観賞条件に適合した CG 映像の生成方法に関する基礎的検討

A Fundamental Study of Techniques for Creating CG Contents Adaptable to Specific Viewing Conditions

学生会員 井ノ上 寛人[†], 島村 寿江[†], 正会員 佐藤 美恵[†],
郭 素梅^{††}, 正会員 小黒 久史^{†††}, 正会員 春日 正男[†]

Hiroto Inoue[†], Hisae Shimamura[†], Mie Sato[†], Sumei Guo^{††}, Hisashi Oguro^{†††} and Masao Kasuga[†]

Abstract It is difficult for amateurs to set up a proper camera path in a 3-dimensional computer graphics (CG) space. The viewing condition also changes the proper camerawork. For example, a large viewing angle and screen size provides a dynamic impression. We studied the relation between the camerawork and viewing condition for this paper. As a result, we found that slightly curved paths enriched the quality of expression, and linear or very curved paths provide interesting and dizzy impressions at large viewing angles and big screen sizes. However, acrobat camerawork should be used when the screen size is small. These discussions state that controlling the camerawork is useful for creating video contents adaptable to specific viewing conditions.

キーワード: コンピュータ・グラフィックス, カメラワーク, 観賞条件, 主観評価実験, 感性

1. ま え が き

近年, CG (Computer Graphics) や VR (Virtual Reality) に関する分野の発展は目覚ましく, これらの技術は, 映像コンテンツの開発に広く用いられるようになった. CG 映像の需要は, 映像表示デバイスの普及などに伴い, 今後増加傾向にあると考えられる. そのため, CG 映像の効率的な生産が開発者側に要求されている.

CG 映像は, 情景を表現したデータセットに, カメラワークを設定することで生成される. カメラワークは, 映像の品質を左右する重要な要因の一つである. 例えば, テレビカメラマンの撮影操作は, その熟練度によって異なることが報告されている¹⁾. しかし, CG カメラワークの設定には, 多くのパラメータが関係するため, 新米の映像クリエー

タにとっては, カメラパスを設定するだけでも困難な作業である. そこで, CG 映像の開発を支援するシステムとして, CG カメラを自動制御する技術がいくつか考案されている^{2)~5)}.

この他に, 映像コンテンツの印象を左右する要因として観賞条件があげられる. 例えば, 大画面・広視野・高解像度の観賞条件は高い臨場感を提供する⁶⁾. しかし, 映像コンテンツは, 一般に様々な条件下で観賞される. HDTV (High-Definition Television) の推奨観視距離は, 視力 1.0 の観賞者にとって走査線が見えない画面高 H の 3 倍とされている⁷⁾⁸⁾ が, 家庭におけるテレビの観視距離は, 画面サイズと相関性を持たないことが報告されている⁹⁾. また, 画面サイズが大きいき, 感性的な評価が最も高くなる観視距離は $3H$ よりも近いという報告もある⁸⁾¹⁰⁾. 逆に, 映像コンテンツの編集は, 縮小表示や中型表示デバイスの利用など, 市場で観賞されるよりも小画面・狭視野・低解像度の条件下で実施されている可能性がある. 携帯電話などの小型表示デバイスについては, 腕の長さなどの要因が入り込むこともあり, その観視距離が据置型の大型表示デバイスと同様になるとは考え難い. 加えて, 疲労に関する観点から, 最適な観視距離は, 映像コンテンツによって変化する可能性が指摘されている¹¹⁾.

これらの背景から, 映像コンテンツのカメラワークは, 観賞条件を想定し, 調整されることが望しいが, 関連研究^{2)~4)}における CG カメラの自動制御方法は観賞条件を考慮していない. そこで著者らは, 観賞条件に適合した CG 映像を

2010 年 11 月 30 日受付, 2011 年 4 月 14 日再受付, 2011 年 5 月 17 日採録

[†] 宇都宮大学 大学院 工学研究科

(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, TEL 028-689-6288)

^{††} 北京理工大学 珠海学院 計算機学院

(郵編 519085 中国廣東省珠海市唐家湾金鳳路 6 号)

^{†††} 凸版印刷株式会社 総合研究所

(〒112-8531 文京区水道 1-3-3, TEL 03-5840-2473)

[†] Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

(7-1-2, Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi, 321-8585 Japan)

^{††} School of Computer Science and Technology, Zhuhai Campus of Beijing Institute of Technology

(No.6 Jinfeng Road, Tangjiawan, Zhuhai, Guangdong, 519085 P.R.China)

^{†††} Toppan Technical Research Institute, TOPPAN PRINTING CO.,LTD.

