隠れマルコフモデルに基づく インタラクティブな仮想カメラワーク遷移制御

Interactive Virtual Camerawork Control Based on Hidden Markov Model

正会員 江村 恒一[†], 正会員 青木 輝勝^{††}, 正会員 安田 浩^{†††}

Koichi Emura[†], Terumasa Aoki^{††} and Hiroshi Yasuda^{†††}

Abstract We developed a method of interactive virtual camerawork transition control based on a hidden Markov model with camera orientation as a hidden state and camera distance as an observable output. This method enables a novice user to interactively create a 3-D CG animation by suggesting appropriate camerawork based on the grammar of the film language. We conducted an experimental evaluation in which 363 novice users created 3-D CG animations with the digital movie director system using this method. The results showed a 30.7 % improvement in camera setting efficiency. Time spent writing dialogues increased by 14.7 % although the overall time taken to create the animation was shortened by 4.7 %, suggesting more time was available for creative thinking. Moreover, the ratio of shots that violated the grammar decreased from 9.9 to 4.8 %.

キーワード：3次元コンピュータグラフィックス, アニメーション, オーサリング, カメラワーク, 映画文法, 隠れマルコフモデル

1. ま え が き

情報通信技術の急速な発展とともに、誰でも情報を発信できる時代になっている。Weblog 登録者数は、2005 年 9 月末に 473 万人から 2006 年 3 月末時点には 868 万人*となり、半年で約 1.8 倍という速度で登録者が増加している。個人が作り発信し共有するコンテンツは、Weblog に投稿されるテキストから、Flickr**や YouTube***にアップロード・共有される写真や動画へと進化し、それぞれ 2006 年 5 月における利用者が 510 万人、1,260 万人*⁴に達している。

2007 年 2 月 21 日受付, 2008 年 1 月 9 日最終受付, 2008 年 2 月 7 日採録
†松下電器産業株式会社 ネットワーク開発センター

(〒140-8587 品川区東品川 4-12-4, TEL 03-6710-2037, E-mail: emura.koichi@jp.panasonic.com)

††東北大学 電気通信研究所

(〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1, TEL 022-217-5543)

†††東京電機大学 未来科学部

(〒101-8457 千代田区神田錦町 2-2, TEL 03-5280-3335)

†Network Development Center, Matsushita Electric Industrial (4-12-4 Higashi-shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 140-8587, Japan)

††Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University (2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577, Japan)

†††School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki University (2-2 Kanda-nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8457, Japan)

* 総務省: ブログおよび SNS の登録者数 (平成 18 年 3 月末現在), <http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/060413.2.html>

** <http://www.flickr.com>

*** <http://www.youtube.com>

*⁴ <http://www.comscore.com/press/release.asp?press=906>

またパーソナルコンピュータの処理、描画および蓄積能力向上により、個人が 3 次元 CG コンテンツを制作できるようになり、今後より豊かな自己表現ができるメディアとして 3 次元 CG を個人が発信 (共有) する方向へ進化すると考えられる。

3 次元 CG アニメーションの制作は次の四つの制作サイクルから構成される³⁾。

(1) デベロップメント

ストーリー開発, キャラクターデザイン, アートディレクション, ストーリーボード (カメラワークとキャラクター配置) 作成

(2) プリプロダクション

制作プランニング, 3D アニマティクス, レイアウト, CG モデリング, テクスチャマッピング, キャラクターセットアップ

(3) ショットプロダクション

アニメーション, ライティング, レンダリング, スペシャルエフェクト, 合成

(4) ポストプロダクション

効果音と BGM, 最終編集, タイトルとクレジット, マーケティングと配布

我々は、経験やスキルのない一般の個人が 3 次元 CG アニメーションを制作できるように上記の制作サイクルを単純化した Digital Movie Director(DMD) システムを開発している¹⁾。具体的には、既成の CG キャラクター, セットを用いて、それらの複数の候補から選択しレイアウトを指

定することにより、絵心が必要となるキャラクタデザイン、CGモデリング、テクスチャマッピング、キャラクタセットアップを不要とした。また、既成の効果音、BGMと、台詞を読み上げる音声合成を用いることで、オーディオ素材の制作を不要とした。さらに、1行ごとに動作主（主語）、動作（述語）などのシナリオ要素をリストから選択して入力することにより、時系列のアニメーションをその場で編集するようにした。DMDシステムは、ライティングやスペシャルエフェクトなどの高度な演出を除けば、動作主、動作などの素材を選択し、台詞とタイトル、クレジット情報を入力することで、3次元CGアニメーションを制作することを可能とした。

しかしながら、ストーリーボード作成で行うキャラクタ配置とカメラワークは、既成の素材から選択することができないため、カメラの切り替わりごとに指定しなければならない。特に、カメラワークは、視覚連続性を保つように、ショットを連結しなければならないという専門知識とその適用能力が必要となり、一般の個人が行うことが困難である。なぜならば、映画やテレビ映像は、人間が自分の目で経験する映像と異なり、カメラで撮影した不連続なショットをつなぐことになるからである。適切な視覚連続性を意識せずにショットをつないだ映像は、視聴者の理解に混乱をきたし、制作者の伝えたいことが視聴者へ正しく伝わらなくなるという結果を招くことになる。映画制作者の長年の経験から、守るべきカメラワークを規定した映画文法²⁾があるが、映画文法の知識を持たないユーザが、視覚連続性を保つ映像を制作することは非常に困難である。また一般のユーザが映画文法を理解して映像を制作することも困難である。

我々は、2005年10月より、DMDシステムを用いた3次元CGアニメーション制作講座「ムービー塾*」を開催し、全くCGアニメーションを制作したことがない制作者が、半日の実習を通して映像制作できることを確認した。さらに、演出操作のうちカメラワーク設定が最も試行錯誤が多く、また意図して視覚連続性を保つ適切なカメラワークを選択することは、一般のユーザにとって非常に困難な作業であることを操作ログデータの分析により示した⁹⁾。

