

安生 健一

(株)オー・エル・エム・デジタルビジュアルエフェクト/R&D スーパーバイザー

デジタル映像数学の構築と表現技術の革新

§1. 研究実施の概要

初年度は、数学モデルグループと、さまざまな CG の研究課題を共通言語で語れるようにすることが大きな目標のひとつであったが、具体的な CG 研究課題を通じてこれを進めてきた。また次年度以降の本格的な研究活動に備えて基礎的な実験を行っておくことに注力した。

その結果として、数学モデルグループのサポートのもとで、映像数学グループから人間の表情を効率よく作成する方法に関する一定の成果(論文採択など)を得た。また、その方法の背景にある数学モデルの理論的な解釈を進めることができたが、まだ論文等の成果には至っていない。一方 CG グループから数学モデルグループに対し、CG 映像を作成する場合の基礎知識と流体シミュレーションを利用したより先端的研究動向を解説した。また、これを受けて、数学モデルグループから関連するグラフ理論的な関数解析的な数学的手法について解説をうけた。これらをふまえ、シミュレーションデータベースおよびそのブラウザのプロトタイプの開発を行った。

これらの研究を通じて、本研究課題に対する共通の問題意識を形成することができた。また、本研究を推進する上で解決すべき問題が明確になった。今後は本研究課題の実現に注力する。

§2. 研究実施体制

(1)「映像数学」グループ(株式会社オー・エル・エム・デジタル)

① 研究分担グループ長: 安生 健一 (株)オー・エル・エム・デジタル 取締役 研究開発部門
ビジュアルエフェクト/R&D スーパーバイザー)

② 研究項目

人間の表情アニメーションに関する数理モデルの構築。具体的には、次の課題を解決するた

めの方式を検討する:

- ・ 実際の人間の表情をキャプチャーする際に, 重要となる点を定める方法の検討.
- ・ 表情のデータベースが与えられたときに, それを有効活用して新しい表情アニメーションを効率よく作る方法の構築.

(2)「数学モデル」グループ(九州大学)

① 研究分担グループ長: 落合 啓之 (九州大学大学院 数理学研究院 教授)

② 研究項目

- ・ デジタル映像技術(CG)の制作現場での演出に基づく映像作りや経験の蓄積を, モデル化・理論化する. 併せて, モデル化された数学的構造の構造解析による体系化を行う.
- ・ 具体的には, 映像数学グループと CG グループが今年度提起する課題をもとに, デジタル映像表現に適した記述様式の研究, および CG アニメーションのための離散モデルの研究を行う.

(3)「CG」グループ(北海道大学)

① 研究分担グループ長: 土橋宜典 (北海道大学大学院情報科学研究科・准教授)

② 研究項目

- ・ CG 基礎知識と流体シミュレーション関連研究解説
- ・ シミュレーションブラウザのプロトタイプ開発
- ・ グラフ理論/主成分分析を用いた流体シミュレーションデータの圧縮の検討
- ・ 演出表現のための文献調査
- ・ データベースを利用した流体シミュレーションの演出表現の検討

§3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

本年度の研究活動の主目的は以下の2点である。

- (1) コンピュータグラフィックス(以下, CG)分野と数学分野の間のギャップを埋めること。
- (2) 次年度以降の研究活動に備えて基礎的な実験と方法論の検討を行っておくこと。

この目的に対し, もちろん個別の成果を出したグループもあるが, 初年度の研究準備段階として, 3グループがどのように関わりつつ活動してきたかを中心に, 以下報告する。

<項目(1)に関して>

まず, CG グループと数学モデルグループそれぞれのメンバーにより, 当該研究分野の基礎知識について解説を行った。CG グループからは, CG 映像を作成する際の処理の流れについて解説した。数学モデルグループのメンバーは CG 分野についての知識を, その初歩から講義形式で解説した。CG 分野において多用される基礎的用語の解説を重点的に行った。

