

CG人物像の視線移動のための頭部と眼球の動きモデル

Takeda, Takashi
長崎総合科学大学機械工学科

Takagi, Hideyuki
九州芸術工科大学音響設計学科

<https://hdl.handle.net/2324/4377899>

出版情報 : The transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers. A. J80-A (8), pp.1304-1311, 1997-08-25. Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

バージョン :

権利関係 : 著作権は一般社団法人電子情報通信学会に帰属する。

CG人物像の視線移動のための頭部と眼球の動きモデル

高木 英行[†] 竹田 仰^{††}

Movement Models of Head and Eyes for Computer Graphics

Hideyuki TAKAGI[†] and Takashi TAKEDA^{††}

あらまし コンピュータグラフィックス (CG) 上の人物が自然に視線を移動させるための頭部と眼球の移動時間遷移モデルを提案する。はじめに、実際に人間が視線を移動させるときの頭部の3次元移動特性を計測し、過去の研究での計測データと照らし合わせて、角速度をシグモイド状に変化しながら頭部を移動させることが共通的特徴であるとの知見を得る。この知見に基づいた視線移動に伴う頭部と眼球移動の数式モデルを提案する。このモデルのパラメータを変化させることで、上目使いの動き、不気味な動き、驚いた動き、複数人との対話のような動きのように、いろいろな状況に応じた動きが生成できる。更に、実用的観点からこのモデルの簡易的实现モデルも参考に示す。最後にこのモデルがCG像の視線移動を自然に表現できるかどうかを主観評価実験を通じて評価し、考察を加えて今後の研究の方向についても述べる。

キーワード 頭部, 視線, 眼球, コンピュータグラフィックス, 主観評価実験

1. まえがき

コンピュータグラフィックス (CG) の人物像を人間らしく動作させたいという要求は、通信やガイドのための擬人化エージェント、CGアニメーション、ゲーム画面などの需要の増大に伴ってますます強くなっている。このためのアプローチには二つある。一つは動きのモデル化であり、もう一つはモーションキャプチャによる実測データの直接利用である。前者は汎用性に富む望ましい方法であるが「人間らしい」動きのモデルを作ることが困難であり、後者は動きにリアリティがあるが計測データ以外の汎用的な動きができない。

ノンバーバルコミュニケーションに占める顔の表情の役割は大変大きく、顔学についての研究は近年つとに増えている [1]。これはコミュニケーションにおける顔の重要性を示す一つの指標とも言える。しかしながら、頭の動きについての研究は実測データの報告はあるものの [6], [8]~[10]、顔の表情そのものの研究に比較すると汎用モデル化研究は少なく、実際のCGの現

場では1~3次のスプライン関数でフレーム間の補間を経験的に行っているのが現状である [5]。

以上の背景を踏まえ本論文では、CG人物像の動きを、視線の動きに伴う頭部と眼球の移動に限定したモデルについて検討する。コミュニケーションにおいて重要な顔に直接関係する頭部と視線の動きにモデル化を限定することで、有用性と重要性を大きく損なうことなく、人間らしい動きの実現と汎用性の二つの両立を図る動きモデルが提案できる。

なお、本論文はアニメ、ゲーム、コミュニケーションなどのための各種動作モデリングを扱い、人間工学的な動作解明のためのモデリングを対象としていない。CGでよく見られるデフォルメされた動きは本論文の対象になるが、詳細な人間のモデル、例えば眼球のサッケード運動などは現段階では対象としない。

以下の各章では、前方空間の複数の点へ視線を移動させたときの頭部の動きの計測を行い、視線の動きに伴う頭部と眼球の動きモデルを提案し、視線移動先の空間座標と頭部の動きとの関係を調べてCGの実用的な観点からモデル化に対して考察する。最後に主観評価実験を通じて提案モデルの有用性を定量的に示す。

2. 頭部の運動の計測

2.1 頭部の運動

本論文では頭部の動きを図1に示す方位角 (yaw),

[†]九州芸術工科大学音響設計学科, 福岡市
Dept. of Acoustic Design, Kyushu Institute of Design, 9-1 Shio-baru 4-chome, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815 Japan

^{††}長崎総合科学大学機械工学科, 長崎市
Dept. of Mechanical Engineering, Nagasaki Institute of Applied Science, 536, Aba, Nagasaki-shi, 851-01 Japan

ピッチ角 (pitch), ロール角 (roll) の 3 軸で表現する。図中の頸部に描かれた 3 軸が回転して作り出す角度と考えればよい。

ちなみに方位角, ピッチ角, ロール角は頸椎の回旋運動, 屈曲と伸展運動, 側屈運動, に各々関係し, 人間の場合の可動域は, 回旋が左右約 70°, 屈曲が約 60°, 伸展が約 50°, 側屈が左右約 50°, である [3].

