

手話トレーニングマシンの実用化に向けて —学習単語拡充に伴う個人差への対応—

福原 明恵 森 雄一郎
Akie Fukuhara Yuichiro Mori

高知大学大学院 総合人間自然科学研究科 理学専攻 情報科学コース

1. はじめに

本研究室では2010年より、手話学習支援システムとして「手話トレーニングマシン」の研究開発を行っている¹⁾。現在、このシステムの実用化を目標に、システムにおける手話動作判別の精度向上を進めている。

「手話トレーニングマシン」は学習者の手話動作データを赤外線深度センサ XtionPROLIVE、3軸加速度センサと曲げセンサを搭載したデータグローブにより取得し、教師データ（本システムにおける手話動作の模範解答）と比較を行うことで手話動作の判別を行う。判別結果を学習者にフィードバックとして与えることで、正しい手話動作を習得させ、手話による円滑なコミュニケーションを実現できるよう支援する。以下の図 1.1 にこのシステムの構成概略図を示す。

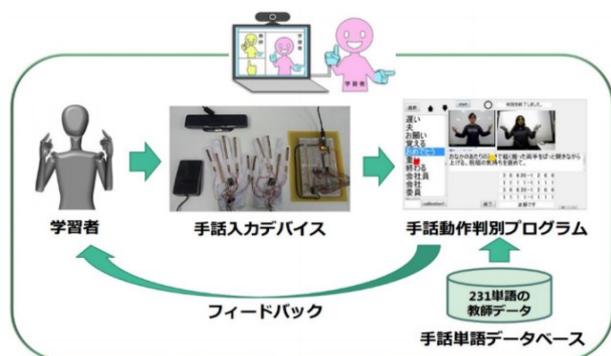


図 1.1 手話トレーニングマシンの構成概略図

筆者の学士研究に相当する 2014 年度先行研究では、このシステムで学習できる単語の拡充を研究目的とし、学習単語の拡充用システム「教師データ自動登録作成システム」の開発を行った²⁾。このシステムは教師役の手話動作から教師データを自動で作成および登録を行う。この研究では教師役の手話動作に忠実な教師データの作成を容易に行う手法の確立が出来た。しかし新たな課題として、「手話トレーニングマシン」「教師データ自動

登録作成システム」の両システムにおける手話動作の定義および判別処理において、人間の動作における個人差への対応が不足していたことが明らかになった。本研究で指す個人差とは、教師役と学習者の手話動作における癖や身体的特徴による手話動作の違いや、教師データと学習者の手話動作データとの僅かなズレを指す。

そこで本研究では、より高度な判別処理の実現を目指し、研究目的を学士研究から継続して学習単語の拡充とし、研究課題を個人差に対応した新しい手話動作の判別方法の実現とした。この個人差への対応を行うにあたり、手話動作の定義および判別処理にファジィ理論の導入を行った。

評価実験では、ファジィ理論を導入した両システムがどの程度個人差に対応したか、また学習単語の拡充を行った時に十分な結果を出すことが出来るかを検証した。

2. 個人差への対応

2.1. 先行研究における課題

2013 年度先行研究で開発された「手話トレーニングマシン」は手話動作の判別処理において、個人差を大きく含む可能性のある部分を処理の対象外とすることでシステムの機能を保っていた。

それに対し、学士研究で開発した「教師データ自動登録作成システム」は、教師の手話動作に忠実な教師データの作成を行うが、その際に教師の個人差を含んだ手話動作データで教師データの作成を行う。

評価実験では「教師データ自動登録作成システム」で作成した教師データと、2013 年度先行研究の「手話トレーニングマシン」とを使用し、判別率（被験者に正しい手話動作を行わせ、システムが合格と判別した比率）を求めた。結果は平均判別率 62.0% となり、2013 年度先行研究と比較し、判別率 26.6% の減少を確認した。