本論文では、映画文法に則した仮想カメラワーク遷移を、隠れマルコフモデル(HMM)によりモデル化したインタラクティブな仮想カメラワーク遷移制御方式を提案する。本方式により、一般のユーザが映画文法を意識しなくても、表現意図を反映した映像を制作できるようにすることを目的とする。また、本方式をDMDシステムに実装し、「ムービー塾」において、一般のユーザ延べ363名による3次元CGアニメーション制作の際の操作ログを解析して制作効率を評価した。

本論文では、本方式およびDMDシステムへの実装につ

いて述べ、制作効率評価結果を報告する。以下2章で関連研究を述べ、3章で本方式で用いた映画文法の基本文法の定義を説明する。4章でDMDシステム、5章で提案方式について述べる。6章および7章でそれぞれ制作効率評価実験と実験結果を示す。最後に8章で今後の課題について考察する。

2. 関連研究

今までもオンラインゲームやオンラインチャットを対象とした自動カメラワークに関する研究^{4)5)8)~10)}が多くなされており、これらの研究では、3次元CGアバターがリアルタイムにチャットをする際に、仮想カメラおよびキャラクタの立ち位置を制御し、参加者が見る映像に発言者全員が映るようにすることを目的としている。

しかしながら、これらの方式は、議論に参加する複数のキャラクタが画面に映るように、キャラクタ位置の物理的制約下におけるカメラ位置を一意に決定する。そのため、ユーザの意図によりその場における別のカメラワークへ変更するなど、制約の中においても様々な表現を可能とする選択肢を提供・適用することはできない。

太田ら¹¹⁾は、複数のカメラワーク候補を生成し、評価を通してカメラワークを一つに決定するカメラワーク自動生成方式を提案している。カメラワーク設定の補助支援を想定し、仮想的な演出家が生成する複数のカメラワークを、ショット数や継続時間などにより評価し、ユーザの評価を加えて最も高い評価のカメラワークが選択される。

しかしながら、このカメラワーク自動生成方式は、撮影対象の情報（種類、数や重心位置）、カメラ距離、シーンの種類など多くの入力が必要とし、また入力の何を変えたと出力となる映像の何が変わるのか、という対応関係が直感的でなく、経験やスキルのないユーザが、ストーリーを3次元CGキャラクタアニメーションとして制作する際に、簡単に入力項目を選択・設定することができない。また、カメラワーク生成支援について制作者が設定できる項目は、カメラワークの再生成と削除、評価値の上乗せに限られており、ストーリーのある3次元CGアニメーションのように、表現の多様性が要求される映像制作においては、設定項目を繰り返し評価しなければならないため、制作効率が悪い。

林ら⁷⁾は、テレビ番組のカメラワーク統計に基づき、出演者の変化と発言の長短に合わせて、カメラを自動的に切替えるカメラワーク生成手法を提案している。テレビの実際の対談番組のカメラワーク遷移確率に基づいて、カメラの切り替えを自動的に行うため、登場人物や配置が決まっているような定型の番組制作には有用である。

しかしながら、カメラワークが、ホストとゲストのクローズアップ、ツーショット、俯瞰ショットと番組内容に依存しており、物語のカメラワークに適用するには多くのバリエーションと分析が必要となり現実的でない。

* <http://www.movie-school.org>

3. 映画文法

本章では、提案方式で用いる映画文法における基本文法の定義について説明する。

図1に示すように、映画のストーリーは複数のシーンからなる構造を持ち、各シーンは連続する撮影単位であるショットの群から構成される。ショットは、一つのカメラで連続して撮影する単位の映像である。一般的に、あるシーンが上手に演じられていないと視聴者が感じる時は、同じ位置から撮られたショットが繰り返されている²⁾。このような場合は、意識的にカメラ配置を変化させることにより、ショットに変化をつけることが良いとされている²⁾。

以下に、映画制作者の長年の経験から守るべきカメラワークを規定した基本的な文法の定義²⁾を挙げる。

【基本文法1】 五つの基本的なカメラの距離を用いる。

カメラと撮影対象との距離の変化は無限にあるが、実用の観点から、クローズアップ(CU)、クローズショット(CS)、ミディアムショット(MS)、フルショット(FS)、およびロングショット(LS)の五つを用いる。カメラの距離例を図2に示す。

【基本文法2】 シーン冒頭は登場人物の空間的關係を説明する。

対話シーンを開始したり、別のキャラクターと対話を再開したりする際には、誰と対話するのかキャラクター間の関係

シーン	シーン	シーン
ショット	ショット	ショット

図1 映画の構造
Film Structure.

図2 カメラの距離例
Examples of Camera Distance.

を説明する。シーンの最初は、関連するキャラクターすべてを含めるためLSを用いる。

【基本文法3】 カメラは関心のライン*を超えて配置しない。

すべての対話シーンには2人の主役がいる。主役2人を結ぶ直線を関心のラインと呼び、カメラがこのラインを超えて反対側から撮影しない。これにより、キャラクターAは左側、キャラクターBは右側というように、各ショットにおいて同じキャラクターがいつも画面の同じ側に配置され、適切な視覚の連続性が保たれる。

【基本文法4】 五つの基本的なカメラの三角形配置を用いる。

対話シーンを撮影するカメラの配置は、関心のラインと並行に2人を捉える二箇所と、同ラインに垂直に2人を捉える一箇所を頂点とする三角形となる。さらに、2人のキャラクターの配置によって次に示す五つの基本的な三角形配置を用いる。なお、図3以降で、半円と直線を組合せた記号は、キャラクターの位置と向いている面(直線側)を表す。

(1) 内側からのリバースアングル

第一の配置は、図3に示すように、カメラが2人の間に配置する。キャラクターの見た目を表現するわけではないが、キャラクターを個別に捉える。関心のラインに近いので、正面对決に近い効果を生む。

(2) 外側からのリバースアングル

第二の配置は、関心のラインと並行になるカメラを、2人の主役それぞれの背後に配置する。キャラクターAの肩越しにキャラクターBを捉えるため、2人の位置関係を把握することができる。

(3) 並行位置

第三の配置は、図4に示すように、カメラの視線が並行になるように配置する。関心のラインに近く、キャラクターを個別に捉える横からの眺めを与える。

(4) 直角位置

第四の配置は、図5に示すように、2人の視線方向が直角の場合に、カメラも直角の関係になるよう

図3 内側からのリバースアングル
Internal Reverse Angles.

