

手指動作記述文間の類似度計算に基づく手話単語の分類

安達 久博

宇都宮大学工学部情報工学科
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2
TEL/FAX: (028)689-6281

手話言語の特徴の一つは、文の構成要素である単語を手指動作で表現する点にある。そのため、動作の類似性が意味の類似性を反映する傾向にある。本論文では、手指動作記述文間の類似性に着目し、与えられた手話単語集合を分類する方法について議論する。本論文で提案する分類方法の特徴は、手指動作表現の特徴系列として、手指動作記述文を利用する点にある。すなわち、手指動作記述文は、3次元空間で表現される手話単語の動作特徴を1次元の構造を持つ記号列(文)に写像した特徴系列と捉えることができる。この特徴系列間の類似度は、手話単語を n 次元のユークリッド空間上の点と仮定し、手指動作記述文から導出される n 次元の特徴ベクトルのなす角と定義する。分類は、類似度に基づき単語集合を直和分割し、同値類を導出することで階層化される。さらに、日米手話言語間における類似の動作単語対を手指動作記述文間の類似度計算に基づき抽出する方法について示す。

キーワード 手話言語, 単語対, 類似, 手指動作記述文

A Clustering Method for Signs Based on Similarity between Manual Motion Descriptions

Hisahiro Adachi

Dept. of Information Science, Utsunomiya University
E-mail: adachi@is.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract Sign language refers to a kind of visual languages. Similarity between the manual motion features often tends to represent the similarity between the semantic features of signs. In this paper, a clustering method for Japanese signs is proposed. The method is based on the similarity between manual motion descriptions of signs. It can be considered that a manual motion description represents information extracted from a series of motions for a sign. The measure of similarity between manual motion descriptions is derived from their longest common subsequence of manual motion descriptions. By computing feature vectors of n properties from a finite set of manual motion descriptions and plotting them in the n -dimensional Euclidean space, the similarity between signs can be considered as an angle between the feature vectors. This paper shows a method for extracting similar pairs of signs between different sign language using their manual motion descriptions. The extraction method is derived from the similarity of motion properties over the verbal descriptions.

Keywords sign language, word pair, similarity, manual motion description

1 はじめに

本論文では、手指動作特徴の類似性を計算する類似度を定義し、類似動作の単語対を抽出し、動作の類似性に基づく手話単語の分類方法を提案する。本手法の特徴は、手話単語の手指動作パターンの特徴系列として、従来の画像やデータグローブから得られる信号入力に基づくデータの代わりに、手指動作の特徴構造を自然言語文に写像した手指動作記述文を利用し、その特徴から導出される文間の類似度に基づき、類似の手話単語対を抽出することにある。さらに、この手指動作記述文として、市販の手話辞典に記載されているものを利用するため、対象となる手話単語数の量の確保が容易となる。この対象データ数の大規模化は、従来の研究において、見過ごされてきた矛盾や問題点に対して、別の角度から解決の糸口を与えるものと考えられる。

2 手話単語の構造と最小対

音声言語を対象とした言語学における単語の最小対とは、1つの音素だけが異なる記号表現で構成される単語対である。例えば、英語の単語対 (word と work) は、単語を構成する音素 (/d/と/k/) の最小対立関係を表わしている。一方、手話単語の最小対とは、音素に対応する動素パラメータの1つだけが異なる手話の単語対と定義される。特に、この最小対は非常に似ている手指動作の関係を表現しているため、計算機による手話単語の認識処理においては、認識誤りを生ずる可能性が高い単語対といえる。また、手話単語の画像生成処理においては、1つの動素パラメータを変更することで別の手話単語を生成できる単語対といえる。

3 手指動作記述文の特徴

本研究で使用した手話辞典は手話単語見出しに対して、その手指動作手続きをイラストで表現した部分と、自然言語文で表現した手指動作記述文の部分で構成されている。ここで、2つの手話単語に対応する手指動作記述文を以下に示す。