(1-3-3 Suido, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8531 Japan)

生成するシステムの開発に取り組んでいる^{12)~15)}。本稿では、まず、カメラワークと観賞条件に関する評価の観点について整理した。次に、カメラパスの曲率を制御することでCG映像のカメラワークを調整する簡易なシステムを試作し、CG映像を画面サイズおよび観視画面角を変化させて主観評価する実験を行った。実験Iでは、研究の初動段階として、カメラワークと観賞条件の変化がもたらす印象について、表現の品質と演出効果の観点から評価した。実験IIでは、評価方法を改良し、より詳細に観賞条件とカメラワークの関係を検討した。結論として、カメラワークの調整による特定の観賞条件に適合したCG映像の生成方法に関する基礎的な検討を行った。

2. 観賞条件に適合したカメラワーク設計の基本方針

観賞条件に適合したカメラワークの自動生成システムを開発するにあたり、まず、注目すべき感性的な評価の観点について整理する。次に、評価実験のために開発したカメラワークの制御システムについて説明する。

2.1 カメラワークと観賞条件に関する評価の観点

カメラワークは、一般に、カメラの空間座標 (x, y, z) と、ヨー軸、ピッチ軸、ロール軸の回転角 (Y, P, R) 、および撮影画面角の7次元パラメータで記述される⁵⁾が、その評価の観点は、自然性、安定性、不快性、鈍重性、力量性など、コンテンツに応じて様々に整理され得る¹²⁾。例えば、関連研究¹⁶⁾において、カメラワークの評価因子は、連続感、鮮明感、好感、人間的などと整理されている。

ここで、カメラワークは、極めて簡素で、映像を構成する基盤となる要素と、映像効果を高めるための演出的な要素に分けて考えることができる。前述した関連研究²⁾³⁾では、面白さに注目してCGカメラワークを自動生成する方法が提案されている。別な関連研究¹⁷⁾では、撮影した実写映像を基盤に、その迫力感を増幅する効果的な編集手段が検討されている。また、著者らは、映像コンテンツの基盤を構成するCGカメラの座標値と回転角を基本パラメータとしたとき、迫力感などを高めるために修正される基本パラメータとの差分を演出パラメータと定義し、CGカメラワークを簡潔に編集する制御方法を提案した¹³⁾。このように、カメラワークに対する評価の観点は、編集する立場から、なるべく少なく、大きく二つに分けて考えると、表現の品質と演出効果に関連した印象にまとめられる。

また、超高精細・大型テレビジョン (UDW: Ultra high-Definition and Wide-screen television) 画像は、快適感と力量感で評価できることが報告されている⁸⁾。この関連研究では、快適感を「見やすい」「違和感のない」といった刺激語で、力量感を「迫力のある」「力強い」といった刺激語で評価している。そのため、大画面・広視野・高解像度といった観賞条件による快適感は、前述した表現の品質に、力量感は演出効果に類似した評価指標であり、カメラワークと観賞条件は、これら二つの観点から複合的に評価でき

図1 カメラパスの構成
A construction of camera path.

ると考えられる。

そこで、本研究では、特定の観賞条件に適合したCG映像の生成方法を検討するうえで、次の観点に注目する。

- ・ 表現の品質 (quality of expression): 自然性、見やすさ、違和感などの印象と関連する評価指標。
- ・ 演出効果 (dramatic effect): 魅力性、面白さ、迫感などの印象と関連する評価指標。

2.2 カメラワークの制御方法

著者らが開発したシステムは、情景を表現したCG空間に、映像の再生時間、始点と終点におけるカメラの座標と回転角、カメラパスの曲率を調整するパラメータを設定すると、映像をリアルタイムレンダリングして表示する。

まず、本システムにおけるカメラパスの制御方法について述べる。制御点の位置ベクトル $\vec{V}_C$ は、始点ベクトルを $\vec{V}_I$ 、終点ベクトルを $\vec{V}_T$ 、始点と終点を結ぶベクトルを $\vec{A} = \vec{V}_T - \vec{V}_I$ 、 $\vec{A}$ との直交単位ベクトルを $\vec{B} = (x_b, y_b, 0)$ 、曲率の大きさを制御するパラメータを α および β としたとき、次のように定義した。

$$\vec{V}_C = \vec{V}_I + \alpha \vec{A} + \beta \|\vec{A}\| \vec{B} \quad (1)$$

カメラパスは、これらの3点間を、区分的キュービックエルミート内挿多項式 (PCHIP: Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial) によって補完することで生成した。PCHIPは、制御点を必ず通る曲線を生成するため、ベジェ曲線などと比べ、カメラパスを単純な形状に制御し易いという利点を持つ。ここで、 $\beta = 0$ のとき、カメラパスは直線となり、 α 値は意味を為さない。図1にカメラパスの構成を示す。

次に、カメラの回転角の制御方法について述べる。本システムにおいて、始点から l だけ進んだ位置におけるカメラの回転角 (Y_l, P_l, R_l) は、カメラのロール角を0 degに固定し、始点におけるカメラの回転角を $(Y_I, P_I, 0)$ 、終点における回転角を $(Y_T, P_T, 0)$ 、カメラパスの経路長を L としたとき、次のように補間した。

図 2 CG 映像
View images of CG contents.

$$(Y_l, P_l, R_l) = \left(Y_I + \frac{Y_T - Y_I}{L} l, P_I + \frac{P_T - P_I}{L} l, 0 \right) \quad (2)$$

すなわち、カメラの回転角は、進行方向に対してロール回転せず、始点と終点における回転角を基準に、カメラの移動距離 l に対して、ほぼ線形に変化するように制御した。

なお、カメラの座標および回転角は、再生開始から 1 秒間と停止前の 1 秒間は等加速度で変化し、それ以外の区間では等速度となるように制御した。また、撮影画角は 70 deg で固定し、フレームレートは 60 f/s とした。