なお, 本論文での眼球の移動についても, 方位角とピッチ角という用語を使うことにする。

2.2 計測システムと計測点

頭部の移動の計測は 3 軸振動ジャイロを用いた姿勢方位角検出器を用い, 頭上に固定して行った。検出角は, 3 軸同時では方位角が $\pm 180^\circ$, ピッチ角が $\pm 60^\circ$, ロール角が $\pm 60^\circ$ の範囲で計測でき, その検出精度は, 方位, ピッチ, ロールの各角で, $3.6^\circ, 0.5^\circ, 0.5^\circ$ である。また, 検出可能な最大角速度は $300^\circ/\text{sec}$ である。この 3 軸の計測信号はサンプリング周波数 60 Hz で A-D 変換され, 9600 bit/s の RS-232C でパソコンに取り込まれる。

計測被験者は座位でまっすぐ正面を見るよう指示される。次に, 被験者の顔の正面軸を基準にして, 図 2

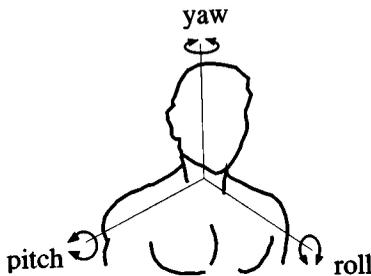


図 1 頭部の移動 3 軸
Fig. 1 Angles of head movement.

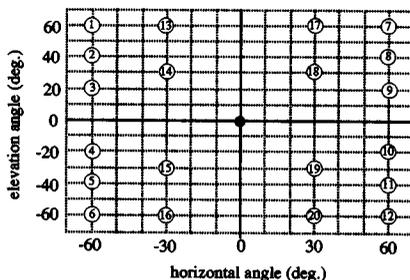
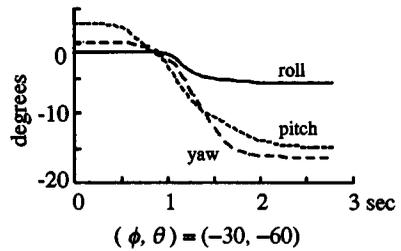


図 2 計測に用いた視線移動先座標
Fig. 2 Target coordinates of line of sight for measurement.

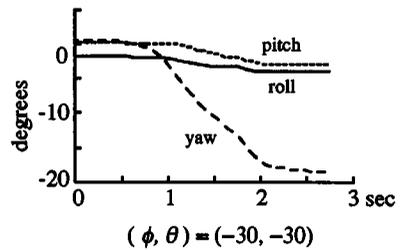
に示す水平角 $\pm 60^\circ$, 仰角 $\pm 60^\circ$ の空間内の 20 点を指示して, 自然に正面基準点から視線を動かすよう指示される。この際の頭部の 3 軸の振れ角を計測する。

2.3 計測結果

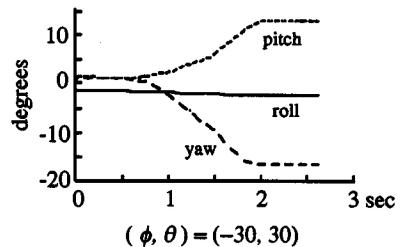
以上の 20 点への計測を 8 名分行った [7]. このうちの 1 名の計測結果を図 3 に一例として示す。図 3 は視線移動先座標を, 水平角 $\phi = -30^\circ$, 仰角 $\theta = -60^\circ, -30^\circ, 30^\circ$ とした場合の, 頭部の方位角, ピッチ角, ロール角の時間変化を示したものである。



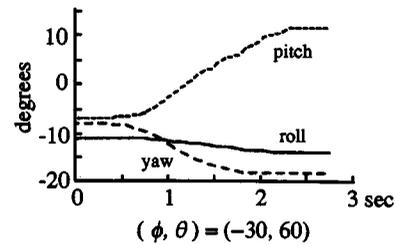
$(\phi, \theta) = (-30, -60)$



$(\phi, \theta) = (-30, -30)$



$(\phi, \theta) = (-30, 30)$



$(\phi, \theta) = (-30, 60)$

図 3 視線移動に伴う頭部移動の計測結果例
Fig. 3 Some of measured movement of head.

