

社会復帰を目指す失語症者のためのリハビリテーションプラン 自動作成に向けた機械学習モデルの設計

松原華乃¹ 内田智之² 川本佳代² 小崎和治³
柏田孝志³ 杉原勝宣⁴ 宮原哲浩² 鈴木祐介²

概要: 失語症とは、脳卒中等が原因で言語機能の中樞が損傷されたことによる後天的な言語障害である。発声や聴力、言語機能に障害をもつ失語症者に対するリハビリテーションは言語聴覚士が行う。言語聴覚士は各失語症者のリハビリテーション効果を高めるために、ホームワーク用リハビリテーションを作成する。これまでに Android タブレット端末上のアプリケーションとして、社会復帰を目指す失語症者のためのリハビリテーション支援システムを開発してきた。そのシステムを利用して、失語症者ごとのリハビリテーションプランを自動作成するための機械学習モデルの設計およびその実装を行なった。本稿では、実装したモデルとその有用性について、言語聴覚士を対象としたアンケート結果を基に報告を行う。

キーワード: 機械学習, 半教師あり学習, 医療・福祉支援

Building a Machine Learning Model for Making Automatically Rehabilitation Plan for each Aphasic Patient Aiming to Reintegrate Back into Society

Hanano Matsubara¹ Tomoyuki Uchida² Kayo Kawamoto² Kazuharu Kosaki³
Takashi Kashiwada³ Katsunobu Sugihara⁴ Tetsuhiro Miyahara² Yusuke Suzuki²

Abstract: Aphasia is an acquired language disorder caused receiving damage to the center of language function because of cerebrovascular accident such as a stroke. A speech-language-hearing therapist (ST for short) helps aphasic patients with speech, hearing, and language disorders. An ST creates a rehabilitation plan for homework to increase effect of each aphasic patient's rehabilitation. A system supporting to make rehabilitation plans for aphasic patients who aim to reintegrate back into society has been developed as an application on Android tablet terminals so far by us. We designed and implemented a machine learning model to automatically creates a rehabilitation plan for each aphasic patient by using the system. Moreover, we show the usefulness of the model by reporting questionnaire results for STs.

Keywords: Machine Learning, Semi-Supervised Learning, Medical and Welfare Support

1. はじめに

一般に、失語症は「大脳の言語中枢の損傷によって生じる後天的な言語障害で、聴く・話す・読む・書くという全ての言語モダリティに何らかの影響が生じうる」と定義される[1]。失語症を患っている人（失語症者）の言語機能の維持向上のための検査・助言・指導などは言語聴覚士（Speech-Language-Hearing Therapist, ST）が行う。日本では失語症者が約 50 万人いると言われている[2]。一方、ST の有資格者数は 2020 年 3 月末時点で約 3.4 万人、日本言語聴覚士協会の正会員の中で有職者数はそのうちの約 1.5 万人と言われている[3]。さらに ST になるには国家試験に合格することが必須であるため、すぐに ST の数を増やせない

のが現状である。この現状を鑑み、失語症者のリハビリテーション（機能回復訓練）を行う ST を支援するシステムを開発することで、ST の作業負担を軽減し、かつ失語症者のリハビリテーションの時間や量を増加させることが期待される。そこで内田ら[4]は、タブレット上で動作するアプリケーションとして失語症者リハビリテーション支援システム AphaRehaSys（ありす）を開発した。AphaRehaSys は失語症者にリハビリテーションのための問題を出題する機能と、言語聴覚士が失語症者に合わせたリハビリテーションプラン（プラン）を作成する機能から成る。失語症者が AphaRehaSys で出題される問題に十分に取組みしていないため、解答データの収集は不十分であるのが現状である。また、失語症者ごとに症状が異なるため、ST がプランを作

1 広島市立大学情報科学部
Fac. Information Sciences, Hiroshima City University
2 広島市立大学情報科学研究科
Grad. Sch. Information Sciences, Hiroshima City University

3 広島市立リハビリテーション病院リハビリテーション技術科
Dept. Rehabilitation Technology, Hiroshima City Rehabilitation Hospital
4 広島市立リハビリテーション病院リハビリテーション科
Dept. Rehabilitation, Hiroshima City Rehabilitation Hospital

成する際には多くの時間を要し、言語を操作する機能での障害の有無とその程度を考慮する必要があり、作業負担軽減も不十分である。そこで本研究では、異なる症状ごとの失語症者を想定した人工データを作成することで解答データ不足を解決し、プラン案を自動作成する機能に対する機械学習モデルの設計を行うことで、ST がプランを作成する際にかかる作業負担の軽減を目的とする。さらに、ST を対象としたアンケート結果を基に提案モデルの有用性を確認したので、その報告を行う。

2. 失語症者リハビリテーション支援システム AphaRehaSys (ありす)

AphaRehaSys[4]は、失語症者ごとに ST がプランを作成する「リハビリテーションプラン作成機能」と、ST が作成したプランに基づき、失語症者がホームワークとして行うリハビリテーションを提供する「問題解答トレーニング機能」から成る。なお、AphaRehaSys が出題するリハビリテーション問題は、基礎的な国語の問題 13 種類（言語機能）と図形認識問題 1 種類（非言語機能）の合計 14 種類である。