- 午前 右手の人差指と中指を立てて額の中央にあて、右に倒す。

- 午後 右手の人差指と中指を立てて額の中央にあて、左に倒す。

明らかに、手指動作記述文の比較から、手の動きを示す部分 (右に倒す、左に倒す) が異なることが容易に理解できる。このことから、手指動作記述文は、手話単語の動作画像の特徴を構造を持つ1次元の記号列 (言語) に写像した特徴系列と捉えることができる。この特徴系列は日本語文であり、文法構造を内在しており、自然言語の持つ表現能力から時間的・空間的な記述も可能な強力な表現形式といえる。換言すると、手話単語の動作の手続きを記述したプログラム (手続き文) と捉えることができる。また、手指動作記述文は一般の自然言語文と比べて、手や顔などの身体部位に関する名詞や手指の動きに関する動詞などに限定されるという語彙の制約がある。また、その単語配列を規定する文形式 (文法) に制約がある。以上の特徴から、手指動作記述文は言語の使用環境が一般の自然言語文に比べて語彙的にも構文的にも強い制約を受けた文集集合と捉えることができる。

3.1 手指動作記述文のベクトル表現

日本語文の形態素解析規則は正規文法で記述できることが知られている。さらに、前節で議論した特徴から、手指動作記述文は構文的にも語彙的にも非常に限定された文集集合である。一般に、ある範囲の限定された文集集合を認識する有限オートマトンは比較的簡単に構成することができる [2]。議論を明確にするため、以下の例では、与えられた3つの手指動作記述文の文集集合を認識する有限オートマトンの状態遷移図を示し、そこから導出される正規表現の文字系列に基づく n 次元の特徴ベクトル表現について述べる。

例 手話単語 A, B, C に対する手指動作記述文を、 $A =$ 右手の親指を上げる、 $B =$ 左手の親指を下げる、 $C =$ 両手の小指を曲げるとする。

図 1は、この3つの手指動作記述文を受理する有限状態遷移図を示す。

以下に、図 1に示した有限状態遷移図から導出された文節単位の正規表現と文字単位の正規表現を示す。

1. 文節単位の正規表現

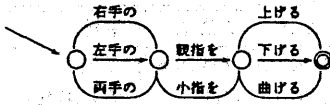


図 1: 有限状態遷移図

表 1: 手指動作記述文から導出された特徴ベクトルの例

	右	左	両	手	の	親	小	指	を	上	下	曲	げ	る
A	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
B	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
C	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1

(右手の+左手の+両手の)(親指を+小指を) (上げる+下げる+曲げる)

2. 文字単位の正規表現

(右+左+両)手の(親+小)指を(上,下,曲)げる

ここで、この文字の接続関係を保存した形で、正規表現の各文字を単語の特徴観点と定義し、この特徴観点の有無を $\{0,1\}$ で表現すると、表 1 に示したように、例に示した各手話単語は、手指動作記述文から導出される 14 次元の特徴ビットベクトルで表現される。このように、与えられた手指動作記述文の有限集合を受理する有限オートマトンを構成し、その正規表現系列の各文字を特徴観点とする n 次元の特徴ベクトルで手話単語を表現することができる。

4 手話単語間の類似度計算

手話単語を手指動作の n 次元のパターン空間上の点とみなし、 n 次元の特徴ベクトルのなす角により、手話単語間の類似性を近似させる類似度を定義する。また、手話単語とそれに対応する手指動作記述文は原則として 1 対 1 対応である。つまり、手話単語間の類似度問題は対応する手指動作記述文間の類似度問題と捉えることができる。また、この手指動作記述文は、前章で示したように n 次元の特徴ベクトルで表現できる。

