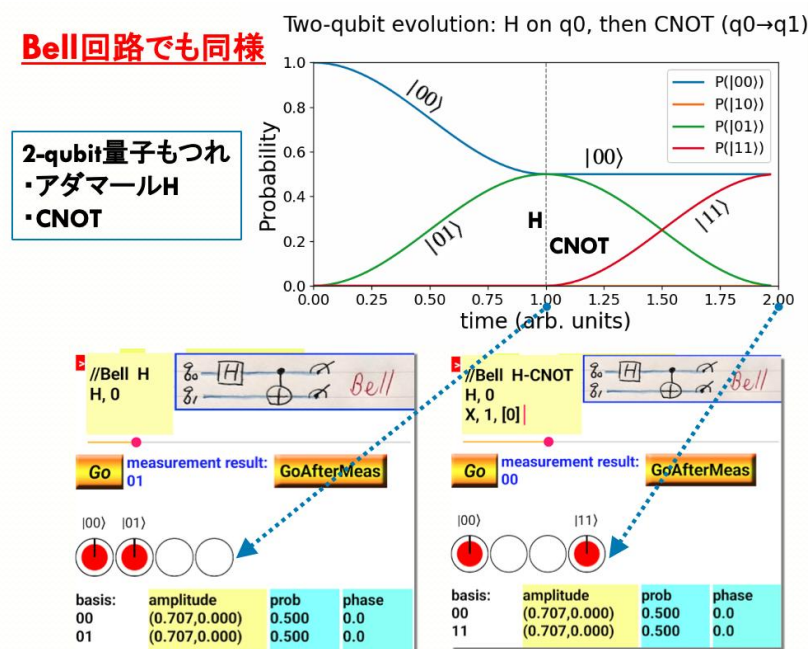


図 5. Bell 回路の時間発展

図 5 の下段に、Bell 回路のシミュレーションのスナップショットを示す。左側は、アダマール変換 H を施した結果を、右側にはその後 CNOT を施した結果である。一方、上段のグラフは、Bell 回路に対応するハミルトニアンを時間発展させた結果である。シミュレーションの前半と後半に分けて、4 つの基底 $|00\rangle$, $|10\rangle$, $|01\rangle$, $|11\rangle$ それぞれの測定確率を描いている。

ここでは、前半と後半がそれぞれ換算時間が 1.0 となるようにしてある。経過時間 1.0 では、シミュレーションの結果と同じく、 $|00\rangle$ と $|01\rangle$ がそれぞれ確率 0.5 で出現することがわかる。また、経過時間 2.0 では、量子もつれを意味する結果が得られている。すなわち、 $|00\rangle$ と $|11\rangle$ の確率がそれぞれ 0.5 に置き換わっていることが確認できる。

(3) シュレディンガー方程式とハミルトニアン

ここまでに出現した、シュレディンガー方程式とハミルトニアンに関する説明を図 6 に示した。結論として、例えば、アダマール変換 H について、時間発展子 $U(t)$ を $t=\pi/\Omega$ (Ω は角周波数) まで進めると、アダマール変換 H の演算結果と同一になる。従って、もはや、シュレディンガー方程式に立ち返らなくて良い。これによって、IT 技術者が量子コンピューティングへ入り易くなる。

少しだけSchrödinger方程式とHamiltonian

● Schrödinger方程式とその解

時間依存Schrödinger方程式：

$$\hbar \frac{\partial |\psi(t)\rangle}{\partial t} = -i \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

$\hbar$ は換算Planck定数

$\hat{H}$ は時間非依存Hamiltonian

$|\psi(t)\rangle$ は時間 t での量子状態

上記は指数関数の微分方程式ゆえ、

$$|\psi(t)\rangle = U(t) |\psi(0)\rangle,$$

$$U(t) = \exp\left(\frac{-i \hat{H} t}{\hbar}\right)$$

● 具体例：アダマール変換Hの場合

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (X + Z)$$

X と Z はパウリ演算子。Hに対応するハミルトニアン $\hat{H}$ を以下に設定。

$$\hat{H} = \frac{\hbar \Omega}{2} \frac{X + Z}{\sqrt{2}}$$

Ω は、駆動角周波数（ラジアン毎秒）

ここで、時間 $t = \pi / \Omega$ に設定すると、

$$U(t) = \exp\left(\frac{-i \hat{H} t}{\hbar}\right) = -i H \doteq H$$

(グローバル位相を無視)

結論：アダマール変換について、時間発展 $U(t)$ を $t = \pi / \Omega$ まで進めると、アダマールゲートHの演算結果と同一になる！
 もはや、Schrödinger方程式に立ち返らなくて良い！

図 6. シュレディンガー方程式とハミルトニアン

5 量子コンピューティングへの期待

本節では、量子コンピューティングが秘める可能性を、筆者のこれまでの、IBM Quantum マシンの使用を含む経験をもとに検討したい。どのようなことが期待され、可能になるのか、その一端を示す。

(1) ハードウェアの進歩（エラー低減）

現在の量子コンピュータの最大の難関の一つは、エラーの低減とエラー訂正であると言われる。最初の図 1 の左側に示した例題（Mermin-Peres Magic と呼ばれる量子もつれを利用した量子プログラム）の、IBM Quantum マシンによる実行結果を図 7 に示した。

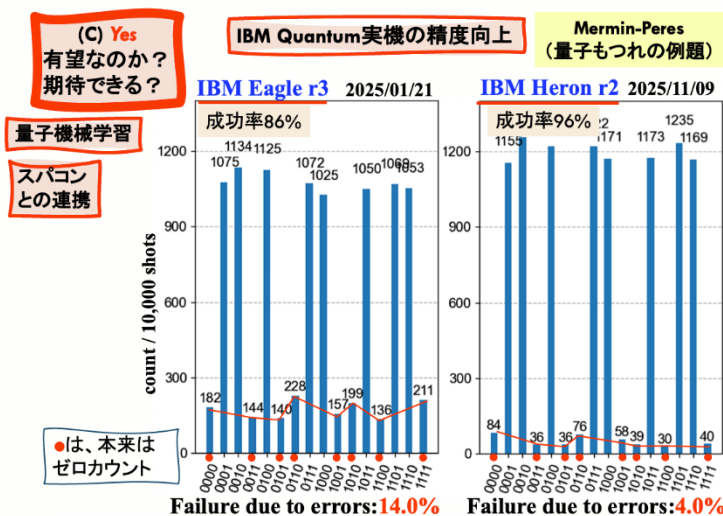


図 7 IBM Quantum マシンのエラー低減

左側の Eagle プロセッサと右側の最新型 Heronr2 プロセッサの結果を見ると、この例題については、横に引かれた波線が示すエラー率（失敗率）が激減している。両者の実行間隔は約 10 ヶ月だが、この間のハードウェアの性能向上に驚く。この例では、正解を得る確率が 86%から 96%に大幅に向上した。これは、多くの量子コンピューティングユーザに希望を与えるものである。

(2) 量子機械学習への期待

ここでは、量子サポートベクタ分類 QSVC を取り上げる。この手法の制御全体は古典 SVC と同じものである。しかし、QSVC では、「入力データの量子状態への変換」と「量子カーネル行列の作成」の 2 点で大きく異なる。

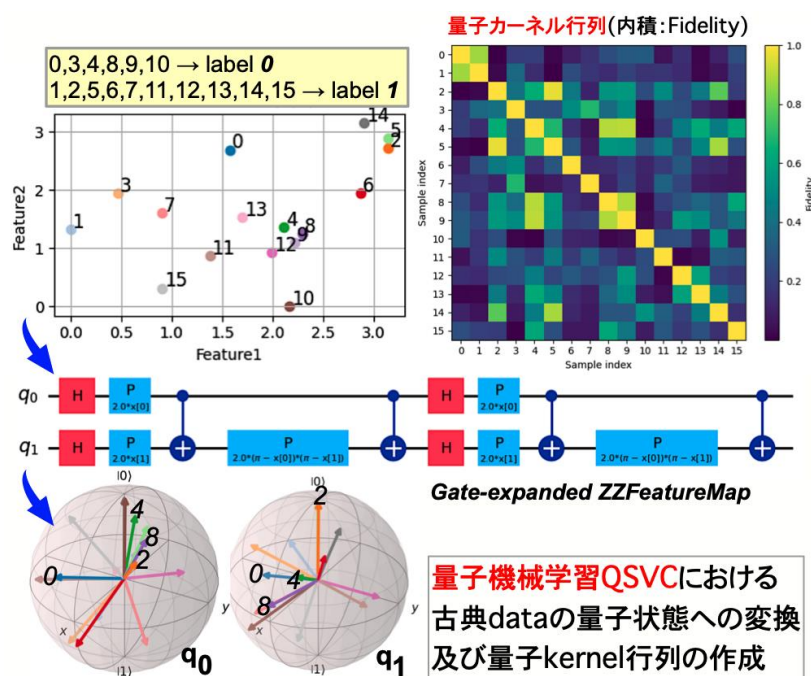


図 8. 量子 SVC (QSVC) の主要部

図 8 は、テスト用の小さなデータセットとして用意した 16 サンプルであり、2つの feature とラベルから成る。これを SVC で学習させて 2 クラスに分類させる。ここでは、ZZFeatureMap と呼ばれる写像で、入力データを量子状態（特徴ベクトル）に変換する。この写像は、古典的には困難な、非線形相関を捉えるように設計されている。次に、この結果を使って量子カーネル行列を作る。その行列の各要素は、2つのデータサンプルの組み合わせについて、状態ベクトルの内積で計算された類似度（fidelity）である。この行列をヒートマップとして表現し、図 8 の右上に示した。

QSVC と古典 SVC の決定的な違いは、内積が計算される空間にある。QSVC の優位性が発揮されるか否かは、その Feature Map が古典的には実現困難な写像（非線形相関を捉えるよう

な) を構築するかによる。図 9 の例では、そのような独特の量子カーネルによって分類精度が向上した。上段に示した分類決定境界の 3D グラフの凹凸からもそれが伺える。

量子機械学習 **QSVC** (Quantum Support Vector Classifier) の成功例

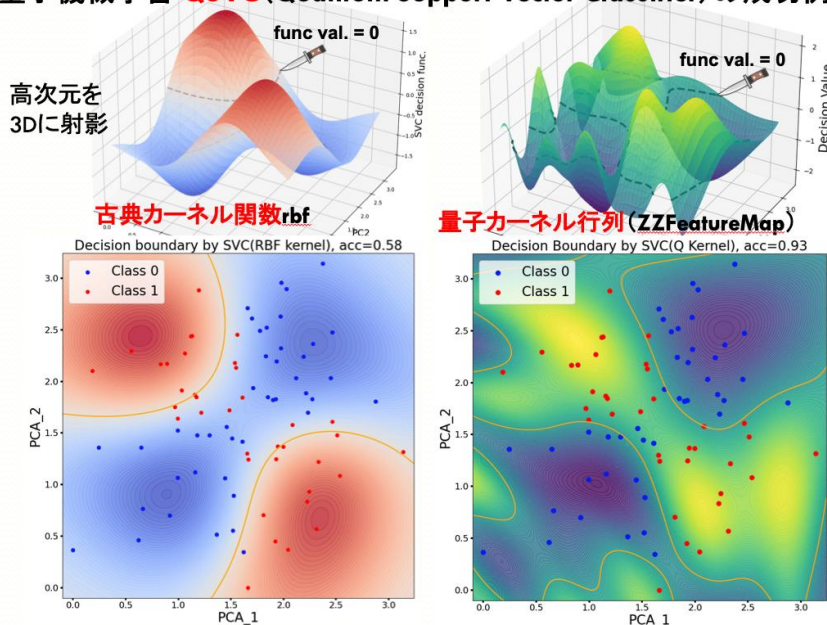


図 9. 量子 SVC による高精度分類の一例

(3) スーパーコンピュータとの連携による実用計算

理研のスパコン（富岳）と IBM の最新 Quantum マシン Heron の連携の枠組みは、図 10 に示す Variational Quantum Algorithm と思われる。化学の電子構造問題や組み合わせ最適化問題では、それぞれ特有のハミルトニアン（エネルギー演算子）の期待値が最小となる量子状態を探す（=基底状態エネルギーを得る）ことが求められる。これを、スパコンとの連携で解く。

ワークフローは図 10 の通りであるが、要点は、スパコン側は、量子コンが推定したハミルトニアンの期待値を受け取り、目的の基底状態エネルギーへ向けた最適化を図る。一方、量子コンは、スパコン側が用意した Ansatz（パラメータ化された量子回路）を測定し、ハミルトニアンの期待値を推定することに徹する。

IT 技術者がこのような問題に取り組むには、必要に応じて量子力学を少し深く学ぶことになるであろう。

理研スパコン富岳とIBM Quantum Heronの連携がスタート
(量子力学の色彩濃くなる。アルゴリズム構成は当方による推定。)

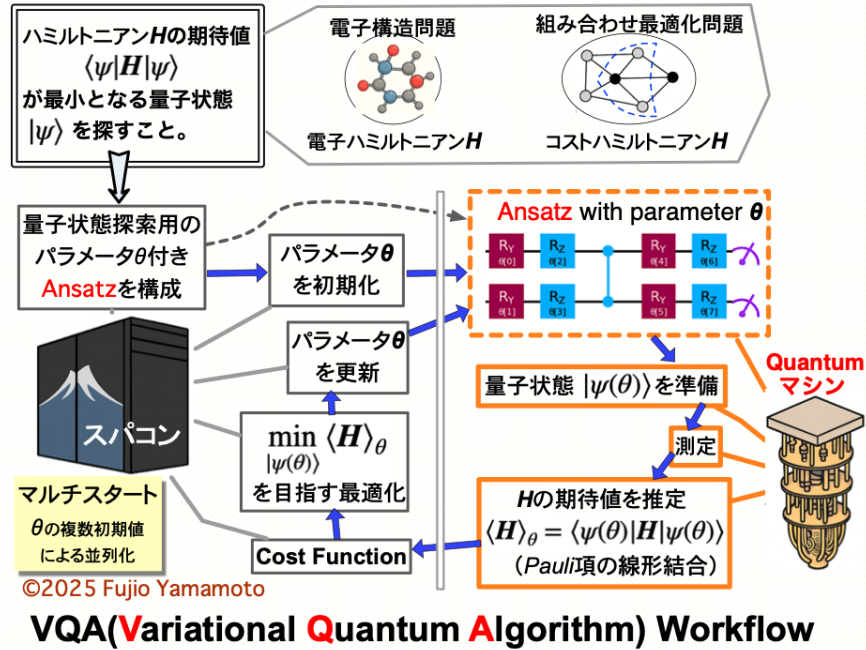


図 10. 量子変分法によるスパコンとの連携

6 まとめ

ソフトウェア開発者や IT 技術者が、量子コンピューティングに取り組むに当たって、必ずしも事前に量子力学を習得していなくても良いことを示した。それは、「適切なハミルトニアン、シュレディンガー方程式に則った時間発展が、論理的な量子ゲートのユニタリ行列演算と等価になる」ことから裏付けられる。また、量子コンピュータのエラー低減や、量子機械学習における新規性、スーパーコンピュータとの連携による実用性などへの期待が大きいことを示した。

量子 Computing の魅力は、ハードの今後の進化で、従来計算速度を凌駕できる可能性があることである。例えば、Shor (因数分解)、Deutsch-Jozsa (データ探索) の実用化などが含まれる。計算速度の他に、古典的には未知の領域の探求がある。そのためには、量子力学の知識も深める必要も生ずるであろう。

参考文献

- [1] Leonard Susskind, Art Friedman, "Quantum Mechanics - The Theoretical Minimum", Penguin Books, 2014.
- [2] 山本富士男ブログ (<https://sparse-dense.blogspot.com/2024/03/a-list-of-my-blog-articles-on-quantum.html>)

- [3] Chris Bernhardt, "Quantum Computing for Everyone", MIT Press, 2019.
(<https://www.chrisbernhardt.info/>)
- [4] Thomas G Wong, "Introduction to Classical and Quantum Computing", Rooted Grove, 2022.
- [5] 宮野健次郎、古澤 明, "量子コンピュータ入門 第2班", 日本評論社, 2016.
- [6] Nivio Dos Santos, "How to Code for Quantum Computers", 2024.

