

調理行動モデル化のための調理観測映像へのアノテーション

橋本 敦史[†] 大岩 美野[†] 船富 卓哉^{††} 上田真由美[†] 角所 考^{††}
 美濃 導彦^{††}

[†] 京都大学情報学研究科 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 36-1

^{††} 京都大学学術情報メディアセンター 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

E-mail: †{ahasimoto,ooiwa,funatomi,mayumi,kakusho,minoh}@mm.media.kyoto-u.ac.jp

あらまし 調理者が次にレシピ中のどの作業を行うかを予測するためには、手に取られた食材がこれまでに受けた操作の履歴(被操作履歴)と、レシピの情報とを対応付けることが必要となる。このためには、操作内容とその操作の対象になった食材を組で記述しておけば良いと考えられる。本研究では手に取られた食材の被操作履歴を獲得するための調理操作の記述を提案する。調理では調理者によって自由に食材が分割、あるいは統合される。このような分割・統合の後に現れた新たな食材の個体に対しては、以前の ID と個体が 1 対 1 に対応しない。そのため、それらを区別し、かつ分割統合以前の被操作履歴を参照可能な形で、それらの個体を記述できる方法が必要となる。提案する操作記述では、分割・統合後の個体に新たな ID を割り振り、その ID に分割・統合前の ID の情報を含めることでこの問題に対処した。実験では人手によるアノテーションを行い、従来の操作記述において問題となる場合でも提案した記述により、正しく被操作履歴が獲得できていることを確認した。

キーワード 調理支援, 行動モデル, アノテーション, 行動予測

Annotating Cooking Activity for Behavior Model Construction

Atsushi HASHIMOTO[†], Mino OOIWA[†], Takuya FUNATOMI^{††}, Mayumi UEDA[†],
 Koh KAKUSHO^{††}, and Michihiko MINOH^{††}

[†] Dep. of Intelligence Science and Technology, Graduate School of Informatics, Kyoto University

Yoshida-Honmachi 36-1, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 606-8501 Japan

^{††} Academic Center for Computing and Media Studies Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto,
 606-8501 Japan

E-mail: †{ahasimoto,ooiwa,funatomi,mayumi,kakusho,minoh}@mm.media.kyoto-u.ac.jp

Abstract In order to predict the next task in a cooking process, it is useful to match "how a food was handled before" (handling history for the food) with information from a recipe. This is accomplished by describing each task as a tuple of operation name and ID of the targeted food. We propose a description of the task to obtain handling history for each food. Normally, cook divides/integrates foods freely during a cooking process. This disturbs 1 to 1 correspondence between ID and food. To maintain both the correspondence and handling histories, we add information about "which food it was" to new IDs assigned after division/integration. We got precise handling histories, which cause mis-prediction with the description in previous research, from hand-annotated data of real cooking observation.

Key words Cooking Support System, Behaviour model, Annotation, Predicting Behavior

1. はじめに

調理は毎日行われる日常的な作業である。しかし、他の多くの日常的作業とは異なり、作業の内容がレシピによって毎回異なる。特に初めての料理を作る際には、食材の切り方、分量や

調味のタイミング、火力などの細かな情報を確認するためにレシピが参照されることが多い。近年、レシピの内容を映像や音声による助言として提示するシステムが研究されている [1] ~ [7]。調理作業は食材や調理器具に対して、場所や状態に変更を加える一連の"操作"からなると考えることが出来る。これらの

システムでは操作毎に、映像や音声による助言をすることで、作業中の調理者に対して、従来の紙媒体のレシピよりもわかりやすくスムーズな情報伝達を可能としている。

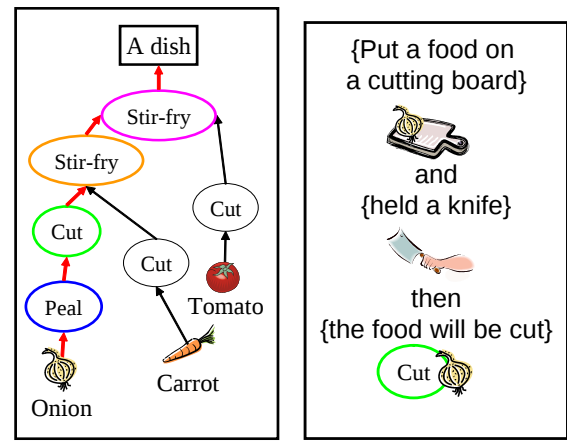
ただし、映像や音声は一度に複数を表示することが出来ないため、どの助言コンテンツを選択するかが重要な問題となる。助言コンテンツは、各操作に対する助言を行うための音声・映像データである。紙媒体のレシピでは、静的な媒体の性質上、やらなければならない操作に対する助言が順番にならんで書かれている。しかし、実際の調理では、どの食材に対する操作から先に行うかは調理者の自由となる。調理者は自分自身の調理スキルやキッチンの調理設備などに応じて、操作順序が自身にとって最適になるようにスケジューリングを行う。このとき、次に行われる可能性のある操作に対する音声や映像を全てを同時に提示することは出来ない。そのため、調理者が次に「どの食材に対する、どの操作を行うか」を予測し、その操作に対する助言コンテンツを選択する必要がある。