同じ座標に視線を動かしても、速度や年齢によって異なる動きをするため[10]、頭部移動が全く同じ軌跡を通ることは考えにくい。しかし、この計測結果から共通的に言えることは、質量の大きい頭の始動時と制動時に大きな角加速度がかかるため、運動軌跡がシグモイド状になることである。

3. 頭部と眼球移動の汎用モデルの提案

3.1 汎用モデリングに求められる条件

前章の計測データは20点だけであるが、各視線移動先への動きデータを補間することによって、少なくとも正面基準点から水平角、仰角それぞれに±60°内の平面への任意の視線移動先への頭部の動きをモデル化することは可能である[7]。

しかしモデリングには任意の視線移動先に視線を移動できるだけではなく、複数の要因も含めてモデルする必要がある。びっくりしたように速く移動させる場合もあれば、おもむろに顔を上げるようなゆっくりした場合もあるから、頭部が遅れて移動を開始する場合や、視線移動先が顔の正面軸上になるまで頭部を移動させる場合と途中までで止める場合などの、視線移動に伴う眼球移動と頭部移動の相互関係もモデル化に求められる要因である。視線移動に寄与する頭部の割合は年齢に依存すると言われているので[10]、これもモデルで制御できる必要がある。

補間も含めて計測データをそのまま使うモデリングの方法を採用するには、前章のデータはあまりにも少ない。また、1.に述べたように過去にも計測データが報告されているがこれらのデータを合わせても不十分である。過去の研究における計測の目的は人間工学的視点に立ったものが多く、本論文のようなCG人物像のモデリングを目的にしているわけではないのでやむを得ないとも言える。例えば、文献[9],[10]ではできるだけ速く視線を移動させるよう指示がなされた場合の特性が計測されているため、頭部より視線が大きく素早く動く結果となっている。このようなデータは前述のさまざまな要因による変化を要求するCGの擬人化エージェントの動きには不十分である。また文献[8],[10]では動きの時間特性が示されていないので利用できない。

文献[9]で示された動きの時間特性も前章計測データの時間特性も、共通してシグモイド状に動いており、この点はモデリングの知見となる。これより次節では、計測データ値そのものではなく、このシグモイド状に

動くという点のみをモデリングに反映させる。

3.2 提案モデル

モデリングの簡易化のために三つの制約を設ける。

- (1) 視線の動きは頭部と眼球の動きの和である。
- (2) 頭部の動きはシグモイド状である。
- (3) 視線の動きはシグモイド状である。

条件(1)は、体の動きは考えず頭部と眼球だけで視線移動先に移動させる場合にモデリングを限定するという意味である。体移動モデルと組み合わせる場合の視線の移動は、頭部、眼球、体の移動の線形和とすることで容易に拡張が可能であり、大きな制約ではない。条件(2)は計測データに基づく知見である。条件(3)は頭部の移動データからの類推であり、計測結果ではない。視線の動きの特性はカメラを用いた眼球移動とジャイロによる頭部移動の同時計測を行い検証する必要があるが、計測はかなり困難である。筆者らはこの同時計測を行ったが、接眼タイプのカメラによる計測では上位方向や下位方向に大きく視線を動かす場合にカメラが視線移動点を遮ったりカメラの重みの違和感が生じるという問題があった。遠方からのカメラズームによる計測も行ったが計測精度がかなり落ちてしまう。そこでモデルの簡易化のために条件(3)を仮説として設け、実用的な動きの自然さを損ねるかどうかを4.の主観評価実験にゆだねることにする。

視線移動と頭部移動の提案モデルの時間特性 $f(t)$ を次式と図4で表す。

$$f(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq t_1 \\ \frac{A}{1+b \exp\{-c(t-T_1-T_2/2)\}} - D & t_1 \leq t \leq t_2 \\ a & t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases}$$

$$A = \frac{a}{b} \cdot \frac{(1+b \exp\{c \frac{T_2}{2}\})(1+b \exp\{-c \frac{T_2}{2}\})}{\exp\{c \frac{T_2}{2}\} - \exp\{-c \frac{T_2}{2}\}}$$

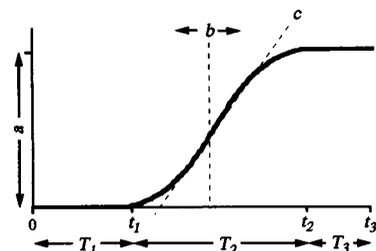


図4 提案モデルのパラメータの役割

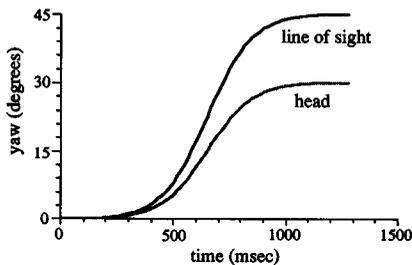
Fig.4 Role of parameters of the proposed model.

$$D = \frac{a}{b} \cdot \frac{1 + b \exp\{-c \frac{T_2}{2}\}}{\exp\{c \frac{T_2}{2}\} - \exp\{-c \frac{T_2}{2}\}}$$