生成 AI による記憶想起トレーニングと回想法の拡張

関根 慧 三枝 亮

神奈川工科大学 創造工学部

1 はじめに

介護現場では思い出に関する写真、音楽、物を用いて過去の経験や感情を語り合う回想法が実践されており、自己肯定感の向上や孤独感の軽減がなされている[1, 2]。しかしながら、介護者への負担は大きく、高齢者自身で記憶を維持向上する手段の実現が望まれる[3, 4]。本研究では人、場所、食べ物などの記憶に関するクイズを作問し、想起トレーニングを行うアプリを提案する[5, 6]。提案方法では生成 AI で生成された文章と画像を用いてクイズを個人最適化し、古い記憶と共に新しい記憶を織り交ぜた想起トレーニングを行う。また、本アプリを用いて高齢者が介護者と思いを振り返ることで、会話の促進や認知機能の活性化を促す。提案方法の有効性を検証するため、介護施設でアプリ体験に関する聞き取り調査を行った。実験ではクイズを個人最適化することで記憶の想起や思い出の発話が促される可能性が示唆された。今後はアプリの AI 機能の拡張や高齢者向け UI の導入を検討する。

2 方法

2.1 記憶想起トレーニングアプリ

本研究で提案する記憶想起トレーニングアプリ Memoria は、タブレット端末に入力されたユーザの記憶情報をもとにクイズを生成し、クラウド AI を用いて個人最適化を行う。Memoria のシステム構成を図 1 に示す。Memoria に入力されるユーザの記憶情報は、画像、画像タイトル、画像分類ラベル、音源の 4 つの要素から構成される。画像はフォトアプリ内の画像や Memoria で撮影した画像、画像タイトルは画像を説明するテキスト、画像分類ラベルは食べ物や風景などを表すラベル記号、音源は音響アプリ内の音源 Memoria で録音した音源である。ユーザの記憶情報に関する入力画面を図 2(a)、思い出リスト画面を図 2(b)にそれぞれ示す。

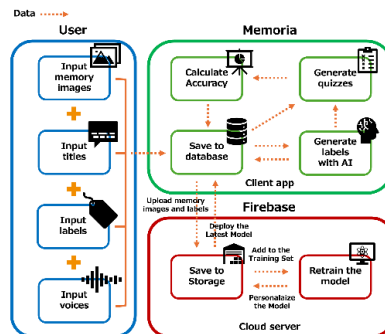


図 1: Memoria のシステム構成



図 2: (a)記憶情報の入力画面, (b)クイズ画面

2.2 画像分類ラベルの推定

本システムには画像の付帯情報 (Exif 情報) から撮影日時や撮影場所 (GPS 情報) を読み取って保存する機能と, 画像から分類ラベルを推定する機能が実装されている. 画像分類には Conv2D 層, MaxPooling 層, 及び, Dense 層からなる CNN を用いて, Animal, Food, Person, Vehicle, View の 5 種類のクラスに画像进行分类する. 本モデルは Tensorflow.Keras の Sequential API を用いて構築し, TensorFlow Lite に変換して実装する. CNN の最終層出力 z_i には Softmax 関数を適用し, 各クラスに属する確率 p_i を式 (1) で求める. 推論時には確率 p_i が最大となるクラスを予測クラス $\hat{k}$ として式 (2) により決定する. 推定器の損失関数は式 (3) とする.

$$p_i = \frac{\exp(z_i)}{\sum_{j=1}^N \exp(z_j)} \quad (1)$$

$$\hat{k} = \arg \max_{1 \leq i \leq N} p_i \quad (2)$$

$$L = - \sum_{i=1}^N y_i \log(p_i) \quad (3)$$

2.3 画像分類ラベルの追加学習

本システムにはユーザが指定する画像分類が実行できるように画像分類ラベルを追加学習する機能が実装されている. まず, ユーザは画像を選択して指定する分類ラベルを入力する. 次に, アプリを介してこれらの情報をクラウド上の Firebase Storage にアップロードして学習データに追加し, 画像分類ラベルの推定器を再学習をする. Firebase Storage で再学習した推定器のモデルをアプリにダウンロードすることで, 画像分類ラベルがユーザごとに個人最適化される. なお, これらの作業はユーザの高齢者ではなく介護者などのアプリ管理者が行う想定である.

2.4 タイトル生成

本システムには画像タイトルを自動生成する機能が実装されている. 画像タイトルの

自動生成には、Firebase AI Logic を活用した。ユーザが画像を選択すると、選択された画像を Bitmap 形式に変換し、Gemini API にプロンプトと組み合わせて送信する。Gemini API から画像を表すタイトルが生成されて返却され、画像タイトルとして保存される。任意でユーザがタイトルを編集することも可能である。

2.5 クイズ機能

本システムではユーザの入力情報より生成される 3 種類の記憶想起クイズが実装されている。記憶想起クイズはそれぞれ、表示された日付に撮影した写真を当てるクイズ、表示されたタイトルから対応する写真を当てるクイズ、表示されたラベルから対応する写真を当てるクイズである。なお、3 つめのクイズのラベルは AI で生成したラベルが使用されているが、前述の画像分類ラベルの追加学習を行うことで、ユーザが追加学習時に指定したオリジナルラベルのクイズを生成することができる。

2.6 個人最適化の実現

本システムでは、音声対話、ストーリー生成、クイズ生成の 3 機能を連携させ、個人最適化を実現する。対話で収集された情報はローカルストレージを介して各機能間で共有され、すべてのコンテンツがユーザ固有の体験に基づき動的に生成される。また、全画面で音声入出力を提供することで、スマートフォン操作に不慣れな高齢者でも直感的に利用できる。Memoria2.0 のシステム構成を図 3 に示す。

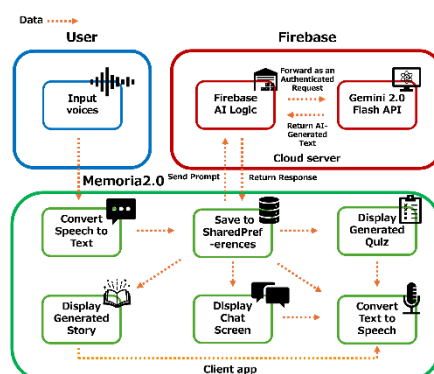


図 3: Memoria2.0 のシステム構成

2.7 音声対話によるプロフィール生成

本システムでは、ユーザのプロフィール情報を収集するために音声対話機能を実装する。端末内の音声認識によりユーザの発話をテキストに変換し、Firebase AI Logic 経由で Gemini API に送信することで自然な対話を実現する。AI は名前、年齢、出身地、趣味、思い出の場所の 5 項目を順番に質問し、具体的なエピソードを引き出す。収集された対話履歴はローカルストレージに保存され、後続の機能で活用される。音声対話画面を図 4(a) に示す。

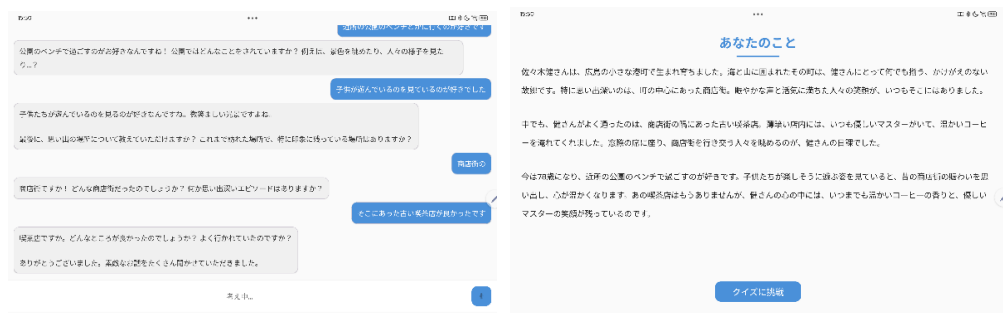


図 4. (a) 音声対話画面, (b) ストーリー生成画面

2.8 ストーリー生成機能

本システムでは、対話で収集したプロフィール情報をもとに、ユーザ個人に最適化されたストーリーを自動生成する。ローカルストレージの対話履歴を Gemini API に送信し、ユーザの実体験に基づいた温かみのある物語を生成する。生成された物語は音声で読み上げられるとともに、ローカルストレージに保存されクイズ生成にも活用される。ストーリー生成画面を図 4(b) に示す。

2.9 ストーリーからのクイズ生成

本システムでは、ストーリーおよび対話履歴から、ユーザ自身の情報に関する 5 問の 2 択クイズを自動生成する。回答後には正解・不正解のフィードバックが視覚と音声で提示され、全問終了後に評価メッセージが表示される。これにより、ユーザが自身の情報を能動的に想起する機会を提供し、認知機能の維持を支援する。

3 実験

3.1 ユーザ体験の評価

高齢者施設居住者を対象に、Memoria の機能評価と長谷川式スケールによる認知機能評価 [7] を実施した。実験は 2 条件で行った。条件 1 では施設の写真を用いた非個別化クイズ (70~100 歳の 10 名)、条件 2 では参加者個人の写真を用いた個別化クイズ (条件 1 から抽出した 4 名) を実施した。両条件のユーザ体験評価を比較し、実験中の参加者行動を分析した。実験の様子を図 4(a)、使用したアプリのクイズ画面を図 4(b) にそれぞれ示す。また、認知機能評価は 90 代女性 1 名を対象に実施した。

表 1: UX Evaluation Results (Condition 1)

Question	ID:2	ID:3	ID:7	ID:8
Age	90+	80-89	80-89	70-79
Gender	F	F	F	F
Easy to use	3	N/A	2	3
Difficulty OK	3	N/A	2	2
# Questions OK	5	N/A	3	3
Refreshed	4	N/A	4	5
Concentration	4	N/A	5	3
Memory helpful	4	N/A	1	1
Continue	4	N/A	1	1
Recommend	4	N/A	1	1

表 2: UX Evaluation Results (Condition 2)

Question	ID:2	ID:3	ID:7	ID:8
Age	90+	80-89	80-89	70-79
Gender	F	F	F	F
Easy to use	4	4	5	3
Difficulty OK	5	5	4	3
# Questions OK	5	5	5	5
Refreshed	4	4	4	4
Concentration	4	3	4	4
Memory helpful	4	4	3	1
Continue	5	4	4	1
Recommend	4	4	4	1

条件 1 と条件 2 の両方を実施したユーザ体験評価結果をそれぞれ表 1, 表 2 に示す. 表の縦軸は質問項目, 横軸は参加者 ID を表し, 各セルは 5 段階評価 (1=全くそう思わない, 5=とてもそう思う) の回答値を示す. 条件 2 は複数項目において条件 1 より高評価であった. 個人に関わりの深い写真は想起が容易なため, 条件 2 では難易度の満足度が高かった. 一方, 条件 1 の施設写真は参加者が意図的に記憶した対象ではないため, 記憶が曖昧で想起困難な場合があり, 正解しても達成感は得られにくかった. 条件 2 では, クイズ中およびクイズ後のコミュニケーションにおいて実験者が参加者から自然に思い出話を引き出すことができた. これにより, Memoria がコミュニケーション活性化ツールとしても有効であることが示唆された. 認知機能評価結果は 15 点であり, 軽度認知障害が疑われる結果となった.



図 5: (a) 実験の様子, (b) クイズ画面

3.2 個人最適化の評価

22 歳の大学生 4 名を対象に, 個人最適化システム Memoria2.0 の効果検証を実施した. 実験では, 個人最適化されたストーリーとクイズを提供する個人最適化システムを用いた. 実験では対話内容から生成されたプロフィール情報の妥当性, 生成されたストーリーの興味関心適合性, 及び, クイズの理解度確認効果の検証をアプリ使用後のユーザ体験評価アンケートによって実施した. 実験の様子を図 6(a), クイズ画面を図 6(b)に示す.

ユーザ体験評価アンケートの結果 (1 部抜粋) を表 3 に示す. 表の縦軸は質問項目, 横軸は参加者 ID を表し, 各セルは 5 段階評価 (1=全くそう当てはまらない, 5=とても当てはまる) の回答値を示す. 全体的に高評価であり, 特に AI との対話やクイズに関する項目で高い評価が得られた. 生成されたストーリーについては, 参加者の興味関心に適合しているが, 間違った情報が含まれている場合があるとの指摘があった. 今後は, 生成されるス

ストーリーの正確性を向上やユーザーからのフィードバックを活用したストーリーの改善を検討する。

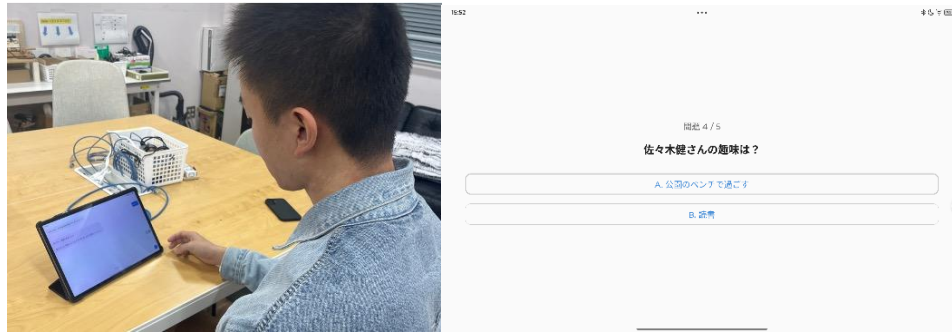


図 6: (a)実験の様子, (b)クイズ画面

表 3: UX Evaluation Results(Personalization)

Question	ID:1	ID:2	ID:3	ID:4
Age	22	22	22	22
Gender	male	male	male	male
AI's questions were easy to understand	5	4	4	5
Conversation tempo was appropriate	5	5	3	5
Voice input was recognized correctly	4	3	4	3
Generated story reflected my talk	4	3	4	4
Story text was easy to read	5	4	4	5
Felt nostalgic reading the story	5	2	3	5
Quiz questions were easy to understand	5	4	5	5
Quiz difficulty was appropriate	3	4	4	5

4 おわりに

本研究では、ユーザの記憶情報をもとにクイズを生成し、クラウドAIを用いて個人最適化を行う記憶想起トレーニングアプリ Memoria を提案した。また、音声対話、ストーリー生成、クイズ生成の3機能を連携させて個人最適化を実現する Memoria2.0 を提案した。高齢者施設居住者を対象とした実験では、クイズを個人最適化することで記憶の想起や思い出の発話が促される可能性が示唆された。さらに、若年層を対象とした実験では、AIとの対話や個人最適化されたクイズに関して高い評価が得られた。今後は、アプリのAI機能の拡張や高齢者向けUIの導入を検討する。

参考文献

- [1] Komase, Y., et al., Comparison of the Effects of Different Memory Types in Reminiscence Therapy on Older People, *Psychogeriatrics*, 25(3), e70036, 2025.
- [2] De-Rosende-Celeiro, I., et al., Co-creation and evaluation of an app to support reminiscence therapy interventions for older people with dementia, *DIGITAL HEALTH*, 10, 20552076241261849, 2024.
- [3] Fisher, E., et al., Barriers and Facilitators to Implementing Cognitive Stimulation and Reminiscence Therapy for Dementia, *Int. J. Geriatr.*

Psychiatry, 40(7), e70124, 2025.

- [4] Guicheteau, J., et al., Attitudes of Nursing Home Managers Regarding Cognitively Stimulating Activities in People With Dementia: A Multicentre Cross- Sectional Study, International Journal of Older People Nursing, 19(5), e12645, 2024.
- [5] Noh, Y.-G. & Hong, J.-H., Know Me Inside-Out: Conversational and Quiz-Based Reminiscence Therapy System for Dementia, Proc. ACM Int. Joint Conf. Pervasive Ubiquitous Comput. Companion, 2024, 809-815, 2024.
- [6] Cho, E., et al., A mobile app to predict and manage behavioral and psychological symptoms of dementia: Development, usability, and users' acceptability, DIGITAL HEALTH, 10, 1-12, 2024.
- [7] Kato, Shinji, et al. "Development of the revised version of Hasegawa's Dementia Scale (HDS-R)." Japanese Journal of Geriatric Psychiatry 2.11 (1991): 1339-1347.

