

修士論文

漢方医学的問診のための バーチャル患者モデルの開発 共感力向上と漢方医学的病態理解のための 新しいアプローチ

Development of a Virtual Patient Model for Kampo Medical
Interview: New Approach for Enhancing Empathy and
Understanding of Kampo Medicine Pathological Concepts

富山県立大学大学院 工学研究科 電子・情報工学専攻

2355014 高田知樹

指導教員 António Oliveira Nzinga René 講師

提出年月:

目次

図一覧	ii
表一覧	iii
記号一覧	iv
第1章 はじめに	1
§ 1.1 本研究の背景	1
§ 1.2 本研究の目的	2
§ 1.3 本論文の概要	3
第2章 生成 AI の医療教育への活用	4
§ 2.1 教育に対する生成 AI の活用	4
§ 2.2 医療分野における生成 AI の現状と課題	8
§ 2.3 バーチャル患者の意義と生成 AI の役割	11
第3章 共感力向上と漢方医学的病態理解のためのバーチャル患者	15
§ 3.1 対話システムの構築	15
§ 3.2 生成 AI モデルの学習手法	17
§ 3.3 共感力向上のための具体的手法	17
第4章 提案手法	18
§ 4.1 本研究の対話システム	18
§ 4.2 シナリオ設計と漢方医学的特徴	18
§ 4.3 感情推定と表情の選択	18
第5章 数値実験並びに考察	20
§ 5.1 数値実験の概要	20
§ 5.2 実験結果と考察	20
第6章 おわりに	21
謝辞	22
参考文献	23

図一覧

2.1	LLM の説明 [?]	7
2.2	フィルターバブル [?]	7
2.3	HOKUTO [?]	10
2.4	UBIE [?]	10
2.5	データセットを作成するまでの流れ [?]	11
2.6	データセットを作成するまでの流れ [?]	13
2.7	データセットを作成するまでの流れ [?]	15

表一覽

記号一覧

以下に本論文において用いられる用語と記号の対応表を示す.

用語	記号
j 人目の使用者の名前	ϵ_j
j 人目の身長	α_j
j 人目の体重	β_j
j 人目の基礎代謝量 (下限)	B_j^L
j 人目基礎代謝量 (上限)	B_j^H
j 人目のアレルギー情報	x_j
j 人の有する生活習慣病	z_j
対象の日数	D
レシピの数	R
食材の数	Q
栄養素の数	N
データベース上の食材数	S
データベース上の食材番号	$d : 1, 2, 3, \dots, S$
日の番号	$k : 1, 2, 3, \dots, 3D$
栄養素の番号	$l : 1, 2, 3, \dots, N$
材料の番号	$m : 1, 2, 3, \dots, Q$
レシピの番号	$i : 1, 2, 3, \dots, R$
i 番目のレシピの名前	y_i
i 番目のレシピの献立フラグ	r_{ki}
i 番目のレシピの主菜フラグ	σ_i
i 番目のレシピの調理時間	T_i
i 番目のレシピの摂取カロリー	C_i
i 番目のレシピの調理コスト	G_i
i 番目のレシピの m 番目の材料の名前	q_{im}
i 番目のレシピの m 番目の材料量	e_{im}
i 番目のレシピの l 番目の栄養素の名前	n_{il}
i 番目のレシピの l 番目の栄養素の量	f_{il}
d 番目の食材名	Z_d
d 番目の食材の販売単位	W_d
d 番目の食材の値段	M_d

はじめに

§ 1.1 本研究の背景

近年、世界的に補完代替医療の利用が増加しており、日本において特に信頼され、広く利用されているのは漢方医学である [1]. 漢方医学は西洋医学とは異なり、すべての患者に対して主訴の内容やその程度にかかわらず、伝統医学的な方法に基づいた問診、腹診、脈診、舌診などの特徴的な診察を行い、それらを総合的に判断して漢方医学的診断を行う. 正確な漢方医学的診断を行うためには、漢方医学的病態に基づいた問診を通じて患者の主観的かつ多岐にわたる訴えを詳細に聴取することが重要である.

さらに、この過程では、患者の表情を観察しつつ、患者の体験をその視点から理解し、共感を示すことが求められる [2]. 医師が患者に共感を示すことは、治療的な対人関係の構築に寄与し [3], 患者から正確で信頼性の高い情報を引き出すことを容易にする. このような関係性が構築されることで、より正確な診断が可能となり [4], 患者満足度の向上 [5] や健康アウトカムの改善が期待される [6].

医学生が問診を実施する機会は主に漢方臨床実習に依存しているが、COVID-19 パンデミックに伴う感染拡大防止策として、臨床実習に制限が課されていた. 現在、COVID-19 は感染症分類において5類に移行された. しかし、ウイルスは変化し続けており、変異株により毒性が高まる可能性は否定できないことが指摘されている [7]. そして、パンデミックが発生した場合には、臨床実習の実施が再び制限される可能性があるだろう.

このような状況から、医学生が患者に共感を示しつつ、必要な情報を効果的に引き出し、漢方医学的病態を理解するための問診教材の開発が急務であると考えられる.

近年、バーチャル技術の進歩に伴い、特にバーチャル患者を用いた医学教育が広く注目を集めている [8]. バーチャル患者と医学生に関する先行研究では、バーチャル患者とのコミュニケーションが実際の人間とのコミュニケーションに匹敵する感情的効果を有しており [9], バーチャル患者との相互作用を通じて医学生の共感が向上すること [10]~[12], さらに医学生の知識や診断精度の向上に寄与することが報告されている [13].

これらの知見から、漢方医学的問診におけるバーチャル患者の開発は、医学生の共感能力を向上させたり、漢方医学的病態の理解を促進する可能性が示唆される. しかし、これまでのところ、バーチャル患者を用いた漢方医学教育に関する研究は行われていない.

§ 1.2 本研究の目的

1.1 節で述べたように、医学教育において、バーチャル患者の活用が注目されている。本研究でもバーチャル患者を開発し、教育効果の検証を目標とする。

バーチャル患者とは、頻繁に見られる臨床ケースから緊急事態に至るまで、幅広い実際の臨床シナリオをシミュレーションできる標準化されたコンピュータソフトウェアである。これを活用することで、実際の臨床現場では遭遇しにくい、または対応が難しい状況に対して、学生が安全に体験を積むことが可能となる [14]。

本研究で開発するバーチャル患者は、音声を通じた対話が可能であり、事前に設定したシナリオに基づいて回答を行う。また、感情推定を実施し、その推定結果に応じた表情変化をリアルタイムで反映させる機能も搭載する。これにより、学生はより現実的な問診体験が可能となる。さらに、本研究ではバーチャル患者の作成に生成 AI を活用する。

生成 AI とは、テキスト、画像、動画、音声など、多岐にわたるコンテンツを新たに生成できる人工知能 (AI) のことである。従来の AI が定められた処理の自動化を主眼としていたのに対し、生成 AI はデータから学習したパターンや関係性を活用して新たなコンテンツを生み出す点で革新的なものである。 [15]

また、近年、生成 AI が教育分野で活用されている。たとえば、長崎県の長崎北高校では、2023 年 5 月から英語の授業に生成 AI を取り入れている。具体的には、生徒が考えて入力した英語のスピーチ原稿を生成 AI が添削し、より正確で自然な表現を提示する仕組みを導入した。 [16]

このように、生成 AI は教育分野で活用されており、この技術を用いることで、効率的かつ柔軟にバーチャル患者の構築が可能となると考える。

漢方医学における問診訓練のためにバーチャル患者を開発することは、医学生にとって安全で実践的な学習環境を提供するだけでなく、漢方臨床実習の臨場感を維持しながら、問診スキルを繰り返し練習できる機会を提供することができるようになる。このような取り組みは、医学生の共感能力を高め、漢方医学的病態に対する理解を促進することが期待される。

