

位置によらない動き特徴を用いた遠隔共同調理映像間の動作対応付け

林 泰宏[†] 内山 寛之^{††} 出口 大輔^{††} 井手 一郎^{††} 村瀬 洋^{††}

[†] 名古屋大学工学部 〒463 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒461 愛知県名古屋市千種区不老町

✉ h1111@nagoya-u.ac.jp ✉ hiroyuki.uchiyama@nagoya-u.ac.jp ✉ daisuke.deguchi@nagoya-u.ac.jp ✉ ichiro.ide@nagoya-u.ac.jp ✉ hiroshi.murase@nagoya-u.ac.jp

あらまし 調理動作の比較による技術上達支援を目的とした，調理映像の動作対応付け手法を提案する．料理コミュニケーションソフトウェア IwaCam [1] により，映像の相互配信による遠隔地間での共同調理が可能である．提案手法は，このような異なる人物が異なる調理環境で行った同一手順の調理過程を撮影した調理映像を動作単位で対応付けけるものである．しかし，個別に撮影された調理映像はカメラの設置位置や背景の違いがあるため，提案手法では，これらに影響されにくい動き特徴を利用する．また，各調理動作に要する時間には個人差があるため，D-TM マッチングにより時間方向の伸縮を許容した対応付けを行う．実際に撮影した調理映像で対応付け実験を行い，手法の有効性を確認した．

キーワード 動き特徴，D-TM マッチング，調理映像，調理動作

Matching Motions in Remote Cooperative Cooking Videos Using a Position-invariant Motion Feature

Yasuhiro HAYASHI[†], Hiroyuki UCHIYAMA^{††}, Daisuke DEGUCHI^{††}, Ichiro IDE^{††}, and Hiroshi MURASE^{††}

[†] School of Engineering, Nagoya University

^{††} Graduate School of Information Science, Nagoya University

✉ h1111@nagoya-u.ac.jp ✉ hiroyuki.uchiyama@nagoya-u.ac.jp ✉ daisuke.deguchi@nagoya-u.ac.jp ✉ ichiro.ide@nagoya-u.ac.jp ✉ hiroshi.murase@nagoya-u.ac.jp

Abstract We propose a method for matching motions in remote cooperative cooking videos.

Keywords IwaCam, motion feature, D-TM matching, cooking video, cooking action

1. はじめに

調理は，各家庭で日常的に繰り返されている活動であり，日々の生活において重要な役割を占めている．しかし，食材や調理方法についての豊富な知識や経験を必要とするため，それらの支援を目的とした調理支援の研究が盛んである．

情報通信技術を用いて調理支援を行うための基盤として，遠隔地間での共同調理を支援する料理コミュニケーションソフトウェア IwaCam [1] がある．IwaCam により，複数拠点間で映像を相互配信することで共同で調理を行う環境を構築でき，また，各拠点では複数のカメラを接続し，調理状況に応じてカメラを切り替えながら映像を配信できる．このように，遠隔地間

で共同調理を行うことで、各拠点の参加者が互いの調理について指摘しあったり、教えあったりすることが容易になり、調理技術の上達や知識の伝達を促せると考える。しかし、互いに調理を行っている環境では、相手の調理映像を常に注視することはできないため、調理における重要なシーンの見逃しなども発生する。そのため、互いの映像を記録し、それらを調理後に振り返ることで、調理技術の上達につながると考えられる。また、映像を個別に振り返るのではなく、互いの調理動作を比較しながら振り返ることで、より有効に利用できると考えられる。

そこで本研究では、IwaCam を利用した遠隔拠点間での共同調理環境を利用して、各拠点で調理中に撮影された調理映像間の対応付けを行うことを目的とする。各拠点で同一手順で行われた調理過程を撮影し、それを動作単位で対応付けることで、単純に調理過程を振り返るのではなく、互いの調理動作を比較しながら調理過程を振り返ることを可能にする。これにより、個別に調理過程を振り返るよりも、効果的に調理の成功や失敗に関する知見が得られると考えられる。

