

# 両手で行う手話動作の認識手法の基本検討とその評価

岡安 優奈<sup>\*1</sup>, 小澤 辰典<sup>\*1</sup>, 西村 広光<sup>\*1</sup>, 田中 博<sup>\*1</sup>  
小林 大輔<sup>\*2</sup>, 岩本 典夫<sup>\*2</sup>, 加藤 秀司<sup>\*2</sup>,  
<sup>\*1</sup> 神奈川工科大学, <sup>\*2</sup> 株式会社ケイ・シー・シー

## Basic investigation and evaluation of recognition method of sign language motions performed with both hands

Yuna Okayasu<sup>\*1</sup>, Tatsunori Ozawa<sup>\*1</sup>, Hiromitsu Nishimura<sup>\*1</sup>, Hiroshi Tanaka<sup>\*1</sup>  
Daisuke Kobayashi<sup>\*2</sup>, Michio Iwamoto<sup>\*2</sup>, Shuji Kato<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Kanagawa Institute of Technology, <sup>\*2</sup> KCC Corporation

筆者らはカラー手袋と光学カメラを用いた手話認識の検討を行ってきた。最終的な目標はスマートフォンとカラー手袋を用いた手話自動翻訳システムである。当面の適用対象は手話学習用ツール SmartDeaf を使用し、学習した際の復習用ツールとしての利用である。このため、SmartDeaf に登録されている単語を対象とした手話認識の高精度にむけて検討を進めている。本報告ではこれまでに明らかにしてきた右手のみで行う手話単語の認識手法を基に、両手で行う手話単語に対する認識手法を提案し、その認識性能を実験により評価した。その結果、提案手法による認識精度として 67.5% を確保し、その有効性を確認した。

キーワード: 手話認識, 手話学習, カラー手袋, 光学カメラ, 特徴量

### 1. はじめに

聴覚に障がいを持った方と健聴者とのコミュニケーション手段として手話や指文字が一般的であるが、健聴者や事故などで、後天的に障がいを持った方はそれらを習得していない。そのため、両者の意思疎通には手話通訳者や筆談器などのコミュニケーション支援機器が必要となり、聴覚障がい者と健聴者の間の対面コミュニケーションには未だ大きな障壁があると言える。このことから、手話を自動で認識する研究が数多く行われている<sup>(1)(2)(3)</sup>。

筆者らも認識の検討に取り組んでいるが<sup>(4)(5)</sup>、その認識手法の特徴として、光学カメラとカラー手袋を用いている点がある。光学カメラの利用により、将来的にはスマートフォンを用いた認識を可能にすることで、誰もが、どこでも利用できる可能性がある。提案している方法ではカラー手袋が必要であるものの、各指や手の平/甲の識別が可能となり、認識のために必要な情報を得る、という点で、他のデバイスよりも有利であると考えている。

筆者らはこれまでに、右手のみで行う手話単語の認識を行ってきた。本報告ではこれまでの右手のみで行

う手話単語の認識手法を基に、両手で行う手話単語に対する認識手法の検討と、その評価実験の結果について述べる。

### 2. 当面の適用対象

手話学習ビデオを利用できるサイトとして、NHK が提供している「NHK 手話 CG」<sup>(6)</sup>や日本手話研究所が提供している「新しい手話の動画サイト」<sup>(7)</sup>がある。NHK が提供している「NHK 手話 CG」は単語 1 つ 1 つについて、実際の手話の動きを CG 化したものである。NHK が放送した 10 年分のニュース原稿の中で使用される単語や、2 年分の「手話ニュース」で頻繁に使用される単語約 7000 語が登録されている。日本手話研究所が提供している「新しい手話の動画サイト」では標準手話、外国の手話、裁判や選挙に係わる手話などが利用可能である。また、手話学習用ツールとして SmartDeaf<sup>(8)</sup>のようなアプリケーションも存在する。SmartDeaf とは株式会社ケイ・シー・シーが開発、販売している手話学習者向けの手話動画辞書である。手話単語は動詞、健康・病気、生活など 2018 年 1 月現在で 35 個程のカテゴリがあり、3099 単語の学習が可能であ