判別率減少の主な原因は、教師データに含まれる教師の手話動作の個人差と、被験者である学習者の手話動作との個人差の差異による判別失敗である。

システムが不合格と判別した中には、もともと間違っている手話動作による不合格は別に、“個人差による不合格”が混在していた。“個人差による不合格”とは、人間の認識では正しいと判別できる手話動作に対し、教師データの示すパターンとの微細なズレや癖といった個人差をシステムが処理中に拾い上げたことで、教師データと不一致であると判別することを指す。この“個人差による不合格”は、本来ならば正解と判別すべき手話動作であるが、先行研究までの手法では個人差の処理に対応していなかった為、個人差によって生じた僅かなズレや癖を含めて合否の判別を行うことが出来なかった。

個人差への対応において、2013年度先行研究のように個人差を判別処理の対象から除外すると正確な手話動作の学習が困難となり、学士研究のように個人差を判別処理の対象とすると今までの処理方法では個人差に対して柔軟な対応をすることが出来ない。このことから、より正確な手話動作の判別を行う為には、個人差に対応した新しい手話動作の判別方法が必要であると考えた。

2.2. ファジィ理論の導入

本研究では「手話トレーニングマシン」「教師データ自動登録作成システム」の手話動作の定義および判別処理における個人差への対応として、ファジィ理論を導入した新しい手話動作の判別方法を提案した。

ファジィ理論を導入した理由は、手話動作を言葉として定義することで、手話動作をメンバーシップ関数（以降、MF）でシステム中に定義し、言葉同士による一致度で判別処理を行う環境を作る為である。

手話動作は言葉により定義が出来る。例えば「広げた掌を胸の前に…」 「顎の辺りから…」のように、言葉で表される動作には個人の主観による曖昧さが多分に含まれる。そのような動作に対し、手話動作を行う側も観察する側も、言葉に対してその動作が一致しているかで動作の一致不一致を認識しており、ミリ単位の精度や癖といった特徴に左右されることなく手話動作の認識を行っている。

本研究は手話動作を定義する言葉の曖昧さに着目した。今までの先行研究では、手話動作を手話動作データという単なるセンサの数値で合否の判別処理を行っていた。これに対し、手話動作を言葉で再定義することで、個人差をMFに吸収させ、手話動作に対し柔軟性を持たせた処理が行えると考えた。

2.3 提案手法の概要

言葉の持つ要素をファジィ理論におけるMFで定義することで、言葉の要素に対する一致度（以降、グレード）を求めることが出来る。要素毎にその要素を示すMFを定義し、対象データがどれほど一致しているかのグレードを算出する。全ての要素のグレードを求めた後、要素ごとのグレードから言葉に対するグレードを推論することが出来る。

本研究ではこの考えに基づき、手話動作を示す判別項目毎のパターンを言葉、パターン構成要素を言葉に対する要素として見なす。判別項目の手の「形状」ならば各指分の曲げセンサの値、手の「位置」ならば赤外線深度センサで取得したXY軸の座標を指す。手話単語のグレードは、両手分の手話動作のグレードの平均値から算出する。

2.3.1 ファジィ理論を使った手話動作の定義

ファジィ理論を使った手話動作の定義とは、システム中で手話動作を示す判別項目毎のパターンをMFで定義することを指す。判別項目毎のMFおよびパターン構成要素の内訳を表2.1に示す。

なお手話動作の判別対象とする判別項目は、学士研究までと同様の手の「形状」「位置」「傾き」「移動方向」「振り」の5種類であるが、MFで定義するのは「振り」以外の4種類である。

手の「振り」では、手を振る動作と回転動作が混在しており、明確な区別が困難な為、MFによる定義ができなかった。よって本研究で開発したシステムにおいては、「振り」は2013年度先行研究ならびに学士研究における判別方法で処理を行った。「振り」については、手を振る動作と回転動作との明確な区別が可能になった後にMFによる定義および判別処理を行いたいと考ええる。

表 2.1 判別項目毎のMFとパターン構成要素の内訳

判別項目	パターン数	センサ	パターン構成要素	MF数/1パターン
形状	24	曲げセンサ	親指から小指	5
位置	6	XtionPROLIVE	X, Y座標	2
傾き	6	3軸加速度センサ	X, Y, Z軸	3
移動方向	53	XtionPROLIVE	移動ベクトル (X, Y, Z軸)	3