以降、2. で関連研究を紹介し、3. では提案手法である調理映像の動作対応付け手法について述べる。そして、4. で対応付けの評価実験について述べ、その結果について考察する。最後に 5. で本報告をまとめる。

2. 関連研究

関連研究として、調理支援を目的とした研究と動作比較による技術上達支援を目的とした研究について紹介する。

調理支援を目的とした研究のうち、映像を利用した研究として、三浦ら [2] は料理番組映像の要約手法について検討している。料理番組映像には、調理動作や食材の状態などを説明する重要な部分の他にも、雑談などの重要でない部分も含まれている。そのため、料理番組映像の構成や映像中の動きに注目し、映像中の重要部分の検出を行うことを目的としている。これにより、より実用的な教材としての料理番組映像の利用が可能となる。また、森ら [3] は、調理過程を記録した映像から任意の時点における食材と加工操作を認識する研究を行っている。撮影中の調理映像から、その時点での食材の種類と加工操作を認識することで、現在の調理状況を把握し、その調理状況に応じた支援への応用などを検討している。これらの研究は、教材を提示することによる調理前の支援や、調理状況を把握することによる調理中の支援を目的とした研究である。一方、本研究では、調理過程を振り返ることで技術上達の支援を行うという調理後の支援を想定している。

動作比較による技術上達支援を目的とした研究として、山根ら [4] による舞踊動作解析の研究が挙げられる。モーションキャプチャにより得られた姿勢に関する 2 つの時系列データの類似性を、時系列相関行列を利用して計算する。これにより、特定動作の抽出や異なる演者間の舞踊動作比較を行い、ミスや癖を検出する手法について検討している。また、スポーツの動作分析に関する研究 [5] も挙げられる。この研究ではスポーツの動作フォーム映像や筋電位などの情報を利用した、人体センシング情報の可視化を行っている。筋肉の負荷変化や動作フォーム

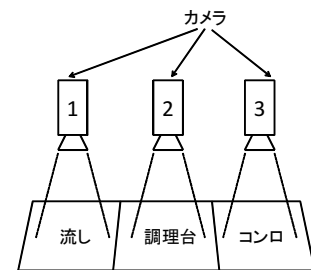


図 1 撮影環境の概略

の 3D アニメーションを提示することで、映像のみでは扱いにくい人体の運動機能を考慮した異なる選手間の動作比較を行う。これにより、スポーツ動作解析の支援を実現している。いずれも、動作の解析や、比較による技能向上支援を目的とした研究である。しかし、これらの研究は、専門家による動作の解析を目的とした研究であり、データの取得は理想的な環境で行われている。一方で、調理活動という日常生活に密着した課題を扱うには、このような実験用環境ではなく、一般家庭に設置可能な環境を想定する必要がある。

上記の研究が姿勢データや筋電位などの映像以外のデータを利用しているのに対して、映像のみを用いて動作比較を行う研究として、辻野ら [6] のスポーツフォームの教示を目的とした研究がある。この研究では、スポーツフォームを撮影した 2 本の映像の対応付けを行い、差異を提示することで技術上達の支援を行っている。この研究は映像から得られる情報のみを扱うため、個人での利用が可能という利点がある。しかし、この手法は人の姿勢全体から得られる情報を利用した手法である。一方で、調理動作は手元の細かい動作を中心とするため、この手法を調理映像にそのまま適用することは困難であると考えられる。

3. 提案手法

3.1 想定する撮影環境

提案手法では、IwaCam を利用して映像の撮影を行うことを想定する。具体的には、台所内の複数の調理場所にそれぞれカメラを設置し、調理場所ごとに撮影を行う。図 1 に撮影環境の概略を示す。ここで、一般的な調理環境は「流し」「調理台」「コンロ」の 3 つの調理場所で構成されると仮定する。そのため、これらの調理場所にカメラを設置して、調理場所ごとに行われる調理動作を記録する。調理作業は 1 人で行い、必ずどこか 1 か所で行われているものとする。また、各カメラの撮影領域には重複がないものとする。

