学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 2021 年度共同研究最終報告書

jh210056-ISH

矯正歯科診断・治療計画立案を行う人工知能システムの開発

谷川 千尋（大阪大学歯学研究科）
Lee Chonho（岡山理科大学・大阪大学サイバーメディアセンター）
梶原 智之（愛媛大学・大阪大学 IDS）
清水 優仁（大阪大学歯学研究科）

概要

矯正歯科臨床における診断および治療計画の立案とは、所見に基づき最適な治療結果をより低いリスクで得るために歯科医師が取るべき行動の全体を予測することである。歯科医師が適切な 診断と最適な治療計画を立案するためには、豊富な知識と長年の経験が必要であり、経験の浅い 歯科医師には問題の見落としや論理の誤りが見られる。専門医の知識と経験を実装し、その思考 過程を模倣するような AI システムを実現できれば、根拠に基づく安心安全な医療を患者に広く 提供できる。本研究の目的は，当院に所蔵された各種画像および模型所見とそれに対応する治療計画書を用いて，自然言語処理を用いて，所見から自動的に診断を行い，さらに自動治療計画書の立案を行い，またその内容を患者の言葉に翻訳するような AI システムを開発することにある．

1　共同研究に関する情報

1.1　共同研究を実施した拠点名

大阪大学

1.2　共同研究分野

■超大規模数値計算系応用分野

1.3　参加研究者の役割分担

谷川 千尋	大阪大学	歯科分野
Lee Chonho	岡山理科大学	画像計算
梶原 智之	愛媛大学	自然言語計算
清水 優仁	大阪大学	データ作成・評価

2　研究の目的と意義

矯正歯科臨床における診断および治療計画の立案とは，所見に基づき最適な治療結果をより低いリスクで得るために歯科医師がとるべき行動の全体を予測することとされる．歯科医師が，適切な診断とそれに基づく最適な治療計画を行うためには，長年の経験と豊富な知識が必要であり，経験が浅い歯科医師にとっては，問題の見落とし，論理の誤りという問題が存在した．専門医の長年の経験を実装したような Artificial Intelligence (AI) システムの構築が可能となれば，根拠に基づく医療を患者に提供する上で大きな意義を有する．また，矯正歯科

臨床の中で矯正歯科診断の自動要約および必要な診断の自動提示が自動化できるならば，歯科医師にとっては大きな作業負担の軽減につながり，また，経験の浅い歯科医師にとって，問題の見落とし，論理の誤りを防止する上でも重要である．

一方，治療とは「問題の逆をおこなうことである」という論理構造を有しており，現代の矯正歯科診断および治療計画立案のプロセスは主に以下の３つのステップからなる：（ステップ１）患者情報の収集と問題のリスト化；（ステップ２）個々の問題別に解決法を考える；（ステップ３）現実的な問題の方法と手順を決定する．以上のように，診断と治療計画の立案にかかわる論理構造に一定の規則性を認めることから，過去に，医学診断と治療計画立案を自動する試みは，エキスパートシステムなど古くから存在してきた．矯正治療分野においても，ファジー論理を用いた矯正歯科診断支援システム（Sims-Williams, 1986）や，矯正装置の選択支援システム（Stephens，1998）が開発され報告されてきた．しかしながら，いまだ，歯科臨床で応用可能な，矯正歯科診断・治療計画支援システムは見当たらない．

専門家の診断の流れを数学的に言い換えると，上記の（ステップ１）は，患者情報を特徴量としてとらえた場合，特徴量に重みづけを行うことで病状を表現し，病状ごとの類似性を発見することに相当する．さらに，上記（ステップ２）は，学習された病状ごとに対処法をさらに学習することに対応すると考えられ，自然言語処理をおこなうような AI システムによる問題解決が可能であることが予想された．

そこで，本研究の目的は，当院に所蔵された各種画像および模型所見とそれに対応する治療計画書を用いて，自然言語処理を用いて，所見から自動的に診断を行い，さらに自動治療計画書の立案を行い，またその内容を患者の言葉に翻訳するような AI システムを開発することにある．