次の操作の対象となる食材と、その食材に対して次に行われる操作を予測するために、大岩らはレシピで助言の対象となっている操作（助言対象操作）の直前に準備の為にされる操作の知識と、レシピに書かれている助言対象操作の食材毎の順序についての情報を利用した [6]。本研究では、これらの準備の為にされる操作と助言対象操作の食材毎の順序をそれぞれ、準備操作モデル、レシピモデルにより表す。また、両方を併せて調理行動モデルと呼ぶ。

レシピモデルは、食材毎に次の操作を特定するために用いられ、図 1(a) のように表される、レシピ毎に得られるモデルである。同じ食材に対する操作に対しては、スケジューリングが行われても操作順序の入れ替えは起こらない。レシピモデルは、このような入れ替えが起きない操作の順序だけを規定し、入れ替え可能な別の食材に対する操作間の順序は規定しない。調理中の各時点で食材毎に、どの操作までが行われたかをこのモデルを用いて管理することで、各食材に対して次に行われる操作の候補を決めることが出来る [7]。これを調理とレシピモデルの対応付けと呼ぶ。

一方、準備操作モデルは、次にどの食材に対する操作が行われるかを予測するために用いられる、助言対象操作毎に得られるモデルである。準備操作モデルは直前にされる食材・調理器具の把持操作や特定の場所へ置く配置操作に関する知識を助言対象操作毎にルールとして記述している (図 1(b))。本研究では食材・調理器具の把持や配置操作を準備操作と呼ぶ。レシピモデルにより、各食材毎に次に行われる操作候補を特定し、準備が整った操作候補を準備操作モデルにより特定する。システムは準備が整った操作候補は次に行われると判断し、対応する助言コンテンツを提示する。

レシピモデルや準備操作モデルと実際の調理を計算機上で対応付けるまでに必要な処理の流れを図 2 に示す。一般にカメラやその他のセンサにより得られる観測データには、興味のない行動などによる影響も全て含まれる。このうち、モデルにとって重要となるのは食材や調理器具への操作のみとなる。本研究の目的は、調理とレシピモデルとの対応付けのために、これら



(a) A simple example of Recipe Model

(b) A simple example of Pre-Handling Model

図 1 (a) レシピから得られる調理行動モデルと、(b) レシピで助言される各操作の直前に、その操作の準備のために行われる準備操作についての調理行動モデル

Fig. 1 Two simple examples of cooking behavior models. Recipe Model is a model given by a recipe. Pre-Handling Model is a rule about preparation for each handling in the recipe model.

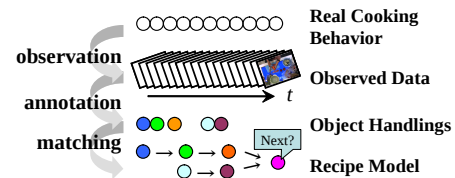


図 2 実際の調理が観測され、レシピモデルと対応付けられるまでの処理の流れ。各物体操作の色は図 1(a) のレシピモデルと対応している。準備操作モデルに関する操作は省略している。

Fig. 2 Workflow for matching real cooking behavior and recipe model. The color of each object handling is in correspondence with the recipe model shown in Fig. 1. Handlings about pre-handling model are omitted

の操作の記述を設計することである。図 2 のアノテーションの処理では、設計に基づいて記述した操作の時系列を注釈データとして観測データに付与する。

レシピモデルにより、ある食材に対する次の操作を特定するには、その食材がレシピモデル上でどの操作まで完了しているか（被操作履歴）が必要になる。注釈データから被操作履歴を得るためには、アノテーションの際に操作内容と操作対象となった食材や調理器具を組にして記述しておけばよい。これにより、あとから、ある食材（調理器具）を対象とした操作だけを抜き出すことができ、抜き出された操作を時系列順に並べたものが、その食材（調理器具）に対する被操作履歴となる。ただし、レシピとは異なり、実際の調理では、食材は種類毎ではなく、個体毎に扱われる。そのため、同じ食材であっても、個体によって被操作履歴が異なる時点が存在する。

大岩らは、アノテーションの際に操作を“食材”と操作内容の

組み合わせで記述しており、個体の区別をしていなかった。その為、被操作履歴が異なる個体が存在する場合に操作予測に失敗する場合があった。本研究は操作を“個体”と操作内容の組み合わせで記述することで、個体毎に被操作履歴を管理し、操作記述が粗いために生じる予測の失敗を解決することを目指す。