4.1 手指動作記述文間の類似度計算

手話単語に対応する手指動作記述文の特徴から導出された特徴ベクトルを $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ とし、2 つの手指動作記述文間の類似度を $S(A, B)$ と表記すると、類似度の計算式は次式で与えられる。

$$S(A, B) = \cos^2 \theta = \frac{(A, B)^2}{\|A\|^2 \|B\|^2} \quad (1)$$

ここで、 (A, B) は 2 つのベクトルの内積を表わし、 $\|A\|$ ($\|B\|$) は、ベクトル A (B) のノルムを表わし、それぞれ、次式で計算される。

$$(A, B) = \sum_{k=1}^n a_k b_k.$$

$$\|A\|^2 = \left(\sqrt{(A, A)} \right)^2 = \sum_{k=1}^n a_k^2.$$

また、この特徴ベクトルは表 1 に示したように、各要素成分の値が $\{0, 1\}$ のビットベクトルで表現されるため、ベクトルのノルムの自乗は、要素成分の値が 1 の総数で計算できる。つまり、特徴ベクトルに対応する手指動作記述文の文字列の長さと同値になる。同様に、ベクトルの内積の自乗は、2 つの特徴ベクトルの要素成分の値が 1 で一致している要素 (特徴観点) の総数で計算できる。これは、手指動作記述文間の最長共通部分文字列の長さと同値である。

4.1.1 最長共通部分文字列

一般に、与えられた文字列の部分文字列とは、与えられた文字列から 0 個以上の文字を削除することにより得られた任意の文字列のことである。2 つの文字列の最長共通部分文字列とは、文字の出現順序 (接続関係) を保存した形で双方に共通の部分文字列のうち、最長の部分文字列のことである。例えば、2 つの文字列を、 $X = abcbadab$ 、 $Y = bdcaba$ とすると、図 2 に示したように X と Y の最長共通部分文字列の 1 つは $bcbad$ であり、その長さは 4 となる。一般に、最長共通部分文字列は 1 つとは限らず複数存在する可能性がある。実際、 X と Y の最長共通部分文字列は、他に $bdab$ と $bcab$ がある。しかし、その長さは一意に決定される。

表 3: 類似度 0.9 以上で抽出された手話単語対

S(A,B)	単語 A	単語 B
0.98	見られる	無視
0.97	失敗	落ちぶれる
0.97	以後	以外
0.97	～のため	当たる, 目的
0.96	嬉しい	楽しい
0.94	～まで	終わる
0.93	話される	話す
0.93	働く	仕事
0.93	晴れ	明るい
0.91	平等	当然
0.91	女性	男性
0.90	時	場合
0.90	ワッペン	名前, バッジ

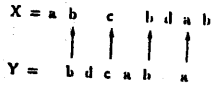


図 2: 最長共通部分文字列の例

表 2: 最長共通部分文字列の探索表の例

c(i,j)	b	d	c	a	b	a
a	0	0	0	1	1	1
b	1	1	1	1	2	2
c	1	1	2	2	2	2
b	1	1	2	2	3	3
d	1	2	2	2	3	3
a	1	2	2	3	3	4
b	1	2	2	3	4	4

以下では、最長共通部分文字列の長さを計算する方法について述べる。

与えられた1つの文字列 $X = x_1x_2 \dots x_l$ に対して、 i 番目 ($i = 0, 1, \dots, l$) までの部分文字列を $X_i = x_1x_2 \dots x_i$ と表記する。例えば、 $X = abcde$ なら $X_3 = abc$ であり、 X_0 は空列を意味する。

2つの文字列を、 $A = a_1a_2 \dots a_m$ と $B = b_1b_2 \dots b_n$ とする。また、2つの文字列 A と B の最長共通部分文字列の長さを $LCS(A, B)$ で表記すると、動的計画法を利用し、次式で計算される。

$$LCS(A, B) = c(m, n) \quad (2)$$

$$c(i, j) = \begin{cases} c(i-1, j-1) + 1 & \text{if } a_i = b_j, \\ \max\{c(i, j-1), c(i-1, j)\} & \text{if } a_i \neq b_j \end{cases}$$

ここで、 $c(i, j)$ は部分文字列 A_i と B_j の最長共通部分文字列の長さを表す。表 2 は、2つの文字列 X と Y の最長共通部分文字列の探索過程の例を示す。