2.1 リハビリテーションプラン作成機能

リハビリテーションプラン（プラン）は、1 日 1 パターンを目安に構成される。パターンとは、問題種ごとの設問数と制限時間の組の集合である。ST は、リハビリテーションプラン作成機能において、ホームワークとして提供するパターン数だけ問題種ごとの設問数と制限時間を決定することでプランを作成する。プラン作成手順を以下に示す。

- (1) スタート画面から、言語聴覚士ログイン画面に入り、ST がログインする。未登録の場合は新規登録を行う。
- (2) 失語症者選択画面（図 1 参照）では登録患者を選択し作成するパターン数を入力する。1 日 1 パターンを実施することを想定し、最大 3 週間分の 21 パターンまで設定できる。失語症者が未登録の場合は、新規登録画面で登録を行う。
- (3) 出題問題種選択画面（図 2 参照）では、パターンごとに 出題する問題種を設定する。
- (4) 出題設問数と制限時間選択画面（図 3 参照）では、(3) で設定した問題種ごとに 出題設問数と制限時間を選択する。
- (5) 内容確認・修正画面（図 4 参照）では、設定した問題種と設問数の確認・修正を行う。プラン全体の設問数を細かく調整することができ、制限時間設定ボタンを押すと、設問数と同様に制限時間を細かく調整できる。

2.2 問題解答トレーニング機能

ST により作成されたプランに従って、失語症者が行うリハビリテーションを提供する問題解答トレーニング機能の手順を以下に示す。

- (1) スタート画面から問題解答トレーニング機能に入る。
- (2) 問題一覧表示画面（図 5 参照）では、ST が作成した

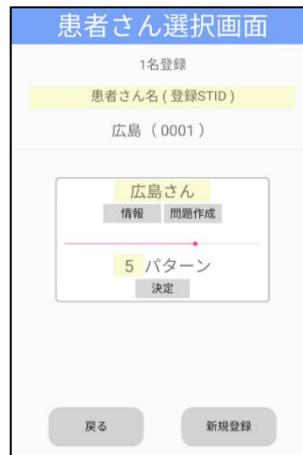


図 1：失語症者選択画面



図 2：出題問題種選択画面

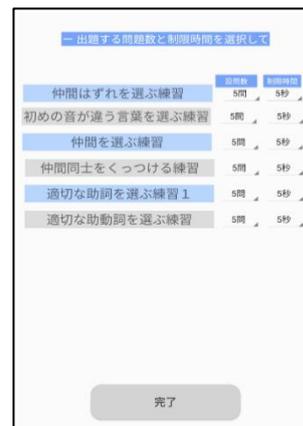


図 3：出題設問数と制限時間
選択画面



図 4：内容確認・修正画面

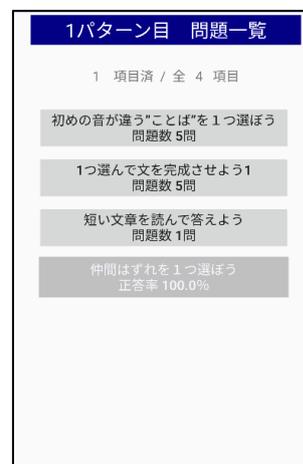


図 5：問題一覧表示画面



図 6：問題解答画面

プランの 1 パターン目の問題が全て表示される。失語症者はその中から解答する問題を自由に選択できる。なお、選択できる問題は薄い灰色で示され、選択済みの問題は濃い灰色で示される。1 パターン分の問題を全て解くと現れる結果表示ボタンを押すことで、総合結果表示画面に移る。

- (3) 問題解答画面（図 6 参照）では、設問を解くごとに正誤判定が行われる。

3. 機械学習モデルの設計

AphaRehaSys が出題するリハビリテーション問題のうち、言語機能に関する問題を、音韻分析・意味理解・文法理解・文章理解・聴覚的理解の5種類に分類し(表1参照)、問題種ごとに難易度を数値化することで、失語症者の回復経過に沿ったプラン案を自動作成するための機械学習モデルを設計する。

3.1 モデル設計

失語症の典型的な回復経過の機能レベル(図7[5], p.63参照)を、発症経過時刻において挑戦できる問題の難しさ、つまり「難易度」と捉え数値化した。

本論文における「リハビリテーションプラン(プラン)」とは、1週間に提供するパターン分作成される問題種ごとの設問数と制限時間のセットの列で表現される時系列データである。2.1節で述べた内田ら[4]のものとは異なることに注意する。プランを提供する期間は、最短でAphaRehaSysを用いてリハビリテーションを行うことができると仮定した失語症発症2か月後から、着実に機能を回復できであろう3年までとする。プランは1週間に1度提供するものと仮定し、プランを提供する時刻 $t(t = 8, 9, \dots, 144)$ の単位は「週間」である。また、失語症者の症状に合ったプランを作る際には、AphaRehaSysで出題する、音韻分析 ℓ_1 ・意味理解 ℓ_2 ・文法理解 ℓ_3 ・文章理解 ℓ_4 ・聴覚的理解 ℓ_5 の5つの言語機能の障害残存度 $w_i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ を考慮した「難易度」を設定する必要がある。そのため、問題の難しさ(difficulty)を *easy, normal, hard* に分類し、それぞれを数値1,2,3に対応させた137行15列の時系列データを、本論文におけるプランとする。問題の難しさ *difficulty* を計算する方法は付録に示す。時刻 $t(t = 8, 9, \dots, 144)$ における各言語機能 $i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ の難易度 f_i^t を

$$f_i^t(x_i, y_i, z_i) = \frac{x_i}{n_i} * 1 + \frac{y_i}{n_i} * 2 + \frac{z_i}{n_i} * 3$$

