

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11860

研究課題名（和文）深層学習を用いた失語症の症状と訓練による回復課程のモデル化

研究課題名（英文）Deep neural network model for anomic aphasia and the recovery process

研究代表者

黒岩 眞吾（Kuroiwa, Shingo）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20333510

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：失語症の言語訓練で利用される語連想課題を対象に、健常者と同等の語連想能力を持つ深層学習モデルの構築を目指して研究を行った。既存の深層言語モデルに加えて、人間の言語処理機構を模した独自の深層言語モデルを構築した。また、画像を介在させて連想を行う手法や、プロンプトエンジニアリングについても検討を行った。その結果、既存のモデルよりも高い語連想精度を達成することができた。また、語連想における刺激語の貢献度を算出する手法や、連想理由を説明する手法も提案した。加えて、認知神経心理学モデルにおける音韻ルートを参考にした高精度の深層話者照合モデルも考案した。失語症の言語訓練向けにいくつかのアプリも開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

chatGPTの公開以前（当初の研究期間の最終年度の秋）までに得られた語連想モデルによる研究成果は、学術的にはユニークな手法であったが、現時点ではchatGPT（GPT-4）がそれらの性能を上回っている。一方で、刺激語の貢献度を算出する手法（語連想課題のヒント作成時に活用可能）や、人が連想した語と刺激語の関連性を説明する手法は、最新の大規模言語モデルに対しても有効である。また、認知神経心理学モデルを参考にした高精度の深層話者照合モデルの精度は高く、法科学分野での利用が期待される。さらに、実験用に開発したアプリをもとに作成した言語訓練アプリは、時代に即した失語症教材として社会的な意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：We conducted a study aimed at developing a deep learning model capable of performing word association tasks that are used in language therapy for individuals with aphasia. We evaluated conventional deep language models and developed an original deep language model that mimics human language processing mechanisms. We also explored image-mediated association methods and prompt engineering. As a result, we achieved higher word association accuracy than baseline models. Furthermore, we proposed methods for calculating the contribution of stimulus words in word associations and methods explaining the reasons why a person comes up with the associated words the associated words. Additionally, we designed a high-accuracy deep speaker verification model based on the phonological route in cognitive neuropsychology models. We also developed several applications for language therapy for individuals with aphasia.

研究分野：音声言語処理

キーワード：語連想 深層学習 自然言語処理 BERT chatGPT 連想ゲーム プロンプトエンジニアリング シャープレイ値

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

我々は、タブレットやロボットを活用した失語症向けの言語訓練教材の開発・普及を進めてきた。そのうち、絵カードを用いた呼称訓練アプリやロボットを利用した臨床試験では、慢性期でも高頻度で訓練を行うことで、スコアの向上や自発的な発声の増加が観察された。一方で、深層学習技術の発展により、自然言語処理分野でも高精度の予測・生成モデルが実現されつつあった。今後、これらの技術を利用することで、人の言語処理過程のさらなる理解や、それに基づく効果的・効率的な失語症向け言語訓練手法や言語訓練教材の開発が可能になると考えた。失語症向けの言語訓練教材は様々なものが考案されているが、そのうち語連想課題(複数語のヒントから1語の正解を答える課題「まとめる語想起」と提示された1語から自由に連想した語を答える課題「広げる語想起」)は、語の意味や語の關係に着目した課題であり、人の言語処理過程を理解するための最適な課題と考えた。将来的には、人の言語処理過程をシミュレートする深層学習モデルが構築できれば、その一部を破壊して失語症の症状をシミュレートし、さらに、そのモデルを再学習するために最適な学習データを明らかにすることで、人の言語訓練における効果的・効率的な言語訓練手法につながると期待された(研究開始時点では協力關係にあった病院で失語症を持つ人を対象とした語連想実験や開発アプリによる言語訓練を行い、モデルとの比較を行う予定であったが、COVID-19により実験が不可能となった。そのため、深層学習モデルの構築に比重を置いた研究となった)。また、失語症がある場合でも誰の声かはわかる人がいるという点に着目して、深層学習モデルを用いて、失語症の認知神経心理学モデルにおける低次の過程を参考にした話者を認識する深層学習モデルの検討を始めたいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習モデルを用いた人の言語処理過程のシミュレートである。このうち、本研究期間では、語連想課題を対象に人と同様な連想語を出力する深層学習モデルの構築を目指した。また、人の語連想においてなぜその語が連想されたかの關係性を説明すること、および刺激語として与えた語の貢献度を示すことも目標の一つとした。さらに、失語症の認知神経心理学モデルにおける低次の過程を参考にした深層学習モデルを構築し、話者の異同を判定する深層学習モデルの研究開発も目指した。また、研究過程で作成する評価実験用のアプリを失語症向けの言語訓練教材とすることも目的の一つとした。

