

# VellumとFLIP法を用いたパスタ料理のビジュアルシミュレーション手法の提案

Proposal of visual simulation method for pasta using Vellum and FLIP method

佐藤 陽斗

指導教員 菊池 司

東京工科大学 メディア学部 メディア学科

キーワード：CG, 流体, 弹性体, シミュレーション, パスタ料理

## 1. はじめに

近年、3DCGはその著しい発展により、映画やゲームに限らず幅広い分野で利用されている。特に自然現象や物理現象などを正確に表現するシミュレーションCGという分野は日々様々なモノの動きを再現することを対象とした研究がなされている分野の一つである。また、CGによって食べ物を表現する事への注目も高まっている。例としてデル株式会社が「CGごはん」と題してCGによって作られた食べ物の画像を評価するコンテストが毎年行われるなど、需要の高まりが感じられる。ただし、これはあくまで見た目を重視した静止画作品の評価であり、シミュレーションが使われているものは少ない。そこで本研究ではパスタ料理を題材とし、弾性体と流体の2つのシミュレーションを用いた麺とパスタソースの絡みを表現するビジュアルシミュレーション手法を提案する。

## 2. 関連研究

麺とソースの関係は糸状オブジェクトと非ニュートン流体の相互作用であると言える。糸と液体の双方の結合を実現する最近の研究として、Feiらの濡れた髪の毛をアニメーション化する研究(2017)や、濡れた布地のシミュレーション(2018)がある。これらの研究では、濡れた糸間の凝集力を表すモデルや糸に沿った薄い水の層の流れを実現

した。しかし、これらのモデルはニュートン流体や非圧縮性の流体のみを対象としており、弾性的または塑性的に変形する非ニュートン流体をとらえることができない。そこで、Feiらは新たに糸と非ニュートン流体を結合するためのマルチスケールモデル(2019)を発表した。

Feiらはまず、糸の表面の薄い水の層の流れを圧縮性のある非ニュートン流体を対象としたモデルへ拡張した。

次に連続体の非ニュートン流体モデルと離散的な糸状モデルという2つの異なるモデルの連成問題をCFD-DEM法(2016)を圧縮性のある非ニュートン流体のシミュレーションへ拡張することで解決した。

また、濡れた糸同士の接触を解決するためのアプローチとしてペナルティ法が存在するが、ペナルティ法には原理的な摩擦モデルを組み込む方法が不明である事と糸状モデルにかかるペナルティ力が非ニュートン流体の場合、弾性により糸間の凝集力がさらに強くなり、シミュレーション中に糸状モデルどうしが貫通してしまう2つの問題が生まれる。Feiらは接触力と摩擦力の両方について2次クローンコーン(SOCC)問題を解く制約ベースの手法を用いて糸状モデルが接触時に貫通せず、摩擦力がクーロンの摩擦法則に正確に従うための拡張クーロンコーンモデルを発表している。

### 3. 提案手法

本研究は、商用ソフトウェアの SideFX®Houdini®にて各オブジェクトの制作やシミュレーションを行う。このソフトウェアには流体、弾性体、剛体など様々なシミュレーション機能があり、水や煙、炎、髪の毛、破壊など写実的な表現が可能なためである。

まず本研究ではパスタソースが麺に与える力について注目した。これは、パスタソースを麺の上にかけた際や、麺をフォークで持ち上げた際にソースが流れ、麺に加えられる慣性力のことである。今回パスタソースの流体シミュレーションには FLIP 法を用いる。コンピュータで流体シミュレーションをする際、流体の基礎方程式であるナビエ・ストークス方程式を解く必要があるが、これには格子法や粒子法、両者を組み合わせた FLIP 法という手法が用いられる。FLIP 法には、移流項以外の計算が得意な格子法の利点と、移流項の計算が得意な粒子法の利点があり、粘度の高い液体のシミュレーションにおいて特に有効であるため本研究では採用した。本研究では初めに簡易的なパスタソースの流体シミュレーションを作成した。簡易的というのはシミュレーションで流体のベースとなる粒子の量を少なくし、粘度を抑えることで処理を軽くしたものを目指す。流体シミュレーションでは流れのベースとなる粒子の量を増やすことで精度が高くなり、最終的なビジュアルをより意図したものへ近づけることができる。但し、精度を上げることで計算コストも増えるため、シミュレーションに多大な時間を費やすこととなる。現段階では、麺オブジェクトへ与える慣性力としてパスタソースの流れのベクトル情報のみが必要であるためビジュアルに関する精度は必要最低限とし処理を軽くすることとした。

本研究では麺の挙動をシミュレーションする方法として Vellum を採用した。Vellum とは拡張された PBD(Position Based Dynamics)法を使用した弾性体シミュレーションフレームワークである。PBD 法には制御性、安定性、信頼性、迅速性などのメリットがあるため本研究で採用した。麺オブジェクト

の各ポジションに簡易的なソースシミュレーションから取得した各粒子のベクトル情報を慣性力として与えることでパスタソースが麺オブジェクトへ与える力を実現した。

反対に、麺オブジェクトはパスタソースが流れるための土台となるため、麺の動きもパスタソースの流れへ大きな影響を与える。先ほど麺に慣性力を与えた際に作成した簡易的な流体シミュレーションをもとに粒子数や粘度を高め高精度な流体シミュレーションを作成した。この流体シミュレーションへ麺オブジェクトをコリジョンとして与えることでパスタソースへ麺の挙動を与えた。

### 4. 結果

本研究ではパスタソースから麺への作用と麺からパスタソースへの作用を 2 つのアプローチで作成することで麺とパスタソースの相互作用を実現した。パスタソースが麺オブジェクトに与える力の実現は簡易的なソースの流体シミュレーションを作成し各粒子のベクトル情報を取り出し、麺オブジェクトへ慣性力として与えることで実現した。麺オブジェクトがパスタソースへ与える力の実現は先ほどの簡易的な流体シミュレーションとは別にパスタソースオブジェクトとして粒子数や粘度を高く設定した流体に先ほどの慣性力を与えた麺オブジェクトをコリジョンオブジェクトとして与えシミュレーションすることで実現した。本研究ではこの 2 つのアプローチにより麺とパスタソース双方向の結合を実現しより現実のパスタ料理に近い挙動を実現することができた。

### 5. 課題

現時点では、麺とソースの相互作用は実現できているが、実際のパスタ料理には麺とパスタの他に様々な具材が入っており、それらも麺やソースそれぞれに作用することが考えられるため、様々な具材オブジェクトを追加してのシミュレーションも必要であると考えている。