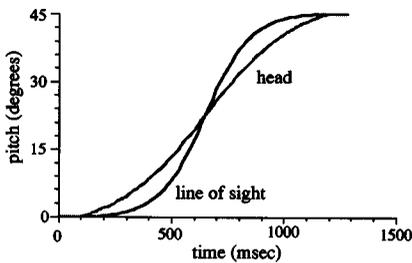
ここで、 t_i , T_i は、図 4 に示す移動開始前の停止、移動、到達後の停止、の時刻と時間である（モデルに必要なパラメータは T_i だけである）。また、 a , b , c はシグモイド移動特性の形状パラメータで、 a は移動停止位置を、 b は移動開始後と停止前の対称性を、 c は移動の角変化状態を調整する（図 4 参照）。例えば、頭部移動先がピッチ角 40° ならば $a = 40^\circ$ になる。移動の前半と後半が同じ動特性ならば $b = 1$ 、動き始めがゆっくりで最後に角度を大きく動かす場合は $b < 1$ 、その逆は $b > 1$ にする。角変化を直線的にする場合は c を小さくし、その逆は c を大きくする。図 3 の最初の計測例のピッチ角のように、オフセット角があるような場合は、 $f(t)$ にオフセット角を加えればよい。

眼球の動きモデルは、視線移動のモデルから頭部移動のモデルを引くことで得る。例えば視線と頭部の移動特性が図 5 のように示されたとすれば、二つのグラフの差分が眼球移動特性である。

図 5(a) は前方の 2 名と対話しているような例である。最初に眼球が動き始め、次に頭部が動き始める。視線はターゲット人物の顔をとらえるが顔の正面に見



(a)



(b)

図 5 提案モデルに基づく視線と頭部の移動例
Fig. 5 Two examples of movement based on the proposed model.

ずえることはせず、視線が停止しても顔をターゲットの方位角まで向けていない。人物がピッチ角正方向にいるならば上目使いの状態である。

また、図 5(b) は机の上の書類を見ながら来客の顔を見上げるような場合で、はじめは頭部が動き始めるが視線はまだ書類の上で、その後視線は頭部より速く来訪者の顔をとらえて、最後は来訪者の正面を見ずえる場合の例である。この場合眼球は行きつ戻りつの動きをすることになる。

この提案モデルを使えば実際の人間の視線と頭部に近い動きだけでなく、4. で直線移動モデルと呼ぶ従来モデルに近い動きも実現できる。参考までに、図 6 に示した実測した頭部の動きに合うよう調整した提案モデルのパラメータを表 1 に示す。

3.3 実用的観点からのモデルの簡略化

本論文の目的は人体の動きの人間工学的なモデル化というよりは、CG のための頭部と眼球の動きのモデル化である。従って、移動モデルを組み込んだ CG 人物の頭部と視線の移動が自然であれば、モデルは簡単である方が望ましい。

移動角ベクトル $\vec{v}(t)$ の方位角、ピッチ角、ロール角成分の時間特性は本来、視線移動先の水平角 ϕ と仰角 θ の関数である。しかし各変数の寄与は異なるので寄与が少ない場合簡略化が可能である。

図 2 の 20 点の計測から視線移動先の座標（水平角、仰角）と頭部の 3 軸角（方位角、ピッチ角、ロール角）との相互相関を調べるため、次の処理を行った。

(1) 計測データをグラフ化し、頭部の動き始め (t_1) から視線移動先座標に到達する時刻 (t_2) までのデータ区間を視察によって切り出す。

(2) 切り出したデータの時間を正規化する。すなわち切り出し区間内のサンプル数が一定値 n になるようリサンプリングする。リサンプリング点は、隣接す

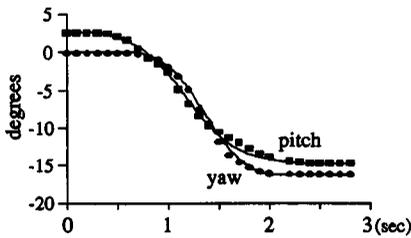
表 1 実測データにフィッティングさせた提案モデルのパラメータ例 (図 6 参照)

Table 1 Model parameters fitted to measured head movement (see Fig. 6).