撮影された映像は調理場所ごとに撮影したものであるため、これらの映像を一連の調理過程となるように 1 本の映像につなぎ合わせたものを対応付けの対象とする（図 2）。そのため、各時刻で調理作業が行われた場所を調べる必要がある。具体的には、まず、各調理場所のカメラから得られた映像に対し、フレーム間差分を求めて、得られた差分画像の画素値の和を求める。これらと比較し、最も値が大きい調理場所を、その時刻において調理作業が行われていた場所と判定する。IwaCam では、プラグインを設計することで、任意の処理を行えるため、

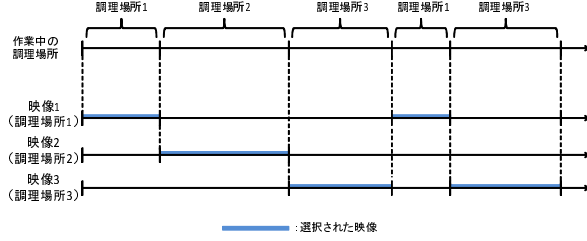


図2 調理映像の編集

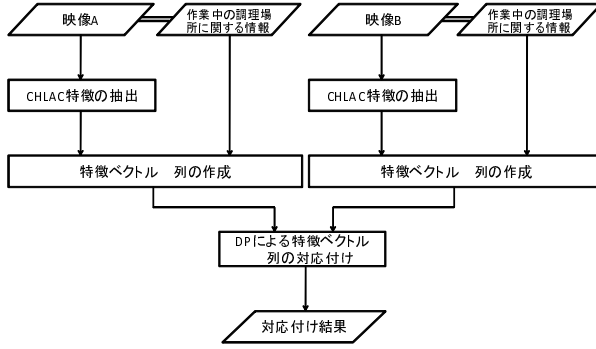


図3 処理の流れ

本研究では上記の処理を行うプラグインを設計し、映像の撮影を行った。

以上の処理により得られた、調理作業が行われていた調理場所の映像を選択的につなぎ合わせ、1つの映像に編集する。本研究では、このような映像を対応付けの対象とする。また、選択された調理場所（カメラ）に関する情報も対応付けに利用する。

3.2 手法概要

本手法は、同一手順の調理過程を撮影した異なる2本の調理映像を動作単位で対応付ける。図3に本手法の流れを示す。対応付けに用いる映像は、前節の処理によりつなぎ合わせた映像を用いる。映像を対応付ける際、拠点間でカメラの設置条件の違いにより映像中の手元の位置が異なることや、調理環境の違いによる背景の違いなどが問題となる。そのため、特徴抽出では、これらの手元の位置や背景の影響を受けにくい特徴を利用する必要がある。提案手法では、CHLAC (Cubic Higher-order Local Auto Correlation) 特徴[7]を利用することで、この問題に対処する。また、調理映像中の各調理動作に要する時間には個人差があるため、時間的な伸縮を許容した対応付けが可能なDPマッチング[8]により対応付けを行う。

本手法では、ユーザが調理手順に従って正しく調理を行うことを想定し、調理動作の順序が入れ替わる場合、一方の映像で調理手順に含まれていない動作が含まれる場合、手順が抜けている場合、などは想定しないものとする。また、映像間で同じ調理動作は同じ調理場所で行うものとする。

3.3 特徴ベクトル系列の作成

3.3.1 動き特徴

動き特徴として利用するCHLAC特徴について説明する。CHLAC特徴は、1枚の画像から抽出されるHLAC (Higher-order Local Auto Correlation) 特徴[9]を時間軸方向を含めた

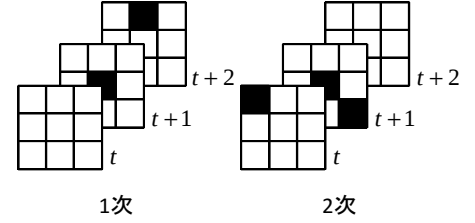


図4 CHLAC特徴の変位パターンの例

3次元に拡張した特徴である。

CHLAC特徴は、局所パターンの画像中での出現頻度に基づく特徴であるため、画像中の位置に依存しない。また、差分画像から特徴抽出することにより、背景の影響を抑制することができる。このため、差分画像に対するCHLAC特徴を用いることで、撮影条件の違いや調理環境の違いなどに影響されずに対応付けを行うことができる。