* Line of Interest: アクションライン、イマジナリーラインともいう

図 4 並行位置
Parallel Positions.

図 5 直角位置
Right Angle Positions.

に配置する。

(5) 共通の視軸

第五の配置は、一方で2人のキャラクタを捉えながら、もう一方で1人のキャラクタを捉えるために、カメラと1人のキャラクタを結ぶ視軸に沿ってカメラをキャラクタへ向けて前進する。より近いショットとなるため、相手に対してそのキャラクタを強調することができる。

4. DMD システム

DMD システムのソフトウェアダイアグラムを図6に示す。DMD システムは、背景となるセット上に登場人物のCG キャラクタモデルの初期配置を指定するレイアウト UI と、初期配置を3次元CGの初期設定パラメータへ変換するレイアウト処理部、シナリオを入力するシナリオユーザーインターフェース (UI) と、シナリオを3次元CGパラメータに変換するシナリオ処理部から構成される。

レイアウト処理部では、入力された各CGキャラクタの初期配置をTVMLスクリプトの初期設定値へ変換する。

シナリオ処理部では、入力された登場人物に対応するCGキャラクタモデルへのリンク情報と、入力された初期配置とシナリオで指定する登場人物の台詞、動作、表情、および効果音やBGMの素材の同期を決定し、ユーザが指定するカメラワーク、またはシステムが自動設定するカメラワークのパラメータをキャラクタの配置に基づき算出し、3次元CGアニメーションを記述するTVMLスクリプトへ変換する。変換されたTVMLスクリプトは、DMDシステ

ムの再生ボタン押下の際に、TVMLプレーヤ*上で3次元CGアニメーションとしてレンダリングされ、台詞部分は形態素解析した後音声合成エンジンを用いて合成音声として音声出力する。

DMDシステムは、図7に示すGUIを用いて操作する。基本的な制作手順は、シーン設定、シナリオ入力、演出設定である。シーン設定では、背景となるセットと、登場人物およびそのセットにおける各登場人物の初期位置を設定する。シナリオ入力では、主語(誰)、述語動詞(どうする)、目的語(何に、何を)、感情(表情)をプルダウンメニューで提供される選択肢から選択する。また必要に応じて、台詞に任意の文字列を入力する。演出設定では、撮影するカメラの距離-方向-アングルとの組合せ、効果音、BGM、および前のシナリオ行と同時に進行するか続けて進行するかの同期を選択して設定する。一連のシナリオ入力は、図7に示すNoで区切られたシナリオ行毎に行う。最終シナリオ行を入力すると新たなシナリオ行が新規に生成され、シナリオを追加していくことができる。

制作したシナリオは、再生メニューを選択すると3次元CGアニメーションとして再生される。また、制作途中に1シナリオ行のシナリオだけをプレビュー再生し確認しながら制作することもできる。

図 6 DMD システムのソフトウェア構成
Software Diagram of DMD System.

図 7 DMD システムの GUI
GUI of DMD System.

* <http://www.nhk.or.jp/strl/tvml/>

DMD システムでは、カメラの配置をユーザが簡単に指定できるように、キャラクタから見たカメラの距離、方向、アングルの組合せをメニューから選択する。カメラの方向は、図 8 に示すように、主語に設定する動作主となるキャラクタから見た八つの方向、正面 (F)、右前 (FR)、右横 (R)、右後 (ReR)、背面 (Re)、左後 (ReL)、左横 (L)、左前 (FL) を用いる。アングルは、水平、俯瞰、あおりの三つを用いる。

また、DMD システムでは、映像制作の経験がないユーザを対象とするため、最も基本的な 2 人のキャラクタの対話におけるカメラワーク遷移を用いる。

距離は、映像制作の経験がないユーザにとってわかりやすい構成とした。基本文法 1 の定義にある、クローズアップ (CU)、クローズショット (CS)、ミディアムショット (MS)、フルショット (FS)、ロングショット (LS) から、クローズアップ (CU) を省略し、ロングショット (LS) をシーン設定で予め設定する 2 種類とした。

クローズアップは、演出効果が期待できる反面、顔や手などクローズアップする対象を都度設定する必要が発生する。クローズアップする対象は、初期設定位置とは違う位置へ動いているかもしれないため、撮影対象の 3 次元座標・向きおよび画角の設定は、試行錯誤を伴う非常に困難なものとなる。カメラの距離の設定に、選ぶだけのものと、座標や向きなどのパラメータを追加するものとが混在すると、一貫性がなくわかりにくいいため、DMD システムでは、1 人のキャラクタを撮影するカメラの距離は、クローズショット (CS)、ミディアムショット (MS)、フルショット (FS) の 3 種類とした。

ロングショット (LS) は、カメラを置く位置を指定しなければならないが、場面を説明する最初のショットとして必須であるため、シーン設定で予め配置する 2 種類の定点カメラを用い、LS1、LS2 とした。2 種類の定点カメラを用意した理由は、シーンの導入ショットと、同じシーンにおける話題転換などの際に挿入するブリッジングショットとして用いることができるためである。3 種類以上のロングショットも可能であるが、シーン設定でのカメラ配置に時間がかかり過ぎるため最大 2 種類としている。シーン設定で LS1 の定点カメラのみ設定することで、1 種類のみ用いる利用方法も可能である。

さらに、2 人のキャラクタの全身を映すツーショット (2S) の 1 種類、3 人以上のキャラクタの全身を映すグループショット (GS) の 1 種類を追加した。2S、GS を導入した理由は、LS を使って、2 人以上のキャラクタを映すことが、カメラの位置・向きおよび画角とキャラクタの位置・向きの相対関係を把握しなければできないため、一般のユーザには試行錯誤を伴う困難な作業であるためである。シーン冒頭では、基本文法 2 に示すように、キャラクタの空間的關係を説明するため LS を使うと良いが、シーンとなるセットごとに様々な LS を撮影するカメラの配置が考えられるため、

図 8 DMD システムのカメラの配置
Camera Position of DMD System.