次に, CG グループの研究課題に関連する流体シミュレーションを利用した映像生成について, 同様に講義形式にて解説を行った。これに関しては, 基礎知識にとどまらず, 先端的な研究内容や演出表現手法についてその問題点も含めて詳細に解説した。一方で, 数学モデルグループおよび映像数学グループからはグラフ理論や RBF 補間に関する解説をうけた。

<項目(2)に関して>

(2-1) CG グループを中心とした活動:

まず, 流体シミュレーション結果のデータベースの構築システムおよびシミュレーションブラウザのプロトタイプシステムの開発を行い, その評価と問題点について検討した。

[a]. プロトタイプシステム構築:

- (i) 粒子法を用いた2次元での水のシミュレータを開発した。さらにこのシミュレータに対し, パラメータを自動的に設定し, 様々な条件でのシミュレーション結果を自動生成するプログラムを開発した。
- (ii) 生成されたシミュレーション結果の可視化: 単純に格子状に配置して, いくつかのシミュレーション結果を比較・観察できるようなシステムを開発した。さらに, 所望のシミュレーション結果を検索できる簡単な機能も実装した。

[b]. 上記プロトタイプシステムの有効性・妥当性について, 他グループのメンバーを交えて議論を行った結果, 以下のような問題点・改善点が明らかになった。

- (i) データベースのための記憶容量の肥大化の問題: 2次元のシミュレーションにおける比較的小規模なシミュレーションであっても, 数百メガバイトの記憶容量が必要である。今後3次元への拡張を考えると相当な圧縮が必要となることがわかった。
- (ii) シミュレーション結果の可視化方法についても, データベース全体を俯瞰できるより適切な手

法の導入が必要であることがわかった。

- (iii) 検索処理についても、現状では極めて単純な手法を用いているため、データベースの肥大化に伴って処理速度の低下を招くことが予測される。そのため、よりシミュレーション結果の特徴をよく表し、かつ、コンパクトな特徴量を求める必要があることがわかった。

次に、上述のプロトタイプシステムに関する課題を解決するため、数学モデルグループより提供を受けた方法の導入を検討した。

- (i) シミュレーションにより得られた粒子データを圧縮するため、グラフラプシアンを用いた手法を考案して実験を行った：結果としては、高い圧縮率は得られなかった。そこで、文献調査を行い、主成分分析を用いた手法が発表されていたため、実験を行った。2次元シミュレーション結果に対しては良好な結果が得られたが、3次元シミュレーションについては、あまり良好な結果は得られていない。2次元と3次元ではデータサイズや動きの複雑さが格段に異なる点が原因と考えられ、引き続き検討している。
- (ii) 検索処理に関しては、現段階では、粒子データを一旦ボリュームデータに変換して3次元フーリエ変換を行い、その低次成分を特徴量とする手法を実装中である。併せて、この特徴量を用いてデータベースを階層的にクラスタリングすることで、データベース全体の可視化も行えるようなシステムに構築を検討している。

上記の内容と並行して、演出表現に関する文献調査と実験も行った。文献調査については、(a)流体シミュレーションの制御手法、(b)ビデオ映像のシームレスループ再生、(c)人物のモーションデータベースの再利用によるアニメーション生成なる 3 つの論文について調査を行った。そして、文献(a)を参考にして、爆発シミュレーションの演出表現に関する手法新たに開発し、その有効性を確認した¹⁾。爆発は高速に変化が生じるため、シミュレーションの途中経過を観察しながら将来状態を予測するという手法を採用している。予測モデルには、データベースを利用した。また、文献(b)および(c)を参考にして、炎および雲のシミュレーションの演出的表現を実現する手法を開発している。流体シミュレーションのデータベースを作成し、それらを組み合わせて所望の映像を作成する。基本部分はすでに完成しており、有効性／有用性について検討を行っているところである。