以下、まずCHLAC特徴の基になるHLAC特徴について説明し、その後CHLAC特徴について説明する。

a) HLAC特徴

画像データ f の N 次自己相関は以下のように定義される。

$$\int f(x)f(x+\delta_1)\cdots f(x+\delta_N)dx, \quad (1)$$

ここで、 x は画像中のある画素位置を表し、 $\delta_1, \dots, \delta_N$ は x からの変位を表す。HLAC特徴は、注目画素とその近傍の 3×3 画素の局所領域での相関を求めることで特徴抽出を行う。特徴量の算出は、局所領域の平行移動による冗長性を省いたすべての変位の組合せで行う。そのため、変位パターンは、 $N=0$ の場合は1通り、 $N=1$ の場合は4通り、 $N=2$ の場合は20通り存在する。そのため、画像から求まるHLAC特徴の次元数は25次元となる。

b) CHLAC特徴

CHLAC特徴は、HLAC特徴を時間軸方向に拡張したものであるため、時間的に連続した3枚の画像から特徴抽出を行う。 $3 \times 3 \times 3$ 画素の局所領域での相関を求めるため、変位パターンは図4のようになる。式(1)により、CHLAC特徴で $N=2$ までの相関を求める場合、局所領域の平行移動による冗長性を省いたすべての変位の組合せは全部で251通りとなる。そのため、CHLAC特徴の次元数は251次元となる。

本手法では動きに注目するため、フレーム間差分画像からこのCHLAC特徴の抽出を行う。具体的には、連続する合計4フレーム中の隣接する各2フレーム間でフレーム間差分画像を求めて2値化し、作成された3枚の2値差分画像から特徴抽出を行う(図5)。この処理を1フレームずつずらしながら行い、CHLAC特徴の系列 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_T\}$ を作成する。提案手法では、色情報を利用するために、各RGB成分それぞれについてCHLAC特徴を求め、それらを連結する。そのため、動き特徴の次元数は $251 \times 3 = 753$ 次元となる。

3.3.2 作業中の調理場所に関する情報

映像の編集時に求めた作業中の調理場所に関する情報を対応付けに利用する。作業中の調理場所に関する情報は、各調理場

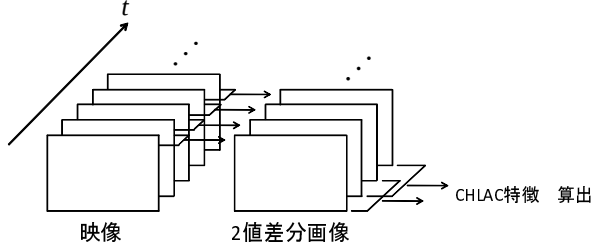


図 5 CHLAC 特徴算出の流れ

所に対応する番号として表現する。例えば、調理場所が「流し」なら 1、「調理台」なら 2、「コンロ」なら 3、というようにあらかじめ決定しておく。これにより、作業中の調理場所に関する情報は、系列 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_T\}$ と表現される。

これらを合わせて最終的に得られる特徴ベクトルの系列 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_T\}$ の要素 v_i は以下になる。

$$v_i = (a_i^T, b_i)^T \quad (2)$$

ただし、 a_i は CHLAC 特徴の特徴ベクトル、 b_i は作業中の調理場所に関する情報を表す。

3.4 特徴ベクトル系列の対応付け

映像ごとの特徴ベクトル系列を用いて、調理映像同士を対応付ける。このとき、個人によって各調理動作に要する時間が異なるため、時間伸縮を許容した対応付けができるように DP マッチング [8] を用いる。

