

# VR 調理学習システムのための 近接ハイトフィールド間における固体群の崩れ表現

Collapse of Group of Individual Bodies between Neighboring Height Fields for VR Cooking System

栗本雄多<sup>1)</sup>, 舟橋健司<sup>2)</sup>

Yuta Kurimoto and Kenji Funahashi

1) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, yutamoto@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

**概要:** 当研究室では簡単な料理体験が可能な VR 調理学習システムの構築を目指し、また対話操作を可能とする固体群操作モデルを提案している。食材として細かな固体の集まりを扱うことが多いが、このような集まりを固体群と定義し、個々の固体の干渉を考えず一つの操作対象として扱う。その上でハイトフィールドを基に固体群の形状を表し、その変化により挙動を表現する。現在、フライパンなどの調理容器内の固体群をヘラなどの調理器具により直感的に操作することを目指している。調理器具で固体群を水平方向に押し動かすだけでなく、垂直方向に押しつぶす、すくい上げるなどの操作が考えられるが、特にすくい上げるために、調理器具にもハイトフィールドを定義している。本研究では、複数の近接するハイトフィールド間における崩れによる固体群の移動を、その付近の領域を一体的に扱うことでリアルタイムに表現する。

**キーワード:** 調理学習システム, 固体群操作モデル, 変形曲面, 崩れ

## 1. はじめに

近年、VR 技術により安全、かつ低コストで現実空間と同様の状況を再現する VR シミュレータが医療や産業など様々な分野で開発、導入されている。視覚情報だけでなく触覚情報も提示することで臨場感のある訓練が可能であり、その効果も大きい。近年はゲームコントローラーをはじめ、安価な入力装置が入手可能となってきており、一般家庭への導入を目的とした VR システムの研究も行われている [1]。

当研究室では、一般家庭を対象とした VR システムの一つとして調理学習支援システムの開発を行っている [2][3]。このシステムは、操作者自らが体を動かすことで調理工程を体験し、基本的な手順を学習することを目的としている。直接、および間接的な操作対象として調理容器（フライパン、鍋など）や調理器具（包丁、ヘラなど）、食材、水などが挙げられる。操作者が臨場感を得るためには、操作対象である剛体や弾性体、流体の挙動をリアルタイムに表現する必要がある。我々はこれまでに米や具材など、小さな固体の集合に対する

挙動計算のモデルを提案してきた。このような小さな固体の集合の挙動計算には様々な手法が提案されており、例えば砂を対象とした研究が行われている [4][5]。文献 [4] ではハイトフィールドにより剛体との干渉による砂の崩れをリアルタイムに表現しているが、一つの表面を対象としたモデルであり、砂をすくい上げることはできない。また、文献 [5] ではハイトフィールドを用いた固体群表現と粒子法を組み合わせることで計算の高速化と臨場感の向上を実現しているが、リアルタイムシミュレーションが可能な計算速度には至っていない。

これらのモデルに対して我々は、複数の固体で構成されるが、全体を一つの集合として扱う対象を固体群と定義し、固体群全体に作用する力学的影響を近似的に計算し挙動を表現する固体群操作モデルを提案している。このモデルでは固体群をハイトフィールドで表現し、固体群を構成する個々の固体の挙動計算は行わず、全体の挙動を一括して決定する。また、調理器具で固体群の一部を操作するためのモデルを提案し、調理器具にハイトフィールドを定義することで固体群をすくい上げる操作の実現を目指している [6]。ところが、これまで

のモデルでは一つのハイトフィールド内の固体群を対象として挙動を計算しているため、近接した複数のハイトフィールドにまたがる固体群挙動は考慮していない。本研究では、近接ハイトフィールド間の固体群挙動を一体的に扱い、崩れによるハイトフィールド間の固体群の移動をリアルタイムに表現するモデルを提案する。

## 2. 固体群操作モデル

当研究室がこれまでに提案した固体群操作モデルでは、固体群をハイトフィールドで表現する。調理容器底面に二次元格子を定義し、格子座標  $(x_c, y_c)$  における固体群の高さ、すなわちその格子の固体群の体積を  $f(x_c, y_c)$  とすると調理容器  $c$  内に存在する固体群の総体積  $V_c$  は以下のように表される。

$$V_c = \sum f(x_c, y_c) \quad (1)$$

各時刻で各格子の高さを変化させることで固体群の挙動を表現し、テクスチャマッピングにより表面を描画する。高さの変化分は曲面で近似表現する。この曲面を変形曲面と呼び、また基本形状は経験的に設定する。固体群全体に作用する力に基づいた変形曲面と、固体群の特定の部分に作用する力に基づいた変形曲面を適用することで固体群の移動や崩れを表現する。