る。

上記のような手話学習用ツールが存在する一方で、実際に行った手話を評価・復習ができるツールが存在しない。そこで、本研究の適用対象として SmartDeaf のカテゴリごとを対象とした手話復習用ツールとしての活用を考えている。手話復習用ツールの利用イメージの一例を図 1 に示す。想定している手話復習用ツールの利用手順を以下に示す。

- (1) 手話者学習者が手話動画辞書から手話動作を学ぶ。
- (2) カメラに向かって手話動作を行う。
- (3) その手話動作に対する認識結果が表示される。
- (4) その結果から自分の手話動作にフィードバックする。



図 1 手話復習用ツールの利用イメージ

### 3. 手話動作の検出

現在、手話動作検出を行うにあたって、光学カメラと独自に製作したカラー手袋を用いている。光学カメラは一般的なスマートフォンとほぼ同じ水準での利用を想定し、フレームレートが 30[fps]である Logicool の HD プロウェブカム C920r を選択した。

本研究で用いているカラー手袋を図 2 に示す。本手袋は手首・各指・手の平が検出できるように 8 色を彩色している。色相環上で離れた位置にある色を用いることで色の識別が容易になるため、この 8 色を選択した。彩色した色領域を抽出することで以下のこと可能である。

- (1) それぞれの部分に異なる色を彩色し、色の種類から識別→手・指の識別

- (2) 検出した色領域の重心位置を追跡→手・指の位置と動きの検出
- (3) 検出された色の種類と位置から推測→手・指の形状の把握
- (4) 手の平に色を彩色し、その色の検出で判別→手の表裏判別



図 2 カラー手袋

## 4. 手話単語の選定と手話動画データの取得

### 4.1 撮影対象

当面の適用対象は、手話動画辞書 SmartDeaf で学習を行った際の復習用ツールを想定している。このため、撮影対象とした手話動作は SmartDeaf に収録されている両手を用いた手話単語とし、その中から学習需要が高い健康・病気カテゴリを選択した。

今回は両手で行う手話単語に対して、片手(右手)のみの手話単語に対する認識手法を基に両手を用いる手話動作の認識に拡張し、その認識性能を確認する。よって、取得動画データから撮影画面上に設定した左右の分離線を基準に、右手と左手の動きに分けて処理する。撮影画面上に設定した分離線を図 3 に示す。

両手で行う手話単語を認識する場合、両手のカラー手袋に彩色した同じ色領域(各指・手のひら)を同時に検出してしまい、右手か左手か区別することが難しい。よって、検討初期の本段階では、右手と左手の動きを独立して認識できる両手の手話単語を以下の条件で選定した。

- (1) 両手が交差しない手話動作
- (2) 図 3 の撮影画面上に設定した分離線より、右手が画面左半分領域、左手が画面右半分領域を超えて動作をしない手話動作

上記の条件から選定した両手の手話単語 17 種を表 1 に示す。

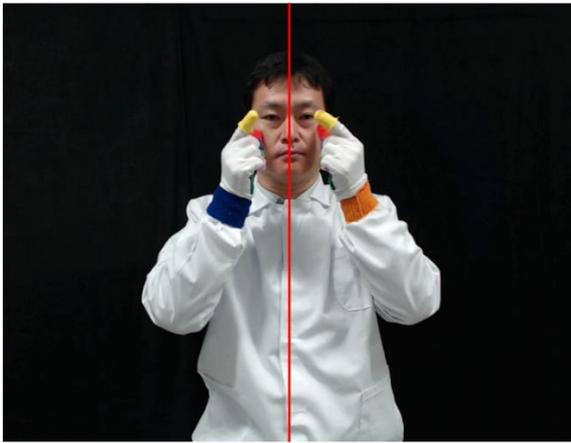


図3 撮影画面上に設定した分離線

表1 選定した手話単語17種

1. 汗	2. 汗だく	3. イライラ	4. 近視	5. 車椅子
6. 骨折	7. 産婦人科	8. 腎臓	9. たくましい	10. ダイエット
11. 涙	12. 裸	13. 発達障害	14. 肥満	15. 骨
16. 眼鏡	17. 酔う			