2 つのベクトル系列を $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_I\}$, $V' = \{v'_1, v'_2, \dots, v'_j, \dots, v'_J\}$ とし、特徴ベクトル v_i と v'_j の距離 $d(i, j)$ を式 (3) により計算する。

$$d(i, j) = w^{c(b_i, b'_j)} \|a_i - a'_j\|_{L1}, \quad (3)$$

ただし、

$$c(b_i, b'_j) = \begin{cases} 1 & (b_i \neq b'_j) \\ 0 & (b_i = b'_j) \end{cases}. \quad (4)$$

$\|\cdot\|_{L1}$ は L1 ノルムを表す。このとき、 $D(1, 1) = d(1, 1)$ として以下の漸化式を再帰的に計算し、累積距離 $D(i, j)$ を求める。これを求めるまでに選択された経路が対応付け結果となる。

$$D(i, j) = \min \begin{cases} D(i-1, j) + d(i, j) \\ D(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ D(i, j-1) + d(i, j) \end{cases} \quad (5)$$

4. 実験・考察

実際に撮影した調理映像に提案手法を適用した実験の結果について述べる。なお、本実験では、遠隔共同調理環境を想定し、異なる調理環境で異なる被験者が行った同一手順の調理過程を撮影した複数の映像を用いた。

4.1 実験条件

4.1.1 実験データ

撮影する調理場所は、以下のように設定した。

調理場所 1 流し

調理場所 2 調理台

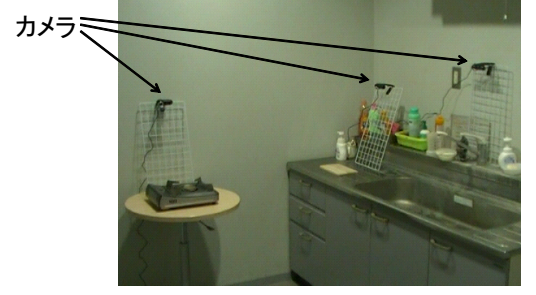


図 6 実際の撮影環境

表 1 調理手順

調理手順	調理場所
玉葱を洗う	流し
玉葱を薄切りにする	調理台
ベーコンを 1cm 幅で切る	"
卵を割り混ぜる	コンロ
フライパンに油を入れ、切った材料を炒める	"
塩胡椒をふり、再び炒める	"
卵を入れ混ぜる	"
皿に移す	"

調理場所 3 コンロ

実際に撮影を行った環境を図 6 に示す。

実験で利用するデータとして、表 1 に示す手順の調理を撮影したものを用いた。撮影により得られた映像は、解像度が 320×240 pixels、フレームレートが 10 fps であった。データは 4 人分の調理過程を撮影したものであり、撮影の際、カメラの設置条件や調理環境は被験者ごとに異なっていた。また、調理器具はすべての被験者が同じものを使用した。

4.1.2 実験方法

提案手法で用いる特徴量の背景・位置の変化に対する頑健性、色情報を利用することの有効性、調理場所の情報を利用することの有効性を確認するために、以下の手法と比較を行った。

比較手法 1 位置に依存する特徴量を用いた対応付け手法

比較手法 2 背景に依存する特徴量を用いた対応付け手法

比較手法 3 輝度値から抽出した CHLAC 特徴を用いた対応付け手法

比較手法 4 作業中の調理場所に関する情報を利用せず対応付けを行う手法

比較手法 1 では、フレーム間差分画像を 16×16 pixels のブロックに分割し、各ブロックごとに RGB 各成分の画素値の平均値を求め、それを並べたベクトルを動き特徴として用いた。画像全体のブロック数は 300 であり、RGB 成分それぞれで値を求めるため、この特徴ベクトルは 900 次元となる。この手法では、特徴量が背景には依存しないが、位置には依存する。提案手法とこの手法の比較により、提案手法における特徴量の位置の変化に対する頑健性について調査した。

比較手法 2 では、各入力フレームの RGB それぞれのヒストグラムを並べたものを動き特徴として用いた。ヒストグラムのビン数は 32 であり、特徴ベクトルは $32 \times 3 = 96$ 次元となる。

