音声駆動形身体的色彩変化引込みシステムの開発*

黒田 勉^{*1}, 渡辺 富夫^{*2}, 山本 倫也^{*3}Development of a Speech-Driven Embodied
Color-Changed Entrainment SystemTsutomu KURODA^{*4}, Tomio WATANABE and Michiya YAMAMOTO^{**} Faculty of Education, Kagawa University,
1-1 Saiwaicho, Takamatsu-shi, Kagawa, 760-8522 Japan

InterActor is the speech-driven embodied entrainment character for activating human interaction and communication by embodied rhythms between speech and body motions such as nodding in human face-to-face conversation. In this paper, to clarify the visual effect of color change of entrainment on interaction support, a speech-driven entrainment color-changed entrainment system is developed. The system changes color on an object with a visualized response equivalent to nodding in the same timing as InterActor to speech input. By using the system, sensory evaluation by paired comparison demonstrates the effect of color change from the result that the pattern that the color changes from the top of the object is more desirable than the pattern that the whole color changes at a moment.

Key Words: Human Interface, Human Interaction, Embodied Interaction, Color Change, Entrainment

1. は じ め に

対面コミュニケーションでは、対話者の音声とうなずきや身振りなどの身体動作が相互に引込むことで円滑にコミュニケーションが行われている。これまでにこの身体的引込みに着目して、対話者の音声と身体動作の関係を解析し、音声入力に基づいて人形キャラクターのコミュニケーション動作を自動生成する技術である iRT (InterRobot Technology) が確立されている⁽¹⁾。この iRT は、音声駆動形身体引込みキャラクター InterActor (以下、IA と略する) などの身体的コミュニケーションに実装され、その有効性が示されている⁽²⁾⁽³⁾。また、人がうなづくタイミングで仮想空間内での円柱や円盤などプリミティブな形状の 3D オブジェクトの動きを表現するインタラクションシステムが開発され、オブジェクトが「手前に傾きまた元に戻る」という動きが、話しやすい引込み反応として有効であることが示されている⁽⁴⁾。

一方、色彩には属性間効果における遠近効果として、同じ大きさの物体を同じ距離から見た場合でも、物体が前に進出したり、後退したりするように見える効果が知られており、これらは進出色、後退色と呼ばれている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。この色彩がもたらす効果を、オブジェクトの色彩変化に応用し、後退色と進出色を巧く組合わせることでオブジェクトが「手前に傾きまた元に戻る」と同様の動きを表現できると期待される。

このため、単純な図形の色彩変化により動きと同様の身体的インタラクションの効果が得られれば、多様な場面でインタラクションを支援する新たなシステムが開発できると考えられる。したがって、どのような色彩変化が引込みを誘発する視覚的效果をもたらすかを検討する必要がある。

そこで本研究では、キャラクター IA のうなずき反応をオブジェクトの色彩の変化で置換する音声駆動形身体的色彩変化引込みシステム (以下、色彩変化形 IA と呼ぶ) を開発している。これは、従来から用いられている IA と同じうなずきのタイミングで、オブジェクトの色彩を自由に変化させるもので、色彩の変化だけによる身体的な引込み効果を表現できるものである。そして、オブジェクトの基本色彩として進出色の赤と後退色の青を採用し、正方形オブジェクトに彩色を施

* 原稿受付 2007 年 9 月 21 日。

^{*1} 正員、香川大学教育学部 (☎ 760-8522 高松市幸町 1-1)。^{*2} 正員、フェロー、岡山県立大学情報工学部 (☎ 719-1197 総社市窪木 111)。^{*3} 岡山県立大学情報工学部。

E-mail: kuroda@ed.kagawa-u.ac.jp

して、どのような色彩の時間的変化が「手前に傾きまた元に戻る」ように見せることができる効果をもたらすかを検証している。

2. 色彩変化形 IA システム

2・1 進出色と後退色に基づくオブジェクトの色相の決定 色彩の属性間効果には、遠近効果(進出色と後退色)があり、さまざまな心理作用をもたらすことが知られている。一般的に、赤、橙、黄、赤紫の順に進出し、青、緑みの青、青紫が後退するとされている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本研究では、オブジェクトの色彩の色相を進出色のものを赤、後退色のものを青とした。色相以外の色彩に関する要素(明度・彩度)については後述する値とした。図1は、本研究で使用したオブジェクトの色彩で、左側が進出色の赤、右側が後退色の青である。なお、これらの色彩提示はカラーディスプレイで行うため、加法混色に基づく色彩の変化となる。