個体毎に区別して被操作履歴を管理するためには、個体に ID を割り振る必要がある。しかし、食材の個体は調理中に分割・統合される。その為、分割後に同じ ID に対応する個体が複数になったり、統合後に複数の ID が同じ個体に対応してしまったりする。このような場合、被操作履歴を管理するレシピモデルとの対応付けにおいて問題が生じる。

この問題に対処するため、本研究では分割・統合のたびに、分割後の断片や統合後のかたまりに対して、新たな個体 ID を割り振った。このとき、分割後の個体 ID から分割前の被操作履歴を得られるように、新たに割り振られる ID に対して、それが分割・統合前にはどの個体であったかを操作記述に含めた。実際に調理を観測したデータに対して提案した操作記述によるアノテーションを行い、従来研究では問題となっており、かつ提案した記述で対処可能となる例がどの程度発生するのかを確認した。

以降では、まず 2 章で関連する研究について述べる。また、3 章では調理行動モデルの詳細を説明した後、モデルに必要な情報を計算機上で記述する方法について述べる。4 章では、今回実装した人手によるアノテーションソフトについて述べた後、提案した記述で対応した、実際に従来手法では対応できないケースがどの程度発生するのかを評価する。最後に 5 章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

Nakauchi ら [8] はキッチンに存在する調理器具や調味料の容器などに電子的なタグを取り付け、何が何処にあるのかといった情報を調理者に提示するシステムを構築した。このシステムでは、物体に対する操作が、場所の出入りと、出入りした物体の ID の組により記述される。

これに対して、本研究で注目している操作には食材に対する操作が含まれる。食材への操作を記述する際には分割・統合を考慮しなければならず、Nakauchi らの用いた事前につけられた ID による操作記述の方法をそのまま適用することは難しい。

大岩らは、助言対象となる操作が行われる直前に助言コンテンツを提示するための研究を行った [6]。助言は、早すぎれば内容を忘れてしまう可能性があるため、助言対象となる操作が行われる直前に提示されるのが望ましい。しかし、各時点で次に行われる可能性がある助言対象の操作の候補は複数存在する。この研究では、助言を操作の直前に提示するために準備操作モデルが有用であることを明らかにした。

ただし、レシピモデル上でどの操作までが終わっているかは、食材毎に管理した。具体的には、その食材の個体数と同じ回数、その食材への操作が観測された場合に、モデル上でその操作が終わったと判断していた。このようにした場合には、ある個体に対してのみ操作が行われた時点ではまだ、食材に対する操作

が終わっていない。そのため、引き続き、その個体だけに次の操作を施した場合に助言コンテンツが提示されないという問題が実験でも確認されている。

本研究は、同じ準備操作モデルを利用することを想定してアノテーション対象となる操作を定めた。その上で、個体を区別し、個体毎にどの操作まで終わったかをレシピモデル上で管理することで、従来手法での問題に対処するものである。

3. 調理観測データへのアノテーション

本章では、まず、レシピモデルと準備操作モデルから、どのように次の行動予測が出来るのかの詳細について述べる。その後、調理行動モデルにとって必要な情報を、計算機に処理可能な形で記述する方法について述べる。

3.1 操作予測のための調理行動モデル

レシピモデルは、レシピから得られる食材毎の操作順序を木構造で表したモデルである (図 1(a))。このモデルにおいて、葉はレシピに登場する食材に対応し、根は完成した料理に対応する。葉と根の間にある頂点はレシピで助言対象となっている操作に対応する。これらの頂点には助言コンテンツの情報が対応付けられている。ある頂点に対応する操作が予測された場合、頂点に対応する助言コンテンツを提示することを想定している。

各食材への操作は、葉から根へのパスで表されている。パスの合流は、食材同士が混ぜられることに対応している。レシピモデルは木構造であることから、各食材への操作の順序は唯一つに定まる。従って、順に並んだ操作のうち、どの操作までが終了しているのか (被操作履歴) がわかれば、各食材に対して次に行われる助言対象操作は一意に決まる。

ただし、1 章で述べたように、調理者はどの食材に対する操作を先に行うかを自由に決めることができる。そのため、次に行われる操作の候補は、食材毎に存在する。そこで、次に操作の対象となる食材を準備操作モデルを用いて予測する (図 1(b))。準備操作モデルによって操作対象の食材が予測されれば、その食材に対する次の操作はレシピモデルから既に特定されているので、調理者が次に行う操作が予測できる。

準備操作モデルは、その操作を行うための準備が整ったかどうかを判定するルールで記述される。これは、レシピモデルと異なり、準備操作モデルでは、条件を満たす順序が関係なく、全ての条件が同時に満たされていることだけが重要なためである。順番に非依存であるため、レシピモデルのように順序関係を記述する必要がなく、準備操作モデルはルールによる記述で十分記述できる。