本検討で用いている手話の認識手法ではHMM(Hidden Markov Model)の学習用データ、認識率を求める評価用データが必要である。学習用データの手話者数と同一単語のサンプル数は先行の研究<sup>(9)</sup>からモデルの学習のために最低限必要な3人、各単語につき20サンプルとした。評価用データの手話者数とサンプル数は、認識性能を確認するため、3人、10サンプルとした。さらに、性能の安定性を評価するための交差検証で行う手話者の組み合わせを考慮し、手話者9人の手話動画データを取得した。

#### 4.2 手話動画データの取得

認識実験に用いる動画データ取得のために手話動作の撮影を行った。手話動作は手話者によって動きが異なる場合があるため、本撮影では、SmartDeafに準拠した動作とした。また撮影時は株式会社ケイ・シー・シー所属/ろう者協会手話講師の監修下で行った。撮影を行う前に監修者による手話動作の指導を受け、撮影後は取得した動きに誤りがないか確認を行った。動作の撮影の様子を図4に示す。本検討からデータ取得の時間短縮のため、二人同時にその動作を取得した。



図4 手話動作の撮影の様子

撮影条件を以下に示す。

- (1) 各単語30サンプルの撮影は2回に分けて行う。(一定時間(今回は1日)をおいた方がある程度の動作のばらつきを含むと考えられるため)
- (2) 解像度は800\*600 [pixel]
- (3) 撮影環境の照度は手話者側とカメラ側共に約200 [LUX]
- (4) 光学カメラのフレームレートは一般的なスマートフォンの標準である30 [fps]
- (5) カメラから被験者までの距離は一般的な対面会話の距離を想定して1 [m]
- (6) 色領域の抽出を容易にするために背景と衣服は低彩度である暗幕と白衣を使用
- (7) 手話動作の開始と終了の判定を用意するため、被験者が手を身体の横に降ろした際に手首が見えないようにカメラと椅子の高さを調節(手話動作の開始は、どちらかの手首の色領域が画面上に現れたときとし、終了は両手の手首の色領域が画面上から消えたときとする。)
- (8) 手話者の身体が、図3で示した撮影画面上に設定した分離線に位置するようにカメラを設定

## 5. 動画データに対する前処理と命名規則

### 5.1 動画データに対する前処理

後述する手話認識のための特徴量データはカラー手袋の色領域を用いているため、カラー手袋以外の余分な色情報を除去する必要がある。また、各動作1回につき1つの動画ファイルとしている。動画データに対して以下の処理を行う。

(1) 撮影した動画データの切り分け

撮影の際, 1 単語の手話動作を連続した繰り返し動作として行っているため, 撮影した動画を 1 回の手話動作ごとに分ける.

(2) 背景差分

動きのない部分を除去し, 動きのある領域のみを抽出する.

(3) 右手左手への分割

撮影画面上に設定した分離線から, 右手と動作と左手の動作に分ける.

(4) 色抽出

背景差分後の動画データから, HSV(色相, 彩度, 明度)の閾値を調節し, カラー手袋の 8 色それぞれの色領域を抽出する.

図 5 に前処理によって, 得られたカラー手袋の色抽出例を示す.

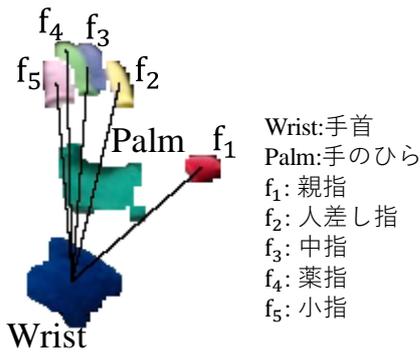


図 5 カラー手袋の色抽出例

5.2 動画データに対する命名規則

1 回の手話動作ごとに分けた動画データを基に手話動作の情報を抽出している. 今後, 異なる OS での利用を考慮して, 1 回の手話動作毎に分けた動画データのデータ名は 8 文字に制約した. データ名に含める情報は手話者, 手話単語, サンプル番号であり, 以下を 8 文字で表現する.