また、文部科学省が策定した医学教育モデルコアカリキュラムに漢方医学が正式に組み込まれたことにより、従来の見習い制度に依存していた漢方医学教育の標準化が進んでいる [17]。しかし、指導者不足などの課題が依然として残っており、十分な標準化が達成されているとは言えない状況である。このため、バーチャル患者の開発は、漢方医学教育の標準化を支援する有効な手段となる可能性がある。

本研究の目的は、漢方医学的問診に特化したバーチャル患者を開発し、その教育効果を検証することである。具体的には、漢方治療を受けた患者の実体験を基にシナリオを作成し、そのシナリオを用いてバーチャル患者を設計を行う。さらに、このバーチャル患者を用いた学習を通じて、医学生の共感能力の向上および漢方医学的病態に対する理解促進の効果を検証を行う。

研究の実用性を評価するために、医学生を対象とした行動実験を実施する。この実験では、バーチャル患者に対して問診を行う群と、模擬患者を用いて問診を行う群にランダムに分け、共感得点、漢方医学的問診スキル、漢方医学的病態の理解度を指標として評価する。このような検証を通じて、バーチャル患者が医学生の教育にどのように寄与するかを検証する。

§ 1.3 本論文の概要

本論文は次のように構成される。

第1章 本研究の背景と目的について説明する。背景では、近年の漢方医学の重要性や、実習教育の現状を説明している。目的では、漢方医学教育に対するバーチャル患者の開発の必要性を説明するとともに、本研究の意義を述べた。

第2章 生成 AI がどのように教育に用いられているのか述べるとともに、現在医療教育に用いられているバーチャル患者が使用された事例を述べ、どのように生成 AI を本研究に活用するのか説明している。

第3章

第4章

第5章 第4章で述べた手法で、バーチャル患者を作成し、実際に医学生に使用してもらい、本システムの有効性を示す。

第6章 本論文における前章までの内容をまとめつつ、本研究で実現できたことと今後の展望について述べる。

生成 AI の医療教育への活用

§ 2.1 教育に対する生成 AI の活用

AI 技術が急速に進化する中、教育の現場でもその影響が大きく現れている。生成 AI や自動化された学習プランニングの導入により、教育の質は飛躍的に向上し、効率的な学習が可能となった [18]。そこで教育に生成 AI を用いるメリットと実際の導入事例をいくつか述べる [19]。

教育に生成 AI を用いるメリット

- 生徒の学力や興味にマッチするコンテンツ提供

生成 AI はそれぞれの生徒に対して学力や興味を分析し、カスタマイズされた教育コンテンツを提供することができる。また、個別の学習計画の作成することにより、生徒個人に合わせたペースでの学習ができ、効率的に学ぶことができる。このように、生徒一人ひとりに合った教材を提供することで、興味の持続や学習効果の向上に寄与する。

- 生徒の学習中のリアルタイムでのアドバイス

生成 AI を用いることで、生徒の学習中にも適切なアドバイスやサポートを行うことができる。このように、リアルタイムで学習の進捗を評価し指導を行うことで、生徒の理解度の向上や学習の障壁を即座に解決することができ、学習効果が向上する。

- 生徒の学習意欲の向上

生成 AI が提供する、個人に最適化された学習を行うことで、生徒は自分の好奇心にあった内容で学習することができ、学習意欲が自然と高まる。このような体験は、学びに楽しさがうまれ生徒の主体的な学習を促す。

- 高度な学習機会の提供

生成 AI を用いることで、地理的な制約にかかわらず、高品質な学習の機会を得ることが可能となる。これにより、都市部だけでなく遠隔地に住む生徒にも同じような教育の機会を提供することができ、平等な学習を行うことができる。

- データ活用による教育の質の向上

大量のデータを分析することにより、生成 AI は継続的に教育の質を向上することができる。また、教材の効果を評価したり、教育のプログラムを改善することで、生徒により良い学習機会を提供することができる。

- 教師の業務負担軽減

生成 AI を導入することで、出席の管理や、採点などのルーチン業務を自動化でき、教師の負担を軽減することができる。これにより、教師の授業の質の向上や、生徒個人に寄り添った指導の時間を増やすことができる。

- 教育の低コスト化

生成 AI を活用することで、教育の運営コストが減り、品質の高い教材を多くの生徒に手ごろな価格で提供することができる。このようなコスト削減により、多くの生徒に高品質な教育を受ける機会を与えることができる。

生成 AI の教育への活用事例

- つくば市立みどりの学園義務教育学校

つくば市立みどりの学園義務教育学校は、「生成 AI パイロット校」として AI を活用した授業を実施している。中学社会科の授業では、生徒たちが Bing チャットを使用し、地域課題に関する質問をして、調査活動を行った。この授業では、AI が提供する情報を参考にしつつ、生徒たちは教科書を併用して情報の正確性を確認しながらニュース原稿の制作に取り組んだ。この取り組みにより、生徒たちは情報リテラシーや批判的思考力を向上させるとともに、AI を効果的に活用するスキルを習得し、学力の向上にもつながる可能性が見られた。

- 長崎北高校

長崎北高校では、英語学習の一環として対話型 AI 「ChatGPT」を活用している。生徒たちは、英作文の添削や長文読解のサポートに AI を取り入れることで、自分の弱点を把握し、学力向上に役立てている。AI を活用することで、文法や表現方法など、自分では気づけなかった点を瞬時に指摘されるため、学習効率が向上している。この取り組みの特徴は、AI を活用した授業の中で、生徒たちが自らその活用法を実践・検証し、利用に関するガイドラインの作成に取り組んでいる点である。生徒たちは AI の利便性だけでなく、その課題についても理解を深め、効果的な活用方法を考えることで、問題解決能力を養っている。このような活動は、AI との適切な付き合い方を考える上で貴重な学びの機会を提供している。

- 愛媛大学教育学部附属中学校

愛媛大学教育学部附属中学校では、授業の「振り返り」を効率化するために、対話型 AI 「ChatGPT」を試験的に導入している。生徒たちはタブレット端末を使い、授業で学んだ内容や疑問点を入力すると、AI が即座にフィードバックを提供する。これにより、従来教師が時間をかけて行っていたコメント作成作業が効率化され、教師の業務負担が軽減される。さらに、この取り組みでは、AI が提供したフィードバック

を教師が確認し、学習内容や生徒の理解度に応じて適切な修正を加えることで、教育の質を維持しながら業務効率化を実現している。このように、AIの利便性を活用しつつ、教師によるきめ細やかな対応を組み合わせたバランスの取れた活用方法は、生徒一人ひとりに対する丁寧な指導を保ちながら、教育現場の効率を向上させる。

- ベネッセ

ベネッセは、小学生とその保護者を対象に、「自由研究おたすけ AI」をリリースを行った。このサービスは、生成 AI「ChatGPT」の技術を活用し、自由研究のテーマ選をサポートするとともに、子供たちの疑問にアドバイスを提供する。利用者は、自由研究に使える時間や興味のあるジャンルを入力することで、AI「ラボリー」から具体的なテーマやアイデアの提案を受け取ることができる。この取り組みは、デジタルリテラシー教育の観点から保護者にも好評で、子供たちの学習を支援する新たな方法として注目を集めている。

- 学研

学研ホールディングスは、オリジナル学習システム「GDLS」に ChatGPT を活用したベータ版を開始し、個別に最適化された学習アドバイスを提供している。このシステムでは、生徒の学習履歴や理解度の変化を分析し、それに基づいた適切なアドバイスを提示することで、学習効果を最大化する。また、「GDLS」は、生徒が毎日ログインする習慣を促進し、学習意欲の向上を図ることができる。

このように、AI 技術の急速な進化により、教育の現場も大きな変革を遂げつつある。また、従来の一斉授業形式から脱却し、学習者一人ひとりに最適化された教育が実現しつつあり、「個別最適化学習」という新たなアプローチが注目されている。この方法では、AI が学習者の理解度や進捗状況をリアルタイムで分析し、それに基づいて個別化された学習プランを提供する。これにより、学習者は自分のペースで効率的に学ぶことができ、知識の定着度が向上する。