3　当拠点公募型研究として実施した意義

課題責任者および共同研究者は、複数の大学（大阪大学、愛媛大学、岡山理科大学）に所属しながら、大阪大学を拠点として、共同研究を行うものであり、課題の学際性を認め、また、大阪大学を拠点とした共同研究として実施する必要がある。

4　今年度の研究成果の詳細

■研究の方法　当院に蓄積された約 1 千件の治療計画書より，所見・診断・治療計画・患者向け説明文の 4 つ組を抽出し，機械学習に基づく自然言語処理モデルを訓練するための学習データとする．そして，図 1 に示すように，以下の 3 つのサブタスクのパイプラインとして，矯正歯科治療診断を自動化するシステムを構築する．

所見→診断　治療計画書に含まれる患者の病態を整理し，約 300 種類の病態ラベルからなるマルチラベルのテキスト分類問題として，所見からの診断の自動生成タスクを定式化する．自然言語処理におけるベクトル空間モデルを用いて所見文章からの特徴量抽出を行い，SVM などの機械学習モデルを用いてマルチラベル分類問題を解く．また，所見に対応する画像を併用したマルチモーダルな特徴量抽出を行い，精度の改善を目指す．

診断→治療計画　治療計画書に含まれる治療項目を整理し，約 300 種類の病態ラベルの系列から約 300 種類の治療項目の系列を生成する系列変換問題として，診断からの治療計画の自動生成タスクを定式化する．診断の各病態ラベルは優先度順，治療計画の各治療

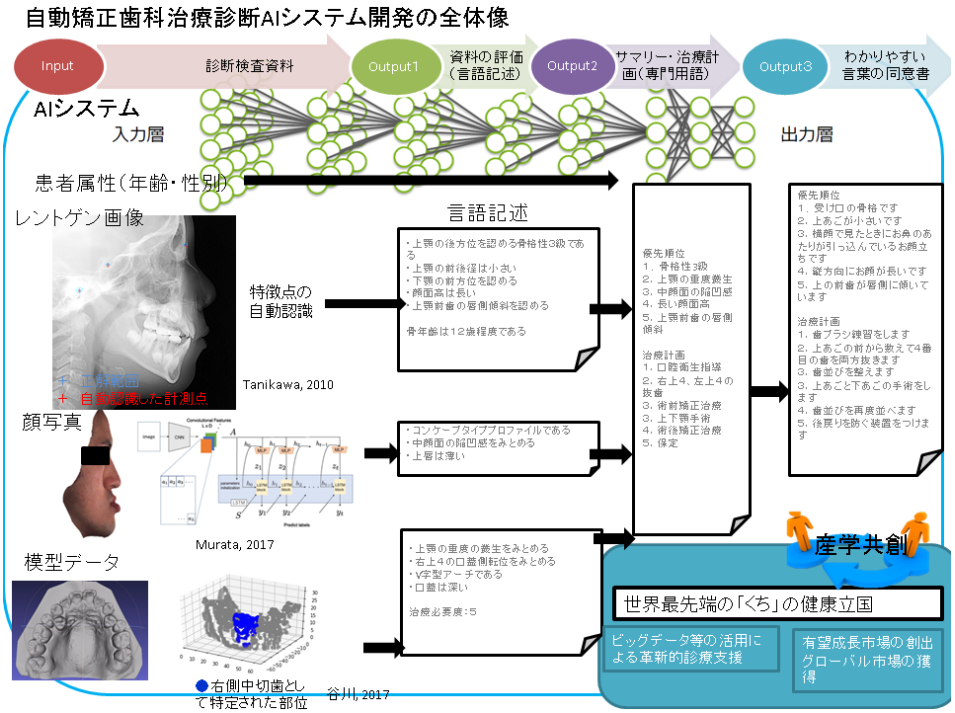

図 1　研究の概要

項目は時間順，にそれぞれ並んでいるため，本タスクは自然言語処理における機械翻訳などと同じ系列変換タスクと考えることができる．そこで，深層学習に基づく機械翻訳と同様に，Recurrent Neural Network (RNN) や Self-Attention Network (SAN) を用いて本タスクを解く．