ある時刻  $t$  において、中央に固体群が存在する調理容器が傾けられた場合（図 1-1）、固体群は容器下部に移動すると考えられる。固体群の移動を表現するために、体積の増加と減少を表す変形曲面を適用する（図 1-2）。このように移動後の固体群の形状を決定する（図 1-3）。また、固体群の積み重なり方により全体あるいは一部が崩れることが考えられる（図 2-1）。そこで、この局所的な領域のみを一体的に扱い、体積の増加と減少を表す変形曲面を適用し（図 2-2）、固体群の崩れを表現する（図 2-3）。具体的には、始めに崩れが起こる可能性のある領域の中心点（崩れの候補点） $P$  を全て求める。格子  $P$  で発生する崩れが影響を及ぼす領域として、 $P$  を頂点とする円錐の底面を崩れ領域と考える。円錐の斜面の角度は積み上げた固体が安定を保つ安息角とする。続いて、崩れ候補領域の円錐の体積  $V_p$  とその領域上に存在する固体群の体積  $V_e$  の比率  $R = V_e/V_p$  が  $R < 1$  を満たすとき、領域内で崩れが起こると判定し、変形曲面を適用することで、時刻  $t + \Delta t$  の固体群の形状を決定する [3]。

さらに、固体群を局所的に操作するため、ヘラのような調理器具を導入した。これまでに提案している調理器具による固体群操作モデルでは、操作面を垂直に限定したうえで水平方向、鉛直方向の移動と鉛直軸を中心とした回転の計 4 自由

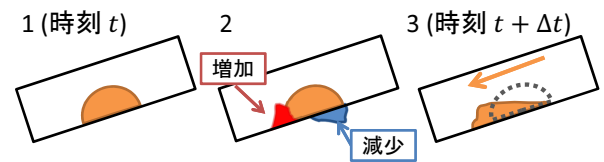


図 1 変形曲面による固体群の移動表現

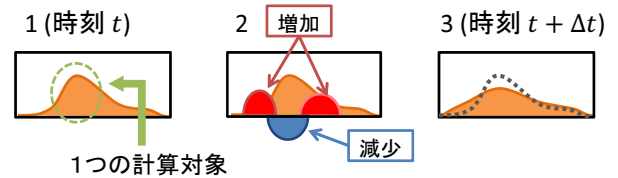


図 2 変形曲面による固体群の崩れ表現

度の操作が可能である。調理器具の操作面を構成する頂点により構成される 3 次元凸包と調理容器内の固体群の干渉を調理器具と固体群の干渉として扱い、干渉した領域の固体群を調理器具の移動方向およびその周囲に変形曲面により移動する。これにより、調理器具で固体群を押し動かすことができる。また、操作面を水平に限定したうえで水平方向、鉛直方向の移動を可能とし、操作面にハイトフィールドを定義することで、固体群をすくい上げることを目指している。しかし、すくい上げた固体群と調理容器内の固体群の干渉、すなわち複数のハイトフィールドにより表現された固体群の干渉は研究段階である。

## 3. 近接ハイトフィールド間の崩れ表現

### 3.1 提案手法の目的

調理容器内の固体群を調理器具で操作する場合、二つのハイトフィールドを計算対象とする必要がある。ところが従来の固体群操作モデルでは、挙動計算の対象は個々のハイトフィールド内であり、前述の通りハイトフィールドが近接する領域において二つのハイトフィールドを一体的に扱った挙動計算はしていないため、それぞれの固体群が個別に挙動するという問題点がある。ハイトフィールドが近接する領域に固体群が存在する場合、それぞれのハイトフィールドにより表現される固体群の干渉を考える必要がある。そこで本提案モデルでは、近接ハイトフィールド間の崩れによる固体群の挙動を、その領域を一体的に扱うことで簡易かつリアルタイムに表現する。各ハイトフィールドが扱う空間の境界を仮想的に設定することで固体群の挙動を考え、その結果に基づいて変形曲面を適用することで崩れを表現する。