アメリカや日本などの教育先進国では、AI を活用した個別最適化学習の導入が進み、その有効性が実証されている。AI と教育の融合は、教育の現場に大きな変革をもたらし、未来の学習環境を構築する鍵として期待されている。

個別最適化学習の特徴は、AI 技術を駆使して学習者ごとに最適な学びを提供する点にある。このアプローチでは、AI が学習者の過去の学習履歴や現在のパフォーマンスを基に、次に学ぶべき内容や最適な学習ペースを提案する。これにより、学習者は理解不足や学習の遅れを解消しながら、効果的に知識を習得することが可能である。

さらに、個別最適化学習では、学習者の興味や関心に応じた教材の提供も行われる。例えば、特定の分野に興味を持つ学習者には、その分野に関連した深掘りコンテンツを提示することで、学習意欲を高める。このようなパーソナライズされた学習体験により、教育の質は飛躍的に向上する。

実際に、個別最適化学習を導入した教育機関では、学習成果や学習者の満足度が向上したとの報告がある。このアプローチは、従来の一斉授業では困難だった個別対応を可能にし、すべての学習者に最適な学習環境を提供する。さらに進化する AI 技術により、個別最適化学習は今後ますます普及し、教育の未来を大きく変える力を持つと考えられている [18]。

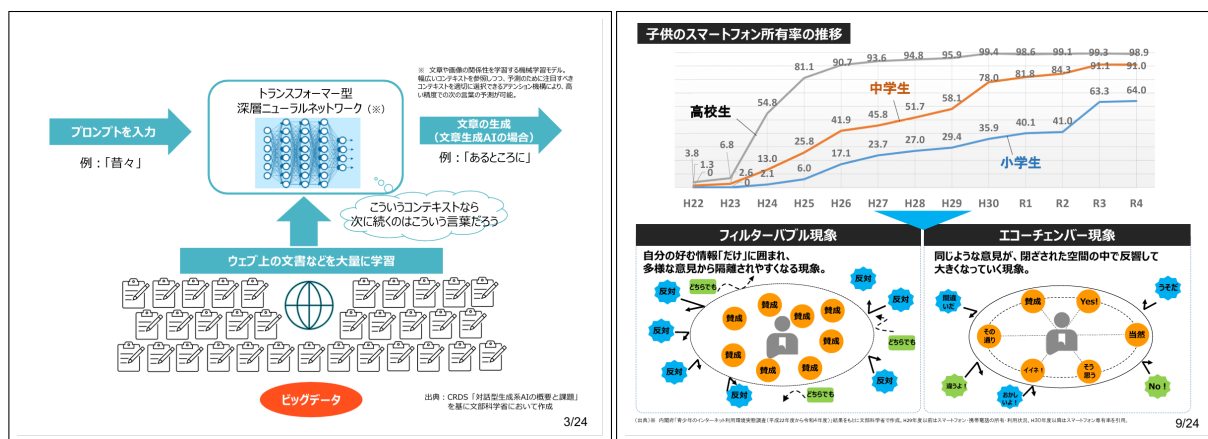


図 2.1: LLM の説明 [?]

図 2.2: フィルターバブル [?]

このように未来の教育環境は、AI 技術の進化によって大きく変わることが予想されている。しかし、生成 AI の活用は教育現場に多くのメリットをもたらすが、同時にいくつかの課題も存在する。文部科学省から使用するにあたってのガイドラインが出ており、生成 AI を用いることの課題を上げる [20]。

生成 AI 活用の課題

- 個人情報やプライバシーの懸念

生成 AI を利用する際、生徒や教師の個人情報が入力される可能性があり、適切に管理されない場合にはデータ漏洩やプライバシー侵害のリスクがある。教育現場では、個人情報を取り扱わない仕組みや、プライバシー保護のためのガイドライン整備が求められる。

- 誤情報やバイアスの問題

AI が生成する情報には、不正確なデータや偏りが含まれることがある。このため、生徒が AI の出力をそのまま受け入れるのではなく、批判的に評価し、必要に応じて確認・修正するスキルが必要となる。教師は生徒に対し、AI 利用時の情報リテラシーを育成する役割を果たさなければならない。

- 教育の公平性の確保

AI 技術の利用にはインターネット環境やデジタル端末が必要である。これらの設備が整わない地域では、AI を活用した教育の恩恵を受けにくくなる可能性がある。教育の公平性を保つためには、インフラ整備が不可欠である。

- 創造性への影響

生成 AI が簡単に情報や解答を提供することで、生徒の創造性や独自性が損なわれる可能性が指摘されている。教育現場では、AI を補助的なツールとして活用し、生徒の主体的な学びを促進する工夫が必要である。

生成 AI は教育の質を飛躍的に向上させる可能性を秘めている。一方で、課題を克服し、安全かつ公平に利用するための対策が不可欠である。教育現場では、AI を補助的ツールとして活用し、創造性や主体性を育む指導方法を模索する必要がある。

生成 AI を活用した教育の未来は、技術進化とともにさらなる可能性を広げていくと考えられる。その実現には、教師、生徒、保護者、そして AI 開発者が協力し、より良い学びの環境を構築することが求められる。

§ 2.2 医療分野における生成 AI の現状と課題

高齢化の進行、慢性疾患の増加、医療コストの上昇など、医療業界はさまざまな課題に直面し、従来の医療体制には大きな負担がかかっている。このような状況の中で、持続可能な新しい解決策へのニーズが高まっており、生成 AI の活用が医療分野においてますます重要になっている。そこで、医療分野で生成 AI を用いるメリットと、実際の事例をいくつか述べる [21]。

医療分野で生成 AI を活用するメリット

- 患者教育と情報提供の改善

生成 AI を活用することで、患者個々の病歴や症状に応じたカスタマイズされた健康情報やアドバイスを提供できる。これにより、患者が自身の状態をより深く理解し、適切な健康管理を行えるよう支援する。具体的には、生成 AI が患者向けの説明文やアドバイスを生成し、わかりやすい形で情報を提供します。

- 医療文書の自動生成と整理

診療内容や患者情報から自動的に診断書や治療計画などを生成することで、医師の文書作成にかかる負担を軽減する。生成 AI が一部の文書を作成するだけでも、医師は患者ケアにより集中することが可能となる。

- トレーニングと教育資料の生成

疑似患者ケースやシナリオを生成することで、医療従事者のトレーニングを支援する。例えば、生成 AI を用いて模擬患者を作成し、問診の練習や評価を行うことで、新人医師のスキル向上が図れる。

- 疾患の可視化とシミュレーション

生成 AI は、疾患の進行や治療の影響を視覚化する技術を提供することができる。画像生成 AI を活用することで、疾患の状態を模倣した画像を作成し、患者や医療従事者が病態をより深く理解できるようサポートする。

- カスタマイズされた治療計画の提案

生成 AI とデータ分析を組み合わせることで、患者ごとに最適な治療計画を提案することが可能となる。これにより、医療の質が向上し、患者のニーズに応じた高度なケアが提供される。

- 手術前に患者の 3D モデルを使ってシミュレーション

患者の CT や MRI データから生成した 3D モデルを用いて、外科医が手術のシミュレーションを行うことで、精度と安全性を向上させることができる。また、この技術は医学教育や患者への説明にも役立つ。

- 画像生成 AI による診断画像の画質改善

GAN（敵対的生成ネットワーク）技術を用いて、低線量 CT 画像を高画質化することで、放射線被ばく量を低減しながら、鮮明で詳細な画像を提供する。これにより、微小な病変の発見や正確な診断が可能となる。