治療計画→患者向け説明文　難解な文から平易な同義文への変換を行う自然言語処理におけるテキスト平易化の技術を用いて，治療計画書を患者向けの説明文書に変換する．まず，治療計画書と患者向け説明文書の対応する文書対から，自然言語処理における文アライメントの技術を用いて，テキスト平易化モデルを訓練するための学習データを構築する．そして，診断からの治療計画の自動生成タスクと同様に，RNN や SAN に基づく深層学習モデルを訓練し，患者向けの平易な説明文を自動生成する．

■研究の成果

所見→診断　特徴量抽出として，文書に出現した単語を表現する Bag of Words (BoW)，文書に出現したフレーズを表現する Bag of Phrases (BoP)，各文を深層学習を用いてベクトル化しその平均ベクトルによって文書を表現する Universal Sentence Encoder (USE) に基づく手法，の 3 手法を検討した．分類器としては，Multi Layer Perceptron (MLP)，Support Vector Machine (SVM)，Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)，の 3 手法を検討した．これらの手法の比較の結果，表 1 に示すように，BoP+LightGBM が最高性能を達成した．

診断→治療計画　RNN では，入力の病態ラベルを順番に読み込み，まず患者ベクトルを構成する．その後，患者ベクトルから治療項目ラベルを順番に出力する．SAN では，入力の病態

表 1　所見からの診断の自動生成

特徴量抽出	分類器	Precision	Recall	F1
USE	MLP	49.1	32.2	38.9
BoW	SVM	53.9	35.0	42.4
BoP	SVM	60.5	34.3	43.8
BoW	LightGBM	69.5	34.4	46.0
BoP	LightGBM	**71.9**	**36.7**	**48.6**

ラベルを一斉に読み込み，病態間の関係を考慮して治療項目ラベルを順番に出力する．これらの手法の比較の結果，表 2 に示すように，明示的に患者ベクトルを構成する RNN がより高い性能を達成した．

表 2　診断からの治療計画の自動生成

	Precision	Recall	F1
RNN	43.5	**43.0**	**41.3**
SAN	**43.6**	41.2	40.6

所見→診断を行う AI システムの臨床応用性の評価　Precision, Recall, F1, を用いた評価は治療計画書を作成した歯科医師の作成した問題リスト，および治療計画との比較であるため臨床応用可能性を示すものではない．そのため開発したシステムの出力を専門医に評価させることで，システムの臨床応用可能性を検討した．所見から診断の自動生成を行う AI システムの臨床応用可能性を評価する手法として AI システムの構築に用いていない無作為に選択した 40 症例分の所見より診断を行うタスクを 4 人の専門医 A, B , C, D, および開発した AI システムに行わせた. 後日作成した診断を作成者が不明な状態で専門医 B, C に最大 4 点, 最低 1 点の 4 段階での評価を行わせた. 症例を II 期外科的矯正治療症例群，II 期矯正治療単独症例群，I 期矯正治療単独症例群，I 期唇顎口蓋裂症例群, その他の症例群の 5 群に分け, それぞれについて平均点を求めた. 結果, 表 3 に示すようにのように II 期外科的矯正治療症例群において AI システムは 5 位中 3 位の成績を, II 期矯正治療単独症例群では 4 位, I 期唇顎口蓋裂症例群では 3 位, I 期矯正治療単独症例では 1 位, その他の症例群では 1 位を達成した.

表 3　専門医およびにシステムの所見→診断における平均点

	A	B	C	D	AI
II 期外科的矯正治療症例群	2.8	3.7	4.0	3.1	**3.3**
II 期矯正治療単独症例群	2.5	3.2	3.7	3.0	**3.0**
I 期矯正治療単独症例群	2.7	3.5	3.8	2.9	**3.8**
I 期唇顎口蓋裂症例群	2.9	3.8	3.5	2.8	**3.4**
その他の症例群	3.5	3.3	4.0	3.0	**4.0**

診断→治療計画を行う AI システムの臨床応用性の評価　診断から治療計画の自動生成を行う AI システムについても診断の自動生成を行う AI システムの評価と同様に, 無作為に選択された 40 症例の診断より治療計画を作成するタスクを 4 人の専門医及び開発した AI システムに行わせた. 後日, 所見から診断の自動生成を行う AI システムの評価と同様に作成者が不明な状態で治療計画を専門医 B, C に 4 段階で評価させ, 5 群それぞれについて平均点を求めた. 結果, 表 4 に示すようにのように II 期外科的矯正治療症例群において AI システムは 5 位中 5 位の成績を, II 期矯正治療単独症例群では 4 位, I 期唇顎口蓋裂症例群では 4 位, I 期矯正治療単独症例では 4 位, その他の症例群では 5 位を達成した.