2・2 色彩変化形 IA システムの動作コンセプト

色彩変化形 IA システムは、これまでのキャラクタ IA が人の語りかけに対し、人がうなずくタイミングで仮想空間内のキャラクタの身振りやうなずき動作を発生させるのと同じように、仮想空間内の3Dオブジェクトの色彩をうなずきのタイミングで変化させるインタラクションシステムである。

Fig.1 Advancing color (left) and retreating color (right)

Fig.2 Concept of the color-changed InterActor system

図2は、本 IA システムのコンセプトを示したものである。オブジェクトの形状を単純な正方形に設定することで、オブジェクトの形状にとらわれない、純粋に色彩の変化だけを基にした視覚的效果がもたらす引込み反応の評価を明確にできる。

2・3 色彩変化形 IA システムの構成 この IA は図3に示すように、話し手の音声マイクでサウンドカードを搭載する PC に取り込み、その音声を基にディスプレイ内の正方形オブジェクトの色彩の変化を制御するシステムである。システム制御プログラムは Microsoft Visual C++ Ver. 6.0 により記述し、オブジェクトの描画には、Microsoft DirectX 8.0 を用いている。画面の解像度は、1600×1200 pixel に設定し、正方形オブジェクトの大きさは、335×335 pixel とした。システムに与えるパラメータを変えることで、色彩変化の色彩の種類、時間、タイミングを任意に設定・変更できるようになっている。

2・4 聞き手のうなずき反応(IA システム)動作生成モデル 聞き手のうなずき反応動作を生成する IA システムには、話し手の発話音声に基づく聞き手のうなずき反応モデル、すなわち話し手の音声の ON-OFF パターンに基づくうなずき反応モデルが導入されている。聞き手のうなずき予測モデルを図4に示す。

うなずきの予測モデルは、発話音声の ON-OFF パターンから聞き手のうなずき動作を予測する MA (Moving-Average) モデルで、マクロ層とミクロ層からなる階層モデルである。マクロ層では、式(1)のユニット区間(130 ms 以下の短い音声の OFF 区間を ON 区間に置換して ON 区間を伸ばした呼吸段落区分での ON-OFF 区間) i において、うなずきが存在するか否かを予測する値 $Mu(i)$ を、式(2)のユニット時間率 $R(i)$ (ユニット区間での ON 区間の占める割合)の線形結合で求める。

$$Mu(i) = \sum_{j=1}^i a(j)R(i-j) + u(i) \dots\dots\dots (1)$$

$$R(i) = \frac{T(i)}{T(i) + S(i)} \dots\dots\dots (2)$$

Fig.3 Configuration of the color-changed InterActor system

Fig. 4 Listener's interaction model

J : 予測次数 (6)

$a(j)$: 予測係数

$T(i)$: i 番めユニットでの ON 区間

$S(i)$: i 番めユニットでの OFF 区間

$u(i)$: 雑音

予測値 $Mu(i)$ があらかじめ設定したしきい値を超えた場合、そのユニット内にうなずきが存在すると判断し、マクロ層は、処理をミクロ層に移す。ミクロ層では過去 2 秒間 (サンプリングレート 30 Hz 時には 60 個) の音声の ON-OFF データに基づいて式 (3) の MA モデルでうなずきの開始時点 $M(i)$ を推定し、IA をうなずかせる。

$$M(i) = \sum_{j=1}^K b(j) V(i-j) + w(i) \quad \dots\dots\dots (3)$$

K : 予測次数 (60)

$b(j)$: 予測係数

$V(i)$: 音声データ

$w(i)$: 雑音

これらの対面コミュニケーション動作生成モデルは対面コミュニケーションでの音声と身体動作の関係を分析した結果に基づくものであり、従来形のキャラクタにおける有効性はすでに確認されている⁽¹⁾⁽³⁾。本 IA システムでは、生成される対面コミュニケーション動作のうち、うなずき生成のみを用い、色彩変化に対応させている。

2.5 色空間 本 IA システムでは、システム上における色彩の提示を行うために RGB 色空間を、色彩

の変化を示すための軌跡を表現するために HSV 色空間を使用している⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

RGB 色空間とは光の三原色である赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)の 3 種類の基準化された数値で色を表現する方式であり、主としてコンピュータ上でオブジェクトの色彩を表示するときに用いられている。本研究では、RGB 各 8 ビット・256 階調を用い、1 677 万色表現可能な RGB 色空間としている。