医療分野における生成 AI の活用事例

- 恵寿総合病院と Ubie による文書作成負担の軽減

恵寿総合病院と Ubie 株式会社は、生成 AI を活用して診断サポートや診療記録の自動生成に取り組んだ。この取り組みは、医師の退院時サマリー作成時間を最大で 1/3 に短縮し、患者とのコミュニケーションに割ける時間を増やすことに成功した。また、業務効率の向上だけでなく、医療サービスの質の向上も確認されている。

- Hippocratic AI による医療プロセスの包括的サポート

Hippocratic AI は、診断支援、手術計画、症状チェック、薬の服用確認など、幅広い医療プロセスを支援する AI ソリューションを提供している。この技術は、患者の生活習慣改善や慢性疾患管理、退院後のケアに焦点を当てており、作業負担の軽減と効率的な患者管理を実現すると同時に、患者ケアの質を高める手段として機能しています。

- Insilico Medicine による医薬品開発の効率化

Insilico Medicine は、生成 AI を用いて新しい抗線維化薬「ISM001-055」を開発した。このプロセスでは、膨大なデータから治療ターゲットを特定し、候補となる化学構造を設計。通常よりも短期間かつ低コストで薬剤開発を進め、早期臨床試験に移行することが可能となった。

- BlueMeme と九州大学による量子 AI 活用

BlueMeme と九州大学は、量子 AI を使用してバイオメディカル分野に特化した言語モデル（LLM）の共同研究を行っている。この研究では、医療研究や疾患原因探索、薬剤設計に役立つ知見を提供するツールの開発を進めており、量子 AI による運用コストの削減も目指している。

- GPT-4 を活用した医師支援（株式会社 HOKUTO）

株式会社 HOKUTO は、臨床支援アプリに OpenAI GPT-4 を組み込んだ新機能を導入した。この機能では、患者への説明案の生成やキーワードに基づく最新研究論文の抽出が可能となり、医師の情報収集負担を軽減する。多言語対応の患者説明案生成機能により、患者理解と信頼関係の構築が促進されている。

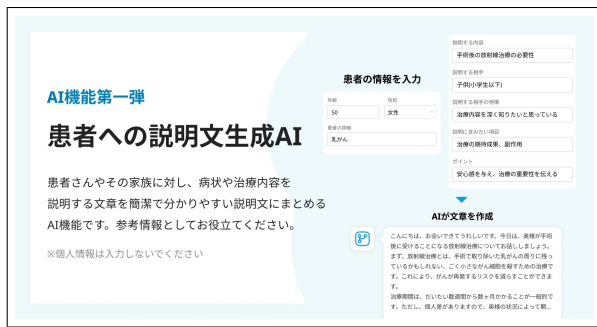


図 2.3: HOKUTO [?]

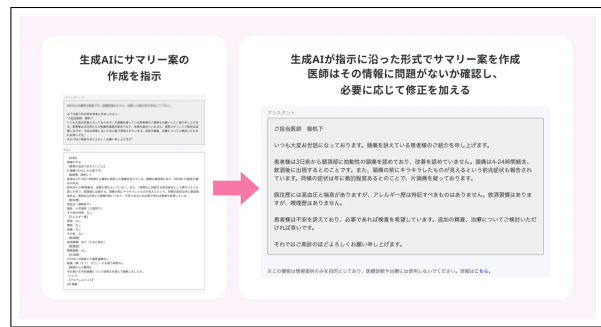


図 2.4: UBIE [?]

生成 AI の医療分野での活用は、診断支援や個別化された治療計画の作成、遠隔医療や予防医療の促進など、多岐にわたる。これらの技術は、患者ケアの質を向上させるだけでなく、医療や開発コストの削減、医療アクセスの拡大にも寄与している。このように、生成 AI の医療分野への応用は非常に重要であることがわかる。また、医療教育の分野でも生成 AI の活用方法が考えられており、以下で述べていく [22]。

生成 AI の医療教育分野への応用は、医療従事者のスキル向上や学習効率の向上に寄与する可能性を秘めています。具体的には、模擬患者シナリオや疑似ケースを生成することで、実践的なトレーニング環境を提供できます。例えば、新人医師が問診や診断のスキルを磨く際、生成 AI を用いて作成された模擬患者が多様な症状や病歴を持つケースを再現することで、現実に近い学習体験を提供できます。これにより、実際の患者を相手にする前に必要なスキルを磨く機会を得られるだけでなく、教育者にとっても効率的な指導が可能となります。

さらに、生成 AI は、教育資料やトレーニング教材の自動生成にも役立ちます。医療従事者向けの最新の研究成果を要約した資料や、特定の疾患に関する診断ガイドラインなどを迅速に生成することで、学習時間を短縮しつつ内容の質を高めることができます。また、多言語対応の教材を容易に生成することも可能で、国際的な医療教育の場においても大きな価値を発揮します。

加えて、医療教育における評価プロセスの効率化も期待されます。生成 AI を活用すれば、医学生のパフォーマンスを分析し、個別のフィードバックを自動的に提供することが可能です。これにより、従来の画一的な評価方法では見逃されがちだった個々の弱点や改善点を特定し、より個別化された教育が実現します。また、生成 AI によるリアルタイムのフィードバックは、学習者がその場で改善策を実践し、効果を確認するサイクルを促進するため、学習の定着率を高めることができます。

一方で、生成 AI を医療教育に導入する際には、いくつかの課題にも対処する必要があります。特に、生成されたコンテンツの信頼性と品質をどう保証するかが重要です。医療教育の場では、正確で現実的な情報が不可欠であり、AI が偏見や誤った情報を生成する可能性に備える必要があります。このため、生成 AI モデルのトレーニングに使用されるデータセットの厳選や、コンテンツの検証プロセスの確立が求められます。

また、倫理的な配慮も重要です。生成 AI が学術的不正や過剰な依存を助長しないよう、学生や教育者に対して AI の適切な利用方法を教育することが不可欠です。さらに、個人情報保護の観点から、患者データを AI モデルに使用する際には、厳格なプライバシー保護対