本研究のファジィ理論の導入において、手話動作の定義に使用する MF の雛形は、Trapezoid (台形) 型、LeftStair (左上りの階段) 型、RightStair (右上りの階段) 型の 3 種類となる。各 MF の雛形とグレードの算出の計算式を図 2.1 として以下に示す。

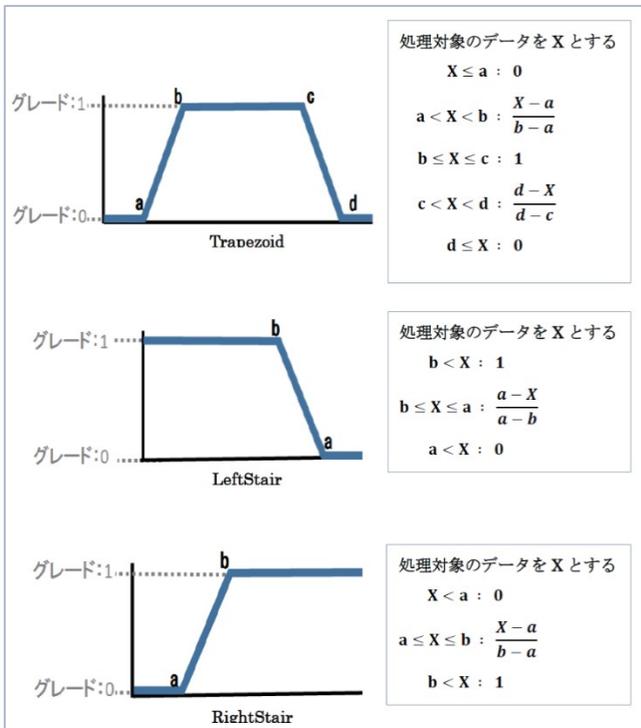


図 2.1 MF の雛形とグレードの計算式

判別項目毎の定義方法は大きく分けて 2 通りある。手話動作の判別処理の対象者 (教師または学習者) から取得したキャリブレーションデータを使用した定義、システムテストから得たデータに基づいた定義の 2 通りである。前者の定義方法は「形状」「傾き」に、後者の定義方法は「位置」「移動方向」にて使用している。

2.3.2 ファジィ理論を使った手話動作の定義

「手話トレーニングマシン」における手話動作の可否の判別処理、および「教師データ自動登録作成システム」における手話動作のパターン化におけるファジィ理論を使った手話動作判別の定義について述べる。

手話動作の可否の判別処理

教師データを参照し、判別項目毎に設定しているパターンとその構成要素を参照。構成要素に対する手話動作データのグレードを算出し、そのグレードを使って順にパターンのグレード算出、片手分のグレード算出、両手分のグレード算出を行う。

パターンのグレード算出は、構成要素を Min 演算し

た値となる。片手分のグレード算出は、8 項目 (「振り」無しの場合は 7 項目) のグレードから平均値を算出した値となる。両手分のグレード算出は、右手、左手それぞれの片手分のグレードから平均値を算出した値となる。

手話動作のパターン化

判別項目毎に設定している全パターンの構成要素に対する手話動作データのグレードを算出し、そのグレードを使って全パターンの中で最もグレードが高いパターンの算出を行う。

例として手の「形状」を例に挙げる。この判別項目では 24 パターンを設定しており、1 パターンに対し親指から小指までの 5 指分の構成要素が存在する。まず構成要素に対する手話動作データのグレードを算出する。5 指分のグレードを Min 演算し、最小のグレードを算出する。これを 24 パターン分繰り返すと、パターン毎の手話動作データに対するグレードが算出される。この 24 パターン分のグレードを Max 演算し、最もグレードの値が大きいパターンを教師データとして登録する。

3. 開発システム

ファジィ理論を使用した提案手法の導入にあたり、本研究で開発したシステムは、2013 年度先行研究の「手話トレーニングマシン」に相当する「手話トレーニングマシン 改良版」と、学士研究の「教師データ自動登録作成システム」に相当する「教師データ作成処理群」の 2 種類のシステムに分けられる。

各システムの関係としては、教師の手話動作から「教師データ作成処理群」で教師データを作成し、手話単語データベースへ保存。保存した教師データを使用して学習者は「手話トレーニングマシン 改良版」で手話学習を行う (図 3.1)。