食材に対する準備操作としては、対象食材の把持や、食材をまな板などの特定の調理器具へ置く操作を考えている。また、調理器具に対しても同様に把持、配置の操作を考えている。例えば「食材を切る」直前には、その食材が「まな板に置かれ」、かつ「包丁が把持」されていると予測される。また「食材を炒める」操作が開始される直前には、フライパンが「コンロの上に置かれ」、かつ「その食材が把持」されていると予測される。このような状況が成り立っている状態で、かつ、レシピモデルによって実際にまな板の上の食材 (把持された食材) に対する次

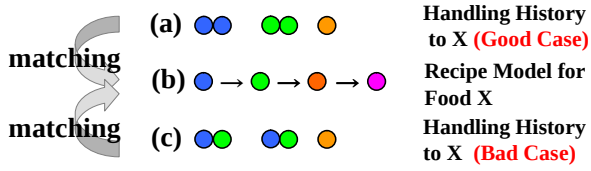


図 3 個体とレシピモデルとの対応付けの問題。(a) の例は既存手法で対処できていたが、(b) の例は対処できなかった。

Fig. 3 The matching problem between the recipe model and food instances. The previous method deal with the case (a). (b) shows a problematic case in that method.

の操作が切る（炒める）であると特定されている場合には、その操作が行われる直前であると判断する。

図 1 の例では、もし玉葱に対する「剥く」操作までが終了している状態で、その玉葱がまな板に置かれ、包丁が把持されたなら、「剥く」の次にある「切る」操作が行われると判断する。

3.2 個体毎の被操作履歴の獲得

前節で述べたように、レシピモデルを利用して各食材の次の助言対象操作を特定するためには、操作対象となる食材の被操作履歴が必要になる。実際の調理では、同じ食材であっても複数の個体が登場し、別々に操作対象となる場合がある。そのような場合には、同じ食材であっても、個体によって被操作履歴が異なる時点が存在する。

同じ食材の個体が、異なる被操作履歴を持つ例を図 3 に示した。図 3(b) が、ある食材に対するレシピモデルの例であり、(a)、(c) は共に、その食材に対して行われた被操作履歴の例である。(a) の例では、最初の青の操作が終わった時点で、その食材への青の操作が終了したと判断した場合には、青の操作が終わっていない別の個体に対して緑の操作の助言コンテンツを提示してしまう危険がある。

大岩らの研究では、複数の個体が現れる場合を想定して、個体の数と同じ回数の操作が行われるまで、その食材に対する次の操作コンテンツは提示しないこととしていた。これにより、個体が複数あっても、二つ目の個体に対して、一つ先の操作の助言コンテンツを提示することは防がれている。

しかし、この場合にも図 3(c) の例では、2 つ目の個体に対して青の操作が終わった時点で初めて緑の操作に対する助言コンテンツが提示されるため、1 つ目の緑の操作に対する助言提示に失敗する。また、登場する個体のうち、レシピモデル上の最後の操作まで調理されなかったものがある場合、個数と同じ回数の操作が観測されず、やはり提示に失敗するものと考えられる。

この問題は、個体を区別して被操作履歴を管理することで解決できる(図 4)。個体毎に被操作履歴を管理するために、本研究では操作の記述を「操作内容と食材の種類」ではなく、「操作内容と個体の ID」の組とする。個体の ID を含む操作 (handling) の記述を次のように構造化した。

$$handling \rightarrow \{instance, operation\} \quad (1)$$

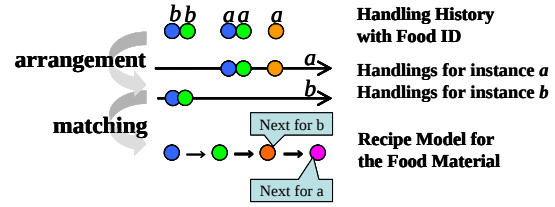


図 4 操作を個体 ID と操作内容の組で表した際の、レシピモデルと各個体の被操作履歴の対応付け。

Fig. 4 Workflow for matching recipe model and handled history for each instance via arranging whole history along to instance IDs.

表 1 アノテーション対象の操作内容、食材及び調理器具のラベル (調理器具のうち、容器となりうるもののラベルは 'c' で始まる)

Table 1 Labels of action, food and cooking devices. Containable cooking device's label starts with 'c'.

op. Labels	operation name	food Labels	food name
a100	cut	f2	carot
a200	peel	f10	chicken
a300	stir fry	f11	burdock
a500	boil	f12	aroid
a600	put to	f13	devil's tongue
a970	hold		
a800	pound		
a820	tear to pieces		
dev. Labels	device name	dev. Labels	device name
d100	kitchen knife	c800	bowl
c110	cutting board	c820	tray
d120	peeler	c830	basket
c300	cooking pot	d940	woode pestle

$$instance \rightarrow food_ID \mid device_ID \quad (2)$$

$$food_ID \rightarrow original_ID \mid \{food_ID, part_ID\} \mid \{food_ID, food_ID+\} \quad (3)$$