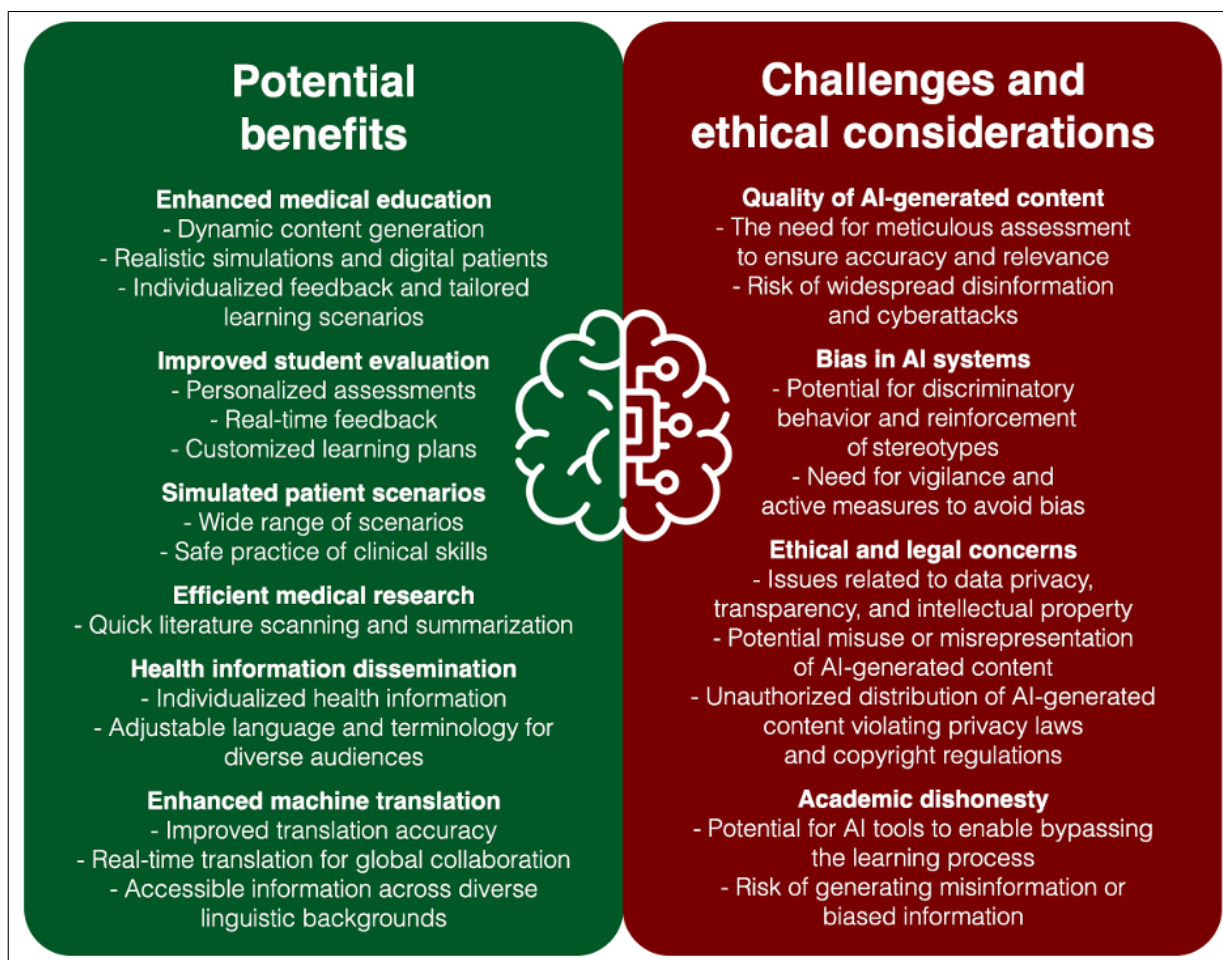


図 2.5: データセットを作成するまでの流れ [?]

策が求められます。これには、匿名化されたデータの使用や、データ処理の透明性の確保が含まれます。

将来的には、生成 AI が医療教育に与える影響を定量的に評価し、その効果を最大化するためのベストプラクティスを確立することが求められます。継続的な研究と学際的な協力を通じて、医療教育の質を高めるだけでなく、医療現場で即戦力となる人材の育成にも寄与することが期待されます。生成 AI の技術が進化する中で、教育者や研究者、実務家が協力し、その潜在能力を最大限に活用する取り組みがますます重要になるでしょう。

§ 2.3 バーチャル患者の意義と生成 AI の役割

1.1 節で述べたように、医学生が問診を実施する機会は主に漢方臨床実習に依存している。ここで、臨床実習とはどのようなものなのか述べる。

臨床実習とは、病院で行われる実習のことで、その期間は大学や学科によって異なります。一般的には、1 年次に 1 週間程度、4 年次に 4 週間程度の期間で実施されます。一方で、医学部や歯学部では、合計で約 2 年間にわたる臨床実習が行われます。医学部の臨床実習には、早期体験実習や解剖実習、見学型実習、そして診療参加型実習といった多様な形式

が含まれています [25]。

医療分野における生成 AI の活用事例

- 早期体験実習

早期体験実習は、見学型臨床実習や参加型臨床実習に先立って、1～2年次に行われる臨床医学の導入的な実習の1つです。その目的として、コミュニケーションスキルの向上、医学への学習意欲の向上、患者の心情や視点への理解がある、実習では、外来患者のエスコートや病院内の各部署での業務体験が行われます。これにより、医療現場で貢献する達成感を得られ、学ぶモチベーションが高まります。また、病院全体の仕組みや業務の流れを理解する機会にもなります。

- 解剖実習

解剖実習は、医学部の学生が4～5人のグループで実際のご遺体を用いて行う実習です。臓器や筋肉、神経の位置や機能を実際に観察し、座学で学んだ知識を実際の人体で確認することで理解を深めます。この実習は人体の構造や機能を理解するだけでなく、解剖技術の向上を目指すものです。さらに、ご遺体に向き合い、人間の身体に手を加えることの重大さや倫理的意義を考える重要な機会でもあります。

- 見学型臨床実習

見学型臨床実習は、高学年の医学部生が医療機関で行う実習で、主に4～6年次に実施されます。指導医のもとで外来や手術を見学し、臨床の現場を学ぶことを目的としています。病棟実習では、患者を担当することもあり、診察や治療を通じて疾患をさまざまな観点から学ぶことができます。

- 参加型臨床実習

参加型臨床実習は、医学生が特定の診療科を選択し、一定期間その診療科の医療チームに加わり、実践的な臨床能力を磨く実習です。医学生は「スチューデント・ドクター」として指導医とともに診療に参加します。最終的な診断や治療方針の決定は行いませんが、患者への問診や診察を自分で行い、診断や治療について考える経験を得られます。この実習は、医師免許取得後の初期臨床研修とのギャップを埋める目的でも実施されています。

このように、臨床実習の重要性がわかる。しかし、近年、医療を取り巻く社会情勢の変化が医学教育に大きな影響を与えています。医療の高度化・複雑化や入院期間の短縮など、医療の形態が変化する中で、医療安全や患者倫理への配慮が求められ、実際の患者を用いて練習する機会が減少しています。これに対応するため、2000年代以降、シミュレーション教育が導入され、患者との直接的な臨床実習の前段階で、繰り返し練習ができる安全な教育環境が提供されるようになりました。特に、リアルな人間とのシミュレーションを用いた教育として、模擬患者（Simulated Patients / Standardized Patients, SP）を活用したコミュニケーション教育の重要性が高まっています。2022年度に改訂された医学教育モデル・コア・カリキュラムでは、コミュニケーション能力の育成が強調されており、「患者お

	模擬患者(simulated patient : SP)	標準模擬患者(standardized patient : SP)
目的	コミュニケーションの練習	試験への参加
役割	演技とフィードバック	演技と評価
活動場面	授業, 実習, 研修会など	OSCE (objective structured clinical examination : 客観的臨床能力試験)
シナリオ	比較的簡単なシナリオ	一問一答の詳細なリスト
演技	気持ちの動きに従って自然な会話をする比較的自由度のある演技	SP 間で演技を標準化し, 会話のルールに従った演技
評価	なし	標準化された基準に沿った評価

図 2.6: データセットを作成するまでの流れ [?]

よびその関係者と良好な関係性を築き、相手の状況を考慮しながら意思決定を支援し、安全で質の高い医療を実践する」ことが求められています。このカリキュラムには、模擬患者、身体部分模型、そして VR (Virtual Reality) などの先進的な教育手法の活用が含まれています。また、2019 年度の検討報告書では、近年の人間関係の希薄化や生活体験の不足が進行している状況を受けて、コミュニケーション能力向上のための教育をさらに強化する必要性が指摘されています。現在、模擬患者 (SP) は医療系大学における医療面接教育の中で、標準的な人的教育資源として広く活用されています [26]。

Simulated patients (SP) または標準化患者とは、実際の患者を忠実に再現するために十分な訓練を受け、熟練した医師でも見分けがつかないほど高い精度で患者役を演じることができる個人を指します。SP は単に病歴を伝えるだけでなく、身体の動きや身体所見、さらに感情や性格までも含めた患者像を再現する役割を担います。SP には、模擬患者 (simulated patients) と標準と模擬患者 (standardized patients) の 2 種類ある。