4.1.2 文字列照合に基づく類似度の計算

これまでの議論をまとめると、手話単語間の類似度は、対応する手指動作記述文間の類似度とみなし、手話単語 A と B に対応する手指動作記述文

の文字列を $A = a_1, a_2, \dots, a_m, B = b_1, b_2, \dots, b_n$ とすると、先に定義した特徴ベクトルに基づく手指動作記述文間の類似度 $S(A, B)$ は次式と等価となる。

$$S(A, B) = \frac{LCS(A, B)^2}{mn} \quad (3)$$

これにより、有限オートマトンを求め、 n 次元の特徴ベクトルによるベクトル計算をする代わりに、与えられた2つの手指動作記述文間の文字列の照合演算で類似度を計算できる。

4.2 類似単語対の抽出実験

本稿で定義した類似度を実際に、文献 [4] 手話辞書に記載の動作記述文 (2,059 文) 中で、複合動作による動作記述文を除いた 1,527 (マージ後 1,514) 文を対象に類似度 0.9 以上で抽出された単語対の一部を表 3 に示す。尚、動作記述文中の句読点は、挿入位置のゆらぎを補正するため削除し、同一動作記述文 (類似度 $S(A, B) = 1$ 、例えば、(当たる, 目的) 等の 13 個の単語対) をマージした。また、表中の単語の添え字は、同じ単語見出しに対して複数の動作記述文 (別語義の場合は英文字, 同一語義の複数表現の場合は数字) が記載されていることを意味する。

5 手話単語の分類方法

一般に、有限集合 X は、直積 $X \times X$ の同値関係により集合を分割することができる。同値関係とは、反射律、対称律、推移律の関係が成り立つ関係と定義できる。我々が先に定義した類似度は以下に示すように、反射律と対称律の2つの条件を満足することは明かである。

$$\text{反射律 } S(A, A) = 1$$

$$\text{対称律 } S(A, B) = S(B, A)$$

そこで、最後の条件である推移律を満たすために、次式を導入し、同値関係を定義する。

$$S(A, B) \geq \max \min \{S(A, C), S(C, B)\} \quad (4)$$

形式的には、以下の手順で単語集合の分類を行う。

処理手順

$X = \{a, b, c, d, e\}$ を手話単語の全体集合とすると、集合の直積 $X \times X$ は、 $X \times X = \{S(a, a), S(a, b), \dots, S(e, e)\}$ となる。すなわち、類似関係 $S(X, X)$ は、以下に示す類似行列 M で表現できる。

$$M = \begin{pmatrix} & a & b & c & d & e \\ a & 1 & 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0.8 \\ b & 0.2 & 1 & 0.3 & 0.5 & 0.3 \\ c & 0.5 & 0.3 & 1 & 0.2 & 0.7 \\ d & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 1 & 0.2 \\ e & 0.8 & 0.3 & 0.7 & 0.2 & 1 \end{pmatrix}$$

次に、推移関係式を用いて、類似行列 M を推移行列 T に変換する。ここで、推移行列 T を対角線成分に近い程、行列成分の値が大きくなるように行列要素間の置換（ソート）を行う。

$$T = \begin{pmatrix} & a & e & c & d & b \\ a & 1 & 0.8 & 0.7 & 0.3 & 0.3 \\ e & 0.8 & 1 & 0.7 & 0.3 & 0.3 \\ c & 0.7 & 0.7 & 1 & 0.3 & 0.3 \\ d & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.5 \\ b & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 1 \end{pmatrix}$$

これにより、手話単語の全体集合は、ある適当な閾値を設定することで同値関係による集合の直和

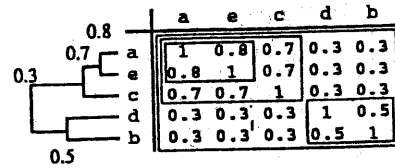


図 3: 推移行列要素の階層関係

分割が得られる。また、図 3 に示すように、得られた推移行列は、アンドログラム（樹系図）で表現される階層的クラスタリング結果と等価となる。

6 手話単語の分類実験

議論を明確にするため、ここでは、市販の手話辞書から、「口」あるいは「唇」を含む手指動作記述文を 129 文を抽出した。これは、手話表現を行う際に、口を接触あるいは非接触関係として利用する手話単語の全体集合を意味する。この 129 文には、例えば、「赤字=赤い+線を引く」などの複合手話単語の構成要素の単純語「赤い」に対する手指動作記述文が含まれている。従って、類似度 $S(A, B) = 1$ に相当する同一の手指動作記述文をマージ（併合）して、101 文を実験対象とした。実験結果の一部を図 4 に示す。