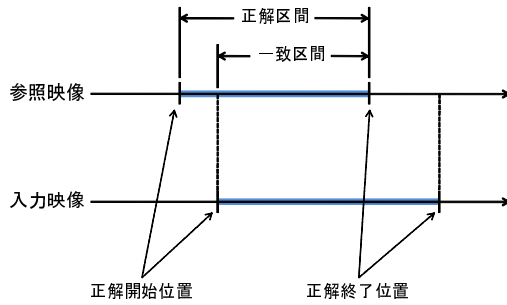


図7 正解区間と一致区間の関係

この手法では、特徴量は位置に依存しないが、差分をとらないため、背景に依存する。そのため、提案手法との比較により、提案手法における特徴量の背景変化に対する頑健性について調査した。

比較手法3では、提案手法におけるRGBの各成分からCHLAC特徴を抽出することの有効性を確認するために、フレーム間差分画像の輝度値からCHLAC特徴を算出し、それを動き特徴として用いた。この手法における特徴ベクトルの次元数は251次元である。

比較手法4では、作業中の調理場所に関する情報を利用せずに対応付けを行った。つまり、式(3)の重み定数が $w = 1.0$ のときと等価である。そのため、特徴ベクトル間の距離はCHLAC特徴のL1ノルムで求める。

比較手法4以外では、提案手法と同様に作業中の調理場所に関する情報も使用する。具体的には、式(3)の重み定数を $w = 2.0$ と設定した。

4.1.3 評価方法

評価は、フレーム単位で行った。各調理動作区間において、参照映像の正解開始位置から正解終了位置までの区間を正解区間とし、対応付けにより参照映像の正解区間と一致した入力映像の動作区間を一致区間とした(図7)。なお、映像ごとに各調理動作の開始と終了の正解位置を手によりあらかじめ求めておいた。また、調理動作の間には、どちらの調理動作にも含まれない区間が存在する。これを全調理動作区間で求め、一致区間・正解区間のそれぞれのフレーム数の合計から、以下の式により一致率を計算した。

$$\text{一致率} = \frac{\text{全一致区間のフレーム数}}{\text{全正解区間のフレーム数}} \quad (6)$$

このとき、評価は調理動作区間のみで行い、各調理動作間のどちらの調理動作にも含まれない区間は、評価の対象としなかった。映像は4本あり、その入力映像と参照映像のとり得る組合せは12通りである。この12通りすべてで評価し、その平均一致率により手法の精度を評価した。映像ごとの全正解区間のフレーム数を表2に示す。

4.2 実験結果

各手法における平均一致率を図8示す。一致率は、提案手法で71.9%、比較手法1, 2, 3, 4でそれぞれ29.5%、46.0%、67.5%、71.2%となり、提案手法が最も高い精度を示した。また、図9は最も一致率が高かった対応付けの経路図であり、点