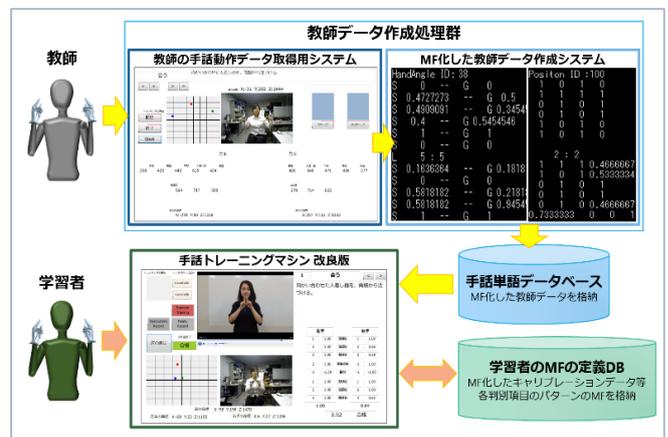


図 3.1 本研究におけるシステム関係図

3.1 教師データ作成処理群

「教師データ作成処理群」は、教師の手話動作データを取得する「教師の手話動作データ取得用システム」と、取得した手話動作データから教師データを作成する「MF化した教師データ作成システム」の2つのシステムにより構成される。以下の図3.2に「教師データ作成処理群」の処理概要を示す。

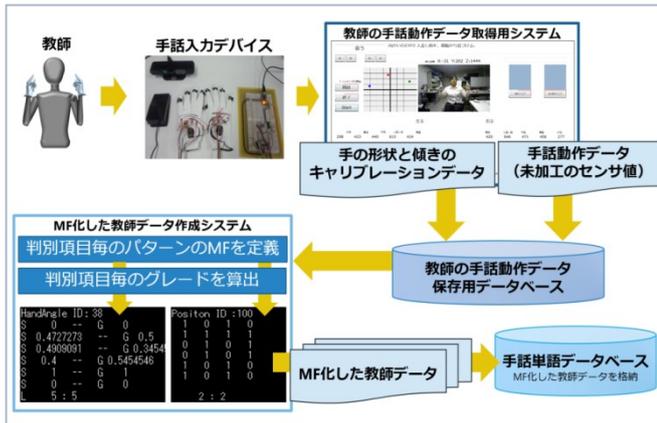


図3.2 「教師データ作成処理群」の処理概要

「教師データ作成処理群」における教師データの作成の処理手順を以下に示す。なお手の「振り」に関しては、学士研究の方法でパターンを算出を行う為、以下の処理手順とは異なる（2.3.1に記述）。

①から②が「教師の手話動作データ取得用システム」、③から⑧が「MF化した教師データ作成システム」の処理に相当する。

- ① 手の「形状」「傾き」のキャリブレーションデータの取得およびデータベースへの保存
- ② SG法に基づき、教師の手話動作データを取得およびデータベースへの保存
- ③ 判別項目毎の全パターン構成要素毎のMFの定義
- ④ 判別項目毎に全パターン構成要素毎のMFにおける手話動作データのグレードを算出
- ⑤ ④で算出した構成要素毎のグレードをMin演算
- ⑥ 判別項目毎に、⑤で算出した全パターンをMax演算
- ⑦ 判別項目毎に、全パターンの中で最大のグレードを持つパターンを教師データとして選択
- ⑧ 教師データの完成後、手話単語データベースに登録