LS のカメラの配置を予めシーン設定で設定しなければならない。予めシーン設定をせずにシナリオから制作することができるよう、状況を説明するショットとして、2 人または 3 人以上のキャラクタを FS で撮影するツーショット (2S) とグループショット (GS) を用いることもできる。

さらに、「歩く」などキャラクタが別の場所へ移動する場合に、画面からキャラクタが見えなくなり、状況が把握できなくなることがあるため、移動するキャラクタを追いながら撮影するパン (PAN) カメラを用意する。

カメラは、動作や表情などと異なり、ショット毎に必ず指定しなければならない。毎回すべての距離、方向、アングルの組合せである 168 通りのメニューから選択することは制作効率が悪くなることから、TVML による CG 映像を制作するプロの制作者に TVML 映像制作の経験から選択して頂いた 48 通り (表 1 参照) に PAN を加えた 49 の組合せを用いることとした。48 通りの組合せの理由は、主観的なものであるが二つある。第一の理由は、俯瞰で FS、あおりで MS が映像の中のキャラクタのバランスが良いためである。第二の理由は、2S、GS で右前、左前、右後、左後からの撮影では、カメラと各キャラクタとの距離と各キャラクタの身長組合せによってバランスが悪くなるためである。

PAN 用のカメラは、予めシーン設定で設定した PAN 専用カメラの位置から任意のキャラクタの動作前の位置へ向き、キャラクタの歩行動作などを追従して方向を変化させる。

5. カメラワーク遷移制御モデル

5.1 カメラワーク操作の分析

カメラワーク遷移制御モデルを構築するために、日常的に映像制作を行っているユーザ (プロ) 1 名と初めて映像を制作するユーザ (初心者) 9 名の実際のカメラワーク操

表 1 DMD システムのカメラ配置の組合せ
Combination of Camera Position of DMD System.

距離	方向	アングル
CS,MS,FS	正面, 右前, 右横, 右後, 背面, 左後, 左横, 左前	水平
2S,GS	正面, 右横, 左横	
LS1	任意の一方	
FS	正面, 右前, 右横, 右後, 背面, 左後, 左横, 左前	俯瞰
LS2	任意の一方	
MS	正面, 右前, 右横, 右後, 背面, 左後, 左横, 左前	あり

表 2 共通シナリオの要件
Requirements of Common Scenario.

	シナリオ条件
場所	1カ所 (校庭の片隅)
登場人物	2名 (体育会系教師, 校長先生)
台詞	15 シナリオ行
ト書き	3 シナリオ行

表 3 制作コンテンツの詳細
Contents Description for Analysis.

種類	プロ	初心者				システム能力
		合計	平均	最大	最小	
ページ数	1	10	1.1	2	1	任意
シーン数	1	9	1	1	1	任意
使用セット数	1	1	1	1	1	29
シナリオ行数	39	122	13.6	15	13	任意
ショット数	20	92	10.2	15	7	任意
使用キャラクタ数	2	2	2	2	2	34
カメラ設定回数	23	99	11.0	15	7	シナリオ行数
使用カメラ数	8	31	7.4	12	3	49
動作設定回数	18	66	7.3	14	3	シナリオ行数
使用動作数	8	20	5.8	10	2	62
表情設定回数	8	74	8.2	14	3	シナリオ行数
使用表情数	4	5	3.0	4	2	5

作の分析を行った。ユーザは、最初に表 2 に示す要件の共通シナリオを提示された後、DMD システムを用いて 3 次元 CG アニメーションを制作した。

制作したアニメーションの詳細を表 3 に示す。DMD のシナリオはページとシナリオ行から構成される。基本は 1 シーンを 1 ページで構成するが、複数のページに分割することもできる。また、1 ショットは 1 シナリオ行以上から構成される。例えば、一つのシナリオ行に、表情 (笑う)、台詞 (おはよう)、動作 (歩く) を同時に入力すると、「笑いながら、『おはよう』と言いながら、歩き出す」アニメーションが生成される。入力を複数シナリオ行に分けて、第 1 シナリオ行に表情 (笑う)、第 2 シナリオ行に台詞 (おはよう)、第 3 シナリオ行に動作 (歩く) と入力すると、「笑った後、『おはよう』と言い、その後歩き出す」アニメーションが生成される。

DMD システムは、図 8 に示すように、シナリオ入力で主語を選択する各シナリオ行の「誰」の選択メニューから選択する動作主に対応するキャラクタからの相対位置にカメラを配置する。

例えば、図 3 に示すような 2 人の対話において、男性を撮影するカメラは男性から見て右前のカメラであり、女性を撮影するカメラは女性から見て左前のカメラとなる。関心のラインの同じ側にあるカメラであっても、シナリオが

次のシナリオ行に進み主語が変わると新しい主語に対応するキャラクタからの方向は左右逆転する。

さらに、このカメラ方向の左右逆転は、2 人のキャラクタの配置によっても起こる場合と起こらない場合がある。図 9 に、2 人のキャラクタ配置のバリエーションを示す。例えば、対面の場合はカメラ方向の左右逆転が起こるが、背面の場合には起こらない。

本提案では、表 4 に示すように、カメラ方向の左右逆転が起こるカメラ遷移パターンを CT1、カメラ方向の左右逆転が起こらないカメラ遷移パターンを CT2 とし、動作主の変化とキャラクタの配置の双方を考慮した状態遷移モデルを抽出した。例えば、図 9(a) に示すようにキャラクタが対面の場合、男性キャラクタの右前から、女性キャラクタの左前へとカメラ方向が遷移するので CT1 となる。図 9(e) に示すようにキャラクタが背面の場合、男性キャラクタの左前から、女性キャラクタの左前へとカメラ方向が遷移するので CT2 となる。また、図 9(c) や図 9(e) で、男性キャラクタの左前から、意図をもって男性キャラクタへカメラワーク遷移する場合は、LS を挟むなどするため CT2 となる。

表 2 に示す要件の共通シナリオをプロが実際に制作した際のカメラワーク操作から抽出したカメラワーク遷移を二つのカメラ遷移モードごとに示す。

図 10 および図 11 に、それぞれカメラ遷移モード CT1 および CT2 におけるプロの実際のカメラワーク操作から抽出した、連続する二つのショット間のカメラワーク遷移

図 9 2 人のキャラクタ配置

Spatial Placement of Two Characters.