- (1) 手話者:「\_」と手話者を表す大文字のアルファベットの 2 文字(例: 手話者 A の場合, \_A とする)
- (2) 手話単語: 16 進数で表す 3 桁(例: 「涙」の場合, 031 とする)

現在 SmartDeaf で利用できる単語は 3099 単語あり, 16 進数表記にすることで最大 4095 種類の手話単語の表現が可能となることから 16 進数表記

とした. 49 番目の単語である「涙」は, 「031」となる.

- (3) 101 から始まるサンプル番号: 3 桁(例: 1 番目のサンプルの場合, 101 とする)

背景差分後の動画には上記で述べた 8 文字に左右の区別を示す文字を加え命名する. 左手の動作と右手の動作を区別するために右手の場合は「.R」を追加し, 左手の場合は「.L」を追加した

例として, 「涙」の動画データに対する命名規則に従ったファイル名の付与を図 6 に示す. 今後の更なる動画データの追加は, この命名規則に従って行う.



図 6 命名規則とファイル名の一例

6. 特徴量の算出と認識ツール入力データ

各手話動作を識別するための特徴量は, 認識性能を決定する際に重要な要素の 1 つである. 筆者らは, 手話動作から多くの種類の特徴的な情報を抽出し, 高い認識性能を確保しようと検討している. そのため, カラー手袋の色領域から手首の重心位置, 各指の重心位置, 手首と手の平の画素数の情報を取得した. 手首と各指の重心位置は x, y 座標の値を取得した. 加えて, 取得した手首と各指の重心位置と手首と手のひらの画素数を用いて, 特徴量を算出する. 以下に特徴量算出までの手順を示す.

(1) 線形補間

まれに, 手の向きによって, 手首の色領域が隠れてしまい, 手首の重心位置が検出できない場合がある. 手首の重心位置が行われない場合, 後述する「手の動きの軌跡」, 「手の位置」, 「手の動きの速度」を算出す

ることができない．そこで，欠落した手首の重心位置を線形補間する．線形補間後の手首の重心位置は CSV ファイルとして出力する．

(2) 特徴量の算出

a. 手首の重心位置から算出する特徴量

表 2 に示す算出式を用いて，線形補間後の手首の重心位置から，「手の動きの軌跡」，「手の位置」，「手の動きの速度」としてそれぞれ特徴量毎に，ベクトル系列で CSV ファイルに出力する．

b. 手首の重心位置と各指の重心位置から算出する特徴量

表 2 に示す算出式を用いて，線形補間後の手首の重心位置と各指の重心位置から，「手・指の形状」，「手の向き」としてそれぞれ特徴量毎に，ベクトル系列で CSV ファイルに出力する．

c. 手のひらと手首の画素数から算出する特徴量

表 2 に示す算出式を用いて，手のひらと手首の色抽出結果の画素数から，「手の回転」としてベクトル系列で CSV ファイルに出力する．

各特徴量の算出式と次元数，HMM における状態数を表 2 に示す<sup>(10)</sup>．

表 2 各特徴量の算出式，次元数と状態数

特徴量	算出式	次元数	状態数
軌跡	$tx_i = (x_i - \bar{x})/A$ $ty_i = (y_i - \bar{y})/A$ $A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2)}$	2	4
位置	$px_i = x_i/800$ $py_i = y_i/600$	2	4
速度	$dx_i = x_i - x_{i-1}$ $dy_i = y_i - y_{i-1}$	2	4
手指形状	$d_{ji} = \sqrt{(fx_{ji} - x_i)^2 + (fy_{ji} - y_i)^2}$ $j = 1, 2, 3, 4, 5$	5	3
向き	$\theta_i = \text{atan2}(fy_{ji} - y_i, fx_{ji} - x_i)$ $j = 2 \text{ else } 3 \text{ or } 4 \text{ or } 5 \text{ or } 1$	1	4
回転	$\beta_i = ((\text{Area of wrist})_i, (\text{Area of palm})_i)$	2	3