障害者支援における ChatGPT 活用型ワークショップの設計 —生成 AI とメタバース体験による自己表現実践モデル—

西村 美緒^{1,2} 廣川 茉衣² 中村 舞衣子^{2,3}

山口 宙輝⁴ 石田 正浩⁴ 北野 理洋⁵ 白井 暁彦^{2,3}

¹ デジタルハリウッド大学メディアサイエンス研究所

² AICU Japan

³ デジタルハリウッド大学大学院

⁴ グリーエックス株式会社

⁵ 神奈川県 福祉子どもみらい局 共生推進本部室

1 はじめに

障害者の社会参加や就労支援において、感情や身体感覚といった内的体験を他者に伝えることは容易ではなく、自己理解や他者理解を促す表現機会の設計は現場の重要な課題である。特に知的・精神障害領域では、言語表現そのものが参加のハードルとなることが指摘されている。近年、生成AIやメタバースといったデジタル技術は、こうした課題に対し、非言語的かつ体験的な表現手段を提供する可能性を有している。生成AIは専門的スキルを必要とせず内的体験を視覚化できる点で注目されており、メタバースは身体的・心理的制約を軽減した参加環境を形成し得る。一方で、これらの技術を障害者支援に活用する際のリスク評価手法や実装ガイドライン（ELSIを含む）は十分に整理されておらず、自治体や支援現場における導入判断や運用は、個別の工夫に依存しているのが現状である。その結果、他施設でも参照可能な形で整理された教育プログラムは十分に共有されていない。

本研究は、神奈川県事業として実施された「ともいきメタバース講習会」を対象に、生成AIとメタバースを組み合わせたプログラム設計と実装プロセスを整理し、実践報告として提示するものである。

本稿では、約2時間で実施可能な講習会の構成要素と進行手順を明示し、「この手順で進めることで、参加者が生成AIを用いた表現作品の制作やアバターを用いた意思表示ができる」ことを具体的に示すことを目的とする。

2. 先行研究および政策的背景

2.1 教育現場における生成AI活用の動向

近年、生成AIは教育分野への導入が進みつつあり、文部科学省は、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(Ver.2.0)²⁾において、学習支援や表現活動への活用可能性を示している。国内研究においても、軽度知的障害のある生徒を対象とした感情表現支援の実践が報告され、生成AIが非言語的な表現手段として有効であることが示されている³⁾。一方で、これらの実践は個別事例にとどまり、教育現場全体で共有可能

な設計モデルや、他領域へ展開可能な枠組みは十分に整理されていない。

2.2 メタバースを活用した教育・支援実践

メタバースを活用した教育・支援実践については、不登校支援を中心に、心理的安全性の確保や参加のハードルを下げる効果が報告されている。また、顔出しを必要としない仮想空間の特性が、学習者の主体的な参加や学習意欲の向上に寄与する⁴⁾ことも示されている。しかし、メタバースを障害者の自己表現や社会参加のプロセスとして位置づけ、具体的な教育プログラムとして整理した研究は限定的である。

3. 背景

本研究が対象とする「ともいきメタバース講習会^り」は、神奈川県が実施主体となり、「ともに生きる社会かながわ憲章」の理念のもと、障害の有無にかかわらず誰もが社会に参画できる共生社会の実現を目指して企画された障害者支援事業である。本事業は、メタバース空間がイコールフットリングである特性等を活用し、障害者がデジタル空間において安心して自己表現を行い、他者との出会いやつながりを生み出す場を創出することを目的とし、公募型プロポーザルを通じて実施された。

事業全体は、①県による事業公募、②民間事業者による企画提案および採択、③委託契約の締結、④実施に向けた調整、⑤講習会の実施、⑥メタバース空間の開設及び作品の公開という段階から構成されている。以上の背景を踏まえ、本稿の目的は、このうち④実施に向けた調整および⑤講習会の実施段階に着目し、生成 AI とメタバースを組み合わせた講習会プログラムがどのような構成と進行によって成立したのかを整理・提示することである。すなわち、教育者・支援者が自施設で応用可能な形で理解できるよう、プログラム構成および進行手順を構造化した実践報告とする。

なお、本講習会において生成 AI として ChatGPT⁵⁾を採用した理由は、自治体事業での活用を想定し、操作の簡便性、対話的支援への適合性、ならびにリスク把握のしやすさといった観点から事前検討を行った結果によるものである。留意点については、先行研究「障害者の社会参加を支援する自治体向け生成 AI リスクアセスメント手法の設計および評価」⁶⁾においてすでに報告している。

4.1 講習会の概要

ともいきメタバース講習会は、令和 5 年度および令和 6 年度に、神奈川県内の障害者支援施設を対象として実施された対面型講習会であり、1 施設あたり約 2 時間で実施された。対象者は、主に知的・精神障害領域を含む利用者および支援員である。令和 7 年度に向けては、施設や参加者が異なっても一定水準の体験を提供することを目的に、生成 AI やメタバースを活用したクリエイティブ情報メディア⁷⁾およびコミュニケーションデザインに精通した教育者、医師・看護師、学習デザイナーらが連携し、講習会プログラムの共同設計を行った。プログラム設計後、講習会の実施に先立ち、県職員が各施設に対して事前ヒア

リングを実施した。ヒアリング項目は、あらかじめ講師陣と共有・整理した上で設定し、参加者の障害特性、体調面での配慮事項、集団参加の可否等について把握した。これらの情報は書面化され、講師陣に事前共有された。

当日は、事前ヒアリングの内容を踏まえつつ、アイスブレイクを通じて参加者の反応や集中度、デジタル機器利用経験を確認し、進行速度や支援の関わり方、プログラム要素の組み合わせを柔軟に調整する方針とした。これにより、施設ごとや参加者間に条件差がある中でも、講習会全体としての体験の質を一定水準に保つ運営が可能となるよう設計した。

4.2 プログラム構成

各講習会は約 2 時間で構成し、参加者の特性や当日の状況に応じて柔軟な調整を行いつつも、基本的な流れは以下の 4 段階とした。

(1) アイスブレイクおよび事前把握

はじめに自己紹介を行い、好きな色、趣味、将来の夢などについて対話を行うことで、参加者の緊張を緩和した。あわせて、タブレットやアプリの利用経験についてヒアリングを行い、参加者ごとのデジタルリテラシー、性格特性、コミュニケーションの取りやすさを把握した。

(2) デジタルツール体験（メタバース導入）

iPad の基本操作を簡単に確認した後、スマートフォン向けメタバース「REALITY[®]」を用いてアバター体験を行った。アバターになりきって仮想空間内を回遊することで、対面とは異なる自己表現を体験させ、デジタル空間に対する心理的ハードルを低減する導入とした。



自分好みのアバターを作り、顔を出さずにライブ配信。新たに生まれるバーチャルコミュニティにあなたも参加してみよう！

図 1 スマートフォン向けメタバース「REALITY」

(3) 感情・身体感覚の理解と生成 AI 体験

次に、「気持ちを表出することの重要性」⁹⁾や「痛みや体調不良は身体からのサインであり、適切な対処が必要であること」¹⁰⁾について簡単な説明を行った。その後、ワークシー

トを用いて自身の感情や体調を整理し、ChatGPT の基本操作およびプロンプト入力を学びながら①モチーフ、②表現したい気持ちを参加者自身が考案し、画像生成 AI によるイラスト制作を行った。生成された画像は Canva ¹⁾ に取り込み、文字の内容、色、フォント、配置を各自が選択し、個別の作品として仕上げた。実際に使用したプロンプトを以下に示す。

“私は LINE スタンプを作りたいと考えています。(①モチーフ)を題材に、(②表現したい気持ち)を、絵本のようなやさしいタッチで表現したスタンプを、正方形のフォーマットで作成してください。文字は入れず、イラストのみでお願いします。”



図 2 いたみときもちのスタンプ作成シート



図 3 Canva 操作手順

(4) 作品の共有

成果物は生成 AI またはアバターと Canva を用いて制作されたイラスト作品とし、簡単に作品紹介発表と感想交換を行った。

4.3 実施対象と環境

対象施設：障害福祉サービス事業所等 10 施設

実施時期：2025 年 9 月-11 月

使用機材：iPad 10 台、ポケット Wi-Fi 4 台

使用アプリ：画像生成 AI ツール(chat GPT), メタバース (REALITY) , Canva

5. 結果

参加施設：就労継続支援 B 型 5 就労移行支援 1 放課後等デイサービス 1 障害児通所支援事業所 1 市民団体 1 基幹相談支援センター 1 計 10 施設

本講習会では、①生成 AI (ChatGPT) を用いた画像生成によるイラスト作品、
②メタバース空間におけるアバター制作作品の二つを主な成果物とした。

5.1 生成 AI によるイラスト作品

ChatGPT 体験では、参加者が「モチーフ」と「表現したい気持ち」を自ら選択し、ChatGPT へのプロンプト入力を通じてイラストを生成した。生成された作品には、不安、怒り、疲労、寂しさ、困惑、高揚感、達成感、楽しさといった内的体験が、動物やキャラクターの選択、色彩、文字のフォントや配置などを通じて象徴的に表現されていた。ChatGPT によるイラスト作品のうち、異なる感情表現および表現傾向を示す 15 点を図 4 に示す。



図 4 ChatGPT と Canva で制作した AI イラスト作品

5.2 メタバース空間におけるアバター作品

メタバース体験では、参加者が自身の分身としてアバターを作成し、仮想空間内を回遊しながら交流を行った。回遊中に、講師によるガイドを受けながら、アバターの表情操作に伴い顔面筋を意識的に動かし、ポージングを取りながらセルフィー撮影を行った。落ち着いた配色や服装を選択する参加者、明るく誇張したデザインや動きのあるポーズを選ぶ参加者など、多様な表現が確認された。完成したアバター作品から 12 点を図 5 に示す。



図 5 REALITY 内でセルフィー撮影したアバターと Canva で制作した作品

いずれの作品も、特別な描画技術が必要とせず、画像制作に入ってから仕上がりまでの時間は 30 分前後であった。

6. 考察

6.1 メタバースと生成 AI による自己表現の拡張

本講習会では、参加者の多くにおいて、iPad 操作、画像生成 AI、メタバース空間での基本的な操作習得が確認された。これに伴い、デジタルツールに対する抵抗感の低減や、安全な利用に関する理解の深化が観察された。これらの基礎的スキルの獲得は、その後の表現活動を支える前提条件として機能したと考えられる。

メタバース空間では、参加者は表情や身体動作を伴ってアバターを操作し、顔のパーツや髪型・服装などの外見を選択する創作過程を通じて、非言語的な自己表現を行った。

一方、ChatGPT を用いたイラスト制作では、「表現したい感情や感覚」「生成したいモチーフ」を言語として整理し、視覚表現へ変換する体験が行われた。これにより、言語的・非言語的表現を往還しながら用いることが可能となり、自己表現の幅が拡張された。

また、生成 AI は短時間で結果が提示されるため、参加者は生成された作品を見ながら修正や再試行を繰り返すことができた。この高い反復性は、失敗への心理的負担を軽減し、創作への没入や表現意欲の向上を促す要因として機能したと考えられる。

6.2 プログラムが機能した要因

本プログラムが有効に機能した要因として、以下の三点が挙げられる。

第一に、参加者自身が表現内容を選択できるよう設計し、自己表現の主体性を尊重した点である。生成 AI による制作では、完成度よりも「何を表したいか」を重視する方針を明示することで、参加者が評価や正解を意識せずに取り組める環境を整えた。

第二に、メタバース空間を活用したことで、顔出しや対面コミュニケーションに伴う心理的負担を軽減できた点である。仮想空間におけるアバター表現は、参加者が安心して自己投影できる媒介となり、表現活動への参加ハードルを下げる役割を果たした。

第三に、痛みの種類の多さを学び、不安や痛み、怒りといった負の感情も「表現してよい」と事前に共有した点である。これにより、内的体験の表出することへの許容度が高まった。

さらに、本プログラム開発は多職種による共同設計と、事前ヒアリングを起点とした情報整理を特徴としている。事前ヒアリングにより把握された参加者の特性や配慮事項は、当日の進行速度や支援の関わり方、課題設定の調整に反映され、参加者の反応に応じたアダプティブな運用を可能とした。準備段階では一定の人的・時間的コストを要したものの、施設や参加者構成が異なる場合においても、一定水準の体験と成果物の創出が可能となったと考えられる。

7. 結論

本研究は、生成 AI とメタバースを組み合わせた講習会について、そのプログラム構成と実装プロセスを整理した実践報告である。本稿では、「この手順に沿って進行することで、参加者が生成 AI を用いた表現作品の制作やアバターを用いた意思表出ができる」ことを、具体的な成果物を通じて示した。

講習会を通じて、参加者はイラスト制作やアバター表現に取り組み、感情や体調といった内的体験を視覚的に表現し、それを起点としたコミュニケーションの広がりが確認された。プログラム開発時には一定の人的・時間的コストを要したものの、運用段階においては、日常的に利用者に関わっている施設職員が進行可能な内容となっている。操作環境と機材を整えれば、専門的な美術技能や高度な ICT スキルを前提とせず、講習会形式に限らず日常的な支援活動への展開も期待できる。以上より、本プログラムは、自己表現を起点とした社会参加を拡張する実践モデルとして、講師個人の経験や属人的判断に依存することなく、他施設においても再現・応用可能な形で導入し得ることが示唆された。

8. 補足

2026 年 3 月 18 日，本報告を IT シンポジウム 2025 にて口演発表した。
YouTube にて視聴可能であるので参考にされたい。

<https://youtu.be/ypEs05kkqiA>



9. 謝辞

本講習会実施にあたり，グリーエックス株式会社，AICU Japan 株式会社インターンの皆様に多大なるご協力を賜りました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 神奈川県：“ともいきメタバース講習会”
https://www.pref.kanagawa.jp/docs/m8u/meta_koshukai.html
- [2] 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
(Ver. 2.0)，pp.10-12
- [3] 黒田一之，山崎智仁，生成 AI を活用した軽度知的障害生徒への感情表現支援，
日本教育工学論文誌，Paper No.S49157，2025，doi:10.15077/jjet.S49157.
- [4] 山脇香織，メタバースの教育現場における有効性と課題，開発工学
vol.43，No.1，pp27-30，2023
- [5] Open AI：ChatGPT <https://openai.com/chatgpt>
- [6] 中村舞衣子，障害者の社会参加を支援する自治体向け生成 AI リスクアセスメント手法
の設計および評価，DHU JOURNAL vol.12，pp18-22，2025
- [7] AICU Japan <https://www.aicu.jp>
- [8] REALITY <https://reality.app>
- [9] 廣川茉衣，マリモン先生の心のマリモ．Independently published，2025.
ISBN: 979-8291368176
- [10] 西村美緒，痛みが視えれば世界は変わる 自分の痛みをハックせよ，神奈川県工科大学
ホームページ https://www.kait.jp/tech_news/tech_20251023.html
- [11] Canva <https://www.canva.com/>

生成 AI を用いた生理現象の数理モデル化 ～ 血糖値制御機構のモデル化と理解に向けて ～

宮本 理人

神奈川工科大学 健康医療科学部

1 Background and Aims

Regulation of blood glucose by insulin is a key physiological control system, and its disruption causes diabetes mellitus. Although many aspects of glucose-insulin interaction have been clarified, the system remains complex and limits intuitive understanding. Mathematical models can simplify these dynamics and allow simulation under controlled conditions, but conventional frameworks such as Bergman's minimal model have limited ability to capture adaptive and nonlinear responses. Here, we propose a physiologically modified Lotka-Volterra (LV) model that represents the reciprocal relationship between glucose and insulin and reproduces major features of glucose regulation in healthy and diabetic states.

2 Methods

To incorporate physiological realism, we extended the basic equations by adding hepatic basal glucose production (P) and self-regulation of glucose ($-\beta(G-G_n)$, where G_n is normal glucose). For insulin, clearance was made proportional to insulin concentration, and we added basal secretion (I_b) and glucose-stimulated secretion ($+\gamma(G-G_n)$). Model parameters were fitted to clinical data from published sources by generative AI-assisted parameter exploration.

3 Results and Discussion

For healthy subjects, we obtained $I_b = 7 (\mu\text{U/mL})$, $\beta = 0.05$, and $\gamma = 0.5$. Insulin resistance was reproduced by $I_b = 15$ with a threefold decrease in insulin sensitivity (α), consistent with hyperinsulinemia. In insulin deficiency, $I_b = 3$ and $\gamma = 0.15$, reflecting impaired β -cell function. A type 2 diabetes phenotype was reproduced with intermediate values ($I_b = 10$, $\gamma = 0.2$). Simulated oral glucose tolerance tests (OGTT) curves captured typical physiological patterns across these states. Healthy subjects showed a glucose peak of $\sim 160 \text{ mg/dL}$ that normalized within 3 hours. The insulin resistance model produced higher insulin and delayed glucose recovery, whereas the deficiency model showed

prolonged hyperglycemia with low insulin levels—each consistent with clinical observations.

In conclusion, the modified LV model successfully reproduced glucose-insulin dynamics across physiological and diabetic states, with parameters that directly reflect biological functions. This simplified yet physiologically grounded framework provides a useful tool for visualizing diabetic mechanisms and, with generative AI-driven parameter optimization, supports personalized modeling and education by promoting intuitive understanding of physiological regulation.