しかし、sp にはいくつかの課題がある。

SP の課題

- 配慮ある環境を設定し、身体診察に協力可能な SP をリクルートする必要

身体診察に協力可能な SP を確保するためには、安全で配慮の行き届いた環境を整備することが求められます。臨床実習後の OSCE では、1 人の SP が診察を受ける形が理想的ですが、現在はシミュレーターの活用や、診察時に女性 SP と男性 SP を交代する方法が用いられる場合もあります。しかし、よりリアルな状況を再現するには、1 人の SP が診察を受ける形が望ましいです。筆者の全国調査では、SP が身体診察への意義を感じており、年齢や性別、診察部位を考慮すれば協力が得られる可能性が示されています。また、2019 年度から OSCE で女性の下着着用が認められ、女性 SP の参加が増加していることも明らかになりました。身体診察に対する羞恥心や不安を軽減し、安心して診察を受けられる環境を構築することが重要な課題です。

- SP 養成が短期間では完了せず、根気強く継続的な取り組みが求められる点

SP 養成が短期間では完了せず、根気強く継続的な取り組みが求められる点です。そのため、SP 養成者は SP との練習時間を十分に確保する必要があります。この準備練

習は、演技やフィードバックの質に直結する重要なプロセスです。しかし、OSCEにおける標準 SP 養成業務の負担が増加している現状では、非常勤ポストを設けて専任の SP 養成者を確保することが大きな課題となっています。

- 設定標準 SP 制度の導入に伴い、SP 養成の質をさらに向上させる必要があること

令和5年度から OSCE が公的試験化された背景には、医師法の改正により臨床実習で医業が可能になったことがあります。この制度では、公的 OSCE に対応できる標準化された SP の演技が求められ、規定された演技と評価をクリアすることが必須です。このため、質の高い演技指導ができる SP 養成者の育成が喫緊の課題となっています。

このように SP には、いくつかの課題がある。そんな中、1.1 節でも述べたように、バーチャル技術の進歩に伴い、バーチャル患者を用いた医学教育が広く注目を集めている [8]。例えば、Body Interact¹というアプリケーションがある。Body Interact は、医療教育のための仮想患者シミュレーターであり、安全な環境でリアルな臨床シナリオを体験できるツールの一例である。学習者が行う診断や治療に応じて患者の状態がリアルタイムで変化し、現実的な医療状況が再現される。このシステムでは、感染症や心肺停止、外傷など多様なシナリオを通じて、学習者が臨床推論スキルを向上させることが可能である。

特筆すべき機能として、Sophia と呼ばれる AI アシスタントが挙げられる。Sophia は、シミュレーション開始前に学習者と対話し、ケースへの準備を支援する役割を果たしている。ソクラテス式対話法を用い、学習者が自身の決定やその根拠を深く考えることを促す。この対話により、学習者は単に選択を行うだけでなく、診断や治療計画の背景にある論理を明確にすることが求められる。

さらに、Body Interact はリアルタイムフィードバック機能を備えており、学習者が行った診断や治療が患者に与える影響を即時に確認できる。例えば、不適切な治療が患者の状態を悪化させる場合、その結果を直感的に理解することで、誤りを修正しながら学習を進めることができる。このような即時フィードバックは、学習効果を高め、スキルの定着を促進する。

また、個別学習とチーム学習の両方に対応している点も特徴的である。個別学習では、自分のペースで取り組むことが可能であり、自己評価に集中できる。一方、チーム学習では、複数の学習者が協力してシナリオを進めることで、コミュニケーションやチーム医療のスキルを向上させる機会を提供している。

さらに、多言語対応や複数デバイスでの利用が可能である点も大きな利点である。これにより、言語の壁を超え、世界中の学習者が利用できる教育ツールとして広く導入されている。

このように、Body Interact は、従来の SP の課題を補完しつつ、学習者に多様な教育機会を提供する新しいツールとして、その価値を高めている。特に、AI 技術の統合により、学習者が効果的に臨床スキルを習得し、実際の医療現場での応用力を高めることが期待されている。今後、このようなツールは医学教育において重要な役割を果たすだろう。

また、バーチャル患者に生成 AI を用いる研究も近年行われている [28]。医療教育におけるシミュレーション技術の進歩により、学生が安全な環境で実践的なスキルを学ぶ機会が広がっている。本研究では、OpenAI が開発した生成 AI モデル「ChatGPT」を仮想患者と

¹<https://bodyinteract.com/>

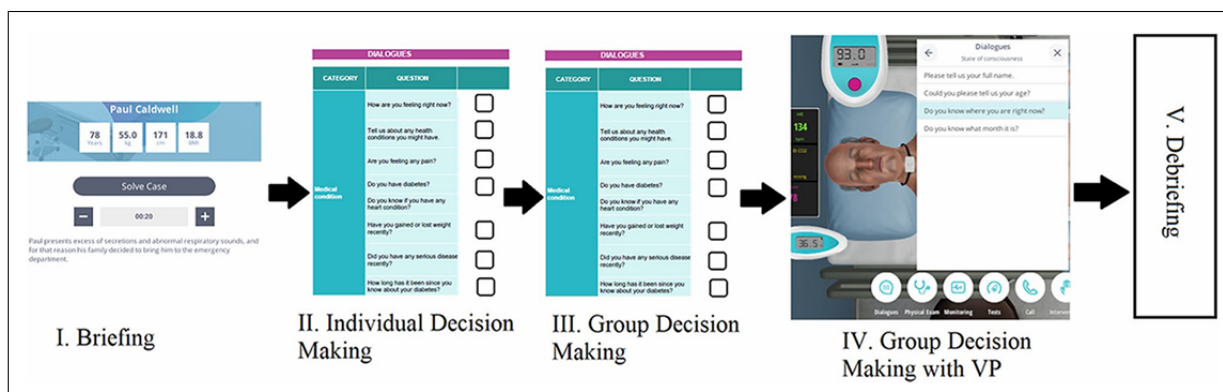


図 2.7: データセットを作成するまでの流れ [?]

して活用し、看護教育におけるトレーニング効果を評価した。この研究は、モロッコの高等健康科学研究所に所属する 12 名の看護学生を対象に行われ、呼吸困難の患者シナリオを用いた対話型シミュレーションを実施したものである。

研究の評価項目として、ChatGPT の受容性、アクセシビリティ、エンゲージメント、そして学生の仮想患者とのインタラクションスキルが挙げられた。結果として、ChatGPT は学生から高く評価され、ツールの使いやすさ (4.3/5) や没入度 (4.4/5) が特に優れていることが分かった。また、学生のインタラクションスキルは、回答の明瞭さや関連性、有用性といった点で向上が見られた。特に、回答の明瞭さと理解度には強い相関 ($r=0.701$) が認められ、シミュレーションの効果が確認された。

ChatGPT を活用することで、学生は対話を通じて実践的なコミュニケーションスキルを習得できる。従来のシミュレーションと比較して、ChatGPT はコスト効率が高く、再現性や適応性に優れる点で優位性を持つ。しかし、一方で、時折不適切な回答を生成する可能性があるため、教育者による監視や補完が必要であることも指摘されている。

この研究は、看護教育における ChatGPT の可能性を示しただけでなく、仮想患者シミュレーションが学生の学習体験をどのように変革し得るかを明らかにした。ChatGPT を活用したシミュレーションは、学生が患者とのコミュニケーションスキルを磨くと同時に、実際の医療現場で求められる準備を効果的に進める手段となり得る。このような AI 技術を教育に統合することで、従来のトレーニング手法を補完し、新しい学習の形を提案することが可能である。

結論として、ChatGPT を仮想患者として用いたシミュレーションは、看護学生の臨床準備を強化し、効果的な学習環境を提供するツールとしての可能性を示した。これにより、学生は実際の患者との対話に向けた準備を進めることができ、看護教育全体の質を向上させることが期待されている。

共感力向上と漢方医学的病態理解のためのバーチャル患者

§ 3.1 対話システムの構築

近年の人工知能ブームの影響により、Siriに話しかけたり、店頭に設置されたPepperのようなロボットと会話したり、さらにはLine上でりんなどの対話を楽しむ人々が増えてきました。また、商業的な視点では、コンタクトセンターなどの問い合わせ対応業務の負担を軽減する目的で、チャットボットを導入する企業が増加しています。これにより、従来は人間のオペレーターが行っていた対応の一部を自動化し、効率化を図る動きが主流となりつつあります[29]。そこで対話システムとは、どのようなものなのか述べる。