( $x, y$ ): 手首の重心位置, ( $f_x, f_y$ ): 各指の重心位置  
 $i$ : フレーム番号,  $j$ : 各指の番号(親指1,人差し指2,中指3,薬指4,小指5)  
 $n$ : 手話動作のフレーム長

(3) HTK の入力形式ファイルへの変換

認識処理は HTK(Hidden Markov Model Toolkit)を用いている．HTK は，音声認識への利用など時系列データに対する識別に広く適用されていることから用いた．認識手法については第 7 章で述べる．

上記の手順(2)より算出した特徴量を格納した CSV ファイルから以下の 2 つの HTK の入力形式ファイルを作成する．

- DAT ファイル(表 2 の算出式で求めた特徴量を格納

したファイル)

- LAB ファイル(各 DAT ファイルの単語名(ラベル)を格納したファイル)

7. HMM を用いた手話認識手法と実験

7.1 認識手法

HTK を用いた手話認識処理の手順を図 7 に示す．

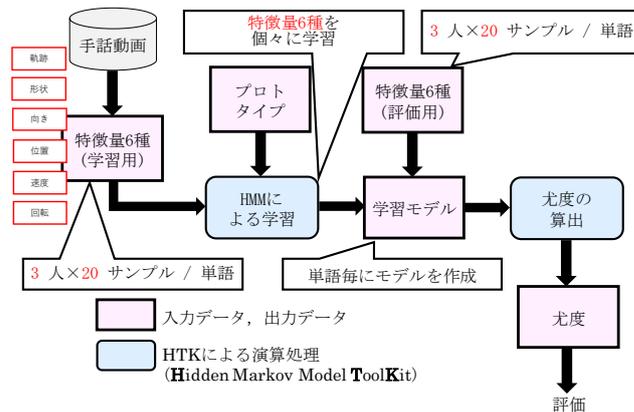


図 7 HTK を用いた手話認識処理の手順

HTK により算出した各単語の評価用データに対する尤度から認識結果を決定する方法を以下に述べる．

- (1) 右手と左手毎に，各特徴量を用いた HTK による尤度を降順に順位付けする．
- (2) (1)の 6 つの順位を合計する．
- (3) 右手と左手の順位を合計する．
- (4) 値が最も小さいものを認識結果とする．

認識結果を決定する手順を図 8 に示す．

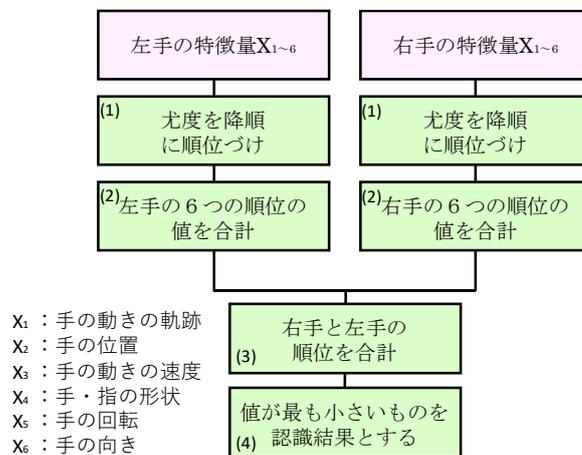


図 8 両手の各特徴量を用いた認識結果の決定方法

## 7.2 評価実験

第 7.1 節で述べた認識手法を用いて両手で行う手話単語の認識性能の評価を行う。用いる手話単語は表 1 に示した単語である。学習用データとして手話者 A, J, K の各単語 20 サンプル、評価用データとして異なる手話者 L, M, N の各単語 10 サンプルを用いた。各特徴量を用いた右手と左手のそれぞれの各特徴量の認識結果を表 3 に、右手と左手を統合した認識結果を表 4 に示す。ここで、1 位は順位が 1 位の結果のみを正解とし、3 位累積は順位が上位 3 位までを正解とした際の認識結果である。