表 4 カメラ遷移モード
Camera Transition Mode.

配置	動作主が変わる	動作主が変わらない
対面		
並行 (同方向)	CT1	CT2
直角		
背中合せ		
並行 (逆方向)	CT2	CT2
背面		

を有向グラフで示す。カメラワークは CT1, CT2 を跨いで遷移することもある。例えば、図 10 の F は、図 11 の F から遷移する。各ノードはカメラ方向を表し、ノード間の矢印（エッジ）は遷移の方向を表す。エッジに付与するラベルは、カメラ方向遷移頻度と、「/」の後に、それぞれ CS, MS, FS, 2S, GS に対応する五つのカメラ距離遷移頻度を表す。開始ノードは start, ロングショットは LS とし、その他 8 方向をノードとする。start からの遷移は、シーンの冒頭ショット（前のショットがない場合）への遷移を表し、動作主が未設定から任意の動作主へのショット間のカメラ距離遷移とみなし CT1 にのみ存在する。ロングショットは通常カメラ距離として扱うが、カメラ方向においても関心のラインの変更や、同じ方向の繰り返しに変化を与える場合などに挿入するブリッジングショットとしての機能があるため、カメラ方向遷移の一つのノードとして含め LS と表記する。また、LS や PAN へ集まるエッジにおいては、距離が固定になり距離遷移は発生しないため、「/」以降は記述しない。

図 10 からは、基本文法 3 に定義する関心のラインを超えずにカメラを配置し、基本文法 4 の (1) に定義する”内側からのリバースショット”を実現する右前 (FR) と左前 (FL) の切り返しが確認できる。

図 11 からは、逆に、右前 (FR) と左前 (FL) を切り返さず、ロングショット (LS) をブリッジとして他の方向へ遷移するブリッジングショットが確認できる。また、図 10 と図

図 10 プロのカメラワーク遷移 (CT1)
Camera Transition of Professional User (CT1).

図 11 プロのカメラワーク遷移 (CT2)
Camera Transition of Professional User (CT2).

図 12 初心者のカメラワーク遷移 (CT1)
Camera Transition of Novice User (CT1).

図 13 初心者のカメラワーク遷移 (CT2)
Camera Transition of Novice User (CT2).

11 のいずれからでも、基本文法 2 に定義される冒頭ショットで空間を説明するロングショット (LS) が選択されている。

次に、表 2 に示す要件の共通シナリオを初心者 9 名が実際に制作した際のカメラワーク操作のカメラワーク遷移の合計を二つのカメラ遷移モードごとに、それぞれ図 12 および図 13 に示す。

CT1 と CT2 のカメラワーク遷移は、基本文法 3 に違反するかどうかの判定を行う分類としても機能する。具体的には、CT1 で左から左、または右から右への遷移、CT2 で左右逆転する遷移が違反となる。

図 12 において、右前 (FR) から右前 (FR)、左前 (FL) から左前 (FL)、右 (R) から右 (R)、左 (L) から左 (L) への基本文法 3 に違反したカメラ方向遷移がある。対話している 2 人のキャラクターが連続するショットで同じ方向を向いてしまうため、2 人のキャラクターが対話しておらず、全く別の第 3 者と対話しているような混乱をきたしている。この間違いに対しては、それぞれ、右前 (FR) から左前 (FL)、左前 (FL) から右前 (FR)、右 (R) から左 (L)、左 (L) から右 (R) への正しいカメラ方向遷移を推薦する必要がある。

また図 13 において、左 (L) から右 (R) への基本文法 3 に違反したカメラ方向遷移がある。同じキャラクターが次のショットで反対の方向を向いてしまうため、キャラクターがどの方向へ向かって誰と対話しているのか分からなくなっている。この間違いに対しては、左 (L) から左 (L) への正しいカメラ方向遷移を推薦する必要がある。

これらの遷移は、適切に切り返しの方向を推薦することにより、視覚連続性を保つことが可能となる。

5.2 カメラワーク遷移制御モデルの構築

5.1 節における実際のカメラワーク分析から抽出された実際に使用されている映画文法をルール化し、カメラワーク遷移制御モデルを構築する。

映画文法のうち、受け手の混乱を避けるために守るべき文法と、作品を介して伝えようとするメッセージの表現のための文法とに分離する。カメラの方向の決定は、受け手に適切に伝えるために制作者が意識しなくても守られるべきである。それに対し、構図を決定するカメラの距離は、表現したい内容に応じて何を選ぶか制作者に委ねられるべきである。本論文では、暗黙に決定するカメラ方向を状態系列、制作者とインタラクティブに構図制御を行うためのカメラ距離をシンボル系列として、隠れマルコフモデルを用いてモデル化するカメラワーク遷移制御モデルを提案する。

カメラワーク遷移制御モデルは、カメラ遷移モードによって2種類構築する。カメラワーク遷移制御モデルは、ユーザがDMDシステムにシナリオを入力する度に、主語に設定する動作主の変化と、前後のシナリオ行の主語に対応するキャラクターの配置に基づき選択される。

5.1節におけるプロの実際のカメラワーク遷移から主要な遷移部分を抽出する。

カメラワーク遷移は、カメラ方向をノード、カメラ方向遷移をエッジとし、カメラ方向遷移頻度をエッジの重み付けとした有向グラフとして捉えることができる。このとき、任意のノードからの遷移について、遷移頻度が少ないノードを削除し、遷移頻度が多いノードのみで有向グラフを再構築することにより、カメラワーク遷移の主要部を抽出する。