で定義する。ここで、 x_i, y_i, z_i はそれぞれ *easy, normal, hard* の設問数を表し、 n_i は $x_i + y_i + z_i$ とする。時刻 $t(t = 8, 9, \dots, 144)$ におけるプランの難易度 D_t を

$$D_t = \begin{cases} \log_{10}(2.5 * t) + 0.5\{\text{recovery}(t-1) - D_{t-1}\} & (8 < t \leq 144) \\ \log_{10}(2.5 * t) & (t = 8) \end{cases}$$

で定義する。ここで、回復度を表す $\text{recovery}(t)$ は図7の回復経過を表す曲線の時刻 t における機能レベルの値($\log_{10} 2.5 * t$ で近似)に対して $\pm 4/t$ の範囲でランダムに生成した値である。経過時間が経つにつれて機能レベルの値との誤差が小さくなるが(図8参照)、これは経過時間が経つにつれて失語症者の回復度が安定すると仮定したためである。また、適切な難易度に近づけるため時刻 $t-1$ で生じた難易度と回復度の差を考慮する。このとき近似式

$$D_t \cong \sum_{i=\ell_1}^{\ell_5} w_i * f_i^t(x_i, y_i, z_i)$$

表1: 問題種の分類

今回の問題種	これまでの問題種
音韻分析	初めの音が違う言葉を選ぶ練習 初めの音が同じ言葉を選ぶ練習
意味理解	仲間外れを選ぶ練習 仲間を選ぶ練習 仲間同士をくっつける練習
文法理解	適切な助詞を選ぶ練習 1 適切な助詞を選ぶ練習 2 適切な助詞を選ぶ練習 3 適切な助動詞を選ぶ練習
文章理解	読んで理解する練習 1 読んで理解する練習 2 読んで理解する練習 3
聴覚的理解	聞いて理解する練習

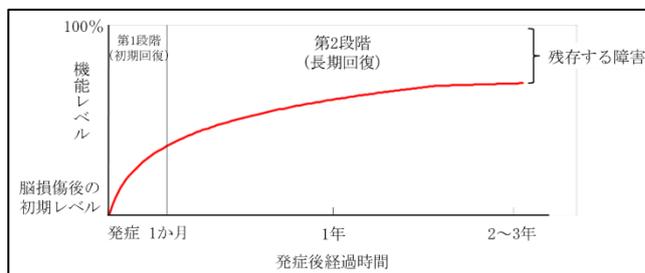


図7: 失語症の典型的な回復経過

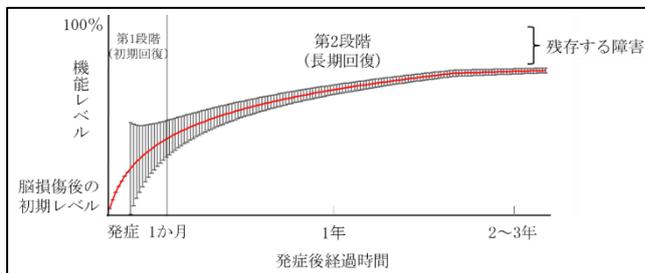


図8: 回復度recoveryの幅

が成り立つように設問数 x_i, y_i, z_i を求めることでプランの自動生成を行う。ここで、設問数 x_i, y_i, z_i は自然数であるため、実数 D_t との誤差を許容する。時刻 $t(t = 8, 9, \dots, 144)$ における設問数の列

$$(x_{\ell_1}, y_{\ell_1}, z_{\ell_1}, \dots, x_{\ell_5}, y_{\ell_5}, z_{\ell_5})$$

をプラン案として提案する。現時点では、各言語機能 $i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ の問題に対する制限時間 t_i は固定値のため、プラン全体の総問題数 N と総制限時間 T は、以下の式で表される。

$$N = \sum_{i=\ell_1}^{\ell_5} n_i, \quad T = \sum_{i=\ell_1}^{\ell_5} n_i * t_i$$

次に、畳み込みニューラルネットワークを用いて、時系列データのプラン案がもつ特徴を抽出する失語型分類モデルについて説明する。このモデルは、作成したプラン案が

表 2: 失語型別失語症者を想定した人工データ

失語型(ラベル)	ウェルニック失語(0)	伝導失語(1)	超皮質性運動失語(2)
データ数	1594	1942	2160

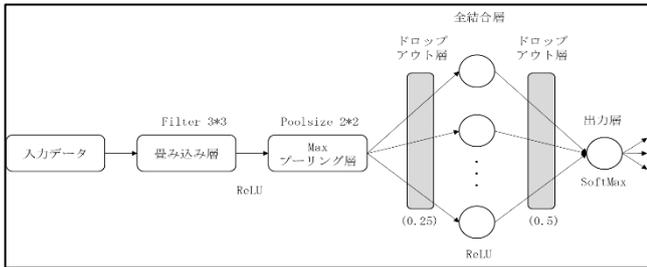


図 9: 失語型分類モデルの構成

表 3: 失語型分類モデルの概要

中間層 (タイプ)	出力データ数	パラメータ
conv2d_1 (Conv2D)	(137, 15, 8)	80
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(68, 7, 8)	0
dropout_1 (Dropout)	(68, 7, 8)	0
flatten_1 (Flatten)	(3808)	0
dense_1 (Dense)	(8)	30472
dropout_2 (Dropout)	(8)	0
dense_2 (Dense)	(3)	27