$$operation \rightarrow operation_Label \mid \{ "put to", device_ID \} \quad (4)$$

instance は操作対象となった食材や、準備操作対象となった調理器具の個体 ID が入る (式 (2))。具体例として、4 章の実験で用いた筑前煮に登場する食材と調理器具の種類ラベルのリストを表 1 に示す。食材及び調理器具の個体 ID は、これらのリストに記された種類ラベルと各種類毎の個体番号の組 (個体番号 1 の人参なら f2.1 など) とした。このうち、調理器具の個体 ID である device_ID については、予めキッチンに存在する調理器具の ID を決めておくことで語彙が確定する。実際に Nakauchi らによる研究 [8] では操作対象の物体に対する ID は全て事前に決定されている。一方、食材の個体 ID である *food_ID* は分割・統合に対応するために、さらなる構造化を行っている (式 (3))。この詳細については次節で述べる。

operation はレシピモデルや操作準備モデルに登場する「切る」「置く」などの操作内容が入る (表 1)。準備操作のうち「置

く」操作については、準備操作モデルにおいて「置いた先」も区別する必要がある。そのため、「put to」という操作についてのみ、置いた先の容器の個体 ID を指定できるようになっている (式 (4))。

置いた先としては、一般的には観測空間における座標による絶対位置の指定と、観測空間中にある物体との相対位置の指定が考えられる。準備操作モデルでは、他の調理器具や調理設備との相対関係が重要であることから、座標による指定は行わなかった。また、相対的な位置関係としても、準備操作モデルでは「中に入れられている」あるいは「上に置かれている」などしか想定していない。そのため「何の中 (上)」であるかを示す容器を置いた先として指定するようにした。また「入れられている」「置かれている」も準備操作モデルでは区別する必要がない。そのため、語彙としては全て「put to」で統一した。

容器の指定を種類ラベルではなく、device_ID を指定できるのは、複数の食材が同じ容器に置かれることで準備が完了するような操作に対応するためである。例えば新たな食材を混ぜ合わせた後に行われる味付けなどでは、同じ容器に入れられたならば、混ぜ合わせられ、味付けの準備が整ったと判断できる。同じ容器に入れられたかの判定は、置かれた容器を個体レベルで区別することで可能となる。

また、4 章で述べる人手によるアノテーションソフトでは、容器の中身の食材の *food_ID* を指定する代わりに容器の *device_ID* により代用することが出来るようになっている。このような機能を実現する上でも、置いた先を容器の個体 ID として記述することが有用である。

3.3 食材個体の分割・統合の記述

食材の個体については調理中に分割・統合が起きる問題がある。そのため、調理開始時点で各個体の ID を決めたととしても、分割後には同じ ID に対応する個体が複数存在してしまう。また、統合後は複数の ID が同じ個体に対応してしまう。このような場合には、調理を通して同じ ID を用いて個体の被操作履歴を得ることが出来なくなる。

個体と ID の対応関係をどの時刻においても一対一に保つには分割・統合の後に現れた物体に対して、新たに ID を生成して対応付ければよい。しかし、単に新たな ID を対応付けるだけでは、今度は分割・統合前に行われた被操作履歴を辿ることが出来なくなってしまう。

そこで、新たに生成する ID に、その ID に対応する個体が分割・統合前はどの ID の個体であったか (由来) についての情報を付与し、以前に行われた被操作履歴を参照可能にする。分割・統合後の個体の由来は、それぞれ図 5 のようなグラフで表すことが出来る。このグラフ構造を *food_ID* の中に以下のように記述する

original_ID は個体が観測領域外部から持ち込まれ、初めて観測されたときに与えられる ID である。*part_ID* は分割が起きた場合に、分割後の個体を区別するために割り振られる。このとき、みじん切りなどにより無数の細かい断片が登場する場合には全ての断片に別の *part_ID* を与えることは困難である。しかし、手に把持された個体の被操作履歴がわかれば次の行動

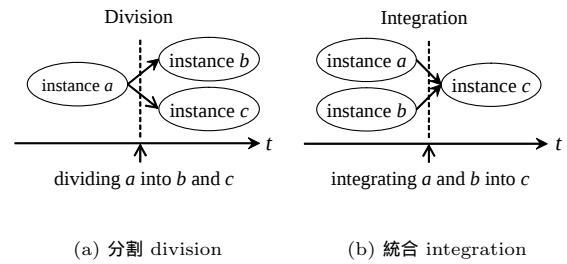


図 5 分割・統合後の個体 ID の由来を表すグラフ
Fig. 5 Two Graphs representing origins of divided/integrated instances.