各ノードからの遷移頻度は、ノードから外へ向かうエッジの頻度の合計となる。図10に示す有向グラフの場合、各ノードの遷移頻度は、それぞれstartが1、Fが1、LSが5、FRが3、FLが2、Reが1となる。カメラワーク遷移グラフから、遷移頻度が最低の1であるノードstartとFおよびReのうちstart以外を削除して、カメラワーク遷移制御モデルの基本部分とする。

カメラワーク遷移モデルの汎用性を高めるため、新たに12名のプロのカメラワーク遷移グラフから、同様の方法で基本部分を抽出して、カメラワーク遷移制御モデルの基本部分に追加し、カメラワーク遷移制御モデルを構築した。

図14および図15に、それぞれ、カメラ遷移モードCT1およびカメラ遷移モードCT2の場合における12名のプロのカメラワーク遷移をマージしたカメラワーク遷移グラフを示す。

図14において、右横(R)から右前(FR)、右前(FR)から右横(R)、左横(L)から左前(LR)、右後(ReR)から右前(FR)、右前(FR)から、右後(ReR)、右横(R)から右横(R)、右前(FR)から右前(FR)の七つのカメラ方向遷移が、基本文法3に反していた。また、図15において、左前(FL)から右前(FR)の一つのカメラ方向遷移が、同様に基本文法3に反していた。これは、新たなプロ12名のスキルにばらつきがあることが考えられ、それぞれの頻度が1と低いため該当するエッジを削除した。

続いて、カメラワーク遷移制御モデルの基本部分の抽出と同様に、それぞれのカメラワーク遷移グラフから基本部

図14 プロのカメラワーク遷移 (追加)(CT1)
Another Camera Transition of Professional User(CT1).

図15 プロのカメラワーク遷移 (追加)(CT2)
Another Camera Transition of Professional User(CT2).

分を抽出した。図14および図15において、遷移頻度が2以下のノードを削除した。削除したノードとその遷移頻度は、図14において、Reが0、ReLが0、PANが2、図15において、Rが0、Lが1、FRが1、FLが1、PANが2となる。

カメラワーク遷移制御モデルの基本部分と、新たなカメラワーク遷移グラフの基本部分を合わせてカメラワーク遷移制御モデルを構築した。

図16および図17に、このようにして抽出したカメラ遷移モードCT1およびCT2におけるそれぞれのカメラワーク遷移制御モデルを示す。

構築したカメラワーク遷移制御モデルには、右前(FR)から左前(FL)、左前(FL)から右前(FR)への遷移(基本文法3)、ロングショット(LS)から正面(F)/右前(FR)/左前(FL)/左横(FL)、正面(F)/右前(FR)/左前(FL)/右横(R)/左横(L)からロングショット(LS)への遷移(基本文法2)が含まれている。カメラワーク遷移状態は、ロングショット(LS)、正面(F)、右前(FR)、左前(FL)、右横(R)、左横(L)が中心となっており、内側からのリバースアングル、平行位置、直角位置、共通の視軸のカメラ配置(基本文法4の(1)(3)(4)(5))が含まれる。また、キャラクター配置によってはCT2のカメラワーク遷移がシーン冒頭ショットに適用される場合があるため、CT1のstartから

図 16 カメラワーク遷移制御モデル (CT1)
A HMM Model for Camerawork Transition Control(CT1).

図 17 カメラワーク遷移制御モデル (CT2)
A HMM Model for Camerawork Transition Control(CT2).

の遷移を CT2 の遷移に追加した。

図 16 および 図 17 において、エッジに付与するカメラ距離遷移の出力確率は初期値を示す。

カメラワーク遷移確率 $P(C, O)$ は、式 (1) に示すように、カメラ方向遷移確率 $P(o_i|o_{i-1})$ と、各カメラ方向におけるカメラ距離遷移確率 $P(c_i|o_i)$ の積で表される。式 (1) において、カメラ距離列 $C = c_1, \dots, c_n$ をシンボル系列、カメラ方向列 $O = o_1, \dots, o_n$ を状態系列とする。

$$P(C, O) = \prod_{i=1}^n P(o_i|o_{i-1})P(c_i|o_i) \quad (1)$$

式 (1) を用いて、ユーザが実際に操作した履歴を基に学習し、カメラワーク遷移のエッジの出力確率を更新することにより、より個人の嗜好に合わせたカメラワーク遷移モデルの構築が可能である。

6. 制作効率評価実験

6.1 DMD システムへの実装

我々は、PC 上で動作する DMD システムに、提案するカメラワーク遷移制御モデルを実装した。

カメラワーク遷移制御が OFF の場合、図 18 に示すように、カメラ設定メニューには、固定リストとして 49 種類のカメラワークが提示される。カメラワークを設定するには制作者がシナリオ行毎にカメラを指定する必要がある、制作者がカメラを指定しない場合はデフォルトカメラ（正面からの FS）になる。

カメラワーク遷移制御が ON の場合、図 19 に示すように、カメラ設定メニューには、固定リストの上にシステムが推薦するカメラワーク（図中太字）が追加され、第一推薦カメラが自動的に設定される。なお、カメラ設定メニュー

図 18 カメラワーク設定メニュー（カメラワーク遷移制御 OFF）
A Menu of Camerawork Setting(Manual).

図 19 カメラワーク設定メニュー（カメラワーク遷移制御 ON）
A Menu of Camerawork Setting(Auto).

表 5 作品時間と制作時間
Duration of Movie and Operation.