どの失語型に合ったプランとなっているか分類し、該当の失語型に分類されるかどうかを判定するために用いる。失語型別に失語症者を想定し作成した人工データ (表 2, 3.2 節参照) に対して、失語型のラベルごとに学習用データとテスト用データの比が 8 対 2 になるように分割し学習を行った。作成したモデル ([6], p.366) を図 9 と表 3 に示す。なお、今回作成した人工データに対して分類モデルを作成したことで、15 個のパラメータをもつ時系列データから、リハビリテーションプラン案自動作成機能が実装できることを確認した。これは実際に失語症者の解答データを扱えるようになった際に、同手順を踏むことによってリハビリテーションプラン案自動作成機能を実装できることを示唆している。

3.2 失語症者を想定した人工データ作成

本論文において対象とする失語型を定め、それらの失語型が持つ障害の傾向を考慮した人工データを作成する際に必要となる前提条件を踏まえて、根拠に基づいた人工データの作成方法を説明する。

失語症者のリハビリテーション支援システム AphaRehaSys (ありす) は、社会復帰を目指す失語症者に対して、ホームワークとして提供するためのシステムであるため、言語機能が重度に障害されており、ST による繊細なリハビリテーションが必要となる失語症者には使用することはできない。そこで、新古典分類[1]の中から AphaRehaSys を用いたリハビリテーションの対象とする失語型に関して、本論文で扱う 5 つの言語機能に対する障害の傾向を表 4 に

表 4: 失語型の言語機能に対する障害の傾向

失語型	音韻分析	意味理解	文法理解	文章理解	聴覚的理解
ウェルニック失語	比較的保存	比較的保存	比較的保存	比較的保存	障害
超皮質性運動失語	比較的保存	比較的保存	比較的保存	比較的保存	比較的保存
伝導失語	比較的保存	比較的保存	比較的保存	比較的保存	正常

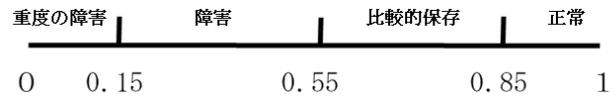


図 10: 障害の傾向を数値化

示す ([7]参照)。先行研究らによって開発・拡張されてきた AphaRehaSys だが、失語症者のリハビリテーションに実際に用いられていない。そこで、失語型別に失語症者を想定した人工データを作成する。作成のための前提条件を 7 つ設定する。

- ① 今回対象とする失語型は「ウェルニック失語」、「伝導失語」および「超皮質性運動失語」とする。
- ② 対象とする失語型別に 5 つの言語機能に対する障害の傾向を同じ区間[0:1]の実数で数値化する。
- ③ 1 日 (1 パターン) にホームワークとして行う問題数を 20 問とする。
- ④ 1 日 1 パターン行うものとし、1 週間 (1 プラン) に行うパターン数を 5 ~ 7 パターンとする。
- ⑤ 問題の難しさ *hard* を出題し始める時刻 t を乱数で決定する。
- ⑥ 「ウェルニック失語」に対する、聴覚的理解の問題の正答率に個人差を付ける。
- ⑦ 正答率が 70% となると、時刻 t における失語症者の回復度と難易度は同等であるとする。

次に、前提条件①~⑦の設定理由と実装方法の 2 つ視点から詳細に説明する。

前提条件①は以下の理由で設定した。AphaRehaSys で提供される問題のうち、聴覚的理解以外の言語機能に関する問題は、自動作成によりリハビリテーションとして十分に提供できるほどの問題数増加が見込まれる。また、社会復帰を目指す可能性の高い実現性の近い 3 つの失語型を対象とした。プログラム上では②の手順を踏んで実装を行った。

前提条件②は以下の理由で設定した。失語症者に合ったプランを作成するためには、その失語症者がもつ障害の度合いを数値化する必要があるため、表 4 を参考に、障害の傾向を 4 段階の実数で数値化 (図 10 参照) し、重度の障害であるほど 0 に近く、正常に近いほど 1 に近くなるように設定した。なお、表 4 の失語型の障害の傾向には重度の障害は存在しないが、他の失語型には存在する。以降これらの値を「保存度」と呼ぶ。時刻 $t (t = 8, 9, \dots, 144)$ におけるプランの難易度 D_t は

$$D_t \cong \sum_{i=\ell_1}^{\ell_5} w_i * f_i^t(x_i, y_i, z_i)$$

であり、各言語機能 $i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ に対する重み w_i は各言語機能 i の難易度 f_i^t に影響を与える。そのため、他の言語機能よりも「保存度」が低い言語機能 i に対して大きな重み w_i を掛けることで、他の言語機能より難易度 f_i^t の値を小さく、つまり易しい問題を出題するように設定できる。これを実現するため、プログラム上では各言語機能 i に対し、 $(i$ についての障害残存度) = $1 - (i$ についての保存度)と定め、この各言語機能 i に対する「障害残存度」の和が1となるように正規化したものを重み w_i とする。こうすることで、各言語機能 i の障害の傾向を考慮して、時刻 t におけるプランの難易度 D_t を各言語機能 i の難易度 f_i^t に振り分けたものとした。