これは、行列成分（類似度）の値が閾値 0.6 以上の関係だけを表示したものである。この図からも分かるように、11 個の同値類に分割され、それぞれ、「赤い概念項目」、「発話概念項目」、「味覚概念項目」などのラベル付けができることが分かる。

このように、手指動作記述文を手話単語の動作特徴を投影した 1 次元の特徴系列と捉え、この特徴系列間の類似性を手話単語間の類似性に近似し、同値類への分割から手話単語の最小対を抽出することができた。また、動作の類似性に基づく分類は、結果として、意味の類似性を内包する分類体系と捉えることができる。

7 日米手指動作記述文の比較

米国手話の対象データとして、文献 [1] に記述されている手指動作記述文を使用する。一方、日本手話の対象データとして、文献 [3] に記述され

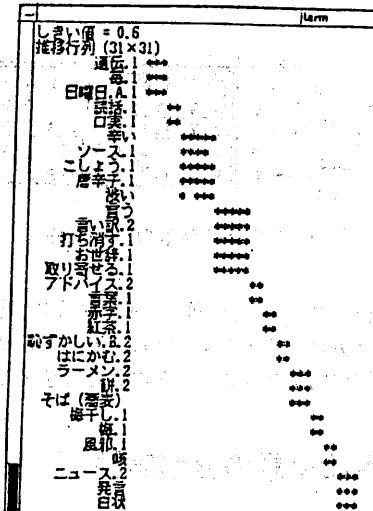


図 4: 閾値 0.6 で手話単語を直和分割した例

ている手指動作記述文を使用する。米国外話の手指動作記述文と同様な定型パターンで記述されている。特に、手の動きに関する記述に同一性がある。一方、手の形や手の位置、掌の向きの記述は、省略されていたり、別の表現形式で記述される場合が多い。これは、手指動作のイラストを補完する形で手指動作記述文が記述されているため、イラストで理解できる部分を省略したり、手の形を米国外話では指文字で表現しているのに比べ、日本手話の記述形式と異なる点が認められる。また、記述が英語文と日本語文という大きな違いがある。そこで、本研究では、手指動作記述文の中から手の動作に関する部分のみに着目して類似動作単語対を抽出する方法を検討する。これにより、一般的な日本語で記述された手指動作記述文データを単語の置換操作により米国外話の手指動作記述文に依存する文形式に変換し、比較することができ、単語の置換表の一部を表 4 に示す。

8 実験と考察

対象とした手指動作記述文は、文献 [1] に記載されている 509 手話単語の手指動作記述文を人手で計算機に入力したものを使用した。さらに、同一

表 4: 英語表現への置換表

日本語	英語表現
交互に	alternately
を上下に動かす	move * up and down
を前後に動かす	move * in and out
を左右に動かす	move * back and forth

の手指動作記述文をマージした結果得られた、505 文を抽出対象文とした。検索パターンとしては、文献 [3] に記載されている手話単語の中から「両手の手話を交互に動作させる」手話単語を抽出し、対応する検索パターンとして、(1) “move hands up and down alternately”, (2) “move hands in and out alternately” の 2 つとした。

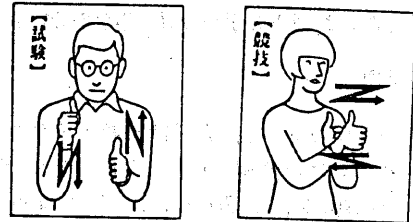


図 5: 日本手話単語「試験」と「競技」

図 5 は、(1) のパターンに対応する日本手話の単語「試験」と(2) のパターンに対応し、かつ「試験」と手の動きだけが異なる手話単語の最小対を構成する「競技」の手指動作を示し、図 6 は「試験」に対して検索された 5 つの米国外話単語 “which, maybe, judge, difficult, car” を示す。図 7 は、「競技」に対して検索された 2 つの米国外話単語 “explain, control, direct, manage” を示す。