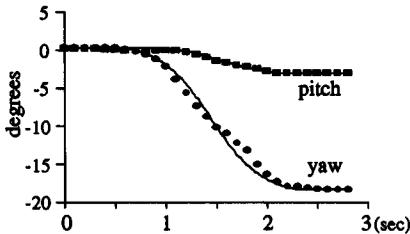
Fig.6	model	a (deg.)	b	c	offset (deg.)	T_1 (sec)	T_2 (sec)	T_3 (sec)
(a)	pitch	-17.3	0.5	4	2.6	0.3	2.1	0.4
	yaw	-16.2	1.1	5	0.0	0.7	1.3	0.8
(b)	pitch	-3.3	1.0	4	0.3	1.0	1.1	0.7
	yaw	-18.6	1.0	3	0.4	0.6	1.7	0.5
(c)	pitch	11.6	4.0	4	0.6	0.6	1.5	0.4
	yaw	-17.4	1.2	4	0.4	0.7	1.4	0.4
(d)	pitch	31.0	1.1	2	2.0	0.6	1.7	0.3
	yaw	-17.3	0.7	4	0.0	0.4	1.7	0.5

表2 水平角、仰角と頭部移動3軸の相互相関係数
Table 2 Cross-correlation between (horizontal and elevation angles) and (yaw, pitch, roll).

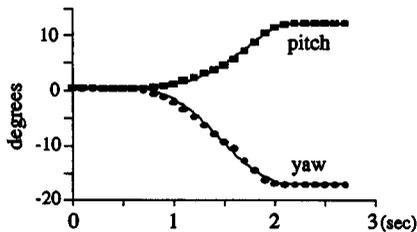
	yaw	pitch	roll
horizontal angle (ϕ)	0.94	-0.07	-0.23
elevation angle (θ)	-0.16	0.89	0.16



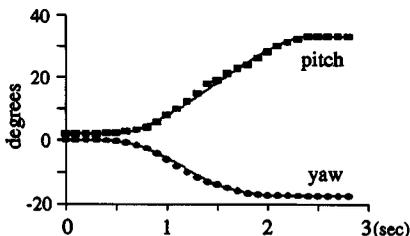
(a) $(\phi, \theta) = (-30, -60)$



(b) $(\phi, \theta) = (-30, -30)$



(c) $(\phi, \theta) = (-30, 30)$



(d) $(\phi, \theta) = (-30, 60)$

図6 視線移動に伴う頭部の測定値データ（ドットデータ）と提案モデル（実線）によるフィッティング

Fig.6 Head movement trajectory based on model onto the measured head movement. Dot lines are actual measured data, and the solid lines are the output of the proposed model. (ϕ, θ) = (horizontal angle, elevation angle) is the target coordinates of the given line of sight.

る二つの実サンプル点を直線補間して求める。

(3) 計測データを t_1 から t_2 までを積分する。実際には n 点のデータを加算する。

(4) 以上の処理を8名分、視線移動先座標9箇所の計点について行う。

(5) 上記72データと、各視線移動先座標の水平角と仰角の相互相関係数を求める。

結果を表2に示す。この表から、「頭部の方位角方向の移動特性はほぼ与えられた水平角のみから決まり、ピッチ角はほぼ与えられた仰角のみから決まり、ロール角方向の動きは視線移動先座標によらない」という簡略化の見通しが得られる。

次章でのモデルの評価には、表2から得られた知見に基づいて、頭部の方位角、ピッチ角、ロール角方向の動きを各々、 $f_{yaw}(t, \phi)$, $f_{pitch}(t, \theta)$, 0に、視線の方位角、ピッチ角、ロール角方向の動きを各々、 $g_{yaw}(t, \phi)$, $g_{pitch}(t, \theta)$, 0に、眼球の方位角とピッチ角方向の動きを各々、 $g_{yaw}(t, \phi) - f_{yaw}(t, \phi)$, $g_{pitch}(t, \theta) - f_{pitch}(t, \theta)$ にした簡略化モデルを用いる。

なお、本論文の提案は3.2のモデル式に基づくパラメトリックな汎用モデルであり、次章での評価に用いる簡略化モデルに限定されるものではない。水平角と仰角の2変数をもつ本来の移動モデルや、表2の知見から得られるように左や右の水平角方向を見る場合は首を右や左に傾ける傾向がある（相関係数 = -0.23）ことをモデルに組み込めば更に詳細なモデルとなる。

4. 提案モデルの評価実験

図7のCG顔像を作成し、頭部と眼球の動きに3.3で求めた簡略化した本提案モデルと従来法の動きモデルを組み込んで、3種類の評価実験を行う。

従来モデルとしては最も単純な1次式による運動補間[5]を用いる。これは図4上の視線移動開始点(t_1)から視線移動先(t_2)までを直線的に、つまり角速度一定で移動させるモデルである。この従来モデルを便宜上、以下では直線移動モデルと呼ぶことにする。

実験1は、CG顔像の頭部移動のみに提案モデルと

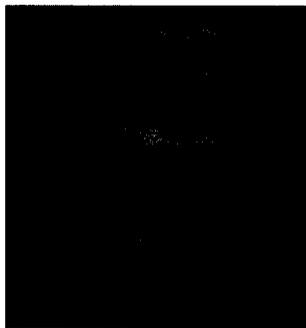


図7 評価実験に用いたCG像
Fig.7 CG face used for subjective tests.