種類	A グループ			B グループ			全員 平均
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
作品時間 [秒]	78.5	393	13	81.8	220	17	79.2
制作時間 [分]	104.5	200	10	97.4	184	30	102.9

では、CS をアップ、MS をウェストと表記している。

6.2 実験

ムービー塾において、カメラワーク遷移制御を行わないシステムを使用する制作者（A グループ）と、カメラワーク遷移制御を行うシステムを使用する制作者（B グループ）の双方について、DMD システムを用いた実際の 3 次元 CG アニメーション自由制作を行い、カメラワーク遷移制御の有無が制作効率に与える影響を評価した。

各制作者は、図 20 に示す制作作業の流れを繰り返し行う。図 20 において、点線で囲まれた項目は作業しなくてもよい項目である。

各制作者の操作ログとして、操作時間、操作項目と選択または入力した値を記録し、各操作毎に直前の操作時間からの時間差を現在の操作にかかった制作時間とした。ただし、再生およびプレビューについては、現在の操作からシステムが受け取る再生およびプレビュー終了のイベントまでの時間を、台詞については、シナリオライン毎に入力を始めてから終わるまでを、それぞれ制作時間とした。

制作者は、2006 年 5 月より 12 月まで 22 回のムービー塾の参加者から操作ログが抽出できた 363 名（A グループ 283 名、B グループ 80 名）を対象とした。制作者は、約 2 時間 DMD システムを使用した映像制作講義を受けたあと、約 2 時間の自由制作を行った。カメラワーク遷移制御 ON/OFF の選択は制作者が自由に設定した。

作品の時間および制作時間を表 5 に、制作したアニメーションの内容の詳細を表 6 に示す。

図 20 制作作業の流れ
Operation Flow of Creation.

表 6 実験における制作コンテンツの詳細
Contents Description for Evaluation.

種類	A グループ			B グループ			全員 平均
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
ページ数	3.2	20	1	3.3	17	1	3.2
シーン数	2.3	11	1	2.4	15	1	2.3
使用セット数	2.0	7	1	2.1	7	1	2.0
シナリオ行数	18.7	109	3	18.1	63	4	18.6
ショット数	17.1	101	3	16.3	61	4	17.0
使用キャラクタ数	3.8	13	1	3.6	13	2	3.7
カメラ設定回数	15.2	95	1	15.1	53	2	15.2
使用カメラ数	7.6	21	1	6.3	20	1	7.3
動作設定回数	13.4	53	0	12.3	48	0	13.2
使用動作数	8.2	21	0	7.3	25	0	8.0
表情設定回数	11.4	48	0	12.4	62	0	11.6
使用表情数	3.3	5	0	3.1	5	0	3.3

7. 実験結果

7.1 制作効率評価

全制作時間は 2 時間前後に集中する傾向が出た。これはユーザが、約 2 時間の演習時間の中で制作を行うためである。ここでは、操作ごとの制作時間と操作回数を用いて制作効率を評価する。

なお、本実験では、基本文法の効果を測定するため、式 (1) を用いたカメラワーク遷移のエッジの出力確率の更新は行っていない。

図 21 操作別操作回数 (平均)
Average Frequency of each Operation.

図 21 に、各ユーザの操作別の操作回数の平均を、A グループの操作回数が多いものから順に示す。A グループにおいて、操作回数が多い操作は、プレビュー、台詞、カメラの操作である。A グループ各ユーザの平均の全操作回数 (362.5 回) に対する割合は、それぞれ 21.1 % (76.6 回)、13.6 % (49.2 回)、12.4 % (44.8 回) となり、この三つの操作だけで全体の 47.1 % を占める。B グループでは、A グループに比べ、ユーザ 1 人あたりのカメラの平均操作回数が 44.8 回から 28.7 回へ 35.9 % 減少した。また、プレビューの平均操作回数が 76.6 回から 65.6 回へ 14.4 % 減少した。

図 22 に、各ユーザの操作別の操作時間の平均を、A グループの操作時間が長いものから順に示す。A グループにおいて、操作時間が長い操作は、プレビュー、シーン設定、台詞である。A グループユーザの平均の全操作時間 (104.5 分) に対する割合は、それぞれ 23.8 % (24.8 分)、22.2 % (23.2 分)、20.8 % (21.7 分) となり、この三つの操作だけで全体の 66.6 % を占める。

B グループでは、A グループに比べ、カメラ操作時間が、8.8 分から 6.1 分へ 30.7 % 短縮し、シーン設定操作時間が、23.2 分から 18.9 分へ 18.5 % 短縮した。アニメーションの部分または全体を再生するプレビュー時間は、24.9 分から 22.5 分へ 10.0 % 短縮した。

また、操作時間の合計が 95.5 分から 91.0 分へ 4.7 % 短縮しているにもかかわらず、台詞の操作時間は 21.7 分から 24.9 分へ 14.7 % 増加している。

カメラワーク遷移制御を行うユーザは、セットの中にロングショット用のカメラや登場するキャラクタの位置と方向を指定するシーン設定や、カメラ操作といった演出設定による映像の見せ方よりも、シナリオ自体の制作に重点を置く傾向があると考えられる。

7.2 カメラワーク遷移制御の効果評価

カメラワーク遷移制御の有無が、制作に対してどのような効果があるか評価する。

ユーザが採用した各ショットのカメラワークが基本文法 3 および基本文法 4 に適合している率を適合率として、各適

図 22 操作別制作時間 (平均)
Average Duration of each Operation.

図 23 適合率に対するユーザ数割合の分布
Distribution of Number of Users per Precision.

表 7 適合率の平均値, 中央値および分散
Average, Median and Variance.

統計量	A グループ	B グループ
平均値	82.5 %	88.3 %
中央値	86.4 %	92.1 %
分散	0.027	0.018

合率におけるユーザ数の割合を用いて評価する。図 23 に、適合率を 10 のクラスに分割し、各クラスに分布するユーザ数を全ユーザ数に対する割合で示す。図 23 において、B グループの方が高い適合率にユーザ数割合がより多く分布している。

適合率の平均値, 中央値および分散を, 表 7 に示す。カメラワーク遷移制御を行うことにより、ユーザが採用するカメラワークの適合率の中央値が 86.4 % から 92.1 % へ 6.7 % 高適合率へ移動し、平均値が 82.5 % から 88.3 % へ 7.0 % 向上した。

また、作品に対する効果評価基準として、基本文法 3 に適合しないショットの割合を比較した。前後のショットにおいて、基本文法 3 に適合しないショットを、カメラが関心のラインを超えるショットとする。

図 24 に、対話する 2 人のキャラクターの配置ごとに、基本文法 3 に適合しないショットの割合を示す。全配置において、基本文法 3 に適合しないショットの割合は減少し、平均で 9.9 % から 4.8 % へ減少した。また、配置が対面の場合に、平均で 15.2 % から 6.1 % へ最も大幅に減少した。

図 24 基本文法 3 に適合しないショットの割合
Rate that violates Grammar of Film Language.