表 4　専門医およびシステムの診断→治療計画における平均点

	A	B	C	D	AI
II 期外科的矯正治療症例群	2.9	3.2	3.2	2.8	**2.0**
II 期矯正治療単独症例群	3.4	3.3	3.0	2.8	**2.8**
I 期矯正治療単独症例群	3.0	3.4	2.6	2.1	**2.4**
I 期唇顎口蓋裂症例群	2.8	3.8	3.0	2.3	**2.3**
その他の症例群	3.5	3.7	3.5	2.7	**1.3**

II 期外科的矯正治療症例群において AI システムが専門医よりも低い得点しか獲得できなかった原因としては, 一つは，今回システムの構築に用いた自然言語処理という手法の特性にある．自然言語処理では，言葉の意味を学習することはできるものの数値そのものを学習することができない． そのために II 期矯正治療症例における重症度の区別ができなかったものと推察された． AI システムが数値を含めて学習するためには，自然言語処理のみでは限界があることから， 今後，対応する顔画像やエックス線画像を組み合わせたマルチモーダルなアプローチにも取り組むことで，システムの性能を向上させる予定である． 二つ目には, その他の特殊な症例群は, 学習が十分に行われるだけの症例数なかったことが原因であると推察された．これらの稀な症例におけるシステムの性能を改善する方法であるが, 稀な症例において高い頻度で出現する語彙が文中に含まれる場合により高い確率で対応する症例を提示するように調整することで性能の改善を行う予定である．

5 今年度の進捗状況と今後の展望

今年度は所見からの診断の自動生成および診断からの治療計画を自動生成する 2 つの AI システムが臨床応用可能な性能を持ち合わせているかの評価に取り組んだ．画像処理では、撮影環境の違いによるノイズが診断精度に深刻な影響を及ぼすが, 所見にはこれらノイズによる曖昧さが反映されないため、自然言語処理との併用によって高精度 な自動診断が期待できる. 一方, 自然言語処理では, 数字も単語として扱うため数値の大小関係を 解釈できないなどの医療応用における課題があるが, 画像処理との併用によって大小関係や位置 関係などの情報を得られると期待できる. 今後、画像と言語の組み合わせによって 互いの欠点を補い合うマルチモーダル AI 診断システムの構築を目指す.

6 研究業績一覧（発表予定も含む）

学術論文 （査読あり）

- Shimizu, Y.,Tanikawa, C., Kajiwara, T., Nagahara, H., Yamashiro, T. “The validation of orthodontic artificial intelligence systems that perform orthodontic diagnoses and treatment planning ”, Eur J Orthod. 2022 Jan 20;doi: 10.1093/ejo/cjab083.

特別講演

- 谷川千尋, “次世代歯科治療のための三次元 AI の構築”, 第 3 回日本メディカル AI 学会学術集会, 2021 年 6 月 12 日, オンライン.
- 谷川千尋, “矯正歯科治療における AI の応用 “, 東京矯正歯科学会 秋季セミナー,2021 年 11 月 18 日, オンライン.
- 谷川千尋, “矯正科治療における 3 次元デジタル技術の応用”, 一般社団法人 日本臨床歯科 CADCAM 学会, 2021 年 12 月 4 日-5 日, オンライン.

その他（特許，プレス発表，著書等）

- Tanikawa, C., and Lee, C. (2021). Machine learning for facial recognition in orthodontics (Chapter 5). In machine learning in dentistry (Cham, Switzerland: Springier Nature), 55-68.
- Tanikawa, C., Kajiwara, T., Shimizu, Y., Yamashiro, T., Chu, C., and Nagahara, H. (2021). Machine/deep learning for performing orthodontic diagnoses and treatment planning (Chapter 6). In Machine Learning in Dentistry(Cham, Switzerland: Springier Nature), 69-78.