対話システムは、人間とコンピュータが自然な言葉で円滑に会話するために研究が進められており、タスク指向型と非タスク指向型の2つに分類されます[30]。

タスク指向型システム

タスク指向型システムは、ユーザーの質問や要求に応じて必要な情報を提供することを目的としています。例えば、Appleの「Siri」やNTTドコモの「しゃべってコンシェル」などがあり、音声を使ってスケジュール管理やWeb検索などを行います。

非タスク指向型システム

非タスク指向型システムは、特定の目的がない自由な会話を通じて、ユーザーに楽しさや自然な対話を提供することを目的とします。代表的なシステムとして、初期の「ELIZA」やその発展形である「A.L.I.C.E.」が挙げられます。

このように、タスク指向型は実用的なタスクの支援に特化し、非タスク指向型は雑談などを通じて対話そのものを楽しむことを重視しています。対話システムにはどのようなものがあるのか、例を挙げて説明する。

ELIZA

一番最初にできた対話システムはELIZA[1]だと言われている。ELIZAは、1960年代に開発された初期の対話システムであり、特定の目的を持たない非タスク指向型対話システムとして知られています。このシステムでは、キーワードとそれに対応するパターンやテンプレートを事前に設定し、ユーザーの入力からキーワードを検出してパターンに基づき応答を生成します。

このような設定はスクリプトと呼ばれ、ELIZAの有名なスクリプトには、精神分析医を模した「DOCTOR」があります。ELIZAの応答は、スクリプトに記述された内容に依存し

ており、記述されていない内容には対応できません。そのため、会話が途切れないようにするための工夫として、オウム返しの応答や話題を切り替える仕組みが導入されています。また、疑問形の応答を使うことで、ユーザーに対話を継続させることも意図されています。このように、ELIZA は「人工無脳」やチャットボットの元祖として位置付けられており、相手の話を完全に理解しなくても、推測や補完によって会話を成立させる手法が特徴です。しかし、対話が成立しているかどうかの基準は曖昧であり、その定義は必ずしも明確ではありません。

siri

この応答パターンの代表的な作成手法には、ルールベース、抽出ベース、生成ベースの3種類があります。

ルールベース

ルールベースは、あらかじめ人が応答ルールを設定する方法です。たとえば、ユーザーが「こんにちは」と発話すればシステムが「こんにちは」と返し、「眠い」と言えば「おやすみ」と返すように、想定されるユーザーの発話に対して手動で応答を定義します。ルールベースは手動で設計するため、応答内容の管理が容易で、不適切な発話が少ないという利点があります。また、時事ネタなどユーザーの興味を引く発話を追加しやすい点も強みです。このため、Siri や Alexa といった現在の商用対話システムの多くは、ルールベースが採用されています。しかし、人手でルールを作成するため、幅広い話題に対応することは難しいという欠点があります。

抽出ベース

抽出ベースは、大量のデータから適切な応答例を検索して利用する方法です。具体的には、ユーザーの入力に類似した単語や文を見つけて返す「類似文検索」と、対話ログやQA データなど応答ペアを活用する「ペア利用」の2つのアプローチがあります。構築コストが低く、幅広い話題に対応可能という利点がありますが、類似文検索では単なるオウム返しになることが多く、ペア利用では文脈がずれて関連性の低い応答が出る可能性があるという欠点があります。

生成ベース

生成ベースは、用例を基にしながらも応答の品質を向上させる手法です。大量のテキストデータを事前に学習し、文法や係り受けの関係を抽出することで、ユーザーの発話内容に関連する話題やキーワードを選び、自然で高品質な応答を生成します。この手法では、抽出ベースの欠点であった「無関係な発話」や「オウム返し」の発生を抑えることができます。

また対話システムには、chat ボットとボイスボットがあり、それぞれの違いについて説明する。chat ボットは、テキストを用いて対話をするのに対して、ボイスボットは、音声を持ちいて対話を行う。本研究ではボイスボット形式にするため、ボイスボットに用いられる技術をいくつか説明する。

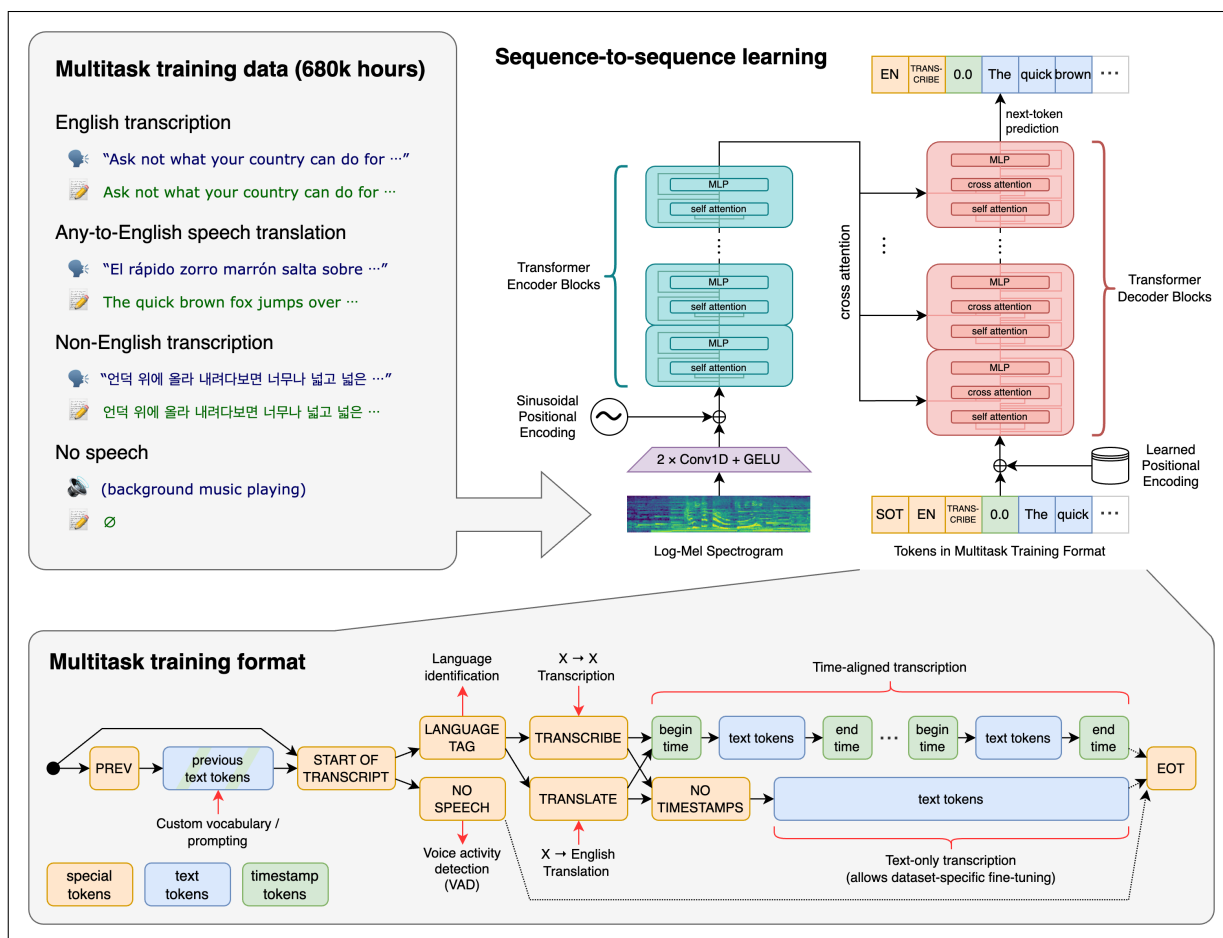


図 3.1: データセットを作成するまでの流れ [?]