## 3. 研究の方法

(1)「まとめる語想起」については、出版準備中の『CD版そのまま使える失語症教材2』[1]に掲載されている課題を対象に研究を行った。同課題では5つの刺激語と正解との關係を表す質問(例:次のものから連想する色はなんですか? ポスト,りんご,消防車,トマト,いちご)に対し課題作成者が正解とした語(例:赤)を連想することを目標に、様々な深層学習モデルを設計し評価した。また、正解に対する各刺激語の有効性を計測する手法も検討した。

(2)「広げる語想起」については、『連想語頻度表』[2]を正解と見立て、『CD版そのまま使える失語症教材2』の課題(例:次の言葉から連想するものは何ですか? 花)を対象に、深層学習モデルを用いて人と同様の語想起を行えることを目標に、様々な深層学習モデルを設計し評価した。また、人が想起した語に対し想起理由(關係性)を説明する手法も検討した。

(3)2つの音声は様々な意味で同一であるか否かを直接比較する深層学習モデルを検討した。これは、認知神経心理学モデルの音韻ルートに対応するモデルであり、音韻照合では人と同等の精度を達成している。本研究では、極短時間の音声に対して発声者が同一であるか否かを判定するモデルを構築し評価を行った。

(4)上記の研究内で人との比較(本研究期間では健常者のみ)のために作成したアプリを、失語症向けの言語訓練に活用できるよう改良し公開を目指した。

## 4. 研究成果

研究により得られた成果や知見は、当初の研究期間最終年度の秋に公開された chatGPT の登場により再考する必要があった。そのため、以下では chatGPT 公開以前には意義のあった研究成果を含め、chatGPT によりそれらの成果がどのように塗り替えられたかも記載する。

(1) chatGPT 公開前までは、「まとめる語想起」を対象とした深層学習モデルとして、事前学習済み大規模言語モデル(LLM)のBERTを利用し、回答のためのMASK文(プロンプトに相当)を工夫する手法により最も高い1位正解率49%、5位以内正解率70%を得ることができた。これは、「まとめる語想起」に合わせてBERTをFine-Tuningした場合の正解率よりも高く、LLMにおいてはプロンプトが重要な役割を果たしていることが明らかとなった。また、色を連想させる課題

においては、上述の手法以外に、word2Box を改良したモデル、距離学習に基づくモデルに人の学習方法を取り入れたモデル、人を模倣した自己反復学習が可能な Encoder-Decoder モデルを検討したが、LLM を利用する手法の正解率には至らなかった。その後、当初の本研究期間終了年度の秋に公開された chatGPT (GPT3.5~GPT4) を用いて実験を行ったところ、プロンプトを工夫することで、検討してきた全ての手法を凌駕する語連想精度を達成可能なことが明らかとなった（課題ごとにプロンプトを工夫する必要はあったが実験対象課題を全問正解できた）。GPT モデルは脳の働きに基づき人の言語処理機能を模倣して設計されたわけではないが、人に対する模倣性能は従来モデルに比べ圧倒的に高い。そのため、GPT モデルの内部動作を分析することで、人の言語処理機能に相当するネットワークが構築されている可能性もあり、今後の研究が期待される。

(2) 「広げる語想起」に対しては、大規模コーパスで MASK 学習する段階で、MASK 対象語を選択すること、および語連想時のプロンプトを工夫する手法により、人との類似性が最も高い結果が得られた（上位 5 位以内に人と同じ連想語を出力した一致割合は、0.41、選択学習しない場合は 0.38）。また、刺激語で画像を検索し、その上で画像認識を行った結果も連想時に用いることで、色等を連想語として出力する刺激語に対しては一致割合を 0.79 まで向上させることができた。また、1 語から 5 語を連想し、その 5 語から元の 1 語を連想させるという形での自己教師あり学習を行う手法も検討したが、一致割合の向上には至らなかった。chatGPT 公開以降は、人の連想結果に対し、どのような関連性からその語が連想されたかを chatGPT に説明させるプロンプトエンジニアリング手法の検討を行った。その結果、chatGPT を用いて、Zero-Shot で連想理由を複数生成させたのち、生成された説明文中の刺激語・連想語・連想理由を順に MASK した上で、正しく MASK を予測できた文を選択して、それらを Few-Shot プロンプトとして再度 chatGPT に与えることで、連想理由を説明させる手法により、人と同等の説明生成ができることを確認した。この成果は、「広げる語想起」をアプリとして作成した場合の連想妥当性を評価する機能としての応用を期待できるものである。また、大規模言語モデル登場後の同分野において、注目されているプロンプトエンジニアリングの重要性を裏付ける結果でもあった。