前提条件③は以下の理由で設定した。広島市立リハビリテーション病院の ST1 名の実体験を参考にしている。プログラム上では、「保存度」を考慮して 20 問を各言語機能 i に振り分けた。つまり、「保存度」が低いほど振り分ける問題数を少なく設定した。

前提条件④は以下の理由で設定した。平田[8]が行ったアンケートにおいて、1 週間に行うパターン数を問う質問から多かった回答を参考にした。プログラム上では、③で振り分けた 1 パターンにおける各言語機能 $i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ の問題数を、1 週間に行うパターン数だけ倍にして実装した。また、全体の問題数は初期問題数 ($20 \times 5 \sim 20 \times 7$) から時刻 $t(t = 8, 9, \dots, 144)$ の増加に従って 1 問ずつ増加させた。

前提条件⑤は以下の理由で設定した。リハビリテーションを施してきた失語症者の中で、早い人は失語症を患ってから半年後には難しい問題に挑戦できることがある。また、遅くとも失語症の回復が鈍化する前の 1 年後までには、難しい問題に挑戦することを目安としている。そこで、失語症者を想定した人工データを作成する際にも、回復の早い・遅いを考慮する。プログラム上では、半年 (時刻 $t = 24$) から 1 年 (時刻 $t = 48$) の範囲で発生させた乱数を、問題の難しさ *hard* を出題し始める時刻 t とし実装した。

前提条件⑥は以下の理由で設定した。表 4 が示す障害の傾向とは、失語症の発症初期の段階における傾向であり、リハビリテーションを重ねることで十分に回復していく可能性がある。つまり、障害の傾向が重い言語機能に対しても回復が早い失語症者は存在する。これを実現するため、プログラム上では、聴覚的理解の問題に対する回復が早い人は、障害の傾向に関係なく正解数を決定し、回復が遅い人は、正解数を半分にして実装した。

前提条件⑦は以下の理由で設定した。リハビリテーションにおいて、失語症者の回復度を考慮しながら難易度は設定される。難易度は付録に示すように、いくつかの因子から計算して求めることができるが、回復度は正答率から求める必要がある。一般に、正答率が 70% 付近となるように難易度を設定することで、易しすぎず難しすぎず丁度良い回復が見込まれる。そこで、プログラム上では失語症者の



図 11: リハビリテーションプラン作成画面における該当番号

回復度を難易度と同じように数値化するため、正解率 70% のとき 1.0 となる比を難易度に掛けることで実装した。例えば、時刻 t におけるプランの難易度 $D_t = 1.5$ のとき、
正解率: 50% 比: $50/70 = 5/7$ 回復度: $1.5 * 5/7 \approx 1.07$
正解率: 80% 比: $80/70 = 8/7$ 回復度: $1.5 * 8/7 \approx 1.71$
正解率が 50% のときの回復度は難易度 $D_t = 1.5$ を下回っているため、難しいプランを提供したことで回復度が低くなったと解釈する。正解率が 80% のときの回復度は難易度 $D_t = 1.5$ を上回っているため、易しいプランを提供したことで回復度が高くなったと解釈する。この回復度と難易度の差を考慮して次のプランを作成していく。また、各言語機能 $i(i = \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_5)$ の正答率も考慮して難しさ別に問題数を割り振り作成していく。

3.3 リハビリテーションプラン作成画面

失語症者を想定した人工データを基に自動作成されたプランを表示し、ST には次回問題数の微修正のみを行って頂くような画面を作成した。つまり本論文のリハビリテーションプラン案自動作成機能により、これまでの 3 つの手順 (図 2,3,4) を 1 つの手順で行うようにした。また、これまでなかった「難易度」の考えを導入した為、リハビリテーションプラン作成画面に様々な要素を組み込んでいる。この画面の細部について番号を割り振りそれぞれの説明を行う (図 11 参照)。

- ① 失語症者の失語型を示す。横に位置する数字は失語症者を想定したデータの番号を示すが、将来的に失語症者名を示す。
- ② 1 週間ごとのプラン 3 か月分に対して、問題数の難易度別割合を棒グラフで表し、難易度を折れ線グラフで表す。

- ③ 失語症発症からの経過時間に対して作成したプランを表に示す。5つの言語機能に対して3段階に分けた難易度の問題数を表示する。
- ④ 前回の問題数と正解数を基に作成した次回の問題数を表示する。
- ⑤ 作成した次回の問題数に対する総問題数と総学習時間を表示する。

リハビリテーションプラン作成画面は, STに失語症者の回復経過を示し, それを基に次回のプラン作成を支援するだけでなく, 失語症者自身に回復状況を視覚的に示すことで, リハビリテーションに対するモチベーションの維持・向上を促す目的で作成した。