LLM を介した教育資料データベース接続および質疑応答・講義記録システムの構築と今後の教育への応用について

鈴木 亮吾¹ 柴田 陽平¹ 酒井 優成¹ 武田 力¹ 橋本 龍輝¹ 東 千夏子¹
中込 拳斗¹ 宮本 元稀¹ 池 毅恒¹ 千葉 天翔¹ 松山 慈桜² 山崎 日向杜²
田中 元気² 宮澤 主吏² 黒田 悠斗² 中村 享矢² 菅原 颯太郎² 広井 賀子^{1,2,3}

¹ 神奈川工科大学 創造工学部

² 神奈川工科大学 工学部

³ 神奈川工科大学 大学院工学研究科

1 はじめに

大規模言語モデルが開発、公開されて以来、現在までにその機能を軸にして開発された AI エージェント、すなわち一定の目的や権限を与えられると、それに沿って自律的に判断・行動する機能を持つツールの実現にまで至り、現代社会のインフラとまで言われるほど急速に AI 技術が発展、生活に浸透している。教育を提供する仕組みの中でも、学生が学習の過程で AI を利用することを避けるのは難しい。一方、積極的に学習過程に AI を取り入れることを考えた場合、どのような取り入れ方が学習にあたって良い効果をもたらさうか、さまざまな検討が進められつつある状況と言える。

本研究では、個別最適化教育の実現に向けた補助ツールの開発を目的とし、LLM を介して学習資料のデータベースにアクセスし、使用者が自由に内容について質問、回答を得、その質問のやり取りの内容をログとして残せるシステムを開発した。このようなツールの使い方などについて、先行研究に基づく問題とともに以下に提起する。

2 方法および結果

2.1 先行研究の調査

開発するツールの使用法について考察するため、AI 利用の教育効果に関する先行研究の調査を行なった。以下に二つの事例を示す。

(例 1) Learning with AI falls short compared to old-fashioned web search (author: Shiri

Melumad & Jin Ho Yun, <https://doi.org/10.64628/AAI.eqghtgf5t>, Published: November 19, 2025

1.21pm GMT)

著者らの行った実験では、特定のテーマを説明する資料を用意する際に、LLM を使用した参加者は、割り当てられたテーマについて学ぶ量が少なく、課題について浅いアドバイスを作成する可能性が高く、アドバイスの受け手は従来の検索よりも LLM を使用して書かれたアドバイスを受け入れる可能性が低いと判断された。著者らは AI ベースの学習における負荷の欠如が更なる知識収集のモチベーションを低下させるため、学習タスクに健全な摩

擦を課して積極的に学習するよう効果的に動機づけを促すことが、LLM が日常生活で不可欠となる可能性が高い世界に備える方法を学生に提供することになる、と考察している。

(例 2) AI ネイティブ層の英語スピーキング力の低下(<https://www.efjapan.co.jp/epi/>)

本先行研究は直接学習において AI を利用した実験を行ったものではない。

内容としては、全世界で 220 万人の参加者の英語能力指数をさまざまな指標でランキングしているものであり、例えば国別のランキングでは、日本は 123 カ国中 96 位と低く、アジアの中でも 25 カ国中 18 位と低い。

今回注目する点は日本人の英語力が低いという点ではなく、グローバルで統計を世代別にとった場合の時系列変化で、18~20 歳という AI ネイティブ世代の英語力が、過去 4 年の間に極端に低下しており、そのような傾向は他の世代ではみられない、という点である。さらにこの傾向は、アジアで特に顕著に表れている。

2.2 個別最適化教育の実現に向けた補助ツールの開発

個別最適化に向けた仕組みとして、1) 個人の質疑 log の保存機能、2) LLM による随時質疑応答機能、3) 聞き逃し防止のための講義録音・要約機能、4) LLM を介した要約による多言語対応機能を持つツールの開発を行なった。また携帯電話を含めて使用環境を選ばず利用できるようにするため、web アプリとして開発を行なった。

学習用 AI ツール開発にあたり、Google Drive 内に講義資料データベースを構築した。また log および音声データ保管用フォルダを同 Drive 内に設置した。Google Drive にアクセスするための API key および LLM として Gemini を利用するための API key を取得、ユーザからのファイルのやり取りおよび言語による対話式 UI の実現に使用した。ツール内に logger function を定義し、使用者の log をローカルに保存すると同時に、指定した Drive 内に保存する仕組みとした。Drive 内の講義資料を検索、使用時にローカル環境に取得、表示する function を定義した。オーディオファイルを生成し、内容は Gemini でテキスト化、要約、保存は HTML で行う function を定義した。これらの機能を統合し、対話形式で利用するための Gemini ルーターを記述し、用意した機能に接続できるようにした。ローカルサーバは flask を使って実現した。Gemini に専門的な内容を期待した内容で回答させるために、fine-tuning および RAG を利用した。

開発したツールを用い、Windows 11, Mac OS, iOS, Android で使用できることを確認した。講義資料を日本語で部分的な資料内容を指定するだけで呼び出すことが可能であることを確認した。講義途中でチャット形式で質問し、その内容をログとして Drive 内および指定したローカルフォルダ内に残すことができることを確認した。また講義を録音し、講義が終わると講義内容の要約ノートが出力されることを確認した。要約ノートは指定の言語で作成可能であることを確認した。

図 1 に開発したツールの使用画面の例を示す。

A.

B.

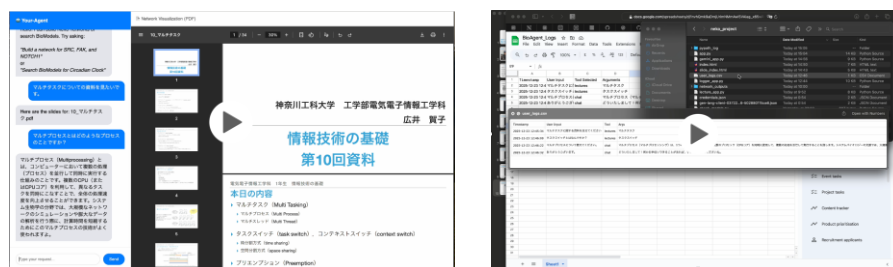


図 1. 開発したツール使用画面. A. 資料を見ながらチャット機能で質問をしている様子. B. サーバ内に保存された質問ログの csv と、データベース内のログデータ。

3 考察

今回、AI を利用した学習補助ツールを開発した。開発目的は個別最適化教育実現の補助ツールとして利用できる AI ツールの開発であった。

一方、先行研究として取り上げた 2 件のように、LLM を利用して簡単にサーベイと文章まとめが行えることが、浅い調査と質の低い資料作成という結果に結びついたり、簡単に利用できる翻訳ツールの存在を自由に使いこなす能力が高い世代ほど本人の語学力が下がる様子が確認されるなど、LLM に頼った学習過程が学習者の能力にもたらす影響はポジティブに見えない例が散見される。

このような事例から、今回開発したようなツールを利用する際に、教員から学習者に対して促すべき注意事項などがあるのではないかと考えた。以下に考察項目を列挙する。

3. 1 LLM に提示された調査内容を再検索する

学習しなければならない課題に対して、LLM が提示してきた内容をそのまま読んで終わりにすると、浅い学びになることが先行研究例 2.1 より伺える。そこで、LLM を使った調査を禁止するのではなく、LLM を使った調査内容が正しいかどうか検証することを義務付ける、特に、出典元を突き止めることを義務付けることで、サーベイ時間の短縮と、学びが浅くなることを防ぐ効果が望めると考える。

3. 2 一次体験を大切にさせる

翻訳は LLM が本来得意としている機能であり、近年のリアルタイム翻訳ツールの利便性は目を見張るものがある。一方、このようなツールに頼った場合、本人が語学力を習得できないことは、統計結果を見ると強く示唆されていると考えられる。

このようなケースでは、実際にはツールを使える環境にある限りは、使ってしまう方がコミュニケーションはスムーズに進む可能性がある一方、AI ツールは全て基本的に電力およびネットワーク接続を必要とするため、電力がない状況、ネットワークがない状況、またはネットワークに接続することが危険な場合など、自己の能力を必要とするような状況での対応力が低くなることを意味している。

そこで教育者の立場としては、ツールを使う機会と使えない機会を設け、可能な限り自身の一次体験とそこから得られる平均値では置き換えの効かない情報の希少性を高く評価する

システムを教育内容に導入することを検討するべきであると提案する。

LLM がすでに学習している既知の情報の組み合わせでは得られない発想、結論など、希少性の高い情報や体験を高く評価することで、学習者が AI に頼らずに自分の体験、他者が持つことのない情報の保有者となる機会に積極的になるよう仕向ける。

3.3 具体的なツールの使用上の注意の例

- 1)自分の質問の回答として得られた内容のログを調べなおさせる宿題を出す。
- 2)要約ノートの内容が正しいか、読み直して自分で再編集する宿題を出す。
- 3)講義のテーマについて、LLM が答えない内容で、自分の体験に基づく関連事項を話すように、授業中に当てて短く話させる。
- 4)現在使うことができるツールより便利なツールを自分専用に開発させる、など。

4 おわりに

本研究は個別最適化教育の実現に役立つ AI ツールの開発を目的としてツール開発を行った。同時に、AI を教育に利用した事例に関する調査を進めるうちに、返って修学の妨げになる可能性がある、という点について疑問が起き、実際に効果的な使い方をするにはどうしたら良いか、どのような使用法を促せば本来の目的を果たせるか、についての考察を行なった。今後の教育現場での参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] Learning with AI falls short compared to old-fashioned web search (author: Shiri Melumad & Jin Ho Yun, <https://doi.org/10.64628/AAI.eqghtgf5t>, Published: November 19, 2025 1.21pm GMT)
- [2] EF EPI 英語能力指数 <https://www.efjapan.co.jp/epi/>
- [3] Yohei Shibata, Yusei Sakai, Koya Takahashi, Noriko F. Hiroi. Development of advanced speciality-informative models with fine-tuning of Generative Pre-trained Transformer . International Joint Workshop on AI and Robotics 2024

運転能力低下に対する介入効果と学校教育歴の関係 ～高齢ドライバの実運転情報に基づく個別安全指導における AI 活用の試み～

野中 卓志 根本 哲也 伊藤 安海
山梨大学 大学院総合研究部

1 はじめに

高齢者の増加¹⁾に伴い、高齢ドライバが関与する交通事故の割合も増加しており²⁾、重大事故につながりやすいために社会的に問題視されている³⁾。これらの背景には、加齢に伴う動体視力や注意力の低下、複数情報処理能力の低下などが影響し、危険の発見や判断の遅れが事故誘発因子として指摘されており、事故を起こす前に、どのように免許返納を促すかが社会的課題となっている。

その一方で、地方部では公共交通機関が十分に整備されていない地域も多く、免許返納によって買い物に行けなくなるなど、高齢者の生活の質（QOL）を著しく低下させるケースも報告されている。そのため、単純に免許返納を促すのではなく、「安全に運転を継続できるための支援」が求められている。

山梨県警をはじめとする一部の県警では、ドライブレコーダ（DRIVING RECORDER, DR）に記録された普段の運転映像を用いた個別安全指導を実施しており、運転行動の行動変容を促しやすい手法として実務現場で注目されている。集合講習のような一般的な教育とは異なり、個々の運転行動に直接働きかけるため、短期間で改善が期待できる点も特徴である。

これらの指導は、DR 映像を参照に交通法規、事故分析、現場経験に基づく警察官の専門的知見から経験的に判断・指導するものであることから人的資源の消費が大きいという問題点が挙げられる。個別安全指導の実施状況をイラストにしたものを図 1 に示す。

本報では、2026 年度に山梨県において実施予定の運転介入の試みについて紹介する。この運転介入では、高齢ドライバの実運転情報に基づく個別安全指導において運転能力低下に対する介入効果を評価するとともに、学校教育歴の関係についても検証する。また、DR 映像の危険場面（インシデント）抽出および危険行動の要因分析と分析結果に基づく指導指針に AI を活用する予定である。



図 1 個別安全指導実施状況

2 ドライビングシミュレータを用いた運転トレーニングにおける学校教育歴との関係

運転教育に関する先行研究としては、著者らが運転能力向上の取組としてドライビングシミュレータ（DRIVING SIMULATOR, DS）を用いたトレーニングを行い、運転能力関連スコアに対して学校教育歴が長いほど良い結果となることが明らかになっている⁴）。本項ではDSを用いた運転トレーニングにおける学校教育歴との関係について述べる。

2.1 先行研究における教育歴と運転能力の関連性

高齢ドライバーの運転能力向上を目的とした取り組みとして、DSを用いたトレーニングは国内外で広く実施されている。これまでの研究では、DSによる危険回避課題の成績が加齢に伴う認知機能の低下だけでなく、生活歴や社会的背景の影響を受けることが指摘されてきた。その中でも特に注目されているのが学校教育歴であり、教育年数が長い高齢者ほどDS課題で高い成績を示した。教育歴は高齢期の認知処理能力と関連し、注意配分、情報処理速度、判断力など運転に必要な機能に影響するためである。DSの実施状況を図2に示す。



図2 DS実施状況

2.2 教育歴と TMT 成績の関係

教育歴と認知機能の関連は、視覚探索や注意転換を評価する TRAIL MAKING TEST (TMT) でも確認されている。先行研究では、教育年数が長い群で TMT-A/B の所要時間が短く、認知処理の効率が高いことが示されている。これらの知見は、教育歴が高齢者の認知機能に影響し、その差がDS課題の成績にも反映される可能性を示唆している（図3、4参照）。

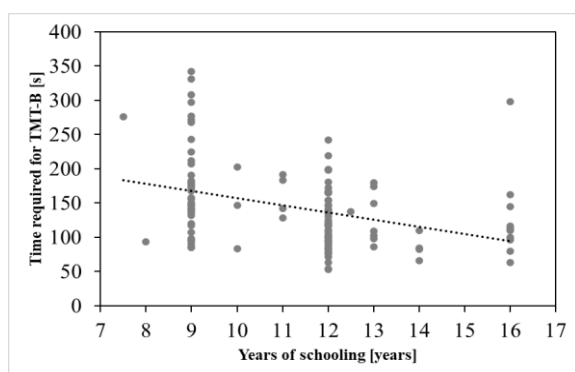


図3 学校教育年数と TMT-A の関係

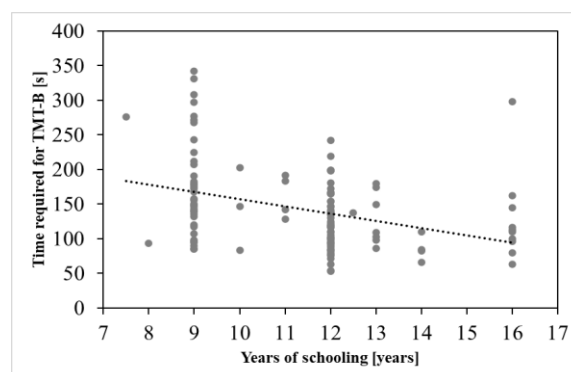


図4 学校教育年数と TMT-B の関係

2.3 教育歴と DS スコアの関連

DS による危険回避課題では、前方の障害物に対して適切なタイミングで車線変更を行うため、周辺視野の活用、注意配分、判断力、操作精度など複数の能力が求められる。これらは TMT で測定される認知機能と関連しており、教育歴が長い個人ほど高い DS スコアを示す傾向が確認されている。教育年数 12 年以上の群では平均以上の成績を示す者が多く、図 5 に示すように 12 年未満の群では低得点となった。

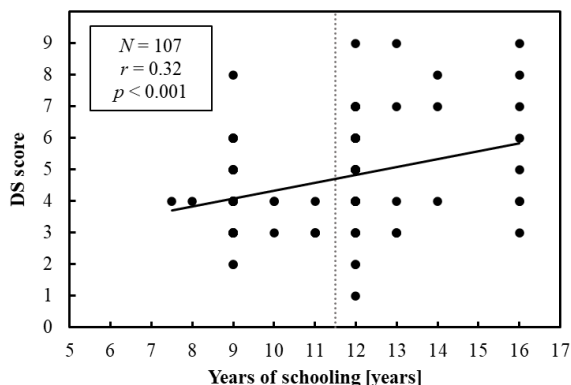


図 5 学校教育年数と DS スコアの関係

2.4 教育歴を踏まえた DS トレーニングの意義

DS トレーニングによる結果から、教育歴は高齢ドライバの認知機能および危険回避能力に影響する重要な要因であると考えられる。

ここで、DS は実交通環境の複雑性を再現できていないことから、より実態に即した評価と指導を実現するために、実運転情報に基づく個別安全指導に焦点を当て、教育歴が実運転場面において指導等の介入に対してどのように影響を及ぼすのか明らかにする。