(3) 「まとめる語想起」における正解に対する各刺激語の有効性を測る手法として、協力ゲーム理論におけるシャープレイ値を、大規模言語モデルを用いた語連想の各刺激語の貢献度として算出する手法を考案した。実験により、算出値が従来用いられていて Attention 等に比べて妥当性が高いことを確認した。また、一部の刺激語が負の貢献をしていることを発見し、実際、それらの語を刺激語から除くことで正解語がより上位になることも確認できた。本検討は BERT を用いて実施したが、汎用的な方法であり、GPT 等の最新の大規模言語モデルにも適用可能である。また、「まとめる語想起」の課題作成時に、刺激語の妥当性を判断するツールとしての活用も期待できる。

(4) 2 つの音声を入力して、同一話者の発声か否かを判定する同一話者判定 DNN を考案した。同手法は、一般的な話者照合に用いられる音声から話者ベクトルを抽出する手順は踏まずに、音響・音韻レベル（音韻ルート）での照合が可能な構成となっている。実験の結果、従来の手法では困難な 0.2 秒程度の単母音発声で 95% の話者照合精度を達成した。また、0.3 秒から 1 秒の単語発声では 97% から 99% の話者照合精度を得た。法科学（科学捜査）分野での音声認証への応用においては、対象話者の大量のデータを入手することはできないため、本考案手法の有効性は高い。これらの結果は、人の音声言語処理のモデル化が可能になれば、現在の大規模モデルが必要とする人には学習しきれない大量のデータが無くとも、モデルの構築が可能であることを示唆しているように思われる。

(5) 人を対象とした実験に使用したアプリの一部を、失語症向け言語訓練教材としてまとめた。1 つ目は VBA プログラムをパワーポイントに組み込み、失語症を持つ人が一人で呼称訓練や語想起訓練を行える教材である。同教材は、2025 年度中に出版予定の『CD 版そのまま使える失語症教材 3』にて公開予定である。2 つ目は「まとめる語想起」を、失語症を持つ人がスマホを使って、いつでも・どこからでも言語訓練を行える Web アプリである。音声による入力も可能であり、音声認識を用いた正誤判定も行う。同アプリは 2024 年 6 月現在、Web 上で公開している（2025 年 4 月以降の継続は未定）。3 つ目は言語聴覚士が言語訓練で利用するアプリで、「広げる語想起」をオンラインで実施し、記録を残せるようにしたものである。同アプリについては一部の言語聴覚士が利用していたが、今後は GPTs を利用して自主学習可能な対話型アプリとすべきであると考えている。

#### < 実験で使用した文献 >

- [1] 鈴木勉, 宇野園子 (監修), CD 版そのまま使える失語症教材 2, エスコアール, 2024 年出版予定。
- [2] 水野りか, 柳谷啓子, 清河幸子, 川上正浩, 連想語彙頻度表~3 モーラの漢字・ひらがな・カタカナ表記語, ナカニシヤ出版, 2011。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Manaka Takamizawa, Satoru Tsuge, Yasuo Horiuchi, Shingo Kuroiwa	4. 巻 310
2. 論文標題 Same Speaker Identification with Deep Learning and Application to Text-dependent Speaker Verification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Smart Innovation, Systems and Technologies	6. 最初と最後の頁 149-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-19-3455-1_11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Soma, Yasuo Horiuchi, Shingo Kuroiwa	4. 巻 1
2. 論文標題 Multiple Words to Single Word Associations Using Masked Language Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 15th International Conference on Knowledge and Smart Technology	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/KST57286.2023.10086780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富島 諒, 相馬 佑哉, 堀内 靖雄, 黒岩 眞吾
2. 発表標題 BERTを用いた語連想タスクにおけるカテゴリー指定効果の分析
3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 悠真, 堀内 靖雄, 黒岩 眞吾
2. 発表標題 Answer Selectionにおけるトリプレットロスを用いた再学習
3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 問井 拓海, 相馬 佑哉, 堀内 靖雄, 黒岩 眞吾
2. 発表標題 BERTによる語連想タスクでのシャープレイ値を用いた連想根拠の提示
3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相馬佑哉, 堀内靖雄, 黒岩眞吾
2. 発表標題 検索画像を介在させた語から語の連想模擬法の検討
3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラム (FIT2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高見澤真央, 黒岩眞吾, 堀内 靖雄, 柘植覚
2. 発表標題 単母音発声を対象とした深層話者照合手法の検討
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高見澤真央, 黒岩眞吾, 堀内靖雄, 柘植覚
2. 発表標題 同一話者判定DNNを用いたテキスト依存型話者照合
3. 学会等名 日本音響学会春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相馬佑哉, 堀内靖雄, 黒岩眞吾
2. 発表標題 相馬佑哉, 堀内靖雄, 黒岩眞吾
3. 学会等名 言語処理学会第28回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相馬佑哉, 堀内靖雄, 黒岩眞吾
2. 発表標題 人間とBERT の語から語の連想の比較
3. 学会等名 言語処理学会第27回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

「まとめる語想起」Webアプリ: <a href="https://actvoice.sakura.ne.jp/awa/">https://actvoice.sakura.ne.jp/awa/</a> (2025年3月まで公開)
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------