4. 評価実験と考察

4.1 実験の手順

以下の手順に従った評価実験を, 広島市立リハビリテーション病院に勤務する14名のSTを対象に行った。(1) STがAphaRehaSysのリハビリテーションプラン案自動作成機能を実装した, タブレット上で動作するアプリケーションを使用し, 自動作成されたプラン案を調整する。(2) STがリハビリテーションプラン案自動作成機能に関するアンケートに答える。なお, システムの操作で分からないことや迷うことがあればその都度操作説明書を確認してもらった。

アンケートでは, 肯定的な評価から否定的な評価まで6段階の選択肢を設けて評価していただき, 上位3段階を肯定的な評価, 残りを否定的な評価とした。

4.2 リハビリテーションプラン作成画面に関する評価結果と考察

以下の2項目に関する評価結果を表5に示す。

- (ア) リハビリテーションプラン作成に適切なインターフェースになっているか。
- (イ) 本研究は有効であるか。

表5より, (ア)の項目において肯定的な意見を有意に得られなかったものがあるため, STからの意見を参考にし, より現場に適切なインターフェースに改良する必要がある。(イ)の項目については, 肯定的な意見が有意に多く, リハビリテーションプラン作成時の作業負担を軽減できたことが確認された。しかし, 今回新たに取り入れた「難易度」の読み取り方や, これまでのシステムを変更した点に対してSTから意見を頂いたため, 改良の余地がある。

4.3 プラン案に関する評価結果と考察

システムが自動作成したプラン案に対して, STであればどの言語機能をどれくらい調整するのか(図12の④参照), アンケートを行った。その結果から以下の2項目について考察する。

- ① STが考える「難易度」との差異
- ② プラン案に対する調整数

まず, リハビリテーションプラン案自動作成機能は前回

表5: リハビリテーションプラン作成画面の評価結果

該当箇所	項目	質問	肯定数		二項検定
			肯定数	否定数	
①	ア	(①-A) 失語型名を表示することは適切	0	14	p<.01
			12	2	
①	ア	(①-B) 患者さんの名前を表示することは適切	14	0	p<.01
			12	2	
②	ア	(②-A) 全体または言語機能別に図を表示するのは参考になる	14	0	p<.01
			12	2	
②	ア	(②-B) 問題数を変更するうえで図は参考になる	12	2	p<.05
			13	1	
②	ア	(②-C) 図はリハビリ経過を確認するうえで参考になる	11	3	p<.10
			12	2	
③	ア	(③-A) 過去3か月のプランは参考になる	12	2	p<.05
			5	9	
③	ア	(③-B) 過去のプランの閲覧期間が3か月は適切	13	1	p<.01
			14	0	
④	イ	(④-A) 難易度を3段階に分けて問題数を決定するのは適切	14	0	p<.01
			14	0	
⑤	ア	(⑤-A) 総問題数と総学習時間は参考になる	14	0	p<.01
			13	1	
	イ	(③-A) 前回と比べて使いやすい	14	0	p<.01
			14	0	
	イ	(③-B) 作業負担は軽減した	14	0	p<.01
			13	1	
	ア	(③-C) 難易度は有効である	13	1	p<.01
			13	1	
	イ	(③-D) 3か月の時系列で回復経過を見ることは有効である	13	1	p<.01
			13	1	
	イ	(③-E) 長期リハビリ計画を立てるのに有効である	13	1	p<.01
			13	1	

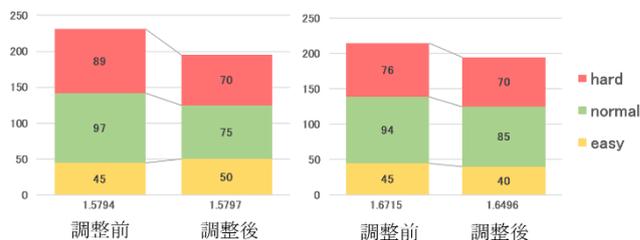


図12: STによるプラン案調整前後の難易度

の問題の正答率を参考に次回の問題を作成している。つまり長期的な回復経過ではなく, 短期的な回復経過を参照しているため, 局所的なプラン案となっている。プラン全体の難易度を比較すると, STによるプラン案調整前後では難易度が大幅に変化することはなかった(図12参照)。これは, 自動作成するプラン案の難易度を失語症の典型的な回復経過(図7参照)に沿って設定したため, 難易度の設定方法が妥当であったと考えられる。しかし, 棒グラフの大きさを比較して分かるように, 調整された問題数の増減の幅は大きく, より調整数を減少させるように改良する必要があることが分かった。また, 同じ人工データに対して2人のSTによる調整結果を図13に示す。STの方々も自動作成されたプラン案と同様, 前回の問題の正答率を参考に次回の問題を調整しているにも関わらず, 同じ人工データに対し調整方法に大きな差が見られた。このことから, STと