表2 映像ごとの全正解区間のフレーム数

映像	フレーム数
映像1	3644
映像2	4366
映像3	3594
映像4	2792

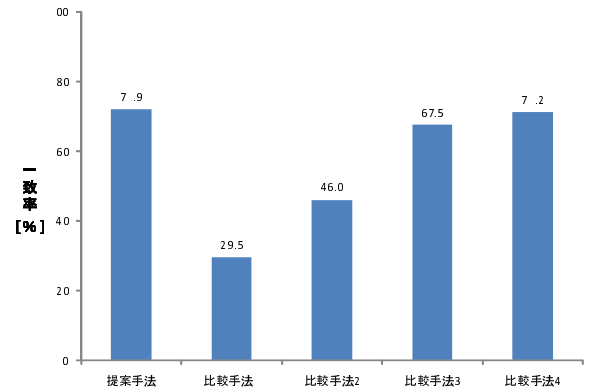


図8 手法ごとの平均一致率

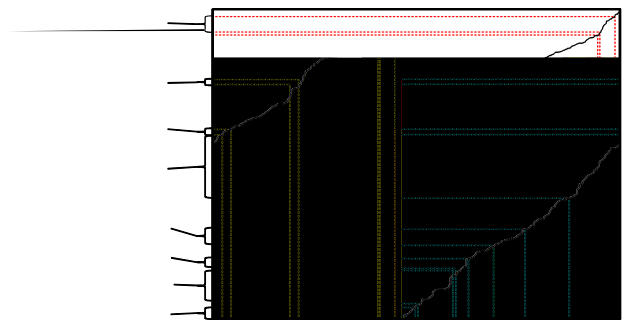


図9 DPマッチングによる対応付けにおける経路図

線は動作境界を表す。この対応付けにおける一致率は92.2%であった。

4.3 考察

位置に依存した特徴量を利用する比較手法1と背景に依存した特徴量を利用する比較手法2は、提案手法と比較して対応付け精度が低いことが実験結果から分かる。実験データは、撮影環境が各映像で異なり、映像中の調理を行う手元の位置の違いや背景の違いがあったため、どちらの比較手法も精度が低かったと考えられる。このように、撮影環境の違いがある場合には、動作位置の変化や背景の変化に頑健な提案手法が有効であることが確認できた。

また、色情報を利用しない比較手法3との比較から、色情報の利用による有効性を評価した。実験結果では、比較手法3より提案手法の方が精度が高いことが確認できる。実験で扱った映像は、複数の食材を扱っているため、色に関する情報が有効であり、精度が向上したと考えられる。実際に、色情報を利用することで対応付け精度が大きく変化したシーンの例を図10に示す。このシーンでは、卵を入れることで色が大きく変化する。

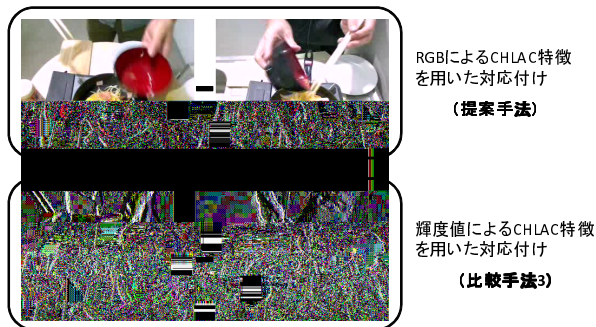


図 10 色情報を使うことによる改善例

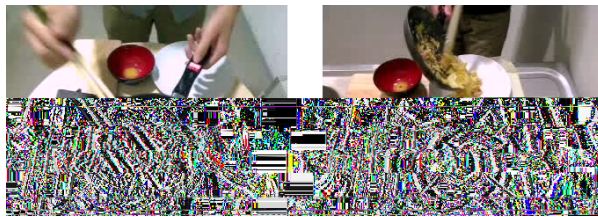


図 11 対応付けの失敗例

るため、色情報を用いたことで、対応付け精度が向上したと考えられる。料理には様々な食材が使われるため、それらの色は多種多様であり、調理映像の対応付けにおいて色情報の利用は有効であると考えられる。

調理場所に関する情報を利用しない比較手法 4 は、提案手法とほとんど同じ精度であった。このため、作業中の調理場所に関する情報は有効に利用できていないと見られる。調理場所の情報を利用しても精度が変わらない理由として、映像が切り替わるときは、映像の変化が大きく、フレーム間差分画像は、他と比較して全体的に画素値が大きくなることが考えられる。そのため、CHLAC 特徴は特徴的な値をとるため、誤った対応付けが起りにくかったと考えられる。したがって、映像の切り替えに関しては、CHLAC 特徴のみで対応付けが可能であったと見られる。

提案手法による対応付け結果には、誤った対応付けも見られた。対応付けが失敗したシーンの例を図 11 に示す。一方の映像は次の動作に移行しているのに対し、もう一方は前の動作の途中である。比較実験により、CHLAC 特徴の背景や位置に依存しない性質が有効であることが確認できたが、このような誤った対応付けも存在し、調理映像を対応付ける特徴量には更に検討の余地があるといえる。具体的には、調理動作が変化する前後で、値の変化が大きくなるような特徴量が求められる。切るや混ぜるといった調理動作は、似た動作が繰り返されるため、動作の繰り返しを正しく識別することでできれば、調理動作の移り変わりをうまく対応付けることができ、精度の向上につながると思われる。