3 実運転情報に基づく個別安全指導

高齢ドライバの実運転情報に基づく個別安全指導において、DR 映像は、交差点進入時の判断や視線の偏り、加減速の癖など、日常の運転行動を詳細に捉えることができ、実態に即した評価と指導を可能にする。また、実運転に基づく指導は行動変容を促しやすく、教育歴による個人差が介入効果にどのように影響するかを検証する上でも有効である。

本章では、実運転情報を活用した個別指導の意義と課題を整理し、従来は警察官の経験に依存していたインシデント抽出や指導内容の判断を AI によって標準化する取り組みについて述べる。

3.1 高齢ドライバの運転特性

高齢ドライバは、加齢に伴う認知機能や身体機能の低下により注意の分配や反応が遅れやすく、交差点での見落としや歩行者との接触リスクが高まる。加えて、長年の運転経験から形成される「マイルール」や地域特有の運転習慣が安全運転基準と乖離する場合もあり、これらが事故リスクを高める要因となっている。

3.2 DR を用いた個別安全指導の特徴と課題

DR 映像は、日常の運転行動を具体的に把握できる点で有用である。実運転に基づく指導は、本人が自らの運転行動を客観的に理解しやすく、短期間で行動変容が生じやすいことから、現場での活用が広がっており、実務的な指導効果が期待されている。

一方で、DR 映像の確認には多大な時間と労力を要し、インシデント抽出や指導内容の判断が担当者の経験に依存するため、基準のばらつきが生じやすい。特に指導対象者を広げ大規模運用を想定した場合、映像確認の負担がネックとなり、継続的な指導体制の構築が難しいという課題がある。

これらの課題を踏まえ、本研究では DR 映像と専門的知見を組み合わせ、AI によるインシデント抽出と指導プロセスの標準化を目指す。AI が映像解析と指導基準の照合を行うことで、属人的な判断を補完し、効率的かつ一貫した指導を可能にすることが期待される。

3.3 運転行動分析の AI 化

本研究では現状の個別安全指導の課題を解決し、指導プロセスを標準化するために、図 6 に示すように、AI が映像解析と指導基準の照合を行うことでインシデントを自動的に抽出し、その結果を基に指導計画を作成、指導者である交通法規や事故分析に通じた警察官が、それに基づく知見を踏まえて AI が抽出したインシデントを確認し、最終的な個別安全指導を行う。これにより、従来の属人的な判断に依存したプロセスを標準化し、判断の一貫性を確保することが可能となる。

さらに、AI による自動抽出は、映像確認にかかる人的負担を大幅に軽減し、より多くの高齢ドライバーに対して継続的な指導を提供できる体制の構築にも寄与する。従来はマンパワーの制約から大規模な個別安全指導の実施が困難であったが、AI の導入により、持続的かつ効率的な運用が可能となることが期待される。また、AI がインシデントを判定するための指導基準の決定に、警察官、医師、学術経験者、自動車メーカーなどの専門

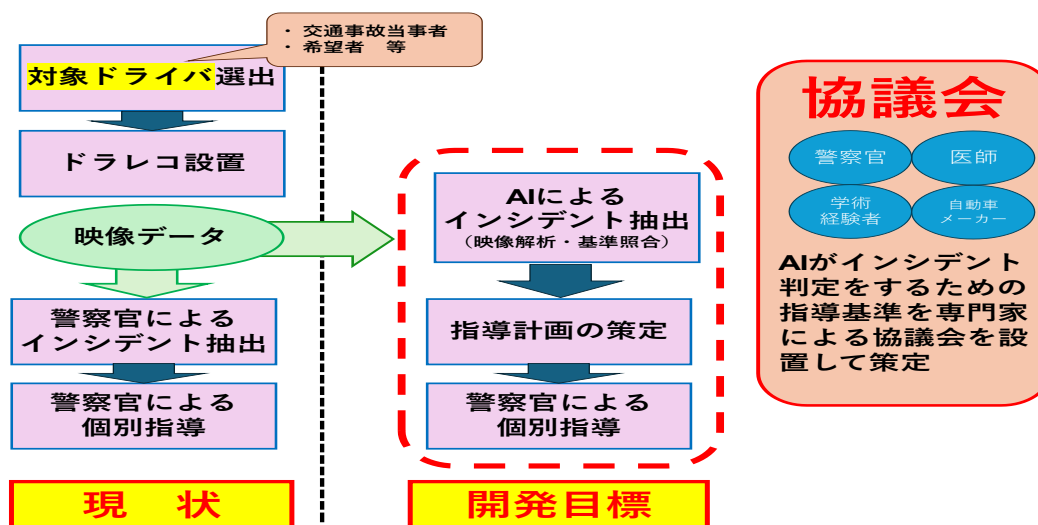


図 6 ドラレコ映像を活用した運転行動分析と指導プロセスの構造比較

的知見に基づいた判定基準を導入することにより、AI による抽出結果の信頼性を担保する仕組みが構築される（これら専門家による協議会を 2026 年度から設置予定）。

以上のように、DR 映像を用いた運転行動分析は、現状の指導者（警察官）による指導プロセスを補完しつつ、AI 技術の導入によって効率化と標準化を実現するものであり、高齢ドライバーの安全運転支援における重要な基盤となる。

4 AI による運転評価の自動化

本研究における AI は、指導者（警察官）の指導支援を行うツールであり、従来からの指導プロセスは踏襲した上で作業の効率化と標準化を支援するための手段とする。

DR 映像には、運転者の判断や操作、視線の偏りなど、実運転に特有の行動特性が含まれており、これらを継続的に分析することでインシデントの傾向を客観的に把握できる。本章では、こうした実運転情報を用いた運転評価の自動化に向けた取り組みについて述べる。

4.1 データ収集と指導基準の整備

山梨県警と協定を締結し、高齢ドライバーの実運転を記録した DR 映像と車両挙動データを収集し、警察官がインシデントとして判断した箇所と指導内容を紐づけた学習データセットを構築する。これにより、実運転行動と専門的判断を結びつけた解析基盤が整備される。

さらに、インシデント抽出や指導内容の判断には担当者の経験差によるばらつきが生じやすいため、警察官、医師、学術研究者、自動車メーカーなどによる専門家委員会を設置し、インシデントの定義や分類、指導内容の体系化、評価指標の定量化などを整理した統一的な指導基準を策定する。

この基準は、解析システムの学習データ作成および指導プロセスの標準化に不可欠な役割を果たす。

4.2 運転行動分析の自動化

DR 映像の解析には、画像から特徴を抽出する CNN（Convolutional Neural Network）と、運転行動の時間的変化を扱う LSTM（Long Short-Term Memory）を組み合わせた機械学習手法を用いる。CNN は車間距離不足や歩行者接近といった視覚的特徴を捉え、LSTM は急減速や車線逸脱に至るまでの行動の“流れ”を把握することができる。

これらを統合することで、警察官が危険と判断する場面を自動的に抽出し、指導基準に沿った形で整理することが可能となる。

解析システムが映像を処理し、指導基準と照合することでインシデントを抽出し、指導計画の基礎情報としてまとめる。警察官は抽出結果を確認し、交通法規や事故分析に基づく専門的知見を踏まえて最終的な指導を行う。この仕組みにより、映像確認の負担が軽減

されるとともに、担当者間で生じやすい判断のばらつきを抑え、より多くの高齢ドライバに対して継続的かつ一貫した指導を提供できる体制の構築が期待される。

4.3 評価方法

構築した仕組みの評価は、解析システムと警察官の判断の一致度、従来の手作業と比較した映像確認時間の削減量、指導前後の運転行動の変化、さらに高齢ドライバの理解度や納得度といった複数の観点から行う。これらを総合的に検証することで、実運転に基づく個別安全指導の有効性と、解析システムの実務適用可能性を評価する。

5 まとめ

DR 映像を用いた個別安全指導は、実運転に基づく具体的なフィードバックにより行動変容を促しやすく、短期間で改善が期待できる点に特徴がある。筆者が関わった現場でも、指導後に運転行動が改善し、再事故が減少したと感じられる事例があり、実務的な有効性が示唆されている。ただし、これらは体系的に収集されたデータに基づくものではなく、体系的なデータ収集が今後の課題である。

一方で、従来の手法は映像確認の負担が大きく、インシデント抽出や指導内容の判断が担当者の経験に依存するため、標準化が難しいという課題があった。本研究では、警察官の専門的知見と DR 映像を組み合わせ、AI によるインシデント抽出と指導内容の体系化を進めることで、属人的な判断を補完し、効率的かつ一貫した指導プロセスの構築を目指している。

さらに、教育歴を含む個人特性が実運転に基づく介入効果にどのように影響するかを検証することで、短期的な行動改善のメカニズムを科学的に明らかにし、高齢ドライバ支援策の実効性向上に寄与することが期待される。

参考文献

- [1] 内閣府（2023）『令和 5 年版 高齢社会白書』内閣府.
- [2] 警察庁（2023）『令和 5 年版 交通安全白書』警察庁.
- [3] 損害保険料率算出機構（2022）『自動車事故の分析レポート：ペダル踏み間違い事故の発生状況』損害保険料率算出機構.
- [4] 徐琴，伊藤安海，土屋駿丞，上運天和輝，佐藤桂，山田隆一，簡易検査の組み合わせによる高齢ドライバの適切な運転能力評価手法の検討ー富士河口湖町シニアドライバー支援事業における分析ー，日本交通科学学会誌 Vol. 22 No. 2, pp3-14, 2023. 2. 28

フィジカル AI を用いた自動運転競技における工学・情報学の統合教育実践

小宮 聖司¹ 脇田 敏裕²

¹ 神奈川工科大学 工学部

² 神奈川工科大学 研究推進機構

1 はじめに

我が国は Society 5.0 の実現に向けた教育の情報化を推進しており、中等・高等教育課程における AI 教育の重要性が急速に高まっている[1, 2]. AI 教育は抽象的な概念を含むため、座学に留まらず、仮想空間の知能を物理的な実体の実装する「フィジカル AI」を通じた実践的な学びが、工学と情報学の統合的な理解を促進し、知識の定着に寄与すると考えられる.

そこで本研究では、データ収集、学習 (AI モデル生成)、および AI 走行 (推論) のプロセスを一貫して体験できる AI 教育教材 (KAIT Qt 等) を開発・活用し、高大連携講座ハンズオン講習会および自動運転競技会「KAIT Racer GP」へ適用した[3].

本稿は、ハンズオン講習会や競技実践およびアンケート結果の紹介、これらを通じ「モノづくりと情報の融合」を体感する過程、予期せぬ事態への現場対応力の涵養等の教育的効果について述べる.

2 AI 自動運転教材 (KAIT Qt)

KAIT Qt は、京商製 MINI-Z 等で広く認知されている 1/28 スケールを採用した小型・軽量の AI 自動運転教育教材である. 車載マイコンには Raspberry Pi 3A+ を搭載し、3D プリンタ製部品の活用により高いメンテナンス性と安価な構成を実現している.

本教材は Donkey Car 方式による模倣学習を採用しており、従来の 1/10 サイズと比較して約 2m 四方の省スペースで実習が可能であり、初学者にも扱いやすい. AI モデルの生成には計算資源を要するため、マイコンではなく外部のノートパソコン等を活用する. 車両とは SSH 接続を行い、Windows11 などで行われている SCP コマンドあるいは RCP コマンドを GUI で操作できるアプリを用いてデータの送受信を行う. その過程で、ターミナル画面でコマンドを入力するなどによる Ubuntu のコマンド操作を実習できる. 車両は外部 PC との連携により、GPU 搭載などの高度な PC を必要とせず、小型マイコンでも AI による高度な自動運転(推論走行)を可能とし、情報学と機械工学の融合を実践的に学ぶ環境を提供している.

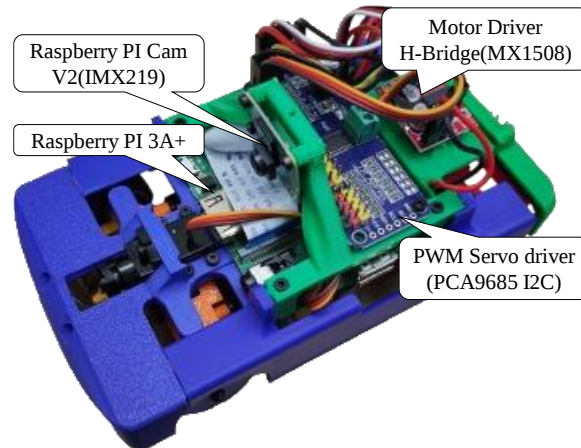


Fig. 1 AI 自動運転教材 KAIT Qt

3 フィジカル AI を用いた教育実践

フィジカル AI を用いた教育実践例として、KAIT Qt を高大連携講座や全学的な競技会である KAIT Racer GP に適用している。学生や高校生は自ら製作した車両の性能を競い合う過程で、「モノづくりと情報の融合」を体感する。AI 自動運転の仕組みを学んだあと、具体的な教示データの収集および AI モデルの生成、最後に実走までを実機を用いて修得する。修得の成果として、後述する KAIT Racer GP に参加する。また、講習会から KAIT Racer GP までに得られた経験及び成果等を 12 月の高校生発表会で総括する。

3.1 AI 自動運転競技会 (KAIT Racer GP)

AI 自動運転競技会（KAIT Racer GP）は、AI に対する興味はもとより、ハードウェアの具体的な挙動や車両運動などに対する探究心の啓発、能動的な学びのきっかけとして実施されている。本競技会では、ソフトウェアとハードウェアの総合的なシステムの実機として、1/28 スケールの AI 自動運転教育教材「KAIT Qt」等を用いる。競技は特設コースにおける制限時間内での周回数を競う形式であり、参加者は自ら製作した車両・人工知能・運動制御による性能を競い合う。この過程で情報科学と工学の融合を実践的に学び、予期せぬ事態への現場対応力を養うことが可能である。学科を横断した大学生や高校生さらには一般社会人等が参加しており、他チームとの競い合いや教え合いが参加者の刺激となり、学修モチベーションの向上に大きく寄与している。このように、実機を用いた競技を通じて、産業の新たな発展に資する高度な人材育成が期待されている。競技会コース全景を Fig.2 に示す。

3.2 高校生発表会

本学と連携校の合意の下で行われる高大連携講座に参加した高校生が、発表を通して

講座の成果をお互いに確認し、プレゼンテーションスキルの向上を図る場である。

Fig.3 に高校生発表会ブックレットを、Fig.4 に高校生による発表資料を示す。



Fig. 2 競技会コース全景



Fig. 3 高校生発表会ブックレット

F『AI技術を自動運転ラジコンカーで学ぶ』

1 講座の概要 (指導: 機械工学科 脳田敏裕 教授、小宮聖司 助教)

頭脳となるマイコンと、目となるカメラを搭載したラジコンカーで自動運転を行います。

まず既定のコースをマニュアル走行し、データを取得しAIに学習させた後に、その学習結果を用いてAIが走行・競技するという体験を通して、AI技術を理解し、その使い方を学習しました。

今回行われた「AI自動運転ラジコンカーレース KAIT Race GP」では、高校生チーム、大学生チーム、さらに一般からも参加があり、コース上に設けられた障害やカーブをクリアし、規定時間内の周回

数を競いました。人工知能や運動制御による性能を競うことで産業の新たな発展に資する人材育成も目的の一つです。



2 受講校の発表概要

(1) 神奈川県立大和高等学校 【ビデオ発表】

○結果

上にくいのだった。

AI がコースを把握する際に必要とする情報: 道路と壁の模様や位置関係の変化
今日の結果: 「①壁面が十分に認識できない。」②道路自体の視覚的变化が大きい。」 = 情報不足



①壁面が十分に認識できない。
各物体の色彩: 壁面(鮮やかなオレンジ色と黒い模様) 壁面下部(影が重なったことで黒に近い茶色に...) → 模様様の区別が付きにくい。
よって、道路との位置関係を捉えにくい。



②道路自体の視覚的变化が大きい。
カーブする際に、遠近法の影響で右下視覚情報が増える。しかし、それだけでは情報が見えなかった。

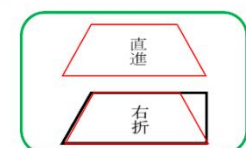
○改善案

直進しているときや曲がるときに得られる視覚情報を取

○車が正常に走らなかった原因の考察

カメラ上部の位置に伴う位置情報の欠如

得しやすくなる。
そのために... カメラを構えていた板の高さを変更して、視野を広げる。



○感想

[Aチーム]

コースのギリギリを攻めるピーキーな調整をしていた結果、カメラ上部を構えていてセンサーとしての性能が下がってしまっている車両では正確に走り抜けることができなかった。そのため、車内特性を見直したのが良かった。