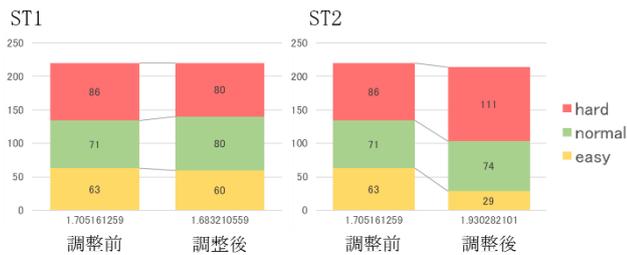


図 13: 同データに対する 2 人の ST の調整結果

表 6: 各失語型の実験データ数

失語型	ウェルニッケ失語	伝導失語	超皮質性運動失語
実験データ数	8	8	7

表 7: モデルの分類精度

失語型	ウェルニッケ失語	伝導失語	超皮質性運動失語
再現率	1	0.875	0.714
適合率	0.8	1	0.833
F 値	0.889	0.933	0.769

しての経験年数や、提示した人工データから想定した失語症者像に違いがあったため、このような結果が得られたと考える。

4.4 提案した機械学習モデルの分類精度に関する考察

3.2 節で設計したモデルを用いて、23 個の人工データ (表 6 参照) の分類を行い、各失語型の分類精度を表 7 に示す。表 7 の F 値から、分類精度の高い失語型分類モデルを作成できたと言える。これは、本論文において、リハビリテーションプラン案自動作成機能を機械学習モデルの設計により実装できることを確認しただけでなく、分類精度の高いモデルが設計できたことも確認された。また、誤分類した結果から作成したプラン案が回復傾向である「プラスの分類」と悪化傾向である「マイナスの分類」のどちらであるかを読み解くことができる。表 4 に示した対象の失語型の障害の傾向より、聴覚的理解のみ異なる 3 つの型に対して、障害の傾向が軽くなる型に分類されるものが「プラスの分類」であり、重くなる型に分類されるものが「マイナスの分類」である。失語型分類モデルは、作成したプラン案が該当の失語型に分類されるかを確認するだけでなく、回復に向かって作成されているかを確認する指標ともなる。

5. おわりに

社会復帰を目指す失語症者のためのリハビリテーションプラン自動作成に向けた機械学習モデルの設計を行った。ST による評価実験結果から、設計した機械学習モデルがリハビリテーションプラン作成に有用であると確認された。今後の課題としては、リハビリテーションプラン作成画面のインターフェースをより適切に、必要な情報を提供するものへの改良、ST によるプラン案に対する問題調整数の減少、

長期的な回復経過を反映したプラン案作成に向けたモデルの修正、医療現場へシステムを導入するために失語症検査結果との根拠に基づいた関連付けなどが挙げられる。

謝辞

社会復帰を目指す失語症者のためのリハビリテーションプラン自動作成に向けた機械学習モデルの設計にご協力頂いた皆様に、謹んで感謝の意を表す。本研究の一部は、JSPS 科研費 JP19K03059 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 小嶋 知幸, 図解 やさしくわかる言語聴覚障害, 株式会社ナツメ社, 2016
- [2] NPO 法人日本失語症協議会 http://www.japc.info/japc_4-3.htm (最終アクセス: 2021 年 1 月 27 日)
- [3] 一般社団法人 日本言語聴覚士協会 ホームページ <https://www.japanslht.or.jp/> (最終アクセス: 2021 年 1 月 27 日)
- [4] 内田 葵, 内田 智之, 川本 佳代, 小崎 和治, 柏田 孝志, 杉原 勝宣, 宮原 哲浩, 鈴木 祐介, 失語症者のためのリハビリテーションプラン作成支援機能を有する言語聴覚訓練システムの開発, 情報処理学会火の国情報シンポジウム 2019 論文集 B3-4, 2019
- [5] 石川 裕治, 言語聴覚療法シリーズ 4 改訂 失語症, 建帛社, 2012
- [6] 松田 晃一, Python ライブラリの使い方 手軽に応用プログラミング, 株式会社カットシステム, 2019
- [7] 石合 純夫, 高次脳機能障害学第 2 版 第 2 章, 医歯薬出版株式会社, 2012
- [8] 平田 隆二, 失語症者リハビリテーションプラン作成支援システムにおけるプラン作成機能の設計と実行, 2017 年度広島市立大学卒業論文, 2018
- [9] Mikolov Tomas, Chen Kai, Corrado Greg, Dean Jeffrey, Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv: 1301.3781, 2013
- [10] 藤田 郁代, 失語症患者の構文治療—構文処理方式に基づくアプローチ, 失語症研究 8 巻第 2 号 p.23-32, 1988
- [11] 宮本 恵美, 失語症における構文ネットワーク構造の実証的研究, 熊本県立大学大学院文学研究科博士学位論文, 2017
- [12] 稲積 宏誠, 大野 博之, 文章構造に基づく難易度推定と教育への活用法の検討, 漢字・日本語教育研究第 6 号 p.32-50, 2016
- [13] 鹿島 晴雄, 種村 純, よくわかる失語症と高次脳機能障害, 永井書店, 2013

付録

AphaRehaSys でリハビリテーションを行う際、提示された問題文や設問を読むといった「読解」能力を使用する。脳内で行われることばを処理する読解のプロセスを図 14 に示す。読解のプロセスは音韻ルートと非音韻ルートに分かれている。音韻ルートは文字を見る、音韻照合、語彙照合、語義理解から成り、非音韻ルートは文字を見る、語彙照合、語義理解から成る ([1], p.32)。