3.2 手話トレーニングマシン 改良版

「手話トレーニングマシン 改良版」の処理概要を以下の図3.3に示す。

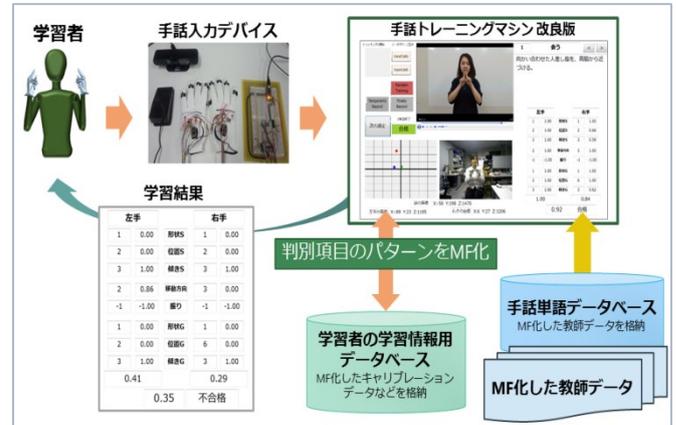


図3.3 「手話トレーニングマシン 改良版」の処理概要

「手話トレーニングマシン 改良版」における手話動作の合否判別の処理手順を以下に示す。なお手の「振り」に関しては2013年度先行研究の方法で合否の判別処理を行う為、以下の処理手順とは異なる（2.3.1に記述）。

本研究では⑧で算出した両手分（片手手話の場合は片手分のみ）のグレードが0.7以上の時を合格とした。0.7という数値はシステムテストの結果から数値を決定した。後述の評価実験においても⑧のグレードが0.7以上の時を合格として評価する。

- ① 手の「形状」「傾き」のキャリブレーション
- ② 判別項目毎の全パターン構成要素毎のMFを定義
- ③ 学習者の手話動作開始時、終了時の手話動作データを取得
- ④ 学習単語の教師データを手話単語データベースから呼び出す
- ⑤ 片手毎かつ判別項目毎に、手話動作データと教師データの示すパターンをMFとのグレードを算出
- ⑥ ⑤の全判別項目のグレードから平均値算出
- ⑦ ⑥の両手分を加算し、平均値算出
- ⑧ ⑦の平均値が0.7以上で合格、未満で不合格と出力する

4. 評価実験

4.1 評価実験概要

本研究ではファジィ理論を使用した新しい手話動作の判別方法を提案した。そしてこの提案手法を導入した「教師データ作成処理群」と「手話トレーニングマシン改良版」の開発を行った。

評価実験では提案手法を導入した両システムが、研究課題および研究目的に対して十分な結果を出すことが出来るかを検証する。検証にあたり、以下の2種類の実験を行った。

実験①

目的：研究課題“個人差への対応”に Fuzzy 理論の導入が有効かを評価

内容：被験者 5 名に、学士研究と同様の 231 単語を学習（学士研究の評価実験と同様の条件）

評価：学士研究の平均判別率 62.0%と比較し、向上の度合いを検証

実験②

目的：研究目的“学習単語の拡充”におけるシステムの機能を評価

内容：被験者 7 名に、556 単語（手話技能検定 4 級相当、先行研究の単語+325 単語）からランダムに選択した 100 単語を学習

評価：1. 325 単語の拡充前と同様に教師データの作成が行えるか検証
2. 拡充前（実験①）の平均正答率と比較し、差異の度合いを検証

本実験では、筆者が教師役として「教師データ作成処理群」で教師データを作成し、その教師データを使用して「手話トレーニングマシン改良版」で被験者に学習をして貰う。

本実験における被験者は手話初心者とした。手話初心者の定義は“手話による会話が出来ない”かつ“「手話トレーニングマシン」の評価実験回数が 2 回未満”とする。

本実験にあたり、実験①②の両方を同一人物の被験者に対して行っていない。

本実験では評価を行うにあたり、評価対象のデータを正答率へと変更する。学士研究までの先行研究では評価

対象のデータを判別率としていた。しかし判別率では間違っただ手話動作に対する評価が行えなかった為、本研究ではより厳密な評価を可能とする正答率を評価対象へと変更を行った。

なお本実験において、判別率は正答率の式に置き換えられることから、実験①では平均判別率と平均正答率との比較時に数値の標準化を行わずに評価する。

本実験では正答率の算出の為に、「手話トレーニングマシン改良版」が算出する被験者の学習結果と、筆者による目視の合否判別の結果をそれぞれ集計する。

目視の合否判別は、その手話動作の意味が分かるかを合格基準とした。また、目視の合否判別を行う際には、被験者の手話動作の見逃しを防ぐ為に、被験者の学習風景を録画したもから合否判別を行った。