予測は可能であるので、本研究では同時に把持された断片のまとまりを一つの個体であるとする。*part_ID* と組になっている *food_ID* は分割前の個体の ID である。統合が起きた場合は、統合前の *food_ID* の集合を統合後の物体の ID とする。

表 2 及び図 6 は、アノテーションにより付与される注釈データの例と、そのデータから得られる個体毎の被操作履歴を、分割・統合前後の個体の由来を含めて表現したグラフである。

4. 実 験

本章では、実際の調理映像から得られた注釈データから従来の操作記述では問題となる場合が実際の調理に現れることを確認し、提案した操作記述の有用性を示す。調理中にリアルタイムでアノテーションを行い、実際に指示コンテンツを提示するには計算機による自動的な調理操作の認識が必要である。しかし、現在、自動的な操作認識手法は研究中であり、十分な精度を持つ手法は存在しない。

そこで、本研究では同等のアノテーションを人手により行うプログラムを用いて、提案する操作記述による注釈データを作成した。人手によるアノテーションはリアルタイムでの実施は難しいが、計算機に比べて正確である。レシピモデルや準備操作モデルによる調理予測を評価する今回の実験目的に対してはリアルタイム性は不要である。また、計算機によるアノテーションでは誤認識によって注釈データそのものに誤りが含まれる可能性があるが、人手で作成された注釈ではそれが無いため、より正確なモデルの評価が行える。

以降では、まず、作成したアノテーションプログラムの概要を 4.1 で述べ、4.2 ではそのプログラムにより作成した注釈データから、従来には問題となっていた場合にも個体を区別できていることを示す。

4.1 アノテーションプログラムの実装

人手によるアノテーションを行うために作成したプログラムの画面を図 7 に示す。このプログラムでは、調理観測データのうち、人間にとって調理操作を認識するのに十分な情報が含まれる映像のみを画面に提示する。調理中に操作される食材や物体の種類は多いため、キーボードにより操作に関する情報を入力する。

基本的な操作方法について述べる。操作の入力は、まず *operation_ID* を指定することから始まる。その後、*food_ID* や

表 2 理想的な注釈データの例
Table 2 An example of annotated data

⋮	67. $\{\{a, 1\}, \text{peal}\}$	71. $\{\{a, 2\}, \text{whittle}\}$	75. $\{b, \text{put into the pan}\}$
64. $\{a, \text{hold}\}$	68. $\{\{a, 1\}, \text{whittle}\}$	72. $\{\{\{a, 1\}, \{a, 2\}\}, \text{hold}\}$	76. $\{c, \text{hold}\}$
65. $\{a, \text{cut}\}$	69. $\{\{a, 2\}, \text{hold}\}$	73. $\{\{\{a, 1\}, \{a, 2\}\}, \text{put into a pan}\}$	77. $\{c, \text{put into the pan}\}$
66. $\{\{a, 1\}, \text{hold}\}$	70. $\{\{a, 2\}, \text{peal}\}$	74. $\{b, \text{hold}\}$	78. $\{\{\{a, 1\}, \{a, 2\}, b, c\}, \text{season}\}$

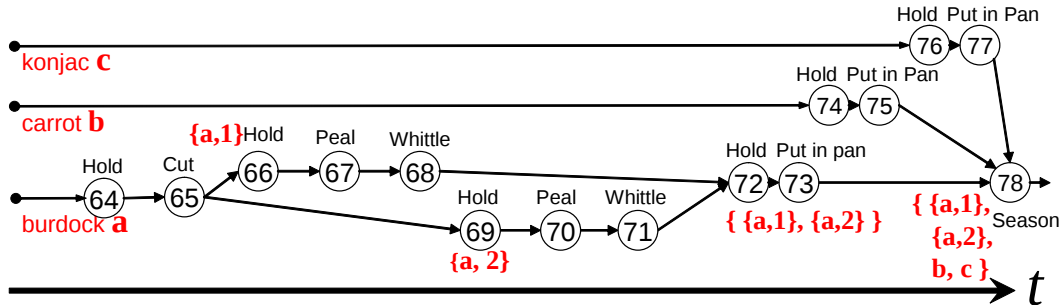


図 6 個体毎の被操作履歴を表すグラフの例．グラフ中の各頂点は表 2 内の各操作に対応する．

Fig. 6 An ideal example of graph representing instances' handled history . Each vertex in the graph correspond each handling in Table 2.

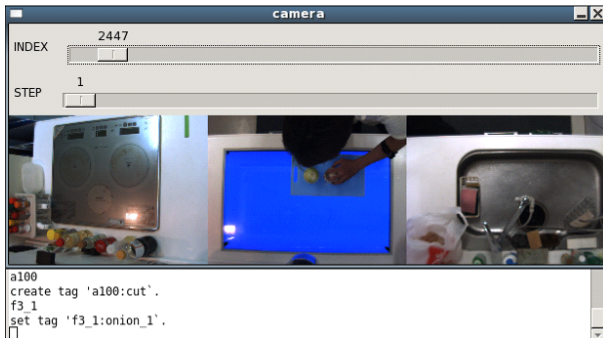


図 7 人手によるアノテーションを行うためのプログラム画面
INDEX のトラックバーは現在表示されている画像のフレーム数に対応する．STEP は再生速度である．キーボード操作と、プログラム側からの応答はコンソール部分に表示される．画面は「個体番号 1 番の玉葱を切る」という操作を入力している場面である．