HSV 色空間は、色彩の種類を示す色相 H (Hue)、濃度を示す彩度 S (Saturation)、明るさを示す明度 V (Value) の 3 種類の数値で色を表現する方式で、直感的にわかりやすい表示となっているので、CG 等の色彩の数値表現で広く用いられている。色相は基準となる赤(R)を $H=0$ とし、緑(G)を $H=120$ 、青(B)を $H=240$ とした角度で表示され、彩度 S を半径とする極座標平面 (HS 平面) を構成する。明度 V は HS 平面の高さを示す。したがって、 H の範囲は $0 \leq H < 360$ 、 S および V の範囲は $0 \leq \{S, V\} \leq 100$ である。また、HSV 色空間と RGB 色空間は、簡単な変換式で相互変換が可能である。

2.6 色彩変化形 IA の反応パターン

2.6.1 オブジェクトの基本色 手前に傾き元に戻る動作が最も高く評価されることが示されていることから、色彩の変化を用いてうなずき反応と同様な視覚効果を得るためには、オブジェクトの上部が近づき、下部が遠ざかる視覚効果をもたらせることができればよいと考えられる。したがって、オブジェクトの色彩を後退色とし、上部から進出色に変化していくパターンがこの視覚反応に最も合致するものである。対比する色彩の変化として、オブジェクトの色彩を進出色とし、上部から後退色に変化していくパターン、並びにオブジェクト全体の色彩が変化するパターンを設定した。したがって、本研究で提示する色彩変化パターンは 4 種類となる。

オブジェクトの色彩は、進出色の赤($H=0$)と光の三原色であり、かつ後退色でもある青($H=240$)とし、2.6.2 項以降に示す要領で、音声に対して逐次色彩を変化させていくようにした。

2.6.2 オブジェクトの色彩変化の HS 平面上での軌跡 明度の変化が伴うと、色彩の見え方のうち「膨張」・「収縮」の効果が発生してくる。これでは、「色彩そのものの効果」を検証できないため、明度の変化を行わないものとした。したがって本 IA システムの色彩変化は、HSV 色空間のうち同一平面上での変化を示す HS 平面上での変化を示すことになる。また、色相の変化量 (ΔH) は、オブジェクトの基

本色相である赤($R, H=0=360$)と青($B, H=240$)の色相差の120($\Delta H=120$)とした。そして、明度 V の値は100(最大値)で一定とした。

図5は、オブジェクトの色相・彩度、並びに変化の軌跡を HS 平面上において示したものである。オブジェクトの基本色である赤と青のそれぞれの彩度(S)は $S=45$ とした。これは、予備実験時に、彩度 S が50以上のオブジェクトでは、オブジェクトの色彩の変化時のちらつきが大きく、特に彩度 S が80を超える場合には「ぎらつき変化」となってしまう、目の疲労も著しくなり、対話実験に支障が出る可能性があったためである。また、変化の中間色の彩度を基本色よりさらに下げたことも、この理由による。

色彩の変化の軌跡は、 $S=45$ の円周と $H=0, S=45$ と $H=240, S=45$ を結んだ直線の中点を通るようにした。したがって、本システムで変化する色彩は、純粹に同一彩度上で色相が変化するのではなく、変化の途中で彩度が低下(色彩の濃度が薄くなる)する総合的な色彩変化である。

2・6・3 実験で提示する色彩変化形 IA 提示する色彩変化形 IA は2・6・1項で示した4種類の色彩の組合せでそれぞれパターンa～dと呼び、以下のように設定した。図6に、それぞれのパターンでの色彩変化を示す。

まず、パターンaの反応は、オブジェクトを縦方向に120分割して上のオブジェクトから順に赤($H=0$)から青($H=240$)まで2・6・2項に示した軌跡(以下、軌跡と表す)に沿って変化させ、最上部のオブジェクトの色相が青($H=240$)となった時点で元に戻らせている。次に、パターンbの反応は、オブジェクト全体を赤($H=0$)から青($H=240$)まで軌跡に沿って変化させ、元に戻らせている。さらに、パターンcの反応はパターンaとは色相が逆になった色彩変化で、パターンaと同様、オブジェクトを縦方向に120分割して上

のオブジェクトから順に青($H=240$)から赤($H=0$)まで軌跡に沿って変化させ、最上部のオブジェクトの色相が赤($H=0$)となった時点で元に戻らせている。最後に、パターンdの反応は、オブジェクト全体を青($H=240$)から赤($H=0$)まで軌跡に沿って変化させ、元に戻らせており、パターンbとは色相が逆になった変化となる。