3. 実験 I

著者が試作したシステムは、CG 映像をカメラパスの曲率制御によって調整する機能を持つ。そこで、この機能が、観賞条件に応じて変化する CG 映像の印象を制御し得るか、主観評価実験によって確認する。実験 I では、前述した表現の品質と演出効果の観点から、観賞条件とカメラワークが異なる 40 条件で CG 映像を評価した。

3.1 評価の対象と実験環境

本実験では、撮影する方向によって複雑度が変化し難いと考えられた古代マヤ遺跡のピラミッドを主な被写体とし、その背景を地面と空で構成した情景を表す CG データセットを用いた。始点と終点におけるカメラの回転角は、画面の中央付近にピラミッドを写すように設定し、映像再生中、常にピラミッドが画面の中心に集中する構図とした。CG 映像の再生時間は 5 秒で統一した。したがって、カメラの移動速度は、カメラパスが短いほど遅くなる。CG カメラの動きは、ピラミッドから少し離れた上空を始点とし、90 deg ほどカメラが回転しながら地面に向うものを M_a 、180 deg ほど回転しながら地面に向うものを M_b とした。カメラパスは、 α 値と β 値の組合せから、1 本の直線パスと 9 本の曲線パスの計 10 本とした。 α 値は 3 段階に設定し、それぞれ $\alpha_1 = 0.30$ 、 $\alpha_2 = 0.50$ 、 $\alpha_3 = 0.70$ とした。 β 値は 4 段階に設定し、 M_a のとき、 $\beta_0 = 0.00$ 、 $\beta_1 = 0.11$ 、 $\beta_2 = 0.23$ 、 $\beta_3 = 0.34$ 、 M_b のとき、 β_0 の他に、 $\beta'_1 = 0.16$ 、 $\beta'_2 = 0.31$ 、 $\beta'_3 = 0.47$ とした。なお、式 (1) の $\vec{B}$ は、 $\vec{A}$ を挟んでピラミッドの反対側に向くように設定した。CG 映像の例を図 2 に示す。

観賞条件は、画面サイズが約 65 インチ (1428 x 804 mm, 1920 x 1080 pixel) の 100% 表示と、画面サイズが約 20 インチ (428 x 241 mm, 576 x 324 pixel) の 30% 表示を、そ

表 1 実験環境
An experimental environment.

Item	Detail
モニタの製造元と型番	SHARP, AQUOS LC-65RX1W
実験環境でのピーク輝度	114 cd/m ²
背景および仕切りの色	N5 相当
モニタ付近における鉛直面の照度	343 lx
モニタ付近における水平面の照度	143 lx

表 2 実験 I で用いた刺激語の一覧
Stimulus words for experiment I.

No.	Stimulus word	No.	Stimulus word
01	自然な (natural)	07	違和感がある (unnatural)
02	楽しい (interesting)	08	つまらない (boring)
03	見やすい (easily viewable)	09	見にくい (less viewable)
04	好き (like)	10	嫌い (dislike)
05	快適な (comfortable)	11	不快な (uncomfortable)
06	滑らかな (smooth)	12	ムラがある (non-smooth)

れぞれ観視距離 1.6 m で提示する 2 条件とした。観視画角は、100% 表示で約 48 x 28 deg、30% 表示で約 15 x 5 deg となる。観視距離は、100% 表示の観賞条件における 2H に相当し、関連研究⁸⁾¹⁰⁾において、感性的な印象を強く感じる傾向が指摘されていることから決定した。また、30% 表示の条件は、その観視画角が、縮小表示や中型から小型表示デバイスでの観賞条件を模すと考えられたことから決定した。

実験は、外光を遮断した室内に、灰色の布 (N5 相当) で覆った仕切りを設置して行った。CG 映像の提示には、65 型の LCD (liquid crystal display) モニタを用いた。評価者は、20 代の男性 12 名、女性 9 名の計 21 名とし、机の前にある椅子に座った状態で CG 映像を観賞してもらった。CG 映像の提示順序は、評価者ごとに無作為とし、それぞれの条件下で CG 映像を連続して 2 回提示した。実験環境について表 1 に示す。

3.2 質問票の構成

評価に用いる刺激語を選定するにあたり、まず、関連研究や辞書などから 915 語の刺激語を収集した。次に、これらの刺激語を、KJ 法を用いて 67 語に整理した。最後に、前述した表現の品質について評価し得ると考えられた「自然な」などの刺激語を中心に選定するとともに、演出効果を評価し得ると考えられた「楽しい」などの刺激語を補足した。実験 I で用いた刺激語を表 2 に示す。回答の選択肢は、「感じない」から「非常に」の 7 択とした。質問項目の提示順序は、質問票ごとに無作為とした。

3.3 結果および考察

(1) 主成分分析による評価指標の整理

まず、観賞条件とカメラパスの違いに対する評価の観点について整理するために、「感じない」から「非常に」の各選択肢に、0~6 点の数量得点を割り当て、Pearson の積率相関係数を用いた主成分分析を適用した。主成分分析には、固有値および固有ベクトルに基づく方法や、特異値分化に基づく方法がある¹⁸⁾。本稿では前者を利用した。主成分の負荷量行

表 3 実験 I における主成分の負荷量
Loadings of principal components in experiment I.