表 3 右手と左手の各特徴量の認識結果

特徴量	学習用データA, J, K 評価用データL, M, N			
	右手		左手	
	1位	3位累積	1位	3位累積
軌跡	28.4%	59.0%	37.8%	68.4%
位置	30.2%	52.5%	30.4%	52.5%
速度	24.5%	44.9%	16.9%	38.8%
手指形状	33.7%	53.3%	36.9%	61.6%
向き	28.2%	52.7%	30.6%	50.0%
回転	28.6%	52.5%	20.6%	46.5%
6種の特徴量の結果を統合	56.3%	73.9%	55.3%	77.8%

表 4 右手と左手を統合した各特徴量の認識結果

特徴量	学習用データA, J, K 評価用データL, M, N	
	両手	
	1位	3位累積
6種の特徴量の結果を統合	67.5%	87.5%

表 3 から、右手と左手の各特徴量による 1 位の認識率は 16~37%であることを確認した。右手と左手の 6 つの特徴量を統合した場合、右手と左手の 1 位の認識率はともに 55%前後であり、両者の認識結果には大きな差は見られなかった。

表 4 から、右手と左手の順位を統合した認識率は 67.5%であることを確認した。表 3 の右手と左手個別の認識率より約 10%向上した。よって、両手で行う手話単語の認識では、右手と左手の認識結果を統合することにより、認識性能が向上し、提案手法の妥当性を確認した。

表 4 に示した 1 位の認識結果を単語ごとに確認する。各単語の 1 位の認識結果の Confusion Matrix を表 5 に示す。Confusion Matrix に示した値は、各単語の学習モデルに対して、順位のランキングが 1 位だった評価用データの個数(最大 30 個)を示している。このとき、同

率 1 位は 1 位の個数には含めないものとする。表 5 から、[9](たくましい), [10](ダイエット)の評価用データの過半数以上が [12](裸)と誤認識していることを確認した。

表 5 各単語の認識結果

		学習データ(17単語)																
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]
評価用データ(17単語)	[1]	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	[2]	0	22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	[3]	0	4	17	2	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	3
	[4]	4	0	0	23	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
	[5]	0	0	0	0	19	4	0	0	0	1	0	1	0	1	4	0	0
	[6]	0	0	0	1	0	25	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	[7]	0	0	0	0	1	0	25	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0
	[8]	0	0	0	0	0	3	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	[9]	0	9	0	1	0	0	0	0	1	0	4	13	0	0	1	0	0
	[10]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	16	0	0	1	0	0
	[11]	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0
	[12]	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	2	0	0
	[13]	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0	0	0	0
	[14]	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	22	2	0	0	0
	[15]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	16	0	0
	[16]	0	2	5	4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	15	1
	[17]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
正解数		29	22	17	23	19	25	25	25	1	10	19	26	20	22	16	15	30
認識率全体の認識率		67.5%																

正解数(最大30)

誤認識の原因を確認するため、[9](たくましい), [10](ダイエット), [12](裸)の手話動作を調べる。[9](たくましい), [10](ダイエット), [12](裸)の手話動作を図 9 に示す。これら 3 つの手話動作における、手首の重心位置の変化はほぼ同一であり、それを用いて算出している特徴量の「手の動きの軌跡」、「手の位置」「手の動きの速度」が類似していると考えられる。[9](たくましい)と[12](裸)の手話動作の特徴の違いは、指が見えているか否かであり、6 つの特徴量のうち「手・指の形状」のみが異なる。また、[10](ダイエット)と[12](裸)の手話動作の特徴の違いは、手のひらが見えるか否かであり、特徴量「手の回転」のみが異なる。そのため、明確に識別するための情報が少なく、誤認識が起きたと考えられる。