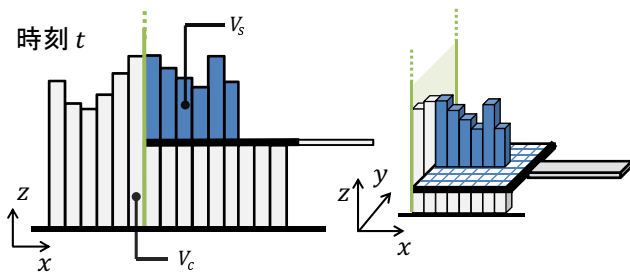


図3 ハイフィールド間の仮定の壁

### 3.2 ハイフィールド間の固体群の干渉

時刻  $t$  において調理容器内の固体群を調理器具ですくい上げようとするとき、それぞれの上の固体群は互いに干渉している (図3)。このとき、それぞれの固体群は互いに寄りかかるように形状を保ち、またその均衡を失うと崩れ合い、さらに寄りかかることで安定する。そこで、ハイフィールド間の固体群の「寄りかかり合い」を簡易的に扱うために仮定の壁を設定する。壁は調理容器底面に対して垂直であり、高さは十分に高いものとする。この壁により、それぞれのハイフィールドにおいて挙動計算を行うことが可能である。

### 3.3 変形曲面による崩れの表現

前述の安定した状態から調理器具を引き抜こうとすると、調理器具とともに固体群が水平方向 (図4, 右方向) に移動する。このとき、個々のハイフィールド内の崩れと近接ハイフィールド間の崩れを分けて処理する。まず、個々のハイフィールドの移動による固体群の移動、変形処理を行う (2節前半)。続いて、全てのハイフィールドにおいて崩れの候補点および崩れ領域候補を求める。崩れ候補領域内に仮定の壁が存在しない場合、崩れが影響を及ぼす領域は一つのハイフィールド内である。したがって、個々のハイフィールド内で従来手法に基づく崩れの挙動計算を行い、変形曲面により高さの変化分を決定する (図4-a, b)。崩れ候補領域内に仮定の壁が存在する場合、崩れの影響は複数のハイフィールドに及ぶ。これらの崩れを一括して扱うために、全てのハイフィールドの高さの総和を表す仮想ハイフィールドを定義する (図4-c)。仮想ハイフィールドにおいて a, b で処理されていない崩れ領域の挙動を計算し、変形曲面による高さの変化分を決定する。この変形曲面を調理容器、調理器具それぞれのハイフィールドの適切な位置に分割、適用し、合わせて前述の個々の変形曲面も適用することで、時刻  $t + \Delta t$  における固体群形状を決定する (図5)。複数の近接ハイフィールドを一体的に扱うことで、一方から他方へ固体群が落下して直後に着地するような冗長な処理を削減した上

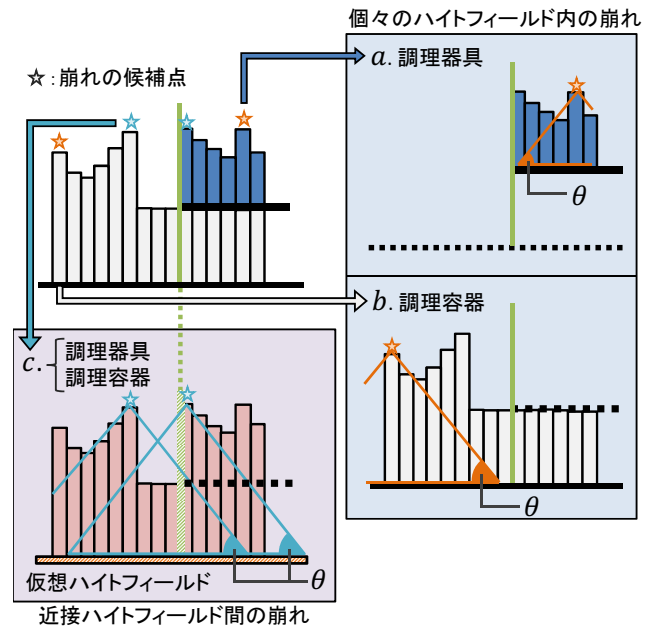


図4 変形曲面による崩れ表現

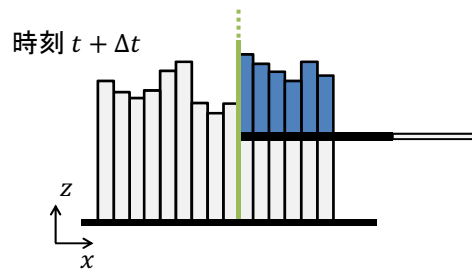


図5 変形曲面適用後の固体群

で、自然な挙動が表現可能である。

## 4. 実験結果

提案モデルを導入した実験モデルを計算機 (Intel Core i5-2400, 3.10GHz) 上に構築し、実験を行った (図7)。調理容器 (フライパン) を操作するための入力装置として任天堂株式会社の Wii リモコンを、調理器具 (ヘラ) を操作するための入力装置として POLHEMUS 社の PATRIOT を用いた。操作する固体群は炒飯を想定している。調理器具を用いて固体群をすくい上げる様子を図7に示す。大きな変化を確認することは難しいが、固体群をすくい上げた調理器具を動かすことにより、ハイフィールドが近接した領域で固体群が崩れる様子が、特に図7左の2, 3で確認できる。