合に、平均で 15.2 % から 6.1 % へ最も大幅に減少した。

8. む す び

本論文では、3 次元 CG アニメーションを簡単かつ効果的に制作するために、映画文法に適合したカメラワークを自動設定し、かつ制作者がインタラクティブに構図を変更できるカメラワーク遷移制御方式を提案した。提案方式では、カメラワークを、適切な視覚連続性を保つために必要なカメラ方向と、制作者の表現の自由度として提供するカメラ距離とに分離し、それぞれを状態系列とシンボル系列として、隠れマルコフモデルを用いてモデル化した。

本モデルは、1 ショット前のキャラクターの配置に応じて、カメラワーク遷移を制御するため、任意の大きさのセット、任意のキャラクター配置に適用できる汎用的なモデルである。

DMD システムを用いた一般のユーザ 363 名による 3 次元 CG アニメーション制作を行い、提案方式の有無による制作効率および効果を検証した。

検証結果は、提案方式が、カメラ設定の操作回数を 35.9 % 削減し、操作時間を 30.7 % 短縮することを示した。

提案方式を用いた場合に、操作時間の合計が 4.7 % 短縮しているにも関わらず、台詞の操作時間が 14.7 % 増加しており、シナリオ制作という創造性を発揮する作業に対する制作時間が増加する傾向を示した。

また、本方式により、ユーザが採用するカメラワークの適合率が改善し、適合率の平均値および中央値がそれぞれ 6.7 % および 7.0 % 改善する効果を示した。さらに、映画文法に適合しないショットの割合を 9.9 % から 4.8 % に抑える効果を示した。映画文法に適合しないショットの減少により、映像を見る視聴者のわかり易さを改善し、映像の質向上が図られた。

本提案方式により、一般の制作者が映画文法を意識しなくても、視覚連続性を保ちながら表現意図を反映した映像を制作できるカメラワーク設定支援が行えることを示した。

今後の課題は、制作者の操作履歴を用いたカメラワーク遷移制御のパーソナライズと制作効率改善が挙げられる。

〔文 献〕

- 1) 青木輝勝, 安田浩. 新映像制作システム DMD とその制作工程. 情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス研究会研究報告 2006-GN-060, pp.43-48(2006)
- 2) Daniel Arijon. Grammar of the Film Language. Hastings House Publishers, New York(1976)
- 3) Jeremy Cantor and Pepe Valencia. 3D ショートフィルム制作ガイド. ボーンデジタル (2005)
- 4) David B. Christianson and Sean E. Anderson and Li-wei He and David H. Salesin and Daniel S. Weld and Michael F. Cohen. Declarative Camera Control for Automatic Cinematography. AAAI'96, National Conference on Artificial Intelligence, pp.148-155(1996)
- 5) Steven M. Drucker and David Zeltzer. Camdroid: A System for Intelligent Camera Control. SI3D'95, Symposium on Interactive 3D Graphics, pp.139-144, ACM Press(1995)
- 6) 江村恒一, 青木輝勝, 安田浩. DMD システムを用いた3次元 CG アニメーション制作の評価. 情報処理学会 グラフィックスと CAD 研究会研究報告 2006-CAD-122, pp.99-104(2006)
- 7) Masaki Hayashi and Hirotada Ueda and Tsuneya Kurihara and Michiaki Yasumura. TVML (TV program Making Language)-Automatic TV Program Generation from Text-based Script. Proceedings of Imagina, 99, pp.122-133(1999)
- 8) Tsai-Yen Li and Xiang-Yan Xiao. An Interactive Camera Planning System for Automatic Cinematographer. MMM2005, International Multimedia Modelling Conference, pp.310-315(2005)
- 9) Li-wei He and Michael F. Cohen and David H. Salesin. The Virtual Cinematographer: A Paradigm for Automatic Real-time Camera Control and Directing. SIGGRAPH'96, Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.217-224, ACM Press(1996)
- 10) Marc Christie and Ramesh Machap and Jean-Marie Normand and Patrick Olivier and Jonathan Pickering. Virtual Camera Planning: A Survey. International Symposium on Smart Graphics 2005, pp.40-52(2005)
- 11) 大田篤志, 田中敏光, 大西昇. 3DCG におけるカメラワークの自動生成及び支援. 情報処理学会 グラフィックスと CAD 研究会研究報告 2004-CAD-101, pp.61-66(2000)

えむら こういち
江村 恒一 1991 年, 上智大学理工学部電気電子工学科卒業. 同年, 松下電器産業株式会社入社. 以来, ATM を用いたビデオ・オン・デマンドシステム, MPEG-7 コンテンツ記述を用いたコンテンツ適応配信システム, コンテンツ創成・流通技術の研究開発に従事. 2004 年 6 月～2007 年 3 月まで, 東京大学先端科学技術研究センター協力研究員. 正会員.

あおき てるまさ
青木 輝勝 1998 年東京大学大学院電子工学専攻博士課程修了. 同年, 東京大学先端科学技術研究センター助手. 2002 年, 同講師. 2007 年, 東北大学電気通信研究所/情報科学研究科准教授. インターネット高速高機能化技術, コンテンツ著作権管理保護技術, 立体映像の創生・編集・検索・配信技術等の研究に従事. 博士 (工学). 正会員.

やすだ ひろし
安田 浩 1967 年, 東京大学工学部電子科卒業, 1972 年, 同大学院博士課程修了. 工学博士. 同年, 日本電信電話公社入社. 理事・NTT 情報通信研究所所長を経て, 1997 年, 東京大学教授, 先端科学技術研究センター所属. 1998 年 4 月より同大学 教授, 国際・産学共同研究センター所属. 2003 年 4 月～2005 年 3 月まで, 同センター センター長. 2007 年, 東京電機大学教授, 東京大学名誉教授. 現在, 画像処理・画像符号化・知的財産権保護技術, ユビキタス環境におけるコンテンツ創成・流通および情報セキュリティ技術の研究ならびに感性工学研究に取組中. 正会員.