図 7 から明らかに 2 つの米国外話単語は手の形だけが異なる最小対を示している。次に、抽出された類似動作単語対に対する日米手話言語間の意味の類似性について考察する。

最初に、検索パターン (1) と同一あるいは類似の動作を持つ日本手話の単語を文献 [4] から表 5、表 6 に示す 14 単語を抽出した。ここで、検索パターンの手の位置が固定の動作表現を表 5 に、手の位置が移動する動作表現を表 6 に分類した。さらに、抽出された単語を手の形、掌の向き、手の位置で分析した結果を示す。次に、検索パターン

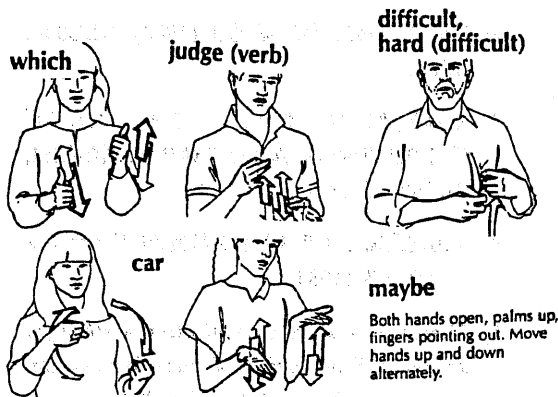


図 6: 「試験」に対する類似の動作単語

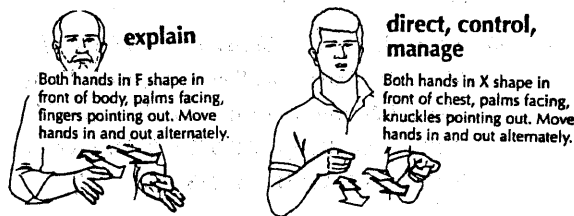


図 7: 「競技」に対する類似の動作単語

(2) と同一あるいは類似の動作を持つ日本手話の単語を表 7 に示すように 13 単語抽出した。

表 5: 手の位置が固定の類似動作単語群

動作: 両手を交互に上下する (手の位置固定)			
手話単語	手の形	掌の向き	手の位置
試験, 競う	親指を立てる	向き合う	胸の前
どちら	人差し指を立てる	向き合う	胸の前
値段	輪を作る	向き合う	胸の前
林	開く	向き合う	胸の前
比べる, バランス	開く	上向き	胸の前
状態	開く	外側	顔の前
揉る	指先を付ける	下向き	肩の前
嬉しい, 楽しい, 喜ぶ	開く	内側	胸に接触
怒る	折り曲げる	内側	胸に接触
世話 (湾曲)	開く (湾曲)	向き合う	胸の前

同様に, 検索された米国手話単語を分析した結果を表 8, 表 9 に示す。手の形だけが異なる類似動作の単語対 (どちら, which) は, 意味的な類似性が認められる。

また, 図 8 は米国手話「control」に意味的に対応する日本手話の「コントロール」の手話表現を示す。この比較から, 米国手話は制御装置のレバーを交互に前後させる仕草に由来する手話単語であるのに対して, 日本手話の単語は, 制御装置のツマミを交互に指で前後させる仕草に由来している

表 6: 手の位置が移動する類似動作単語群

動作: 両手を交互に上下する (手の位置移動)			
手話単語	手の形	掌の向き	手の位置
慌てる	開く	上向き	腹の前から上へ
育てる	開く	向き合う	胸の前から上へ
はしご	折り曲げる	外側	顔の前から上へ
森	開く	内側	胸の前から左右へ

表 7: 手の位置が固定の類似動作単語群

動作: 両手を交互に前後する (手の位置固定)			
手話単語	手の形	掌の向き	手の位置
競技	親指を立てる	向き合う	胸の前
遊ぶ	人差し指を立てる	向き合う	胸の前
話	人差し指を立てる	向き合う	口の前
食い違い	人差し指を横に	向き合う	胸の前
あさる	握る	下向き	腰の前
活動	握る	下向き	胸の前
乱暴	握る	下向き	胸の前
たぬき	握る	向き合う	胸に接触
往来	開く (指離す)	向き合う	胸の前
新潟	開く	上向き	胸の前
はっきり	開く	内側	胸の前
売買	輪を作る	向き合う	胸の前
コントロール	付け合わせる (指を前後する)	向き合う	胸の前