5. む す び

本報告では、調理過程を撮影した調理映像中の調理動作の比較による技術上達支援を目的として、調理映像対に含まれる調

理動作の対応付け手法を提案した。実験を通じ、同一手順の調理過程を撮影した異なる被験者間の調理映像を対応付けた。

個別に撮影した調理映像の動作単位での対応付けを行う際に、調理を行う環境や撮影条件の違いなどが問題となる。そのため、提案手法では、動作位置や背景に依存しない特徴として CHLAC 特徴を利用することで、これらに影響を受けにくい対応付けを行った。また、時間方向の伸縮を許容した映像間の対応付けに DP マッチングを用いるで、調理動作時間の個人差も吸収できるようにした。

実験では、実際に撮影した調理映像同士を対応付けることで、提案手法の有効性を調査した。結果として、比較手法より精度が高かったことから、提案手法の有効性を確認した。しかし、提案手法で用いた特徴量では、異なる調理動作が対応付く場合があり、特徴量について更に検討の余地があることを確認した。

本報告では、調理手順の入れ替わりなどがない状況を仮定して実験を行ったが、実際の調理では、部分的に手順が入れ替わったり、行う調理動作が人により異なるといったことがある。しかし、現在の手法は時間方向の伸縮のみを考慮しているため、これらの場合には精度が大きく低下することが予想される。そのため、今後の課題として、調理手順が映像間で一致しない場合の対応付け手法を検討する必要がある。また、この技術を利用して対応付いた映像から、各調理動作に要した時間の比較を行ったり、対応付いた調理映像を比較し、差異が大きい調理動作を検出するなどの応用についても検討する予定である。そして、実際に IwaCam を用いた遠隔共同調理環境でも本手法が有効であるか検証していく。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金による。

文 献

- [1] 辻 秀典, 山肩 洋子, 船富 卓哉, 近藤 一晃, 出口 大輔, 井手 一郎, 宮脇 健三郎, 佐藤 睦夫, “料理コミュニケーション基盤ソフトウェア IwaCam を用いた遠隔共同調理実験,” 信学技報 MVE2010-9, May 2010.
- [2] 三浦 宏一, 浜田 玲子, 井手 一郎, 坂井 修一, 田中 英彦, “料理映像の特徴を利用した要約手法の検討,” 信学技報 PRMU2002-22, June 2002.
- [3] 森 直幸, 船富 卓哉, 山肩 洋子, 角所 考, 美濃 導彦, “調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡,” 信学技報 MVE2007-76, Jan. 2008.
- [4] 山根 亮, 戸高 千智, 川嶋 幸治, 尺長 健, “動作データの時系列相関行列による舞踊動作解析,” 信学論 (D-II), Vol. J88-D-II, No. 8, pp. 1652-1661, Aug. 2005.
- [5] 稲葉 洋, 瀧 剛志, 宮崎 慎也, 長谷川 純一, 肥田 満裕, 北川 薫, “スポーツトレーニングのための人体センシング情報の可視化,” 信学技報 MVE2005-52, Nov. 2005.
- [6] 辻野 純平, 竹内 義則, 松本 哲也, 工藤 博章, 大西 昇, “動画間の差異検出に基づくスポーツフォームの教示システム,” 信学技報 PRMU2009-283, HIP2009-168, Mar. 2010.
- [7] T. Kobayashi and N. Otsu, “Action and Simultaneous Multiple-Person Identification Using Cubic Higher-Order Local Auto-Correlation,” Proc. 17th IAPR International Conference on Pattern Recognition, pp. 741-744, Aug. 2004.
- [8] 内田 誠一, “DP マッチング概説 ~基本と様々な拡張~, ” 信学技報 PRMU2006-166, Dec. 2006.
- [9] N. Otsu and T. Kurita, “A New Scheme for Practical Flexible and Intelligent Vision System,” Proc. IAPR Workshop on Computer Vision, pp. 431-435, Oct. 1988.