§ 3.2 生成 AI モデルの学習手法

§ 3.3 共感力向上のための具体的手法

提案手法

- § 4.1 本研究の対話システム
- § 4.2 シナリオ設計と漢方医学的特徴
- § 4.3 感情推定と表情の選択

数値実験並びに考察

§ 5.1 数値実験の概要

§ 5.2 実験結果と考察

おわりに

謝辞

本研究を遂行するにあたり，多大なご指導と終始懇切丁寧なご鞭撻を賜った富山県立大学工学部電子・情報工学科情報基盤工学講座の António Oliveira Nzinga René 講師，奥原浩之教授に深甚な謝意を表します．また，研究に協力していただいた富山大学の山田理絵様，藤本誠様，弘前大学の徐様，本漢方医学教育財団様に感謝の意を表します．最後になりましたが，多大な協力をしていただいた研究室の同輩諸氏に感謝いたします．

2025 年 2 月

高田知樹

参考文献

- [1] Shumer, G.D., Warber, S.L., Motohara, S., Yajima, A., Plegue, M.A., Bialko, M.F., Iida, T., Sano, K., Amenomori, M., Tsuda, T., & Fetters, M.D., “Complementary and alternative medicine use by visitors to rural Japanese family medicine clinics: results from the international complementary and alternative medicines survey,” *BMJ Complementary and Alternative Medicine*, 14, 2014. doi: 10.1186/1472-6882-14-360.
- [2] Bellet, P.S., & Maloney, M.J. “The importance of empathy as an interviewing skill in medicine,” *JAMA*, 266, 13, 1991, pp.1831–1832.
- [3] Wu, Q., Jin, Z., & Wang, P., “The Relationship Between the Physician-Patient Relationship, Physician Empathy, and Patient Trust,” *Journal of General Internal Medicine*, 37, 2021, pp. 1388–1393.
- [4] Quinn, M.A., Grant, L.M., Sampene, E., & Zelenski, A.B., “A Curriculum to Increase Empathy and Reduce Burnout,” *WMJ: official publication of the State Medical Society of Wisconsin*, 119, 4, 2020, pp.258–262.
- [5] Hojat, M., Louis, D.Z., Maxwell, K., Markham, F.W., Wender, R.C., & Gonnella, J.S., “Patient perceptions of physician empathy, satisfaction with physician, interpersonal trust, and compliance,” *International Journal of Medical Education*, 1, 2020, pp.83–87.
- [6] Larson, E., & Yao, X., “Clinical empathy as emotional labor in the patient-physician relationship,” *JAMA*, 293, 9, 2005, pp. 1100–6. doi:10.1001/jama.293.9.1100
- [7] Flook, M., Jackson, C., Vasileiou, E., Simpson, C. R., Muckian, M. D., Agrawal, U., McCowan, C., Jia, Y., Murray, J. L. K., Ritchie, L. D., Robertson, C., Stock, S., Wang, J.X., Woolhouse, M. E. J., Sheikh A., & Stagg H. R., “Informing the public health response to COVID 19: a systematic review of risk factors for disease, severity, and mortality” *BMC Infectious Diseases*, 21, 2021. doi: 10.1186/s12879-021-05992-1
- [8] Mao, S., Guo, L., Li, P., Shen, K., Jiang, M., & Liu, Y., “New era of medical education: asynchronous and synchronous online teaching during and after COVID-19,” *Advances in Physiology Education*, 47, 2023, pp.272–281. doi:10.1152/advan.00144.2021.
- [9] Bearman, M., Cesnik, B., & Liddell, M.J., “Random comparison of ‘virtual patient’ models in the context of teaching clinical communication skills,” *Medical Education*, 35, 2001, pp.824–834. doi: 10.1046/j.1365-2923.2001.00999.x.
- [10] Foster, A., Harms, J., Ange, B.L., Rossen, B., Lok, B.C., Lind, S., & Palladino, C.L., “Empathic Communication in Medical Students’ Interactions with Mental Health Virtual Patient Scenarios: A Descriptive Study Using the Empathic Communication Coding System.” *Austin J. Psychiatry Behav Science*, 2014.

- [11] Foster, A., Chaudhary, N., Kim, T., Waller, J.L., Wong, J., Borish, M., Cordar, A., Lok, B.C., & Buckley, P.F. “ Using Virtual Patients to Teach Empathy: A Randomized Controlled Study to Enhance Medical Students ’ Empathic Communication, ” *Simulation in Healthcare: The Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 2016, 11, pp.181–189. doi:10.1097/SIH.0000000000000142
- [12] Guetterman, T.C., Sakakibara, R., Baireddy, S., Kron, F.W., Scerbo, M.W., Cleary, J.F., & Fethers, M.D., “ Medical Students’ Experiences and Outcomes Using a Virtual Human Simulation to Improve Communication Skills: Mixed Methods Study, ” *Journal of Medical Internet Research*, 21, 2019. doi:10.2196/15459. PMID: 31774400
- [13] Gunning, W.T., & Fors, U.G., “ Virtual Patients for assessment of medical student ability to integrate clinical and laboratory data to develop differential diagnoses: Comparison of results of exams with/without time constraints, ” *Medical Teacher*, 2012, 34, pp.222– 228. doi.org/10.3109/0142159X.2012.642830
- [14] メディカル・ケア・サービス株式会社, “制限食にはどんな種類があるの?”, 健達ネット,
<https://www.mcsg.co.jp/kentatsu/health-care/12106>, 閲覧日 2023.1.6.
- [15] ときわ会栄養指導課, “減塩について”, 栄養指導,
<http://www.tokiwa.or.jp/nutrition/diet/low-salt.html>, 閲覧日 2023.01.15
- [16] 全国健康保険協会, “ちょっとした工夫で脂質をコントロール”,
<https://www.kyoukaikenpo.or.jp/g4/cat450/sb4501/p004/>, 閲覧日 2023.01.15
- [17] 厚生労働省, “日本人の食事摂取基準 (2020 年度版)”,
<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586559.pdf>, 閲覧日 2023.01.15
- [18] 東京医科大学病院, “カリウムは調理のくふうで減らせます”, 内臓内科,
<https://articles.oishi-kenko.com/syokujinokihon/dialysis/05/>, 閲覧日 2023.01.15
- [19] 厚生労働省, “糖尿病”, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586592.pdf>,
閲覧日 2023.01.17
- [20] 厚生労働省, “慢性腎臓病”, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586595.pdf>,
閲覧日 2023.01.17
- [21] 腎臓内科, “慢性腎臓病の食事療法”, 東京女子医科大学,
<https://www.twmu.ac.jp/NEP/shokujiryohou.html>, 閲覧日 2023.01.17
- [22] 厚生労働省, “脂質異常症”, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586590.pdf>,
閲覧日 2023.01.17
- [23] 厚生労働省, “高血圧”, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586583.pdf>,
閲覧日 2023.01.17

- [24] 厚生労働省, “食べ物アレルギー”, アレルギーポータル,
<https://allergyportal.jp/knowledge/food/>, 閲覧日 2023.01.17
- [25] J. Blank, “pymoo: Multi-objective Optimization in Python ”,
<https://www.egr.msu.edu/~kdeb/papers/c2020001.pdf>, 閲覧日 2023.1.22.
- [26] 和正敏, “多目的線形計画問題に対する対話型ファジィ意思決定手法とその応用”, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J 65-A, No. 11, pp. 1182-1189, 1982.
- [27] 厚生労働省, “日本人の食事摂取基準 (2020 年版) ”,
<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf>, 閲覧日 2022.12.26.
- [28] 農林水産省, “一日に必要なエネルギー量と摂取の目安”,
https://www.maff.go.jp/j/syokuiku/zissen_navi/balance/required.html, 閲覧日 2023.1.22.