Item	PC 1	PC 2	Contribution
01 自然な	0.823	-0.439	0.871
02 楽しい	0.464	0.717	0.729
03 見やすい	0.868	0.159	0.778
04 好き	0.815	0.461	0.877
05 快適な	0.926	-0.024	0.859
06 滑らか	0.739	-0.397	0.703
07 違和感がある	-0.775	0.520	0.871
08 つまらない	-0.252	-0.878	0.834
09 見にくい	-0.854	-0.051	0.732
10 嫌い	-0.786	-0.288	0.701
11 不快な	-0.905	-0.071	0.824
12 ムラがある	-0.581	-0.554	0.644
Eigen Value	6.881	2.540	
Proportion	57.342	21.170	
Cumulative Prop.	57.342	78.512	

列 A の要素 a_{ij} は、標準化した m 行 n 列の行列 X の相関係数行列を R 、その固有値を $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j \geq \dots \geq \lambda_n$ 、これらの λ_j に対応する固有ベクトルを L_{ji} としたとき、次のように求められる。

$$a_{ij} = \sqrt{\lambda_j} L_{ji} \quad (3)$$

負荷量 a_{ij} は、 X の第 i 変数と第 j 主成分の相関係数を表す。平均得点行列から求められた主成分の負荷量を表 3 に示す。表 3 における下線は、負荷量の絶対値が 0.6 以上であることを示す。

表 3 から、第 2 主成分までに全情報の約 79% が示されたことから、評価の情報は主に二つの観点に整理できると考えられた。第 1 主成分 (PC 1) は、「自然な」「見やすい」などの質問項目から構成された。したがって、第 1 主成分は、カメラワークの自然性や、画面サイズ・観視画角による見やすさなど、表現の品質を表すと考えられる。また、「楽しい」と「つまらない」の質問項目は、第 2 主成分 (PC 2) にまとめられた。第 2 主成分は、面白さを表す演出的な効果の度合いを表すと考えられる。

これらのことから、表現の品質と演出効果は、カメラパスの曲率と観賞条件によって変動する評価指標として、それぞれ独立した観点で捉えられる可能性が示された。

(2) 主成分に基づいた印象変化の大まかな傾向

次に、条件による印象変化の傾向を概観するために、CG 映像に付与された主成分得点の散布図に注目した。CG 映像の主成分得点散布図を図 3 に示す。図 3 において、横軸は第 1 主成分を、縦軸は第 2 主成分を表す。白いプロット点 (○, △) は 100% 表示の条件で観賞された CG 映像を、黒いプロット点 (●, ▲) は 30% 表示の条件で観賞された CG 映像を示す。また、これらのプロット点の分布範囲を凸包で示す。なお、プロット点の形状は β 値の違いを表す。

観賞条件の違いに注目すると、白いプロット点の分布は、黒いプロット点に比べて、図 3 の右斜め上方向に広がっていることが確認できる。したがって、100% 表示の観賞条件は、30% 表示の観賞条件に比べ、表現の品質が高いうえ、

図 3 主成分得点散布図

A scatter plot of principal component scores.

強い演出効果を与える傾向がある。また、カメラパスの違いに注目すると、丸いプロット点は、三角のプロット点に比べ、図 3 の右斜め下方向に広がっていることが確認できる。そこで、 β 値を外的基準とした線形判別分析を適用した。 β 値が小さい $\beta_0, \beta_1, \beta'_1$ を β_L のグループ、 β 値が大きい $\beta_2, \beta'_2, \beta_3, \beta'_3$ を β_H のグループとし、第 2 主成分までの得点行列に判別分析を適用した結果、その正判別率は 82.5% ($p < 0.05$) となった。図 3 における点線は、 β 値の大小を外的基準とする判別直線を表す。なお、 α 値によって影響を及ぼされる印象は確認できなかった。

以上のことから、主成分得点に基づいた印象変化の大まかな傾向は、図 3 から次のように整理できる。

- A) 画面サイズと観視画角が大きくなると、表現の品質および演出効果が高まる。
- B) β 値によってカメラパスの曲率が小さくなると、表現の品質が高まる。また、 β 値によってカメラパスの曲率が大きくなると、演出効果が高まる。

(3) 回答の比率パターンに基づいた評価の特徴

最後に、選択肢への回答パターンに統計的な有意差があるか確認するために、対応のある多群のデータを対象とし、その代表値の差をノンパラメトリックに比較する統計手法である Friedman 検定¹⁸⁾と、Scheffe の方法による多重比較を適用した。検定の対象とした質問項目は、表現の品質を評価する観点から「自然な」を、演出効果を評価する観点から「楽しい」を代表して選出した。なお、回答を集計したクロス表から、bipolar variable¹⁹⁾のような頻度の偏りや、頻度が零の選択肢が確認されたため、検定は、0~2 点と 4~6 点が割り当てられた選択肢を併合し、カテゴリーを三つにしてから適用した。「自然な」の質問項目におけるカテゴリーの選択比率を図 4 に示す。図 4 におけるカテゴリーは、上段の黒色の領域から順に、0~2 点が割り当てられた選択肢 (「感じない」など)、3 点が割り当てられた選択肢、4~6 点が割り当てられた選択肢 (「非常に」など) の割

図 4 実験 I における「自然な」に対する回答の比率パターン
Ratio patterns of "Natural" in experiment I.