直線移動モデルを適用して比較する。眼球は顔の正面前方を見るように、つまり、視線移動と頭部移動を同じにしておく。実験2は、頭部移動と視線移動の双方に提案モデルと直線移動モデルを加えて評価する。実験3は、仰ぎ見る様子の比較を行うもので、視線移動先の水平角を40°に固定し、仰角を0°~50°の10°刻みで変化させた六つの視線移動先を用いる。実験2と同じく、モデルは頭部移動と視線移動の双方に提案モデルと直線移動モデルを適用する。

実験に用いた提案モデルのパラメータを表3に示す。実験におけるモデルの違いは、シグモイド状に推移するか直線的に推移するかだけで、提案モデルと直線移動モデルの頭部、視線の移動開始時間、停止時間、到達角度は、方位角、ピッチ角ともに同じである。

被験者は高校1年の男女生徒36名と38歳の男性教諭1名の合計37名である。被験者には提案モデルに続いて直線移動モデルを見せる対と、その逆の対をランダムに組み合わせて提示し、1対比較をさせてより人間らしい自然な動きを強制選択させる。CG制作用ワークステーションのビデオ出力端子からの映像を録画し、ビデオプロジェクタでスクリーンに提示して評価実験を行った。

二つの入替え提示に対して2回とも提案モデルまたは直線移動モデルをより自然な動きであると評価した回数をそれぞれ数える。この数に対して符号検定[4]を行う。評価結果と検定結果を表4に示す。

5. 考 察

はじめに今回の評価実験の比較結果について考える。全体的に見れば、シグモイド状に角速度を変化させる提案モデルは、一定の角速度で移動させるCG顔像よ

表3 評価実験で提示した提案モデルのパラメータ
Table 3 The parameters of the proposed model used for subjective tests. Target coordinates are given by horizontal angle (ϕ) and elevation angle (θ). H and S mean the movement of a head and the line of sight. See Sect.3.2 for each parameter.

(ϕ, θ)	movement axes	a (deg.)	b	c	T_1	T_2	T_3
					(sec)		
Subjective test #1							
(-35,-35)	H (yaw)	-35.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	H (pitch)	-35.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(-40,30)	H (yaw)	-40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	H (pitch)	30.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,50)	H (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	H (pitch)	50.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(55,-25)	H (yaw)	55.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	H (pitch)	-25.0	1	8	0.0	1.8	0.0
Subjective test #2							
(-35,-35)	H (yaw)	-18.6	1	8	0.2	1.6	0.0
	H (pitch)	-33.0	1	8	0.2	1.6	0.0
	S (yaw)	-35.0	1	8	0.1	1.5	0.2
	S (pitch)	-35.0	1	8	0.1	1.5	0.2
(-40,30)	H (yaw)	-24.0	1	8	0.15	1.65	0.0
	H (pitch)	16.6	1	8	0.15	1.65	0.0
	S (yaw)	-40.0	1	8	0.0	1.6	0.2
	S (pitch)	30.0	1	8	0.0	1.6	0.2
(40,50)	H (yaw)	32.3	1	8	0.4	1.4	0.0
	H (pitch)	39.5	1	8	0.4	1.4	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.7	0.1
	S (pitch)	50.0	1	8	0.0	1.7	0.1
(55,-25)	H (yaw)	27.0	1	8	0.15	1.55	0.1
	H (pitch)	-13.3	1	8	0.15	1.55	0.1
	S (yaw)	55.0	1	8	0.0	1.6	0.2
	S (pitch)	-25.0	1	8	0.0	1.6	0.2
Subjective test #3							
(40,0)	H (yaw)	40.0	1	8	0.35	1.45	0.0
	H (pitch)	0.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	0.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,10)	H (yaw)	40.0	1	8	0.35	1.45	0.0
	H (pitch)	10.0	1	8	0.35	1.45	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	10.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,20)	H (yaw)	40.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	H (pitch)	20.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	20.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,30)	H (yaw)	40.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	H (pitch)	30.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	30.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,40)	H (yaw)	40.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	H (pitch)	40.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
(40,50)	H (yaw)	40.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	H (pitch)	50.0	1	8	0.3	1.5	0.0
	S (yaw)	40.0	1	8	0.0	1.8	0.0
	S (pitch)	50.0	1	8	0.0	1.8	0.0

表4 評価実験結果と符合検定。(linear)は直線移動モデルが提案モデルより自然であると答えた被験者数、(sigmoid)は提案モデルが直線移動モデルより自然であると答えた被験者数