[Bチーム]

障礙にぶつかるとの力を極力避けるために道の中央を走るように学習させたが、学習中に蛇行運転やスレスレな位置の運転などをしてしまい、それが原因で衝突が複数回確認された。そのような結果から、AIによる自動運転は、安全走行を学習させて成り立つものだと考えた。

[Cチーム] (優勝チーム)

最初はインコースを走らせてタイム短縮を目指したが何回か学習させてもうまくいかなかった。そのため、欲張らずにきちんと一周走り切ってくれるように道の真ん中を走らせ、曲がるときに適切な減速でインコースを攻めることをせよと指示した。このような工夫で他チームに比べて少ししか道を外れず、何とか走り切ることができた。来年も参加できるのであれば、欲張らずにデータを取り学習させつつ、もう少し速度を上げられるように「攻め」と「安定」の適度な加減を工夫していきたい。

Fig. 4 高校生による発表資料

4 学習過程における感情ダイナミクスの分析

本研究では、高校生が課題に取り組む過程でどのような感情の揺れが生じていたのかを明らかにするため、記述文を対象とした情動分析を行う。学習過程における感情は、挑戦・失敗・調整・達成といった実践的活動を支える重要な要素である。

そこで、高校生による発表内容の感想文や発表資料から抽出した感情表現を数値化することで、その推移や状態を定量的に可視化し、学習の内面的な進行を捉える。

分析にあたっては、記述文を文単位に分割し、日本語評価極性辞書等に基づき、文中の感情語から感情価（Valence）および覚醒度（Arousal）を算出した（表 1）。

感情価とは文章に表出したポジティブ／ネガティブ感情の程度を-3～+3の範囲で表す指標である。算出手順として、文中に複数語が含まれる場合はその平均値を算出し、さらに否定（「～ない」）、強調（「とても」）、逆接（「しかし」）といった表現に対しては、先行研究の手法に倣い、符号の反転や重み付けによる文脈補正を加えた。これにより、個人の主観的な振り返りを定量的なデータとして構造化している[4,5,6]。

次節以降では、この手法により得られた値を用い、「(1) 感情価の時系列変化」および「(2) 二次元マッピングによる情動構造」の二つの観点から分析結果を詳述し、多角的な情動理解から本講座の有効性を分析する。辞書ベース手法は文脈依存の限界を持つが、本研究は相対的推移の把握が目的であるため妥当であると判断した。

Table 1 List of Emotion Terms with Valence-Arousal Scores

term	valence	arousal
嬉しい	3	2
楽しい	3	2
達成	3	2
満足	2	1
安心	2	-1
よかった	2	1
最高	3	3
不安	-2	2
怖い	-3	3
難しい	-2	1
最悪	-3	2
悔しい	-2	3
疲れ	-1	-1
苦しい	-2	2
困る	-2	1
緊張	-1	3
興奮	1	3
集中	1	2
落ち着く	1	-2
安定	2	-1

調整	1	1
成功	3	2
失敗	-2	2
危ない	-2	3
攻め	1	3
挑戦	1	3
改善	2	1
工夫	2	1
納得	2	0
安堵	2	-1

4.1 感情価の推移（起伏）の時系列分析

前述の手法により算出した感情価（Valence）を学習フェーズの進行に沿って時系列順にプロットし、学習過程における「感情の起伏」を可視化した結果について述べる（表 2）。分析の対象とした Team C の情動軌跡からは、実践的課題特有の非線形な感情変化が確認された。

まず、初期挑戦フェーズでは、課題の不確実性や操作への戸惑いから、感情価は-1（ややネガティブ）を示した。しかし、続く方針転換・調整フェーズでは、失敗原因の特定と対策（コース中央の走行への変更等）が功を奏し、感情価は 3.5 へと劇的に回復・上昇している。その後、リスク管理を意識した安定化フェーズでの一時的な停滞（2.4）を経て、最終的な完走・達成フェーズでは、達成感と納得感が同居する最高値の 4.0 に到達した。

このように、「ネガティブな谷」から「ポジティブな山」へと至る一連の回復プロセスは、単なる成功体験の積み上げではなく、失敗や困難を契機とした内省と調整が学習の推進力として機能していたことを示している。

これは感情変動が比較的平坦で受動的になりやすい座学とは対照的であり、実機を用いた競技課題が、学習者の主体的関与を伴う「動的な学習」を実現していることを定量的に裏付けるものである。

Table 2 Temporal Dynamics of Emotional Valence

フェーズ	感想文	Valence	解釈
初期挑戦	曲がり方が難しい，不安だった	-1	ややネガティブ．初期の戸惑いが出た．ただし離脱ではなく，課題把握の途上．
方針転換・調整	調整したら安定してきた	3.5	ポジティブへ大きく回復．改善行動が感情を好転させ，次段階への動機づけに．
安定化	安定，抑える，慎重に	2.4	ややポジティブ．無理に攻めず，制御・リスク管理へ意識が向く．小休止的な落ち着き．
完走・達成	狙い通りに走れた，嬉しかった，達成	4	高いポジティブ．達成感と納得感が同居．内省を伴った「完結」状態．

4.2 感情価×覚醒度による感情マップ分析

学習過程における感情の特徴をより多面的に把握するため、感情価（Valence）と覚醒度（Arousal）の二次元指標に基づく感情マップを作成した。感情価は快-不快の方向性を示す質的指標であり、覚醒度は緊張・興奮・集中など情動の強度を示す指標である。本研究における熱量とは、学習者が課題に直面した際にどれだけ心理的に活性化し、注意や関心を持って主体的に関与しているかを示すエネルギーに相当する。両者を組み合わせることで、単なるポジティブ／ネガティブ判断にとどまらず、学習者がどの段階でどのような強さの感情を経験していたのかを立体的に捉えることが可能となる。

算出した Team C の感情価と覚醒度の値を表 3 に示す。これを二次元空間にプロットすることで、学習プロセスにおける情動状態の分布と特徴的なパターンを可視化できる。分析の結果、ネガティブな局面（初期挑戦）においても高い覚醒度が維持されている点や、最終フェーズ（完走・達成）でポジティブかつ高覚醒な状態へと到達している点が確認された。これにより、実践的課題特有の「高い熱量を伴う学習プロセス」が構造的に明らかとなった。

Table 3 Valence-Arousal Emotional Map (Team C Only)

フェーズ	感想文	Valence	Arousal	解釈
初期挑戦	不安、難しい	-1	2.5	ネガ×中覚醒：離脱ではなく課題把握。
方針転換	調整、改善	3.5	3.8	ポジ×中高覚醒：改善行動が機能。
安定化	安定、余裕	2.5	2	ポジ×低中覚醒：落ち着いた満足。
完走/達成	達成、次に向けて	4	5	ポジ×高覚醒：達成感+内省。

4.3 考察

時系列分析では、初期の不安や困難に起因するネガティブ感情が、調整や再挑戦を通じて回復し、最終的にポジティブ感情へと転じる過程が観察された。これは、失敗と改善を繰り返しながら理解を深めていくという、試行錯誤型の学習の本質を反映している。

本研究で明らかとなった、Team C の記述に繰り返し見られた「不安」「難しかった」といった初期のネガティブ感情が「原因が分かって安心した」「調整したら安定した」といった中盤の回復過程を経て、最終的には「嬉しかった」「達成感があった」というポジティブ感情へと転じていく情動の軌跡は、課題に向き合い続ける中で感情が大きく揺れ、その揺れ自体が学習の推進力として働くことを示すものである。

これは、感情変動が比較的平坦で、理解の停滞が「静的なわからなさ」として現れがちな一般的な座学と異なり、実践的課題ではネガティブ～ポジティブの幅広い情動と高い覚醒度（緊張・集中）を伴う「動的な学習」が生じていたことを端的に示している。

Valence-Arousal マップの結果からは、ネガティブ感情であっても覚醒度が高い状態が確認され、学習者が困難に直面しても課題から情動的に離脱せず、解決に向けた強い熱量を持って試行錯誤を継続していたことを示唆している。たとえば感想文には「思った通りに走らず悔しかった」「原因を探しながら試した」といった表現が見られ、ネガティブ感情であっても課題に向き合う姿勢が維持されていたことが読み取れる。また、最終段階で見られた「ポジティブ × 中～高覚醒」の分布は、「うまく行って嬉しい」「狙い通りに走って達成感がある」といった記述とも対応しており、単なる成功体験にとどまらず、内省を通じた理解

の深化が生じていた可能性を示す。これらの広がり、実践的課題の学習に特徴的な情動ダイナミクスと考えられる。

一方で、Team C のフェーズ 3 においてプロットが原点方向へ一時的に移動した点は、“落ち着きのある集中”とも呼べる内省的フェーズであり、実践的課題における重要な移行点と考えられる。

このように、Team C が経験した、ネガティブ × 高覚醒 → 調整的な中庸状態 → ポジティブ × 中高覚醒、という一連の情動変化は、感情が単なる背景ではなく、学習の進行を支える推進力として機能していたことを示している。特にフェーズ 3 の“静的な集中”状態は、座学では生じにくい実践課題特有の内省プロセスであると考えられる。

座学は感情変動が穏やかで受動的になりやすいが、実践的課題では困難や失敗がネガティブ感情と高覚醒を励起し、行動の再構成を促す学習の推進力となると考えられる。この情動的ダイナミクスの可視化は、成果物評価では捉えきれない学習者の内面的変化を理解し、実践学習の価値を裏付ける有効な手法と考えられる。

4.4 高大連携講座における「動的な学習」の成果と評価

フィジカル AI を用いた自動運転競技を実践できる、高大連携講座は単なる知識習得に留まらず、失敗や調整を伴う「動的な学習」を通じて、AI を身近なものとして実感させる貴重な場であると考えられる。以下に感想文から得られたキーワードを列挙する。さらに得られた結果を基に座学との比較を Table 4 に示す。

- ・試行錯誤を通じた学び:

「安全走行を学習させて初めて自動運転が成り立つ」といった AI の本質の理解や、カメラの視野を遮るバイザーの影響による視覚情報の欠如といった失敗原因の考察など、深い内省が見られた。

- ・感情の起伏とモチベーション:

レース後の振り返りでは、「悔しかった」「来年も参加したい」といった強い意欲や、困難（ネガティブ感情）を乗り越えて達成感（ポジティブ感情）を得る「回復」のプロセスが見られた。

- ・現場対応力:

競技本番での想定外の事態に対し、仲間と協力して解決策を考える経験が、実社会で生きる「タフさ」や「思考能力」の向上に寄与していると考えられる。

Table 4 Comparing Emotional Dynamics, Engagement, and Learning Outcomes between Lecture-based and Experiential Tasks (Race/PBL)

観点	座学 (Lecture-based)	実践課題 (Race/PBL)
感情の推移	比較的平坦で変動が小さい (理解の進行に応じて緩やか)	谷→回復→上昇など非線形。挑戦・失敗・調整・達成に連動
覚醒度 (熱量)	低～中の範囲に収まりやすい。長時間で低下しやすい	中～高を維持。困難局面でも高覚醒が観測
ネガ感情の役割	停滞・不安として現れるが行動の再構成に直結しにくい	次の探索や再設計の契機として機能 (推進力)
関与 (エンゲージメント)	受動的になりやすい場面がある	主体的判断・方針転換・試行錯誤が継続
評価可能性	到達度・正誤・レポートで評価しやすい	従来は評価が難しい内面的変化を情動指標で可視化
学習アウトカム	概念理解・用語整備・基礎技能	内省・設計判断・失敗からの回復力 (レジリエンス)

4 おわりに

本研究では「フィジカル AI を用いた自動運転競技における工学・情報学の統合教育実践」として、小型 AI 自動運転教材「KAIT Qt」および競技会「KAIT Racer GP」を開発・活用した。近年の座学教育では AI 支援ツールの活用による効率的な知識習得が進んでいるが、そこでの学びは感情変動が穏やかで受動的になりやすく、不理解が「静的な停滞」として現れる傾向がある。これに対し、本実践や高大連携講座では、実機が不確実な物理空間を走行する中で、失敗や調整を伴う「動的な学習」が展開された。情動分析の結果、実践的課題では困難局面において高い覚醒度（熱量）を維持した動的な回復プロセスが確認された。これは、現場対応力や失敗を糧にするレジリエンスを育むものである。実機を用いた競技を通じて学習者の熱量を駆動する本手法は、Society 5.0 時代に求められる実践的エンジニア育成において、極めて有効かつ独自の教育的価値を有している。

参考文献

- [1] 會澤 宣一, Society 5.0 にむけた工学教育, 工学教育, 67(4), 11-12, 2019
- [2] 内閣府, 第 6 期 科学技術・イノベーション基本計画, <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html> (2025.12.10 参照)
- [3] 小宮 聖司, 脇田 敏裕, 自動運転技術学習支援教材 KaitCV の開発と教育実践, 工学教育, 70(2), 30-36, 2022
- [4] 小林のぞみ, 乾健太郎, 松本裕治, 立石健二, 福島俊一, 意見抽出のための評価表現の収集, 自然言語処理, 12(2), 203-222, 2005
- [5] 加藤 みずき, 藤田 哲也, 情動喚起語に対する評定による符号化の効果, 日本認知心理学会発表論文集, 2018(0), 48-48, 2018
- [6] 徐 恃源, 尾関 智子, 否定語の影響と単語の重要度を考慮した近似 VAD スコアによる感情認識チャットシステムの開発, 言語処理学会 第 31 回年次大会 発表論文集, 503-507, 2025

LLM から教員制御可能な問題生成システムへ ～生成戦略の DSL 形式化による教育支援～

前田 篤彦

神奈川工科大学 情報教育研究センター

1 はじめに

教育において、学習者が表層的なパターン認識に陥らず深い理解を獲得するためには、多様な演習問題への反復的な取り組みが重要である[1, 2]。特にプログラミング教育では、学生が狭い範囲の問題タイプに繰り返しさらされると、堅牢なメンタルモデルを発展させるのではなく表層的なパターン認識に依存する傾向があり[3]、高い不合格率の一因ともなりうる[4]。しかし、教員が手動で多様な問題を作成することは作業負担が大きい。

近年、大規模言語モデル (LLM) は多様な教材を生成する可能性を示している。しかし、実際の教育現場での利用には以下の課題が存在する。

- (1) 生成される問題の品質が不安定である[5]。
- (2) そのため人間の監修が不可欠である[5]。
- (3) 問題生成のたびに LLM を呼び出すため計算コストが高い。
- (4) 同じ問題を再生成できない (再現性の欠如)。

本研究では、LLM から問題生成「戦略」を一度抽出し、それをドメイン特化言語 (DSL) を使って形式化することで、上記の課題を解決する手法を提案する。DSL は、生成される問題の内容を教員が事前に把握・確認でき、必要に応じて調整可能なルールベースの記法であり、LLM を呼び出すことなく繰り返し問題を生成できる。本稿では、プログラミング教育における実証を通じて、このアプローチの有効性を示す[6]。さらに、プログラミング教育以外の一般的な科目への拡張として、宣言的知識の習得を目的とした選択問題生成用の DSL を新たに設計し、本手法の一般化可能性を論じる。

2 提案手法

2.1 LLM からの戦略抽出プロセス

本研究では、Python プログラミング教育におけるプログラム読解演習問題を生成するため、Claude Sonnet 4 に DSL の仕様 (JavaScript で実装した DSL のインタプリタのプログラム) とサンプル Python コードを提供し、対話的に Python のコードに DSL アノテーションを生成させた。このプロセスで以下を指示した。

- (1) 基本コードへの DSL タグの追加
- (2) 学生の典型的なエラーパターンの組み込み
- (3) 適切な難易度レベルの維持

生成された DSL テンプレートは教員が確認し、必要に応じて調整した。この「LLM によ

る初期生成→教員による検証・調整」のプロセスにより、LLM の生成能力と教員の専門知識を組み合わせることができる。

2.2 DSL 設計

我々が開発した DSL は、図 1 に示すように、プログラム読解演習問題を生成する。DSL は、プログラムコード内にコメントとして記述された XML スタイルのタグを使用する。これらのタグは、囲まれたコードセグメントに適用される変換ルールを指定する。

タグの一部を紹介すると、meta[includeBlock] タグは、指定された確率でコードフラグメントが出現することを可能にし、meta[replace] は対象のコード断片を別の記述に置き換える。meta[select] タグは複数の meta[option] ブロックを含み、生成時に一つが選択される。タグは複雑なバリエーション生成のためにネストでき、プログラミング言語に依存しない設計となっている。