合を表す。また、図中のアスタリスク (*) は、Friedman 検定によって代表値に有意差 ($p < 0.05$) が確認された後に、多重比較でも有意差 ($p < 0.05$) が確認された条件の組合せを表す。

図 4 (a) より、「自然な」に対する回答傾向において、カメラが 90 deg ほど回転しながら地面に向うカメラワーク M_a の条件下では、 β 値の大小による有意差が確認された。180 deg ほど回転するカメラワーク M_b では、図 4 (b) より、30%表示のとき、 β_0 と β_1 の条件間でのみ有意差が確認された。しかし、異なる観賞条件間で同じカメラワークの「自然な」印象を比較すると、その間に統計的な有意差は確認できなかった。なお、「楽しい」の質問項目については、Friedman 検定を適用した時点で、代表値の有意差を確認できなかった。

ここで、図 4 について、0~2 点が割り当てられた黒色の領域を除き、3~6 点が割り当てられた回答の選択率を併合して考えると、 β_1 および β_1' のとき、どの条件においても「自然な」印象がピークに達していることが確認できる。そのため、統計的な有意差は確認できなかったが、 β 値による「自然な」印象の変化は、単調増加・単調減少の関係にない可能性が示唆された。

4. 実験 II

実験 I では、研究の初動段階として、まず表現の品質と演出効果の観点に注目し、観賞条件に応じて変化する CG 映像の印象を、カメラパスの曲率制御によって調整できるか基礎的な検討を行った。主成分分析の結果から、カメラパスの曲率と画面サイズ・観視画角によって変化する印象は、「自然な」などに関連する表現の品質と、「楽しい」などに関連する演出効果に分けて整理できる可能性が示された。また、画面サイズと観視画角が大きい 100%表示の観賞条件は、表現の品質と演出効果を高める傾向が示された。さらに、表現の品質は、カメラパスの曲率が小さくなると、演出効果については、カメラパスの曲率が大きくなると、そ

れぞれ印象が強まる傾向が示された。

しかし、回答の比率パターンに基づく評価の特徴は、主成分分析から得られた知見と次の点で相反した。

A') 同一のカメラワークを持つ CG 映像を、異なる画面サイズ・観視画角で観賞しても、それらの印象に統計的な有意差はない。

B') β 値による印象の変化は、単調増加・単調減少の関係で説明できない。

ここで、A') の結果が現れた理由として、対象とした映像コンテンツが、ピラミッドと地面、空しか写さない極めて単調なものであったため、刺激として弱く、観賞条件による影響が評価に反映され難かった可能性があげられる。また、B') の結果が現れた理由として、回答の比率パターンから示された評価の差が微小であったため、この情報が平均値や主成分得点の算出過程で埋もれてしまった可能性があげられる。

印象の差が比較的小さな対象から、ノンパラメトリックな検定手段の適用を想定した評価情報を収集するには、選択肢の数を減らし、評価の判断に必要とされる負担を軽減することが効果的と考えられる。また、中間的な選択肢を排除することで、微妙な印象差に関する情報の収集が期待できる。そこで、実験 II では、質問項目に対する回答を 4 択にして主観評価実験を行った。

4.1 評価の対象と実験環境

実験 II では、カメラパスの曲率を制御する β 値 ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$)、カメラの鉛直方向の動きの有無 (M_0, M_1)、カメラの位置取り (P_1, P_2, P_3)、背景として設置する石柱の有無 (S_0, S_1) をパラメータとし、これらの組合せから 36 パターンの CG 映像を生成した。カメラパスは、式 (1) におけるパラメータ α の値を 0.50 で固定し、パラメータ β の値を、 $\beta_0 = 0.00, \beta_1 = 0.25, \beta_2 = 0.50$ の 3 段階に設定して生成した。また、始点と終点の位置取りから、ピラミッドに近づくカメラパスを P_1 、ピラミッドから離れていくカメラパスを P_3 、その中間のカメラパスを P_2 とした。カメラの動きについては、地面からピラミッドを見上げたまま、地面に沿ってピラミッドの前を通り過ぎるものを M_0 、ピラミッドの上空から地面に向かって下降し、ピラミッドを多面的に写すものを M_1 とした。

観賞条件は、100%表示と 30%表示の 2 条件とし、その他の実験環境も実験 I と同様に行った。評価者は、実験 I に参加していない 20 代の男性 18 名、女性 8 名の計 26 名とした。評価者の平均視力は約 0.9 であった。

4.2 質問票の構成

実験 I では、主に表現の品質に関連すると考えられた刺激語を中心に収集した。そこで、実験 II では、演出効果を評価する考えられた刺激語に関連研究などから収集し、実験 I で用いた刺激語と入れ替えた。実験 II で用いた刺激語の一覧を表 4 に示す。質問項目は、「自然な動きだと思いますか」などという形式で構成し、「思わない (1 点)」「あま

表 4 実験 II で用いた刺激語の一覧
Stimulus words for experiment II.