Fig. 7 A capture image of the hand-annotation program. INDEX Track Bar shows the current frame number. STEP Track Bar shows reproduction speed. User's key board operations and responce of the program are displayed on the console. "cutting Onion 1" is being annotated to this frame.

device_ID の入力を行う．但し、式 (4) に対応して「置く」という操作に対しては別途 device_ID の指定も行う．operation_ID, device_ID 及び式 (3) の original_ID は予めリストに登録されている．リストにない ID は受け付けないようにすることで、入力ミスを軽減している．

また、映像の操作については、基本的な再生、早送り、巻き戻しの機能に加えて、フレームを記録しておき、後からそのフレームにジャンプできるようにした．これは操作の開始時点では操作内容がはっきりとしない場合に、内容を確認した後で開

始時点へジャンプして、その時点で起きた操作を記述するためである．

これらの基本的な機能の他に、3 章で提案した操作記述を人手で行う場合に特有な問題についても対処した．提案した手法は計算機、人手双方のアノテーションに共通の問題を解決するもので、特に人手によるアノテーションを前提としたものではない．そのため、式 (3) の *food_ID* を人間が入力する場合には、以下の 2 つの不便さがあると考えた．

第一に、皮むきなどによる分割が起こる場合でも個体の ID が変わってしまう．このとき、分割された断片のうち、皮はその後の調理では廃棄され、ほとんど登場しない．一方、皮以外の主要な部位については、その後も頻繁に登場する．このような場合に、分割の度に主要な部位の個体 ID が変わると ID の把握が難しくなる．

第二に、統合が起きた場合に、提案したアノテーション手法では統合後の *food_ID* を記述する必要がある．しかし、調理においては、最終的にレシピに現れる全種類の食材が混ぜられる．このような場合に全ての構成物の ID を入力することが煩わしい．

分割時に主要な部位の ID も変化してしまう問題に対して、作成したプログラムでは分割後に現れる一つの個体に対しては分割前と同じ ID を用いることを許した．分割が起きたあとには、既に分割前の個体は存在しない．そのため、一つの個体までなら、分割前と同じ ID を利用することを許しても、同時に存在する 2 つの個体に対して同じ ID が対応する問題は発生しない．

多くの構成物が統合された個体の *food_ID* が長くなってしまいう問題に対しては、その *food_ID* を個体が置かれている容器の device_ID により指定することで対処した．通常、多くの個体が統合され、長い *food_ID* を持つような個体が出現する

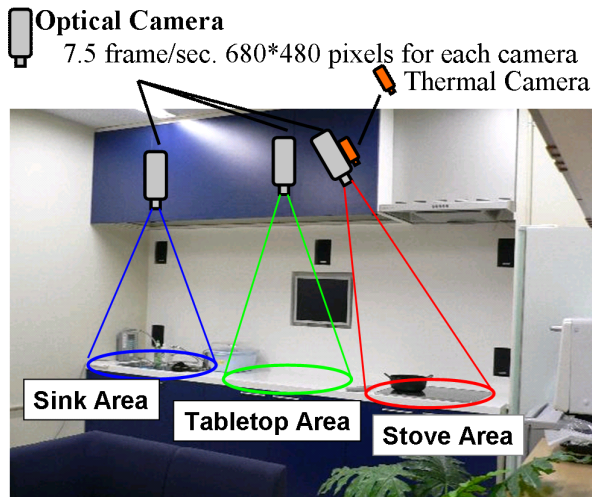


図 8 調理観測環境を備えた Smart Kitchen
Fig.8 Smart Kitchen Environment

のは、切断などがされた後になる。切断後の食材は衛生的な理由から調理台の天板上に直接置かれることは少なく、何らかの容器に入れられる。また、同じ容器に入れられた食材は通常、全て一度に操作の対象となる。そのため、容器を用いない統合や容器の一部だけに対する操作などの例外を除いては、容器の *device_ID* を用いれば操作対象の個体を指定することが出来る。

4.2 調理観測データへのアノテーション

提案したアノテーション手法によってレシピモデル、準備操作モデルを用いた操作予測の改善が出来ることを確認するため、実験を行った。このための注釈データの作成は前節で説明したアノテーションプログラムを用いて人手で行った。また、食材の分割・統合が起きる十分複雑なレシピとして筑前煮の調理を観測したデータに対するアノテーションを行った。

図 8 は、今回調理の観測に用いた Smart Kitchen [7] というシステムである。調理の様子をオクルージョンなく観測するため、作業領域となる調理台の上方にカメラを設置している。被験者には、今回観測した調理以外にも何度かこの調理台を利用してもらい、Smart Kitchen の調理環境に慣れてもらった。但し、レシピモデルや準備操作モデルなど、本研究の内容は知らされていない。