(2-2) 映像数学チームを中心とした活動：

人間の表情アニメーションに関する数理モデルを構築するための重要課題として次の 2 つがある。

- [a]. 実際の人間の表情をキャプチャーする際に、重要となる点を定める方法の検討。
- [b]. 表情のデータベースが与えられたときに、それを有効活用して新しい表情アニメーションを効率よく作る方法の構築。

課題[a]については、H22 年度は初歩的な実験をしてその結果を解析するに留まったが H23 年度には、具体的な方法論を見いだすところまで進めたい。

課題[b]についてはある程度の成果および、今後の表情研究の方向性が見えてきた。まず映像

数学グループが人間の表情に関して研究し、表情データベースが与えられたときに、それを有効活用して新しい表情アニメーションを効率よく作る方法を検討した。その結果、1つのキャラクターの表情を他のキャラクターに適用しかつ編集できる方式を提案できた (ACM Transactions on Graphics に論文採録, 図 1 参照 2)。

この手法の一部に再生核ヒルベルト空間の理論に関わる部分があり、それらを SIGGRAPH ASIA 2010 でのコース(半日講演)にて発表し、またサーベイ論文(Journal of Math-for-Industry 採録 3))をまとめることができた。

なお次年度以降は、人間の全身の動作についても研究を開始してゆくが、上記の表情エディタとともに全身の動作エディタの検討も開始した。

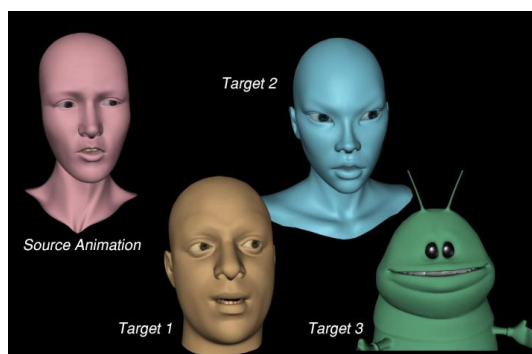


図 1. 左上の表情アニメーションを入力として同じトポロジーを持つ他のモデルに表情を“移植”する手法を開発した(to appear in TOG).

(2-3) 数学モデルグループを中心とした活動:

数学モデルグループでは、CG における問題意識や課題を数学的に的確に理解できるための基盤を整備している。上記(2-1)(2-2)にも既に数学モデルグループの活動は示されているが、以下を追記する:

- a. 群衆の移動をアニメーションで実現するための1つの方法であるグラフのラプラシアン固有ベクトルを活用した方法を数学的に解析し、データ解析、データ分割、特徴抽出の経験から定量的・定性的な解析を試みた。次の課題は、この視点から「群衆の自然な移動」という曖昧な概念を数理化することである。
- b. トゥーンシェーディングを始めとして CG 分野でも離散データの合理的な補間や近似のために再生核ヒルベルト空間の理論が使われているが、そこでブラックボックス化されている関数解析的な基礎付けに再吟味を加え、拡張性、高速性、安定性などの観点から考察を行った。これらの事例は、他の 2 グループから与えられた CG ベースの課題を数学モデルグループが数理的に咀嚼し、それを解析した結果が再び他の 2 グループへフィードバックされる体勢が初年度のうちに整ったことも意味している。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. 佐藤周平, 土橋宜典, 山本強, “最適な初期強度分布の推定および予測制御による爆発シミュレーションの制御”, 映像情報メディア学会論文誌 (条件付き採録)。
2. Y. Seol, J.P. Lewis, J. Seo, B. Choi, K. Anjyo, J. Noh, “Facial Animation

Retargeting using Movement Matching”, ACM Transactions on Graphics (to appear).

3. Ken Anjyo and J. P. Lewis, "RBF interpolation and Gaussian process regression through an RKHS formulation", Journal of Math-for-Industry JMI2011A-6 (pp.63-71) (in press).