5つの言語機能に対して、AphaRehaSys における訓練方法と難易度付与に関わる因子について説明する。

① 音韻分析

読解のプロセスにおいて、音韻ルート中の音韻照合に該当する。AphaRehaSys では、4つの選択肢を始める音（音韻）で分類する訓練を行う。音韻が混乱することの多い失語症者は、仮名よりも漢字の方が理解しやすい傾向がある ([1], p.33) が、漢字の読み方が分からない場合も考慮した (A) 4つの選択肢の表記（仮名／漢字）に対する一致度 (B) 漢字単語の出現率における正答率 (C) 漢字単語に対するふりがなの有無を、音韻分析の難易度付与に用いることができる。

② 意味理解

読解のプロセスにおいて、音韻／非音韻ルート中の語彙照合に該当する。AphaRehaSys では、4つの選択肢を意味で分類する訓練を行う。(A) 4つの選択肢間の関連度合 (B) 失語症者になじみが深い単語の出現率を意味理解の難易度付与に用いることができる。Word2Vec[9]を用いて選択肢の単語同士の関連度合を数値化することが今後の課題である。

③ 文法理解

本論文では、一定の意味を担う内容語と文の構造を決定する機能語から成るものを文とする ([6]p.34)。AphaRehaSys では、語順と内容語同士の関係から機能語を決定することで文章を完成させるような訓練を行う。多くの失語症者が障害を抱える構文能力（有限個の単語を用いて文を生成する能力）を訓練するにあたり、文の意味を解説するルート[10]や使用する文に用いられる格助詞の多義性[11]、コーパス語彙表を用いた語彙の難しさ[12]を参考にし、(A) 文構造の複雑さを示す格助詞の個数 (B) 可逆文・不可逆文・補文のいずれか (C) 語彙の難しさ (D) 格助詞の種類と用法を文法理解の難易度付与に用いることができる。

④ 文章理解

一連の文章を理解するためには、音韻分析・意味理解・文法理解の3つの機能を全て使用し、文法理解で整理された文章同士の意味を把握する必要がある。脳は、文章を読み取るときや音声から文章を聞き取るとき、記憶領域まで情報を送り貯蔵することを行わず、一連の処理の間だけ短期的に情報を貯める機能をもつ[13]。これを把持とよぶ。

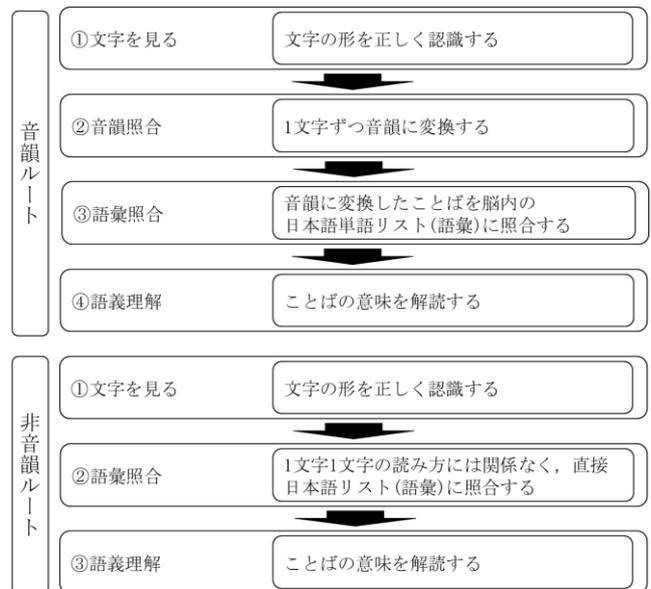


図 14: 読解のプロセス

一定の長さ以上の文章を読み取るときには、音韻分析・意味理解・文法理解の3つの機能と同時に、把持が影響する場合が多い。本論文では文章間の関係および把持に関連した機能を文章理解という。AphaRehaSys では、提示された文章を読みその内容に関する設問が出題される。(A) 音韻分析・意味理解・文法理解の正答率 (B) 把持力 (C) 1文字ずつに対する③文法理解の難易度 (D) 文章全体の漢字の占有率[11] (E) 1文に対する文節数[11] (F) 1文に対する係り受け距離[11] を文章理解の難易度付与に用いることができる。

⑤ 聴覚的理解

音韻分析・意味理解の機能を使用して、聴こえたものを理解する。AphaRehaSys では、提示した文章の空欄部分を正しく聴きとることで訓練を行う。聴覚からの入力では、視覚からの入力より把持に大きく影響されることが考えられているため、(A) 文章全体に対する④文章理解の難易度 (B) 聴覚的把持力を聴覚的理解の難易度付与に用いることができる。

これまで5つの言語機能別に難易度を付与するための様々な因子を挙げてきた。これらの因子 $e_j(j=1,2,\dots,k)$ を引数とした関数 g_i を設計することで、音韻分析 l_1 ・意味理解 l_2 ・文法理解 l_3 ・文章理解 l_4 ・聴覚的理解 l_5 の5つの言語機能 $i(i=l_1, l_2, \dots, l_5)$ に対する問題の難しさ (difficulty) を計算することができる。ここで、因子 e_j の個数 k は言語機能ごとに異なることに注意する。関数 g_i の値を *easy*, *normal*, *hard* に分類する境界線を定めることで、AphaRehaSys が提供する実際の問題に難易度を付与し、問題解答トレーニング機能で提供することができる。