得られた注釈データを解析し、従来手法では問題であったが、提案手法により解決された例がどの程度発生しているのかを調べた。調理全体で登場した食材の個体のうち、レシピモデルの最後の操作まで対応付けられなかった個体は 8 つ存在した。このうち 6 つは、途中で破棄された食材の断片であり、残りは調理台上に登場したものの、最初の操作の対象とならずに残った食材であった。前者は分割された時点では破棄されるか、次の操作対象となるかが判断できない。また、後者も同様に最初の操作の対象となるかどうかを事前に判断することができない。そのため、その食材に対する次の操作発生回数がわからなくなり、従来手法では誤りの原因となっていた。提案手法では、個体を区別することにより、この問題が回避できるようになった。

また、同じレシピで別の被験者が行った同様の実験において、

分割された牛蒡の片一方の断片に対して皮むきとささがきを行った後、残った断片に対して同様の操作が行われる場面が 1 件確認された。このような例は調理全体を通して頻繁に観測されるわけではないが、今回提案した操作記述を用いることで全て記述できるようになっている。

5. まとめと今後の課題

本研究では、レシピモデルと準備操作モデルとの対応付けを前提とした注釈データを作成するための、調理観測映像へのアノテーション手法を構築した。レシピモデルとの対応付けのためには、食材への被操作履歴を個体毎に得る必要がある。このためには注釈データにおいて、操作を操作内容と操作対象の個体の ID との組として記述すればよい。しかし、調理中に食材の個体は分割・統合される。このような場合、分割・統合の後で ID と個体の対応関係が一対一に保たれないという問題があった。

この問題に対処するために、提案した操作記述では、分割・統合前後の ID の対応関係を *food_ID* の記述含めた。実際の調理観測映像から得られた注釈データを基に、個体毎の被操作履歴を表すグラフを作成した。また、そのグラフを基に、従来手法で用いられていたアノテーションではレシピモデルとの対応付けに失敗する場合でも正しく対応付けが出来ることを確認した。

今後の課題として、提案した記述と準備操作モデルとを組み合わせた場合に予測精度がどの程度向上するのかを定量的に評価する必要があると考えている。また、準備モデル自体の汎用性についても評価が必要であると考えている。今回の研究で前提とした準備操作モデルはレシピ非依存の汎用的なモデルである。このモデルの汎用性を評価するためには、多様なレシピに対する評価が必要である。

その他、計算機による自動的なアノテーション手法の構築も重要な課題である。この問題に対処するために、我々はこれまでに、パターン認識による食材の自動的な認識や、トラッキングによる追跡手法を試みてきた [7], [9]。これらの精度を改善し、組み合わせることで計算機によるリアルタイムでのアノテーションが可能になると考えている。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費 基盤研究 (A) 「実観測データを用いた時空間コンテキストに基づく人間行動モデルの構築」(19200011, 研究代表者: 美濃導彦), 並びに、京都大学グローバル COE プログラム「知的循環社会のための情報学教育研究拠点」(研究代表者: 田中克己) の支援を受けた。

文 献

- [1] W. Ju, R. Hurwitz, T. Judd and B. Lee: "CounterActive: an interactive cookbook for the kitchen counter", Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 269-270 (2001).
- [2] J. S. Bradbury, J. S. Shell and C. B. Knowles: "Hands on cooking: towards an attentive kitchen", Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 996-997 (2003).
- [3] Q. Tran, G. Calcaterra and E. Mynatt: "Cook 's Collage:

Déjà vu Display for a Home Kitchen”, Proceedings of HOIT, pp. 15–32 (2005).

- [4] R. Hamada, J. Okabe, I. Ide, S. Sakai and H. Tanaka: “Cooking navi: assistant for daily cooking in kitchen”, Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia, pp. 371–374 (2005).
- [5] 椎尾 一郎, 浜田 玲子, 美馬 のゆり: “Kitchen of the future : コンピュータ強化キッチンとその応用”, コンピュータソフトウェア, **23**, 4, pp. 36–46 (2006).
- [6] 大岩 美野, 船富 卓哉, 角所 考, 美濃導彦: “調理アドバイスの適切なタイミングでの音声提示に利用可能な調理状況の選定”, 信学技法, **107**, 454(MVE2007-75), pp. 39–44 (2008).
- [7] A. Hashimoto, N. Mori, T. Funatomi, Y. Yamakata, K. Kakusho and M. Minoh: “Smart Kitchen: A User Centric Cooking Support System”, Proceedings of IPMU’08, pp. 848–854 (2008).
- [8] Y. Nakauchi, T. Fukuda, K. Noguchi and T. Matsubara: “Intelligent kitchen: cooking support by LCD and mobile robot with IC-labeled objects”, International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1911–1916 (2005).
- [9] 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”, 信学技法, **107**, 454(MVE2007-75), pp. 45–50 (2008).