No.	Stimulus word	Note
01	味気ない (insipid)	Replaced
02	活発な (active)	Replaced
03	心を引きつける (attractive)	Replaced
04	楽しい (interesting)	
05	迫力のある (dynamic)	Replaced
06	臨場感のある (presence)	Replaced
07	好きな (likeness)	
08	快適な (comfortable)	
09	自然な (natural)	
10	滑らかな (smooth)	
11	乱れた (disordered)	Replaced
12	酔いそうな (dizzy)	Replaced

り思わない (2点)」「やや思う (3点)」「思う (4点)」で回答する4択とした。質問項目の提示順序は、質問票ごと無作為とした。

4.3 結果および考察

(1) 主成分分析による評価指標の再整理

まず、評価の観点から、実験 I と同様に、表現の品質と演出効果に大別されるか確認するため、素点行列に Spearman の順位相関係数を用いた主成分分析を適用した。負荷量の算出には式 (3) を用いた。主成分の負荷量を表 5 に示す。表 5 における下線は、負荷量の絶対値が 0.6 以上であることを示す。

表 5 より、第 3 主成分までに全体の約 69% の情報が示された。第 1 主成分 (PC 1) は、「楽しい」「心を引きつける」「迫力のある」などの質問項目によって構成されたため、観賞者の興味・関心を惹き付ける演出効果を評価した合成指標と考えられる。第 2 主成分 (PC 2) は、「自然な」「滑らかな」などの質問項目から構成されたため、表現の品質を表す評価指標と考えられる。また、「酔いそうな」は、第 3 主成分 (PC 3) と高い相関性を示した。したがって、映像酔いに関連する評価の観点は、表現の品質や演出効果とは、やや異なる評価指標である可能性が示された。

以上のことから、カメラワークと観賞条件に対する評価の観点は、表現の品質、演出効果に加え、映像酔いに関連する三つの印象に整理できると考えられる。

(2) 回答の比率パターンに基づいた評価の特徴

次に、Friedman 検定と Scheffe の方法による多重比較を用いて、各々の条件間における評価の差を統計的に確認した。検定は、実験 I と同様に、「自然な」と「楽しい」の質問項目に加え、第 3 主成分を単独で構成した「酔いそうな」を対象とした。選択肢に対する回答の割合を図 5 に示す。図 5 におけるカテゴリーは、上段の黒色の領域から順に、「思わない」「あまり思わない」「やや思う」「思う」の選択率を表す。また、図中のアスタリスク (*) は、Friedman 検定によって代表値に有意差 ($p < 0.05$) が確認された後に、多重比較でも有意差 ($p < 0.05$) が確認された条件の組合せを表す。

図 5 (a) より、「自然な」印象は、100%表示のとき、 β_1

表 5 実験 II における主成分の負荷量
Loadings of principal components in experiment II.

Item	PC 1	PC 2	PC3	Contribution
01 味気ない	<u>-0.762</u>	0.302	0.120	0.687
02 活発な	<u>0.705</u>	-0.331	-0.072	0.612
03 心を引きつける	<u>0.865</u>	-0.032	-0.131	0.766
04 楽しい	<u>0.814</u>	-0.138	-0.157	0.707
05 迫力のある	<u>0.769</u>	-0.193	0.034	0.672
06 臨場感のある	<u>0.812</u>	-0.112	0.081	0.679
07 好きな	<u>0.802</u>	0.211	-0.179	0.720
08 快適な	0.558	0.573	0.072	0.645
09 自然な	0.380	<u>0.709</u>	0.178	0.678
10 滑らかな	0.343	<u>0.615</u>	0.453	0.701
11 乱れた	-0.044	<u>-0.749</u>	0.104	0.573
12 酔いそうな	0.259	-0.595	<u>0.673</u>	0.875
Eigen Value	5.068	2.438	0.808	
Proportion	42.235	20.319	6.732	
Cumulative Prop.	42.235	62.554	69.286

図 5 実験 II における回答の比率パターン
Ratio patterns in experiment II.

と β_0 , β_1 と β_2 の条件間で有意差が確認された。しかし、異なる観賞条件で同じ β 値を持つカメラワークの「自然な」印象を比較すると、実験 II でも有意差が検出されなかった。「楽しい」と「酔いそうな」については、図 5 (b), (c) より、観賞条件間で有意差が確認された。この結果は、同じ β 値を持つカメラワークであっても、画面サイズと観視画角が大きくなると、「楽しい」印象と「酔いそうな」印象が相対的に高まることを示す。したがって、演出効果と映像酔いに関連する印象は、表現の品質に比べ、観賞条件によって変動する傾向を持つと考えられる。なお、実験終了後に行った内観報告において、走査線の視認による回答への影響は、評価者から特に言及されなかった。

5. 総合的な考察

実験 I および実験 II から得られた結果は、最終的に次のようにまとめられた。

- ・ カメラワークと観賞条件 (画面サイズ・観視画角) を複合的に評価する観点は、表現の品質、演出効果に加え、映像酔いに関する印象の三つに整理できる。
- ・ 演出効果および映像酔いに関する印象は、表現の品質に比べ、観賞条件によって変動する傾向を持つ。