この設計により、教員は生成ルールを直接確認でき、必要に応じてパラメータ（出現確率や代替候補）を調整できる。また、同じテンプレートから同じシード値で同じ問題を生成できるため、再現性も確保される。

```
1 # <meta[replace]: p="0.2" target=":" with="">
2 #   <meta[replace]: p="1.0" target="2" with=["2","3"]>
3 for i in range(2):
4 #   </meta[replace]>
5 #   <meta[includeBlock]: p="0.5">
6     print("a")
7 #   </meta[includeBlock]>
8 #   <meta[replace]: p="0.2" target="2" with=["i","3"]>
9     for j in range(2):
10 #       </meta[replace]>
11         print("b")
12 #       <meta[includeBlock]: p="0.5">
13 #         <meta[replace]: p="1.0"
14 #           target="\t\t" with=["","\t","\t\t"]>
15         print("c")
16 #       </meta[replace]>
17 #     </meta[includeBlock]>
18 #   </meta[replace]>

1 for i in range(2):
2     print("a")
3     for j in range(3):
4         print("b")

1 for i in range(3):
2     for j in range(2):
3         print("b")
4     print("c")
```

図 1 DSL の記法の例（上）と生成される問題のバリエーションの例（中，下）

2.3 実装システム

我々は、クライアント側の Python 実行と自動採点機能を備えたブラウザベースの問題生成環境 (DSL ランタイム) を構築した。学生はプログラム実行結果を予測し、答えを入力し、即座にフィードバックを受け取る。一部の演習にはエラーを生成するコードが含まれ、エラー認識能力も養う。この設計により、教育的制御を維持しながら、多様な練習教材の効率的な作成が可能になった。

3 評価実験

3.1 実験設定

評価は、Python を使用した入門プログラミング科目で実施された。我々は、算術演算、制御構造 (if 文、ループ)、関数 (引数とグローバル変数を含む)、データ構造 (文字列、リスト、辞書) をカバーする 15 の問題セットを開発した。各問題セットは、複数のバリエーションを生成できる DSL エンコードされたテンプレートで構成されていた。

この研究は、DSL 生成問題を使用する介入グループと、前年度の静的練習問題を使用する対照グループを比較する準実験デザインを採用した。介入グループは、正解が 10 点を獲得し、不正解が 10 点減点となる採点システムの下で DSL 生成問題セットに取り組み、100 点を達成するまで継続した。対照グループは、セッションごとに 10~20 の静的問題を解いた。両グループとも同一の事前テストと事後テストを受験した。

3.2 結果

この実験には 86 名の参加者 (介入グループ 35 名、対照グループ 51 名) が関与した。統計分析により、事前テストスコアにグループ間の有意差はなく、ベースラインの等価性が確保された。事後テスト結果は正規性の仮定に違反したため、ノンパラメトリック検定を使用した。

マン・ホイットニーの U 検定を、全体比較と事前テスト中央値スコアに基づく層別分析のために実施した。多重比較となるため、ホルム法による調整も行った。結果を表 1 に示す。分析により、介入グループの全体的な有意な改善が示された ($U = 1203.5$, $p = 0.0186$)。事前テストにおける高成績者では差がなかったが ($p = 0.1654$)、低成績者では有意な改善が見られた ($U = 323.0$, $p = 0.0230$)。

表 1 評価実験の結果

Group	<i>n</i>	<i>U</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Overall	86	1203.5	0.30	0.0186*
High performers	43	281.5	0.21	0.1654
Low performers	43	323.0	0.39	0.0230*

* $p < 0.05$; Group split by pre-test median

4 考察

最も重要な発見は、DSL 生成問題の効果が学生の事前テスト成績によって異なる点である。上位成績学生は静的問題／DSL 生成問題の違いに関係なく同等の学習効果を示したが、低成績学生は DSL 生成演習を使用した場合に大きな改善を示した。

低成績学生へのインタビューは、これらの学習メカニズムに関する洞察を提供した。ある学生は「生成された演習に取り組む前は、コードを注意深く読んでいませんでした」と述べた。この学生は、プログラムの実行順序を正しく処理できている場合もあったが、ループ内の `print(i); i+=1` と `i+=1; print(i)` はなぜか同等として扱っていた。別の学生は、if 文の直後に関数定義を見ると、両方の構造がインデントされたブロックを使用するため、関数がすぐに実行されるものと読み取ってしまいがちだったが、多様なバリエーションに繰り返し取り組むことで、正確なコード読解スキルが定着したと報告した。

これらの報告は、DSL 生成による多様性の有効性に関する 2 つのメカニズムを明らかにしている。第一に、多様なバリエーションにおいては、静的問題では通用していた表層的なパターン認識への依存を、学生が手放さざるを得なくなると考えられる。第二に、バリエーションに繰り返し触れることは、概念の正確な理解を定着（自動化）させるのに役立つ。学生が誤解を招く視覚的手がかりを超えて真の意味理解に移行することを可能にする。

5 一般科目への適用

次に、プログラミング教育以外の一般的な科目への本手法の適用可能性を検討する。具体的には、自然言語による宣言的知識の習得が求められる科目において、選択問題を自動生成する場面を想定する。

5.1 一般科目向け DSL の設計方針

プログラム読解問題ではコード中に XML タグを埋め込む DSL を用いたが、一般科目では対象がソースコードではなく知識項目であるため、異なる DSL 設計が必要となる。一般科目向け DSL に求められる要件を以下に整理する。

- LLM を活用した効率的なデータ生成：教員が講義で使用するテキスト等を LLM に入力し，DSL の仕様に従って問題生成の元データ（知識項目と正誤の関係）を生成させる．
- 教員による容易な確認・修正：生成されたデータに誤りや曖昧な記述がないか，難易度が適切かなどを，専門的なプログラミング知識がなくても教員が確認・修正できる必要がある．
- 多様な問題バリエーションの自動生成：検証済みのデータから，学習者が表層的なパターン認識に陥らない多様な問題を自動生成できることが求められる．

5.2 DSL の記法

上記の要件に基づき，一般科目向け DSL を考案した．この DSL では，XML ではなく，通常の箇条書きに近い形で記述できる YAML 形式を採用し，コンピュータサイエンス系以外の教員にも扱いやすい記法とした．以下に，「機械学習」の問題を題材とした DSL 記述の例を示す．

相互不正解グループ：

- 対象知識：CNN

正解：

技術的特徴：

- 畳み込み層を持つ
- プーリング層による空間サイズの削減
- 局所結合性を活用する

利点：

- 画像の局所的なパターンを効率的に学習
- 平行移動不変性を持つ
- 全結合層より少ないパラメータで画像を処理

不正解：省略（相互不正解グループ配下では，他の対象知識の正解は不正解とみなす）

- 対象知識：RNN

正解：

技術的特徴：

- 再帰的な構造を持つ
- 隠れ状態を時間ステップ間で伝播
- 可変長の入力系列を処理可能

利点：

- 時間的な依存関係を学習可能
 - 系列の長さに依存しないパラメータ数
 - 過去の情報を記憶できる
- 対象知識: Transformer
- 正解:
- 技術的特徴:
- 自己注意機構 (Self-Attention) を使用
 - 位置エンコーディングで順序情報を付加
 - マルチヘッドアテンション
 - 並列計算が可能な構造
- 利点:
- 長距離依存関係を直接モデル化
 - 並列処理による高速な学習
 - スケーラビリティに優れる

この DSL の主要な構成要素について説明する。「相互不正解グループ」は、複数の対象知識（上記の例では CNN, RNN, Transformer）を束ねる単位であり、グループ内のある対象知識の正解項目が、他の対象知識に関する問題では自動的に不正解として機能する。これにより、教員が不正解を個別に記述する手間が軽減される。一方、単一の知識対象に関する問題や、相互に不正解として利用できない知識の組み合わせでは、通常の「グループ」を用い、各対象知識に対して正解・不正解の両方のリストを明示的に記述する。

各対象知識の下には「技術的特徴」や「利点」などのカテゴリーを設定できる。カテゴリーは科目に応じて「応用分野」「歴史」など自由に定義可能である。また、各リスト内の項目は下位にいくほど難易度が高くなるよう配置する仕様とし、難易度に応じた問題生成を可能にしている。

5.3 問題生成の流れ

上記の DSL の記述例は、Claude Opus 4.5 に DSL の仕様を与えて実際に出力させたものの一部である。教員は LLM の出力に対し、対象知識ごとの正解・不正解の正確性を確認する。検証・修正済みの DSL データは処理系にセットされ、正解選択（単一・複数）、不正解選択、逆引き問題など多様な形式の問題が自動生成される。

5.4 一般化の意義

以上のように、一般科目向け DSL においても、本研究の基本的な枠組み—LLM によるデータ生成、教員による検証・修正、処理系による多様な問題の自動生成—を適用できる。

教員はシンプルな構造のデータを確認・修正するだけでよく、処理系が検証済みのデータに基づいて複雑なバリエーションの問題を生成する。生成される問題は、正解選択・不正解選択により概念間の境界を精密にし、逆引き問題により知識へのアクセス経路を多重化することで、学習者の深い理解を促進することが期待される。

6 今後の課題

今後の研究では、以下の3点に取り組む予定である。(1)一般教科への展開：プログラミング教育以外の教科での有効性を検証する。(2)教員支援ツールの開発：CS系以外の教員がDSLベースの問題生成を利用できるツールを整備し、普及を図る。(3)適応的問題生成：学習者の習熟度に応じて問題の難易度や出現パターンを動的に調整する機能を実装する。

7 まとめ

本研究では、LLMから問題生成戦略を抽出し、DSLとして形式化することで、教員が制御可能で再現性のある問題生成システムを実現する手法を提案した。プログラミング教育における実証研究により、特に低成績学生に対する有効性が示された。さらに、一般科目への拡張として、宣言的知識の選択問題生成に適したYAMLベースのDSLを設計し、本手法がプログラミング教育に限定されないことを示した。この手法は、LLMの生成能力を活用しながら、教員の専門知識と制御を維持できる点で、教育現場での実用性が高い。今後は、他の教科への展開と教員支援ツールの開発を進める予定である。

参考文献

- [1] Gu, L., Huang, R., & Marton, F. 2004. Teaching with variation: A Chinese way of promoting effective Mathematics learning. In L. Fan, N. Y. Wong, J. Cai & S. Li (Eds.), How Chinese learn Math.
- [2] Lai, M. Y., & Murray, S. 2012. Teaching with procedural variation: A Chinese way of promoting deep understanding of mathematics. International Journal for Mathematics Teaching and Learning, (April).
- [3] Mordechai Ben-Ari. 1998. Constructivism in computer science education. SIGCSE Bull. 30, 1 (Mar. 1998), 257-261. <https://doi.org/10.1145/274790.274308>
- [4] Robert A. Ward IV. 2017. Improving introductory programming courses by using accurate mental models. In First Year Engineering Experience (FYEE) Conference. W1A-1-W1A-7.
- [5] Christian Grevisse, Maria Angeliki S. Pavlou, and Jochen G. Schneider. 2024. Docimological Quality Analysis of LLM-Generated Multiple Choice Questions in Computer Science and Medicine. SN Computer Science 5, 636 (2024).

doi:10.1007/s42979-024-02963-6

- [6] Atsuhiko Maeda. 2026. Enhancing Programming Education for Lower-Performing Students through DSL-Based Problem Generation. In Proceedings of the 57th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V.2 (SIGCSE TS 2026), February 18–21, 2026, St. Louis, MO, USA. ACM, New York, NY, USA, 2 pages. doi: 10.1145/3770761.3777191

科学技術英語教育における音読学習システムの活用

河野 智子¹ 栗原 磨娑斗² 大木 富³ 鷹野 孝典²

¹ 神奈川工科大学 教育開発センター

² 神奈川工科大学 情報工学部

³ 神奈川工科大学 基礎・教養教育センター

1 背景

科学技術を専攻とする大学生に最先端の科学技術の内容に沿った専門的な英語教育を行うことは、理工学系の大学における重要な課題である。特に生成 AI の浸透により科学技術の発展がめざましいものとなると、科学技術に関する新しい情報をできるだけ早く取り入れる必要が生じることから、科学技術の専門用語を英語で理解し、英語で発信できるようになる教育が必須となる。しかしながら、英語教育を担当する教員は概して科学技術の専門的な分野に詳しくない場合が多く、急速に発達する最先端の科学技術を理解したうえで専門領域に関わる英語を教えることは難しい。また、科学技術英語は難易度が高いことから、理工系の大学であっても科学技術英語を教えるのは難しいと教師が判断して、実力に合わせた基本的な文法や読解を学ぶ必要があるという理由から、大学の英語教育の内容が、専門知識がなくても理解できる一般的な内容にとどまっており、理工系の大学生にふさわしい科学技術の専門的な英語教育が積極的になされていないのが現状である。一方、理工系の大学の専門教育では、科学技術に関わる専門書を読み、国際会議で英語で発表する機会が多く、卒業研究を見据えた英語力と授業で学習してきた内容に隔たりがあるのが現状である。

この問題を解決するために、本研究では、科学技術の専門家と英語教師が共同で英語テキストを作成し、そのテキストを理工系の学生の科学技術英語教育に用いることを提案する。このテキストは神奈川工科大学教育革新プロジェクトで作成し、2025 年度より 1, 2 年生の英語授業で使用した。2026 年度にはテキストの英文を音読するための音読システムを導入し、その効果を検証するために、1 年生の 2 つのクラスで、音読システムを用いた場合と、教師の指導で音読をした場合と、どちらが科学技術英語の理解が高まったか確認するテストを実施した。本研究では、そのような検証結果を踏まえたうえで、科学技術英語を効果的に行う教育を検証する。

2 科学技術英語オリジナルテキスト

神奈川工科大学において作成された英語のオリジナルテキストは、専門教育を行う専門家と英語教師が共同で執筆したものである。テキストに掲載する専門トピックを選び、理工系の大学生にふさわしい内容を専門家が執筆し、図 1 のように英語教師が適切な文法や構文を入れてアカデミックな英語に整えた。掲載したトピックは、人工知能、量子コ

ンピューティング，ボーカロイド，ChatGPT，自動運転の未来，流体力学などである．英語の教授法として音読実践を用いるため、英文をカード形式で並べて音読回数がテキストに記録できるようにし，一方で，日本語による文法説明は最小限とした．

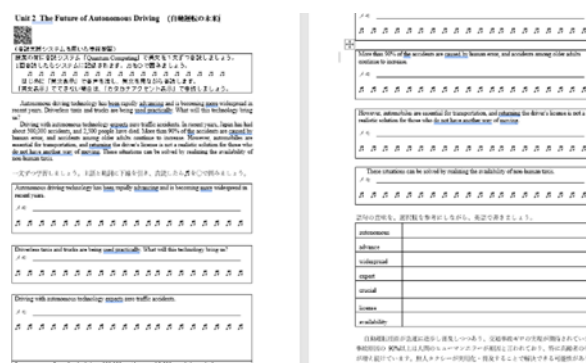


図 1：オリジナル英語テキスト：2024 年度以降の授業で使用

オリジナルテキストを授業で使用する利点は，専門家による監修のため，正しく正確な科学の内容を教えることができる点にあり，専門性をもたない英語教師が科学技術英語を教えることができることである．しかしながら，本テキストを用いた英語教育には問題点もある．それは，専門性を重視した内容の英文であるため，英語の基礎的な学力が不足している学生にとっては難しく，教えるのが困難である点である．さらに，留学生の増加により，難易度の高い内容を日本語で説明しても，理解されない場合がある，ということである．

3 専門家による授業

科学英語を習得するには，その科学の分野の内容を理解することが大きな助けとなる．本研究ではテキストの執筆者として専門トピックを執筆した専門家の協力を得て，専門家による内容説明を行った．



図 2：専門家による授業風景．流体力学の実験授業をする石綿良三名誉教授（左）．人工知能の講義をする鷹野孝典教授（右）．

学生たちは、流体力学の概念を実験で体感し、人工知能についての専門的な話題に触れることで、概念を理解し関心を深めた。授業後の学生に図3のアンケートを行い、ほとんどの学生が専門家の説明が理解に役に立ったと答えた。アンケートの回答は「実際に見て学ぶのと文章だけで学ぶのとでは理解度が段違いであり、とても楽しい内容で頭にすらすらとはいってきた」「授業だけだと表面的な理解だけで、原理まではしっかり学ぶことが出来ないが、実験で見て実際にやってみると理解しやすく、面白いと感じた」という意見が大半であり、専門家の授業が学生の興味関心を大いにひきつけ、英語学習のモチベーションが高くなったことがうかがえる。