すべての色彩変化は毎秒30フレームで提示し、24フレーム(0.8秒)で反応を完了するように設定した。

3. 色彩変化反応の合成的解析

色彩変化形 InterActor を用いてどのような色変化

Pattern a Pattern b Pattern c Pattern d

Fig. 6 Color-changing patterns in the experiment

Fig. 5 Outline of color change on HS -plane

Fig. 7 Experimental setup

反応が話しやすいかについて官能評価実験を行った。実験では二つのディスプレイにそれぞれ別の色彩変化をするオブジェクトを同時に提示し、反応を一对比較させた。反応パターンは2・6・3項に示した4パターンである。被験者は、18歳から22歳までの40人である。

3・1 実験装置 実験の構成図を図7に示す。被験者の音声をマイク(マイク屋製1スピーカーヘッドセット y 2-02)でPCに取り込み、オブジェクトの反応を制御している。音声データは22.5 kHz, 16 bitでサンプリングしている。実験ではグラフィックカード(nvidia Quadro 3200)を搭載したワークステーション(日本ヒューレット・パッカード製 hp work station xw 4200, CPU: Pentium 4 3.60 GHz, RAM: 512 MB)を用い、オブジェクトを表示するディスプレイには20.1形LCD(SHARP製 LL-T 2020, 1600×1200画素)を使用した。オブジェクトの反応を同期させるために、2台のディスプレイを用いてグラフィックカードのデュアルディスプレイモードを使用した。被験者とディスプレイの距離は70 cmとし、ディスプレイが同一平面となるように配置した。

3・2 話しやすさの評価実験 うなずきの引込み反応は、対話の流れを調整する役割を果たし、身体的インタラクション支援の観点からは、話しやすいかどうかが重要であるので⁽⁴⁾、本システムの色彩引込みによる有効性を話しやすさを評価指標として官能評価した。被験者に、左右のディスプレイに描画される二つのオブジェクトに語りかけてもらい、どちらの色相変化の反応が「話しやすい」かを二者択一で一对比較させた。この一对比較を2・6・3項に示した4パターンからランダムに同一でない2パターンを順次選出、6組のパターンを提示した。表示位置による見え方の違いをなくすために、描画するディスプレイを左右入れ替えた合計12組のパターンを提示し、アンケートによる評価を行わせた。入力音声は、日常会話の対話とした。図8に実験風景を示す。

Fig. 8 Scene of experiment

3・3 Bradley-Terry モデルによる話しやすさの評価

一对比較による官能検査結果を表1に示す。表中の数字は、各パターンの話しやすさの勝ち数を示している。この検査結果を定量的に評価するために、以下に示す Bradley-Terry モデルを想定した⁽¹⁰⁾。このモデルは、強さを表す尺度を π とし i 番めの要素の強さを π_i とするとき、この π_i の値が大きいかほど他の要素に比べて強いと判断することができる。ここで要素の数が m 個とすると、各要素に対応して m 個の量 $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m$ が存在して、すべての i, j の組合せに対し、要素 i が j に勝つ確率が、式(4)で表される。

$$P_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \pi_j} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum_i \pi_i = \text{const.} (=100) \quad \dots\dots\dots (5)$$

π_i : i の強さの量

P_{ij} : i が j に勝つ確率

本研究において、 π_i はオブジェクトの色彩が変化したときの話しやすさを表し、このモデルを想定することにより、一对比較の結果に基づく話しやすさを一義的に定めることができる。 π の強さの計算結果を図9に示す。

Bradley-Terry モデルが成り立つ、すなわち確率から強さというものが一義的に定められるためには、「順位づけをしたいすべての要素の間に、強さの線形順序が成り立たなければならない」という前提条件が必要で、本モデルでの整合性を検討する必要がある。そこで、 π の値に対して適合度検定と尤度比検定を行った結果、モデルが棄却されず、強さ π の妥当性が保証された。

以上の結果より、パターン c、パターン a、パターン b、パターン d の順序で、話しやすいと評価された。したがって、反応のタイミングは同じであっても、色

Table 1 Results of the experiment

	a	b	c	d	Total
Pattern a		48	37	47	132
Pattern b	32		31	41	104
Pattern c	43	49		57	149
Pattern d	33	39	23		95