そこで、これらの知見と関連研究で得られている知見を比較するとともに、総合的な考察を行った。

まず、前述した関連研究⁸⁾¹⁶⁾における評価の観点と、本研究で注目した観点の対応関係を図6に示す。図6の枠は、それぞれの研究で整理された評価の観点と、関連する刺激語の例を表す。図6より、関連研究¹⁶⁾でカメラワークの評価因子とされた連続感、鮮明感、人間的な印象は、刺激語の対応関係から、本研究における表現の品質に相当すると考えられる。このような対応関係は、関連研究⁸⁾で観賞条件の評価因子とされた快適感と力量感についても同様に考えることができる。なお、連続感については、「スムーズな」や「連続した」といったカメラワークの滑らかさと、「活動的な」や「動きが鋭い」などのスピード感に関する刺激語が包括されているため、その半分は本研究における演出効果にも対応する。以上のことから、カメラワークと観賞条件を複合的に評価する指標は、表現の品質と演出効果の大きく二つに分けられ、これらを個別に評価した関連研究の結果とも整合することが実験的に確認された。また、映像酔いに関する印象は、画面サイズおよび観視画角の影響を受けることが図5(c)から確認された。その理由として、大画面・広視野の観賞条件は、小画面・狭視野の条件に比べ、視界に映る映像の動きが相対的に速いことなどがあげられる。映像酔いと映像の速度成分の関係性は、関連研究²⁰⁾でも報告されている。

次に、カメラパスの曲率制御による印象の変動傾向と、その応用方法について述べる。本実験における環境では、図5より、カメラパスの曲率を β_1 などに設定し、若干の曲率を持たせると、表現の品質が高まった。演出効果と映像酔いに関する印象は、カメラパスの曲率を β_0, β_2 などに設定し、直線もしくは強い曲率を持たせた条件下で高まった。また、カメラパスの曲率を β_1 などに設定して生成したCG映像は、表現の品質が高く、自然な印象を与えるが、このCG映像を小画面・狭視野で提示すると、演出効果が乏しく、つまらない印象を与えることが示された。そこで、このような映像コンテンツを小画面サイズに圧縮し、Web上で配信する際などは、その観賞条件が映像酔いに関連する印象を与え難いことを逆手に取り、カメラワークの曲率を β_0 や β_2 などに調整し、演出効果に関する印象を補うといった応用方法が考えられる。別な応用方法としては、経験の浅いクリエイターが、小画面・狭視野の観賞条件で映像を編集する際に、スピード感などに関する演出効果を過剰に付与したカメラワークを設定し、酔いを引き起こすコンテンツを生成してしまう過ちを防止するシステムの開発などにも役立つと考えられる。

6. む す び

本稿では、カメラパスの曲率制御によって観賞条件に適合したCG映像を生成する方法について基礎的な検討を行った。主観評価実験の結果、カメラワークと観賞条件を複合

図6 関連研究と本研究の対応関係
An association chart of standpoints in related works and this study.

的に評価する指標は、表現の品質、演出効果、映像酔いに関する観点に大別された。また、カメラパスの曲率を制御することにより、映像コンテンツを観賞条件に合わせて調整できることが示された。このことから、カメラワークの制御によって特定の観賞条件に適合したCG映像を生成することが可能であり、その一つ的手段として、カメラパスの曲率を制御する方法が有用である可能性が示唆された。

今後の課題として、観視画角、画面サイズ、被験者の最低視力などを統制したうえで追試を行い、カメラワークと観賞条件の関係をより深く調査することがあげられる。また、カメラワークの制御パラメータを、映像の物理的な特徴変化と結びつけることで、様々なコンテンツ・観賞条件に適合したCG映像を生成するシステムを構築することが目標としてあげられる。

本研究の一部は、科学研究費補助金(20500189)と、宇都宮大学の公募型重点推進研究「多様な再現環境に対応したデジタルコンテンツ評価指標の確立」の支援によって行われた。

(文 献)

- 1) 加藤大一郎, 山田光穂, 阿部一雄: “スタジオ番組における放送カメラマンのカメラワークと視線の動きの分析”, テレビ誌, **49**, 8, pp.1023-1031 (1995)
- 2) 太田篤史, 森建策, 末永康仁: “3次元CGアニメーションにおけるカメラワークの自動生成法”, 信学技報, **99**, 47, pp.31-38 (1995)
- 3) 太田篤史, 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”, 情報処理学会研究報告. グラフィクスとCAD研究会報告, 2000, **115**, pp.61-66 (2000)
- 4) 宮崎誠也, 申金紅, 青木輝勝, 安田浩: “シナリオドリブンによるCGカメラワークの自動生成”, 映像学誌, **58**, 7, pp.966-973 (2004)
- 5) M. Christie, P. Olivier and J. M. Normand: “Camera Control in Computer Graphics”, Computer Graphics Forum, **27**, 8, pp. 2197-2218 (2008)
- 6) 菅原正幸: “スーパーハイビジョンの開発における人間科学的側面からの研究”, 信学論, **J91-A**, 6, 613-621 (2008)
- 7) 金澤勝: “BTA S-1002 HDTV 標準観視条件”, テレビ誌, **47**, 10, pp.1391-1393 (1993)
- 8) 成田長人, 金澤勝, 岡野文男: “超高精細・大画面映像の鑑賞に適した画面サイズと観視距離に関する考察”, 映像学誌, **55**, 5, pp.773-780 (2001)