ことが分かる。このように, 手話単語も他の音声言語と同様に言語間でその事象や事物を特徴付ける属性の捉え方に差があるためか, あるいは, すでに定義されている他の単語との弁別を容易にするために異なる属性を模倣している可能性が考えられる。

9 むすび

本稿では, 手話単語の手指動作特徴に基づく手話単語の分類方法として, 市販の手話辞典に記載されている, 手指動作記述文間の類似性に基づく手法を提案した。本手法の特徴は, 手話単語間の動

表 8: 手の位置が固定の類似動作単語群

動作: 両手を交互に上下する (手の位置固定)			
手話単語	手の形	掌の向き	手の位置
which	親指を立てる	向き合う	胸の前
maybe	開く	上向き	胸の前
judge	輪を作る	向き合う	胸の前
difficult	折り曲げる	内側	胸の前
car (湾曲)	握る	向き合う	胸の前

表 9: 手の位置が固定の類似動作単語群

動作:両手を交互に前後する(手の位置固定)			
手話単語	手の形	掌の向き	手の位置
explain	輪を作る	向き合う	胸の前
control	人差指を曲げる	向き合う	胸の前



①親指と人差指をつけ合わせた両手を胸の前におき、親指を人差指にそって手前に引いたりもどしたりする動きを左右の手で交互に二度ほどする。

図 8: 手話単語「コントロール」

作の類似関係を対応する手指動作記述文間の類似関係と捉え、単語間の類似度を文間の類似度で計算する点にある。また、類似度の計算は手指動作記述文間の最長共通部分単語列の長さに基づき計算を行う。実験の結果、類似動作の手話単語対を抽出し、日米手話言語間で動作の類似性が意味の類似性を反映している手話単語対の存在と、動作パラメータの変更により意味が変化する手話単語の最小対を抽出した。今後の課題としては、対象データの規模と検索パターンを拡張し、動作の類似性と意味の類似性について検討する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、日頃ご指導を頂く宇都宮大学工学部情報工学科鎌田一雄教授、ならびに、貴重なご意見を頂く熊谷毅助教授に深謝する。なお、本研究の一部は平成7年度文部省科研費(奨励研究(A):課題番号:07780356)、平成8年度文部省科研費(萌芽的研究:課題番号:08878052)、平成9年度文部省科研費(重点領域研究:課題番号:09204202)、平成10年度文部省科研費(特定領域研究:課題番号:10111202)の援助による。

参考文献

- [1] Leonard G. Lane: *Gallaudet Survival Guide to Signing*, Gallaudet University Press, 1993.
- [2] 長尾真: 言語工学, 昭晃堂 (1983). NLC92-2 (1992).
- [3] 丸山宏, 他: マイクロフィーチャーに基づく語間の関連度の計算とその適合化, 信学技報, NLC89-1 (1989).
- [4] 丸山浩路編: イラスト手話辞典, kkダイナミックセラーズ (1984).
- [5] Adachi, H et al.: *A Classification Method for Japanese Signs Using Manual Motion Descriptions*, Proc. of COLING'94, vol. II, pp. 961-967, (1994).
- [6] Adachi, H et al.: *A Classification Method for Signs in American Sign Language Using Manual Motion Descriptions*, Proc. of NLP-PRS'95, vol. II, pp. 520-525 (1995). Proc. of ICCPOL'97, Vol. II, pp. 618-623 (1997).
- [7] 安達久博, 他: 手指動作記述文を利用した手話単語間の類似関係の抽出方式(最長共通部分文字列探索を基本に), 信学技報, NLC93-52 (1993).
- [8] 安達久博: 手指動作記述文を用いた日米手話言語間の類似動作単語対の抽出方法, 信学技報, NLC96-65, pp. 69-74 (1997).