Table 4 The result of three subjective tests and sign test. (linear) and (sigmoid) mean the number of subjects who evaluated that the linear model or the proposed model naturally moves more than another model. **, *, and \diamond mean that the proposed model is significantly natural than the linear model with $p < 0.01$, $p < 0.05$, and $p < 0.1$, respectively.

target coordinates (ϕ, θ)	(linear)	(sigmoid)	sign test
Subjective test #1			
(40, 50)	9	14	
(55, -25)	6	18	*
(-40, 30)	3	19	**
(-35, -35)	8	19	\diamond
Subjective test #2			
(40, 50)	8	16	
(55, -25)	6	18	**
(-40, 30)	6	18	**
(35, -35)	8	16	
Subjective test #3			
(40, 0)	2	19	**
(40, 10)	7	11	
(40, 20)	6	22	**
(40, 30)	3	16	**
(40, 40)	7	18	*
(40, 50)	13	15	

り自然さを与えると言える。

(ϕ, θ) = (40, 50) と (40, 10) の2点への視線移動では両者間に有意差があるかどうかを検定上わからなかったが、直線移動モデルを選んだ被験者数と提案モデルを選んだ被験者数を比べると、もっと被験者数を増やせば有意差が現れる期待がある。

事実、別のパラメータで調整した提案モデルと直線モデルを別の被験者32名が比較評価した予備実験では、(ϕ, θ) = (40, 50) のときのみ危険率1%で提案モデルが有意に自然であると判断された。

第2に上記実験結果の普遍性について考察する。前述したように、パラメータを変えれば提案モデルと直線モデルの評価は変わる。これは、提案モデルのパラメータ c を変えることで直線モデルに近づけることが可能であり、両者の差をパラメトリックに変化させることができるためである。また、提案モデルは動きの制約が少ない分、いろいろな表情の動きが生成できる。しかし、現在はまだモデルの提案段階であって、どのようにパラメータを設定すればCG顔像の移動にとってベストであるかということまではわかっていない。

以上より、直線モデルをも近似できる提案モデルは、パラメータ値によって直線モデルに対して有意に自然に見えたり同じような動きに見えたりすること、理論的には動きの表現能力が広いことの2点から、今回の実験結果が偶然の産物ではなく、今後も同様の傾向の結果が得られることが期待できるものであると言える。

第3に被験者について考察する。今回の実験では高校1年生という若い被験者を用いた。最近のゲームにはCGが多用されており、その主なユーザが10代の若者であることを考えると、大人の被験者群より鋭い感覚で評価していることが考えられる。そのため理解ではなく感覚で評価する今回の評価実験の被験者としてはデータの信頼性が高いことが期待される。

また、自由記述欄でのコメントからこのことを裏づけるような記述が見られた。CG制作にかかわった筆者らが想像した以上に眼球の動きについてのコメントがあり、また斜め上を見る場合と斜め下を見る場合での細かい観察など、高校生の鋭い感覚の一面が感じられた。被験者の信頼性の補強のために示しておく。

第4にモデルの仮説について考察する。視線モデルを組み込んだ実験2と実験3の結果と頭部移動モデルだけの実験1の結果に比べて大きな違いが見られない。CG顔像の移動の自然さにおける、頭部移動と視線移動の寄与度がわからないので断定はできないが、この実験結果を説明するには、視線移動をシグモイド状に動かすことが少なくとも不自然さを与えないか、不自然であっても視線の影響が無視できるほど頭部移動の寄与度が大きいかのいずれかであると言える。被験者の自由記述では視線の動きについて結構記述があったことと照らし合わせると、後者は否定できると考えられる。すなわち視線移動の仮定は、少なくとも不自然さを与えるようなおかしな仮定ではないと考えられる。

第5に、汎用的な表現能力について評価する。パラメトリックに頭部と眼球の動きを変えることによって、自然さ、コミカルさ、不気味さなど、3.2で述べたようないろいろ表現が可能である。それに対して直線移動モデルの自由度は、提案モデルより二つ少なく、表現能力に制約があることは否めない。CG上のエージェントによるノンバーバルコミュニケーションに対する期待の高まりを考えれば、表現能力については疑いなく提案モデルに優位性がある。

今後の研究課題として、視線移動が生み出す自然さ、コミカルさ、不気味さなどのいろいろな表現とモデルパラメータの関係を調べる事が挙げられる。この研

究後に、動的な表情の各パラメータに調整した提案モデルをその表現の評価尺度で評価して初めて、提案モデルの本当の効果が示せると言えよう。この研究が進めば、アニメのような右を見るためにはじめ左に少し向いてから勢いをつけて右を向くというような誇張した複雑な動きを実用的に生成することも可能になる。なお、提案モデルではこのような複雑な動きも二つの提案モデルの組合せとして可能であるが、従来の直線モデルでは勢いをつけるための動きの貯めを表現することができない。