Fig. 9 π based on the Bradley-Terry model

彩変化のパターンが異なることでインタラクション効果が変化することが明らかになった。

3・4 考察 まず、オブジェクトの逐次的な色彩変化の視覚効果が、話しやすさへの影響がより高いと考えられる。これは、オブジェクト全体の色相を変えるパターンb, dと比較して、色相を上部から下部に向けて逐次変化させるパターンa, cの評価が高かったことにより、オブジェクト全体の色相の変化より、オブジェクトの色相が逐次変化してまた元の色に戻る色相の変化が高く評価されたためである。次に、色彩の変化方向は話しやすさに影響を及ぼすことを示していると考えられる。これは、オブジェクトの基本色が赤のパターンaより、オブジェクトの基本色が青のパターンcの評価値が高かったためである。パターンcの色彩の変化は、進出色である赤が上部から順次見えてくることで、オブジェクトの上部が前に出てきているように見え、正方形のオブジェクトが、「手前に傾きまた元に戻る動作をしている」ように見えることを示している。

以上のことから、色彩変化形IAでは、うなずきのタイミングで逐次的にオブジェクトの色彩を変化させ「手前に傾きまた元に戻る動作をしている」ように見せることで、身体的にかわりを有するオブジェクトの変化を提示できることが示された。

4. 終わりに

うなずきのタイミングで身体的な引込み効果をオブジェクトの色彩変化のみで表現できる音声駆動形身体的色彩変化引込みシステムを開発した。これは、オブジェクトの基本色彩として進出色の赤と後退色の青を採用し、正方形オブジェクトに彩色を施して、「手前に傾きまた元に戻る」ように見せることができる効果をもたらすものである。本システムを用いて官能評価実験を行った結果、後退色のオブジェクトの上部から進出色に変化するパターンが高く評価され、次いで進出色のオブジェクトの上部から後退色に変化するパターンであった。そして、オブジェクト全体の色彩が変化するパターンの評価は低いことが示された。このことから、音声に対する聞き手の反応として、人のうなずき動作を連想させる、「手前に傾き元に戻る」視覚効果の有効性が明らかになった。この視覚効果は3Dオブジェクトの形状にかかわらず、形状変化を伴わない聞き手の反応として身体的コミュニケーションシステムに広く応用できると考えられる。

今後の課題として、今回行った色相変化のパターンとの基本色として、光の三原色の一つである緑を用いた赤と緑の変化、緑と青の変化についても検討する必

要がある。緑は、進出色・後退色いずれにも当てはめられないため、青と赤の組合せと異なった見え方になると考えられる。また、色相の変化量も $\Delta H=120$ と大きなものであるため、 $\Delta H=60$ 程度とした、より近い色相の変化での身体リズムの引込み現象の確認・検討が必要である。

また同時に、ビデオ画像へのテキスト文付加時でのテキスト文字の色彩変化など色彩変化形IAの特徴を生かした応用分野を創出していく予定である。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金萌芽研究15650180870並びに、独立行政法人科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」における「人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術」プロジェクトの助成による。

文 献

- (1) Watanabe, T., Okubo, M. and Danbara, R., InterActor: Speech-Driven Embodied Interactive Actor, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 17, No.1 (2004), pp. 43-60.
- (2) Watanabe, T., E-COSMIC: Embodied Communication System for Mind Connection, *Proc. of the 13th IEEE International Workshop on Robot-Human Interactive Communication (RO-MAN 2004)*, (2004-9), pp. 1-6.
- (3) Danbara, R., Watanabe, T. and Okubo, M., Effects of Speech-driven Embodied Entrainment Character "InterActor" on Talker's Speech, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 71, No. 712 (2005), pp. 3486-3493.
- (4) Yoshida, M., Watanabe, T. and Yamamoto, M., Development of a Speech-Driven Embodied Entrainment System with 3DCG Objects, *The Transactions of Human Interface Society*, Vol. 9, No. 3 (2007), pp. 87-96.
- (5) The Color Science Association of Japan ed., *Handbook of Color Science*, 2nd ed., (1998), pp. 375-376, University of Tokyo Press.
- (6) Takagi, M. and Shimoda, H. eds., *Handbook of Image Analysis [Revised Edition]*, (2004), pp. 457-463, University of Tokyo Press.
- (7) Kuroda, T. and Watanabe, T., Analysis and Synthesis of Facial Color Using Color Image Processing, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 63, No. 608 (1997), pp. 1255-1260.
- (8) Kuroda, T. and Watanabe, T., Facial Color Image Analysis and Synthesis for the Virtual Face Image in Emotional Change, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 65, No. 638 (1999), pp. 4114-4120.
- (9) Harrington, S. and Koriyama, A., *COMPUTER GRAPHICS—A Programming Approach—[II]*, 2nd ed., (1989), pp. 484-499, McGraw-Hill.
- (10) Analysis of Scientific Data (Basic Statistics 3) *Statistics Section, Department of Social Sciences, College of Arts and Sciences, University of Tokyo*, (1992), pp. 166-170, University of Tokyo Press.