- 9) 窪田悟, 嶋田淳, 岡田想, 中村芳知, 城戸恵美子: “家庭におけるテレビの視聴条件”, 映情学誌, **60**, 4, pp.597-603 (2006)
- 10) 石川智治, 陳怡君, 白川俊之, 江田 哲也, 小黒久史, 郭素梅, 佐藤美恵, 春日正男, 阿山みよし: “撮影画像の明度コントラストが感性的評価に及ぼす影響”, 日本感性工学誌, **9**, 4, pp.663-674 (2010)
- 11) 阪本清美, 青山昇一, 松岡政治, 浅原重夫, 山下久仁子, 岡田明: “家庭用テレビの視距離の違いが視覚疲労に及ぼす影響について”, 松下テクニカルジャーナル, **53**, 1, pp.40-45 (2007)
- 12) 小黒久史, 郭素梅, 鈴木直哉, 佐藤美恵, 阿山みよし, 春日正男: “カメラワークによる感性的効果の表示デバイス依存性に関する検討”, 日本感性工学誌, **7**, 4, pp.821-830 (2008)
- 13) 小黒久史, 郭素梅, 鈴木直哉, 佐藤美恵, 阿山みよし, 春日正男: “表示機器に適応したりアルタイム映像生成のためのカメラワーク調整手法とその感性的評価”, 日本感性工学誌, **7**, 4, pp.831-840 (2008)
- 14) H. Inoue, H. Simamura, M. Konya, M. Sato, M. Kasuga, S. Guo, H. Oguro: “Fundamental Study on Relation Between Camerawork and Screen Size for Automatic Generation of Video Contents”, Nicograph International 2010, pp.76-79 (2010)
- 15) H. Inoue, H. Simamura, M. Konya, M. Sato, M. Kasuga, S. Guo, H. Oguro: “Fundamental Study on Factors for Automatic Generating Camerawork Adapted to Viewer's Environments”, The 14th International Workshop on Advanced Image Technology 2011, CD-ROM (2011)
- 16) 加藤大一郎, 石川秋男, 津田貴生, 福島宏, 山田光穂: “カメラワーク分析と映像の主観評価実験”, 映情学誌, **53**, 9, pp.1315-1324 (1999)
- 17) 井手口健, 西山元規, 古賀広昭: “迫力感性増幅を意図した映像提示方法の検討”, 映情学誌, **54**, 1, pp.131-134 (2000)
- 18) 青木繁信: “R による統計解析”, オーム社, pp.196-206 (2009)
- 19) M. J. Greenacre: “Theory and Applications of Correspondence Analysis”, London: Academic Press (1984)
- 20) 氏家弘裕: “映像の安心な利用を可能にする映像酔い評価システムの開発”, 構成学, **3**, 3, pp.180-189 (2010)

井ノ上 寛人 (いのうえ ひろと) 2010 年, 東京電機大学大学院理工学研究科情報社会学専攻修了。同年, 宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程システム創成工学専攻入学, 現在に至る。感性情報処理, 画像処理, 音響情報処理に興味を持つ。学生会員。

島村 寿江 (しまむら ひさえ) 2010 年, 宇都宮大学工学部情報工学科卒業。同年, 宇都宮大学大学院工学研究科科学際先端システム学専攻入学, 現在に至る。経営工学, パーチャルリアリティ, 3D コンテンツに興味を持つ。

佐藤 美恵 (さとう みえ) 2001 年, 東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。同年, 日本学術振興会特定国派遣研究員としてスイス連邦工科大学チューリッヒ校客員研究員。2002 年, 宇都宮大学工学部助手を得て, 2008 年, 同大学大学院工学研究科准教授。正会員。

郭 素梅 (くお すめい) 1983 年, 中国太原工学院・工・電気卒。1986 年, 中国華中工学院大学院修士課程修了。同年, 北京理工大学工学部勤務。1998 年, 慶応義塾大学大学院博士課程修了。同年, 凸版印刷 (株) 入社。2010 年, 北京理工大学珠海学院計算機学院教授。博士 (工学)。

小黒 久史 (くろ ひさし) 1984 年, 千葉大学工学部画像工学科卒業。同年, 凸版印刷 (株) 入社。図形/画像処理, インターネット, パーチャルリアリティなどに関する研究開発に従事。現在, 総合研究所にて, 感性的評価に基づく映像の品質向上技術の研究開発に携わる。宇都宮大学客員教授。博士 (工学)。正会員。

春日 正男 (かすが まさお) 1971 年, 名古屋大学大学院修了。同年, 日本ビクター研究開発本部。1988 年, (株) リコー中央研究所。1995 年, 宇都宮大学教授。2003 年同大学院教授。人間工学における生体情報処理, 感性情報処理, およびそれらの福祉, 医学への応用に関する研究に関心を持つ。正会員。