図3: 専門家授業アンケート

4 音読学習システムを用いた音読教育実践

4.1 実施概要

本テキストを授業で用いる際には音読学習を主な教授法とした。科学技術英語を音読で学ぶことによるメリットは、音読が発音矯正やスピーキングに効果的なだけでなく、英文を包括的に取り込む学習効果をもつことにある。音読を繰り返すことで無意識的に言語を取り込む効果があり(1)、英語を英語のまま理解することができる。特にクラスに留学生在がいる場合、日本語で複雑な事象を説明することが困難であるが、トピックの内容を理解したうえで音読によって英語を取り込む方法で学ぶことにより、日本語での説明を介さずに英語のまま概念を理解することが可能となる。

本研究では音読を効率よく学ぶために、AIによって作成された音読システム(2)を用いた授業を実践し、教師による音読指導で学習した場合と、システムを使って学習した場合とを比較し、到達度を測るテストを行うことでそれぞれの学習効果を検証した。どちらの場合もまず教師が英文内容の説明を行い、文法や構文の細かい説明はできるだけ省きながら、英文が意味する内容をイメージさせるように心がけた。その上で、一つのクラスでは教師がクラスをまわりながら一人ずつ音読させて発音指導を行った。この方法は教師の個別指導により学生のモチベーションが上がり、授業に活気が生じて和気あいあい

と音読を楽しむ効果が得られたが、一人の教師が音読をチェックできる数には限界があり、教師がチェックできないときは自習で音読するように指導したものの、音読回数を増やすことは難しかった。

もう一つのクラスでは、教師の音読指導の代わりに、AI が作成した音読システムを授業で使用した。このシステムは神奈川工科大学 2024 年度教育革新プロジェクトで作成したもので、(3) Web システムとして Google Cloud Platform 上に配置した。2025 年 11 月に神奈川工科大学の英語Ⅲの授業で施行し、各学生が自分のパソコンで音読演習システムを使って音読練習を行い、音読回数や発音した音声の録音などの学習の記録を教師が確認できるように設定した。音読学習システムの導入は授業で行い、教師による英文内容の説明の直後に図 4 の音読システムを使った音読学習を行った。ログイン作業などに戸惑わないようにその場で指導を行い、授業内でスムーズに音読学習に取り組めるような環境を整えた。

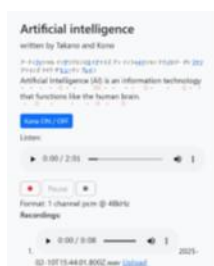


図 4: 音読学習システム



図 5: AI による音読学習システムを用いた授業風景

4.2 結果と考察

音読学習システムを導入した効果の検証のため、教師が音読を指導したクラスと、音読システムを使ったクラスとを比較した。それぞれのクラスで一つの英文をどのくらい音読したか調べたところ、図 6 が示すように、システムを使ったときは平均 12~15 回、最高 32 回で、音読回数は圧倒的に上回った。教師が音読指導を行ったクラスでは、教室内を教師が歩きまわって発音をチェックするため、学生は音読に集中でき、教師とコミュニケーションをとりながら学べるメリットはあったが、教師が音読をチェックできる回数には限界があり、1つの英文につき各学生1回しか音読させることができなかった、教師が他の学生を指導しているときに自習で音読させる方法として、テキストの英文は音読しやすいようにカード形式とし、音符のマークをつけて音読したら丸をつけるように指導したものの、自習の音読回数は平均数回数回で、システムによる音読には及ばなかった。

	教師指導音読 (英語Ⅲ17名)	音読システム (英語Ⅲ10名)
1つの英文 を授業で音 読する回数	教師がチェックでき る回数は1回，自習 による音読は数回	平均12～15回， 最高32回
確認テスト 平均点	84.47点／100点	86.5点／100点

表1：教師指導による音読とシステムを使った音読の比較

5 まとめと今後の課題

理工学系の大学生に適した英語教育を行うために，専門家と英語教師が協力してテキストを作成することは大変効果的である．専門家が監修した科学英語は難易度が高く，語学レベルが高くない学生に教えるのは難しいが，AI が作った音読学習システムを使うことで学生は音読を繰り返して学ぶことができるようになり，英語力を向上させることができるようになる．今後はこのシステムを全体的に導入し，効果的な科学技術英語教育の実践をめざしたい．

謝辞

本教育プロジェクトで英語テキストを作成する際に科学学技術の専門トピックをご執筆くださり，授業実践において様々なご教示をくださった石綿良三名誉教授，脇田敏裕教授，山本富士男名誉教授，藤村陽教授，山本一雄教授に心から感謝の意を表します．

参考文献

- [1] Krashen, D. S., Lee, S., & Lao, C., Comprehensible and compelling: The causes and effects of free voluntary reading. Libraries Unlimited, 2018.
- [2] 栗原磨裳斗，河野智子，鷹野孝典，英語音読練習のための日本語発音を考慮した音読採点手法，2025年度教育システム情報学会第5回研究会予稿集，2026.
- [3] 河野智子，浅川友幸，天谷晴香，山本桂，大平道広，町田直子，大木富，福岡凜，栗原磨裳斗，関野由，鷹野孝典，英語教育における音読学習管理のための支援システム設計，ITを活用した教育研究シンポジウム2024講演論文集（神奈川工科大学）19，2025.

感情を考慮した教育支援ピア AI の検討

設楽 楓 佐藤 和也 鷹野 孝典
神奈川工科大学 大学院工学研究科

1 はじめに

大規模言語モデル(LLM)による対話型 AI の個別最適化教育支援への活用が期待されている[1]. AI の学習への活用により, 学習者は必要な知識や情報を容易に取得できる. しかし, 学習過程に十分に関与せず, 単に答えを得るためだけに AI を利用することは, 学習者の自律的な学習能力を低下させる. また学習支援において, 学習者の意欲維持が重要である. 本研究では, これらの課題に対処するため, 下記の AI 機能を導入した教育支援システムを提案する.

- (1) 自律的な学習能力の低下リスクに対して, 質問履歴から特定した学習者の苦手項目に応じたアドバイスを生成し, 提示された学習ヒントに基づいて学習者が自ら思考しながら演習課題に取り組むことを促すプログラミング学習支援機能
- (2) 学習者の意欲維持に関して, 友人同士のピア学習および友人関係の親密度に着目し, 友人と共に学習しているような体験を提供することで, 学習者の感情を考慮しながら学習機会の継続を促進する教育支援を行うピア AI 機能

2 提案システム

提案システムの機能詳細について述べる.

(1) プログラミング学習支援機能

授業内のプログラミング演習における質問に対し, 講義資料の該当箇所や解説, 学習アドバイスなどの学習ヒントを提示する(図 1). 各質問は学習項目との相関に基づいて分析され, 学習者が苦手とする項目の特定に利用される. 本研究では 26 個の学習項目を対象とし, 質問履歴から苦手項目を可視化したヒートマップを図 2 に示す. 色が濃いほど質問内容との関連が強く, 当該項目が苦手であると推定できる. 色の濃い箇所が多い学習項目は繰り返し質問されていることを示し, 重点的な復習対象となる. また, 各質問に関連する学習項目を確認できるため, 弱点の把握と学習効率の向上が期待される. AI は特定された苦手項目に基づき, 個別最適化された学習アドバイスを生成する.

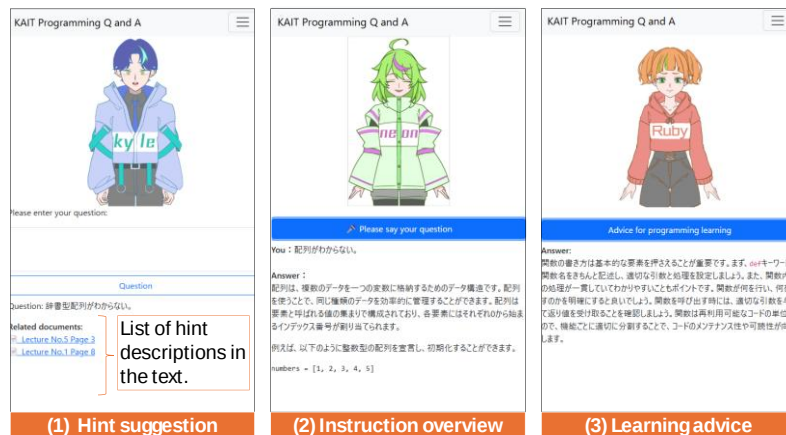


図1: プログラミング学習支援システムの概要図

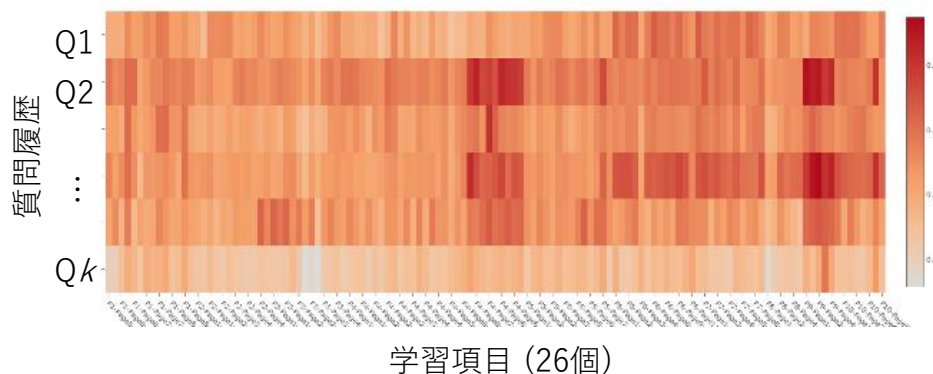


図2: 苦手項目ヒートマップ

(2) 感情を考慮したピア AI 機能

提案するピア AI (図 3) は「一緒に勉強する友人」という概念に着想を得ている。教師からの一方向的な指導とは異なり、ピア学習はメタ認知、自律性、動機づけを高め、自己主導的学習能力を育成する[2]。ピアの役割を模倣するために、単に答えを提示するのではなく、支援の度合いを段階的に制限しながらヒントを与える。さらに、学習者との親密度に応じて支援の質(公開度と詳細度)を調整することで、相互作用の頻度が高まるほど質の高い学習支援が提供されるという仮定のもと、学習意欲の向上を図る。学習コンテンツは、親密度を示すメタデータを付与され、親密度の度合いに応じて回答の質を適応させることができる。

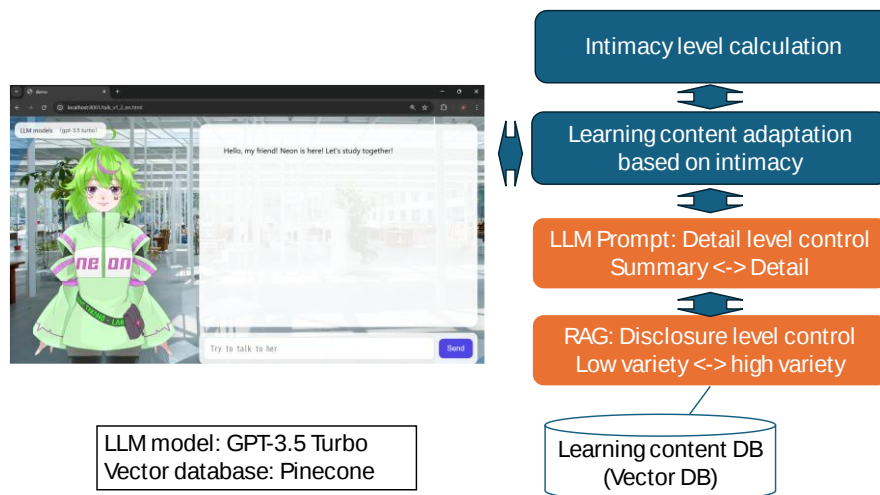


図3: ピアAIの概要図

3 実験

LLM として ChatGPT および RAG (Retrieval-Argumented Generation) [3] により、プロトタイプを構築した。

3.1 実験 1

プログラミング学習支援システムを用い、本学「プログラミング入門 C (Python)」の講義において、情報学部情報システム学科 1 年生（受講生 41 名）を対象に、2025 年度後期第 5～11 週の期間で質問回答システム（図 1）を使用した実証実験を実施した。評価は 17 名を対象に行った。講義資料は 12 回分、学習項目は 26 項目であり、検索機能の学習効果 (Q1～Q4)、苦手項目特定の納得感 (Q5～Q6)、学習アドバイスの実現可能性 (Q7～Q8) の 8 項目からなる 5 段階評価アンケートを実施した。「Q5. 提示した苦手分野は適していましたか？」の平均は 3.7 であり、学生はシステムが苦手項目を適切に特定していたと評価した。これは、苦手項目を明示的に提示することで学習者のメタ認知が修正された可能性を示している。また、「Q7」の平均は 3.5、「Q8」の平均は 3.8 であり、具体的な学習ステップを示すことで、苦手項目克服までの見通しを持てたことが示唆された。

3.2 実験 2

親密度を公開度と同じ 5 段階に設定し、各親密度に対して 10 回の検索を行った。設定した親密度と同じか、それよりも低い公開度の情報を取得するように設定した。図 4 に示す結果において、1 つの質問に対して 1 単元の情報取得を想定しているが、検索回数に対して提供される情報件数が多いことから、別単元の情報も取得されていることが確認された。公開度 2 の場合に回答の詳細度を適応させた例を表 1 に示す。詳細度 1 では説明は短く簡潔となり、詳細度 2 ではより長く丁寧な説明となる。このように、学習者の自律的な学習行動への変容を促すことを目的として、同一の知識であっても詳細度を調整することで説明の深さを変化させられることを確認した。

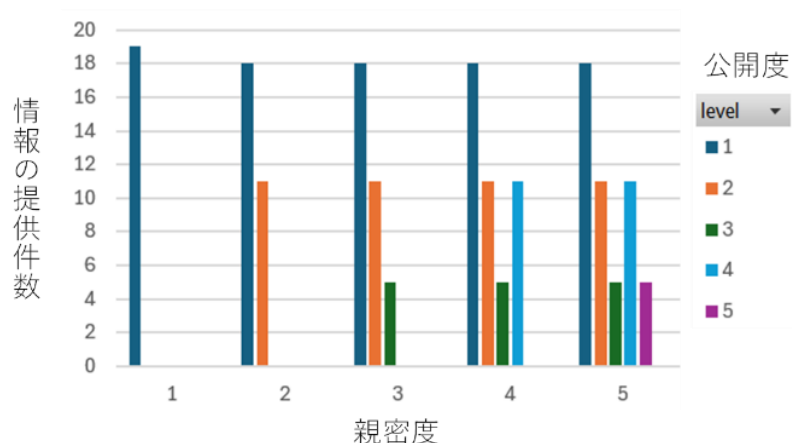


図4: 親密度に対し使用された情報の公開度別回数

表1: 詳細度についての適応の例 (公開度2)

詳細度	回答内容
1	Extrude extends a face or edge. You can run it with the E key. For details, refer to the manual. (20語)
2	Extrude is a basic operation in Blender that extends faces or edges to create new geometry. Press E to extrude. For specific steps and extruding along the normal direction, see the “Extrude” page in the Blender Manual; it has many diagrams and is easy to understand. (46語)

4 まとめ

本研究では、ピア学習および対人親密性に着想を得たピア AI システムを提案した。実験により提案システムの実現可能性を確認した。提案するピア AI は、直接的な解答を制限し、学習者の主体的な思考を促すためにヒントを提供するとともに、親密度に応じて応答の質を適応的に変化させることで、動機づけの維持と自己主導型学習の促進を図る点に特徴がある。今後は教育実践を継続し、感情を考慮したピア AI 支援が自律的・自発的な学習行動の変容に与える影響を検証する。

謝辞

本研究の推進にあたって、生成 AI 研究会のプロジェクトを支えてくださった広井賀子教授、澤井明香准教授、宮本理人准教授、酒井雅裕教授、前田篤彦准教授、三枝亮教授、納富一宏教授、河野智子講師、および、2024、2025 年度において研究助成を支援いただいた研究推進機構の皆様にご心より御礼申し上げます。特に本学のプログラミング授業で利用する教材提供および授業実践において様々なご教示をくださった前田篤彦准教授には重ねて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Iman Reihanian, Yunfei Hou, Qingquan Sun, “From Pilots to Practices: A Scoping Review of GenAI-Enabled Personalization in Computer Science Education” , AI, Vol. 7, No. 1, 2025.
- [2] Jill Lawrence, “The power of Peer Learning in Assisting First Year Students’ Engagement in Successful Learning” , Students Transition Achievement Retention and Success (STARS) Conference, 2017.
- [3] Yangxiao Zhang, A Retrieval-augmented Generation Framework with Retriever and Generator Modules for Enhancing Factual Consistency, 2025.