6. むすび

本論文では、頭部の計測結果から得られた知見に基づいた CG のための汎用的な移動モデルを提案した。このモデルは、角速度がシグモイド状に変化するパラメトリックな頭部と視線の移動モデルで、眼球の移動モデルも両モデルの差分として得られる。モデルパラメータを変化させることで、頭と視線の移動先座標、速度、移動開始後や停止前の状態、などをいろいろ変化させることができ、その結果微妙なニュアンスの頭部と視線の移動を CG 上で実現することが可能になる。

主観評価実験を通じて提案モデルが単純な従来モデル（直線移動モデル）に比較して全体的に人間らしい自然さを実現できることを示し、考察でその汎用性について議論した。

はじめに述べたように顔の形状や表情の研究がいろいろ進められている。本提案モデルと組み合わせることで、動的な顔学の研究の一助となると思われる。本モデルは CG 像のための動きモデルではあるが、単に作品作りのツールとしてだけでなく、このような研究ツールとしても利用可能である。また、この動的な動きによる表情制御ができれば、CG 上のエージェントによるノンバーバルコミュニケーションにも大きく寄与するものと期待できる。今後の研究の方向として最後に指摘しておきたい。

謝辞 長崎総合科学大学機械工学科情報制御工学コース（当時）の藤浪真也、蓮井務寛の両君には本研究の実験補助を、長崎総合科学大学付属高等学校には評価実験に御協力頂いた。また、本研究の一部は九州芸術工科大学学術交流基金の援助を受けた。併せて感謝致します。

文 献

- [1] “顔特集号,” 信学論, vol.J80-A, vol.J80-D-II, no.8, 1997.
 [2] “官能検査ハンドブック,” 日科技連官能検査委員会編, 日

科技連出版社, 1973.

- [3] 日本リハビリテーション医学会評価基準委員会, “関節可動域表示ならびに測定,” リハビリテーション医学, vol.11, no.2, pp.127-132, 1994.
 [4] 中川聖一, 高木英行, “パターン認識における有意差検定と音声認識,” 音響誌, vol.50, no.10, pp.849-854, 1994.
 [5] 太田昌孝, 竹内あきら, 大口孝之, “応用グラフィックス,” アスキー出版, 1986.
 [6] P.B. Sandor, I. Hortolland, F. Poux, and A. Leger, “Gaze orientation under G/sub z/-load, methodological aspects, preliminary results,” Proc. of Virtual Interfaces: Research and Applications (AGARD-CP-541), pp.13/1-7, Lisbon, Portugal, Oct. 1993.
 [7] 竹田 仰, 高木英行, “ノンバーバルインタフェースのための頭部と視線の動きの推定,” Human Interface, vol.11, New and Report, pp.143-148, 1998.
 [8] 伴野 明, 岸野文郎, “顔と瞳孔の 3 次元位置計測に基づく注視点検出アルゴリズム,” 信学論 (D-II), vol.J75-D-II, no.5, pp.861-872, 1992.
 [9] 山田光徳, “2 次元平面上の視線を注視させたときの頭部運動と眼球運動の協調関係の分析,” 信学論 (D-II), vol.J75-D-II, no.5, pp.971-981, 1992.
 [10] 吉村浩一, “ヒトの眼球-頭部協調運動パターンの特性: その年齢差と制御機構に関する研究,” 人間工学, vol.15, pp.265-270, 1979.

(平成 8 年 12 月 20 日受付, 9 年 3 月 14 日再受付)



高木 英行 (正員)

昭 56 九州芸工大修士課程了。同年松下電器産業 (株) 入社, 中央研究所勤務。平 3~5 UC Berkeley 客員研究員。平 7 九州芸術工科大学音響設計学科助教授。博 (工)。フuzzy, ニューラルネット, 遺伝的アルゴリズム等の研究に従事。IEEE, 日本フuzzy学会, 日本音響学会各会員。



竹田 仰 (正員)

昭 47 九州芸工大・芸工・音響設計卒。同年九州松下電器 (株) 入社, 開発研究所勤務。昭 57 長崎総合科学大学工学基礎センター助手を経て現在, 同大・工・機械工学科情報制御工学コース教授。平 3 長崎大学大学院博士課程了。工博。人工現実感に関する研究に従事。日本バーチャリアリティ学会, 日本音響学会, 情報処理学会, 計測自動制御学会, テレビジョン学会, バイオメカニズム学会各会員。