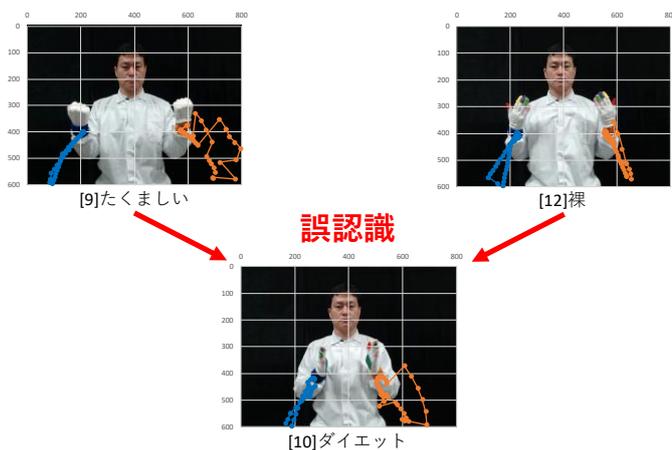


図10 Ges[47]たくましい, Ges[48]ダイエット, Ges[50]裸の動作

図9 [9](たくましい), [10](ダイエット), [12](裸)の手話動作

今後は、異なる特徴が少ない手話単語の誤認識を改善するべく、本提案手法の前段階として、指が見えるか否かの判定、手のひらが見えるか否かの判定を追加するなど、新たな認識手法の検討が必要であると考えられる。

## 8. まとめ

本報告では、これまでのHMMを用いた右手のみで行う手話単語の認識手法を基に、両手で行う手話単語の認識手法を検討した。認識の検討に用いる両手で行う手話単語17種を選定するとともに、その動画データを取得し、評価実験を行った。結果として、6つの特徴量を統合した右手の認識結果は56.3%であり、左手の結果は55.3%であることを確認した。さらに、右手と左手による結果を統合した認識率は67.5%に向上することを確認した。このことから右手と左手を別々に認識し、統合する提案手法が妥当であることを確認した。

また、Confusion Matrixから[9](たくましい)、[10](ダイエット)が[12](裸)と誤認識していることを確認した。これら3つの手話動作がほぼ同一であり、「手の動きの軌跡」、「手の位置」、「手の動きの速度」が類似していると思われる。[9](たくましい)と[12](裸)、[10](ダイエット)と[12](裸)の動作の異なる点は「手・指の形状」、「手の回転」のみであり、誤認識が生じたと考えられる。今後は、誤認識を改善するべく、本提案手法の前段階として、指が見えるか否かの判定、手のひらが見

えるか否かの判定を追加した、新たな認識手法の検討が必要であると考えられる。

## 参考文献

- (1) 山根 卓也, 舩富 卓哉, 飯山 将晃, 美濃 導彦: “データグローブのセンサデータに基づく各指節の位置・向き の推定手法の検討”, 信学技報, PRMU2011-138, pp.72-83 (2011)
- (2) 山田 寛, 松尾 直志, 島田 伸敬, 白井 良明: “手話認識のための見えの学習による手領域検出と形状識別”, 画像の認識・理解シンポジウム, IS1-37, pp.635-642 (2009)
- (3) 吉野 和芳, 川嶋 稔夫, 青木 由直: “カラー手袋を用いた手話認識手法”, 情報処理学会研究報告, コンピュータビジョン研究会報告 95(68), pp.51-58 (1995)
- (4) T. Ozawa, H. Shibata, H. Nishimura, et al.: “Investigation of feature elements and performance improvement for Sign language recognition by Hidden Markov Model”, HCI 2017, Part II, LNCS vol.10278, pp. 1-13 (2017)
- (5) 小澤 辰典 他: “特徴量と複数の識別器の統合による手話認識性能向上”, 2017, HCG, A-8-3 (2017)
- (6) NHK, NHK 手話 CG, <http://cgi2.nhk.or.jp/signlanguage/> (2018年2月5日確認)
- (7) 日本手話研究所, 新しい手話の動画サイト, <http://www.newsigns.jp/alpha/a1> (2018年2月5日確認)
- (8) 株式会社ケイ・シー・シー, 手話動画辞書アプリ, SmartDeaf, <http://www.smartdeaf.com/> (2018年2月5日確認)
- (9) 小澤 辰典 他: “複数の手話者データをHMMに学習させた識別性能の評価”, 2016 信学ソ大, B-20-22, p.451 (2016)
- (10) Y. Okayasu, T. Ozawa, M. Dahlan, et al.: “Performance enhancement by combining visual clues to identify sign language motions”, IEEE Pacific Rim Conference., Four pages (2017)