4.2 実験結果

本実験では学士研究の判別率の数値に基づき、実験①②より求められる最終的な平均正答率を有効桁数 3 桁の精度で論ずる。

4.2.1 実験①の結果

以下の表 4.1 に実験①の結果を示す。

表 4.1 実験①の結果

被験者	データ名	システムの合否結果				正答率
	結果	○	○	×	×	
	データ名	観測者の合否結果				$\frac{A+D}{A+B+C+D}$
	結果	○	×	○	×	
分類名	A	B	C	D		
①_1		203	1	25	2	88.74%
①_2		202	3	21	5	89.61%
①_3		191	6	21	13	88.31%
①_4		213	3	14	1	92.64%
①_5		217	5	5	4	95.67%

実験①における平均正答率は 91.0%となる。これは学士研究の 62.0%と比較し、29.0%の向上となる。

よって本研究が提案したファジィ理論を使用した提案手法は、「手話トレーニングマシン」「教師データ自動登録作成システム」の手話動作の判別処理における個人差に対し、効果的であることが確認できた。

4.2.2 実験②の結果

以下の表 4.2 に実験②の結果を示す。

表 4.2 実験②の結果

被験者	データ名	システムの合否結果				正答率
	結果	○	○	×	×	
	データ名	観測者の合否結果				
	結果	○	×	○	×	
	分類名	A	B	C	D	$\frac{A+D}{A+B+C+D}$
②_1		88	4	6	2	90.00%
②_2		85	2	8	5	90.00%
②_3		86	1	10	3	89.00%
②_4		76	6	11	7	83.00%
②_5		94	0	5	1	95.00%
②_6		81	4	9	6	87.00%
②_7		88	2	9	1	89.00%

実験②では、拡充前のパターン数、設定で教師データの作成が行えたことから、拡充前と同様に教師データの作成が行えたことを確認した（評価 1.）。

また、システムの平均正答率が 89.0%と、拡充前に相当する実験①と比較して差異が 2.0%とごく低い結果であることを確認した（評価 2.）。

以上 2 点の評価内容から、新たに拡充した 325 単語を含めた手話技能検定 4 級相当の手話単語に対し、本研究のシステムは拡充前と同様の機能を持つことが確認できた。

5. まとめ

本研究は学士研究から継続して研究目的を学習単語の拡充とし、これに対する研究課題として「手話トレーニングマシン」「教師データ自動登録作成システム」における手話動作の定義および判別処理に個人差への対応を行った。

個人差への対応を行うにあたり、本研究ではファジィ理論を使用した新しい手話動作の判別方法を提案した。これは手話動作をセンサ値から言葉へと再定義し、言葉の持つ曖昧性に個人差を吸収させることで、手話動作に対してより柔軟性を持たせた判別が行えると考えた為である。

本研究では先行研究の両システムに提案手法を導入した「教師データ作成処理群」と「手話トレーニングマ

シン 改良版」の開発を行った。

評価実験の結果、ファジィ理論を使った新しい手話動作の判別方法を導入した本研究の両システムは、柔軟に個人差を吸収し、高度な判別処理を実現できることが確認出来た。また、単語の拡充においても、拡充前と同様のシステムの機能を保っていることが確認出来た。

6. 謝辞

本論文で述べた研究は、JSPS 科研費 15K01028 の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- [1] Yuichiro Mori, Akie Fukuhara, Shogo Hayashida : “Development of Sign Language Training Machine using Depth Sensor”, Proceedings of the 22nd International Conference on Computers in Education. Japan, Asia-Pacific Society for Computers in Education pp.787-792, 2014/12
- [2] 福原明恵, 森雄一郎 (2015) : 「手話トレーニングマシンの開発 —手話単語データベースの拡充—」高知の情報科学 第 7 巻
<URL : <http://trick.is.kochi-u.ac.jp/Vol07/article02.html>> (2017/03/06 アクセス)

システム内における引用文献

本研究で開発した「教師の手話動作データ取得用システム」「手話トレーニングマシン 改良版」の UI における手話動作の説明文は以下の文献からの引用となる。

引用文献名	: 「ひと目でわかる 実用手話辞典」
監修者	: NPO 手話技能検定協会
発行者	: 富永靖弘
発行所	: 株式会社 新星出版社
ISBN	: 978-4-405-05087-7