ハイフィールドの格子サイズと処理速度の関係を表1に示す。調理容器底面は直径 325mm の円、調理器具の固体群操作部は一辺の長さが 100mm の正方形を想定し、それぞれのハイフィールドの格子の解像度が等しくなるよ



図 6 実験の様子

表 1 処理速度についての実験結果

格子サイズ [mm]	処理速度 [fps]
16.5×16.5	576
12.5×12.5	407
9.5×9.5	289

う格子数を設定する。格子サイズを小さくすることで格子数が増加し格子の間隔が狭くなるため、より細かい固体群の表現が可能である。なお、事前調査により格子サイズを16.5mm×16.5mm以下としたときに固体群挙動が自然に感じられるとの評価を得ている。表1より対話操作に必要な処理速度が得られているだけでなく、食材を切る、洗う、盛りつけるなどの処理も同時に行うためにも、十分な余裕をもった速度が得られていることが分かる。

## 5. むすび

本研究では、個々のハイトフィールド内で固体群の挙動を計算していた従来モデルに対し、近接する複数のハイトフィールドの近傍領域を一体的に扱い挙動を計算するモデルを提案した。これにより、調理器具で固体群をすくい上げる際のハイトフィールド間の固体群の崩れをリアルタイムに表現することが可能である。

今後の課題として、今回は調理器具の水平移動を対象に解決方法を検討したが、上方向に移動した場合などに調理器具の下方が調理容器内の固体群で満たされていない状況も起こりうる。今後は、このような状態における仮想の壁の設定についても検討、対応していきたい。また、本研究の最終目標は調理手順を体験し学習できるシステムを作ることであるため、食材の加工手順を対象としたモデルを提案し、従来モデ

ルと組み合わせることでシステム全体の構築を進める。

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた本研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 24501186 の研究助成による。

## 参考文献

- [1] 加藤史洋, 三武裕玄, 長谷川晶一, “体験型料理シミュレータ”, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会講演論文集, 2D2-2 (DVD-ROM), 2010.
- [2] 森井 敦士, 上垣内 翔太, 山本 大介, 舟橋 健司, “VR 調理学習システムのための存在確率に基づく粒子による固体群の上下動の表現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.539-549, 2011.
- [3] 栗本 雄多, 舟橋健司, “VR 調理学習システムにおける調理器具による押さえつけ動作とすくい上げ動作の考察”, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会講演論文集, 2012.
- [4] Holz D., Beer T., and Kuhlen T., “Soil Deformation Models for Real-Time Simulation: A Hybrid Approach”, Workshop on Virtual Reality Interaction and Physical Simulation, 2009.
- [5] Zhu B., and Yang X., “Animating sand as a surface flow”, Eurographics 2010, Short Papers, 2010.
- [6] 佐東 康平, 舟橋健司, “VR 調理学習システムにおける調理器具による押さえつけ動作とすくい上げ動作の考察”, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, 2013 (予定) .

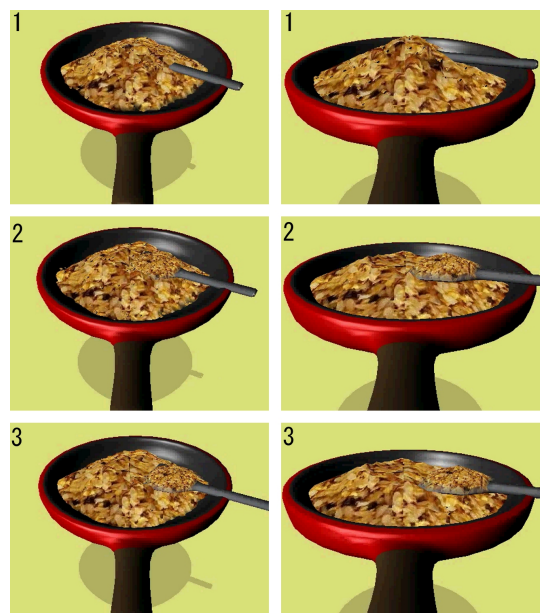


図 7 近接ハイトフィールド間の固体群の崩れ