仮想観客インタフェースに会話活性度推定モデルを付与した 場の盛り上がり支援システム*

瀬島 吉裕^{*1}, 渡辺 富夫^{*2}, 石井 裕^{*3}

An Interaction-Activated Communication Support System Using a Virtual Audience with an Estimated Model of Conversational Activity

Yoshihiro SEJIMA^{*1}, Tomio WATANABE and Yutaka ISHII

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University
2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611, Japan

Previously, we developed an embodied virtual communication system (EVCOS) for human interaction analysis by synthesis, and confirmed the importance of embodied sharing in avatar-mediated communication. In this paper, we analyze human interaction and communication in interaction-activated conversation for supporting avatar-mediated communication by using EVCOS, and we propose a model for estimating conversational activity on the basis of this analysis. Further, we develop an interaction-activated communication support system for enhancing embodied interaction and communication by applying the proposed model to a virtual audience comprising interactive CG objects. In this system, the virtual audience generates entrained nodding responses as well as dynamic movements based on the estimated conversational activity during the interaction-activated communication period. The effectiveness of the system is demonstrated by means of sensory evaluations and behavioral analysis of 20 pairs of subjects involved in avatar-mediated communication.

Key Words : Human Interface, Man-Machine-Communication, Emotion, Kansei and Embodiment, Human Engineering, Virtual Reality

1. は じ め に

近年、情報機械の飛躍的な性能向上やネットワークの普及により、情報機械を媒体とした新たなコミュニケーションサービスが提供され、人と人とのコミュニケーション形態が多様化している⁽¹⁾。とくに、メタバースやオンラインゲーム等、ネットワーク上の 3D バーチャル空間でアバタ（自己の分身となる CG キャラクタ）を介してコミュニケーションを行うシステムが実用化され、多くのユーザがコミュニケーションツールとして利用している⁽²⁾。また、アバタに身体性を付与したコミュニケーション支援システムの開発⁽³⁾⁽⁴⁾や身体的対話エージェント⁽⁵⁾⁽⁶⁾の検討が進められており、様々な研究が精力的に行われている。しかしながら、このようなコミュニケーションシステムでは、場とのかかわりや互いの身体性の共有が不十分でインタラクションが把握しにくく、場の盛り上がりや一体感が創出されにくい。本来、人と人が行うコミュニケーションでは、単に言葉によるバーバル情報だけでなく、うなずきや身振り・手振り、周辺言語などの言葉によらないノンバーバル情報が引き込むことで、相互の身体性が共有され、円滑なコミュニケーションが行われている⁽⁷⁾。この身体性の共有が場の盛り上がりや一体感を生み、人とのかかわりを実感させている。

著者らはこれまでに、アバタを介したコミュニケーションを支援するために、アバタの周囲に配置されている CG オブジェクトがあたかも観客のようにコミュニケーション場にかかわる仮想観客インタフェースを開発してい

* 原稿受付 2012 年 4 月 16 日

^{*1} 正員，山口大学大学院 理工学研究科 情報・デザイン工学専攻 (〒 755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)

^{*2} 正員，フェロー，岡山県立大学 情報工学部 情報システム工学科 (〒 719-1197 岡山県総社市窪木 111)

^{*3} 岡山県立大学 情報工学部 情報システム工学科

E-mail: sejima@yamaguchi-u.ac.jp

る⁽⁸⁾．このインタフェースでは，観客として壁一面に配置されたひまわり型 CG オブジェクトが対話者の発話音声に対して聞き手としてうなずき動作や身体動作などの引き込み動作を行い，かかわりの場を創出する．このインタフェースを用いてコミュニケーション実験を行った結果，対話しやすさが向上するなど，人とのインタラクション支援に有効であることを示している．

一方，対面コミュニケーションでは，うなずきのような引き込み反応だけでなく，場の盛り上がりがコミュニケーションの促進に重要な役割を果たしている⁽⁹⁾．アバタを介したコミュニケーションにおいても，場の盛り上がりを反映することで，円滑なコミュニケーションが実現されることが報告されている．例えば，Björn らは，会話の状況や盛り上がりなどの音声情報を基に，アバタの手のジェスチャ動作を変化させることで，場の盛り上がりが反映可能であることを示している⁽¹⁰⁾．また，前田らは「場の活性度」を自動的に推測する手法の確立を目指して，手の動き等のジェスチャから推定する手法を提案している⁽¹¹⁾．さらに，守屋らはアバタの自動制御手法の開発を目的として，対話者のオーバーラップや平均発話潜時や発話率から個人の活性度と場の活性度を推定する会話活性度の推定を検討している⁽¹²⁾．このようなシステムでは，数理モデルから場の盛り上がりを推定し，アバタの手の動作や身体動作を自動生成している．しかしながら，場の共有や相互の一体感を強めるためには，単にアバタの動作制御だけでなく，アバタを含めた場全体とのかかわりを実感できるシステムを設計する必要がある．そのため，これまで開発してきた仮想観客インタフェースを用いて場の盛り上がり行動特性に基づいた身体動作を表現することで，コミュニケーション場に一体感がもたらされ，人との身体的インタラクションが促進されると期待される．

そこで本研究では，アバタを介したコミュニケーションを解析できる身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS⁽¹³⁾を用いて，コミュニケーションにおける場の盛り上がり特性を解析し，その解析結果に基づいて会話活性度を推定する会話活性度推定モデルを提案している．さらに，提案モデルをこれまで開発してきた仮想観客インタフェースに適用し，会話活性度推定モデルに基づく場の盛り上がり支援システムを開発している．開発したシステムを用いてコミュニケーション実験を行い，提案モデルおよび開発したシステムの有効性を示している．

2. 場の盛り上がり特性解析実験

本研究では，身体動作や音声等の各種インタラクションが活性化した状態を「場の盛り上がり」として定義し，アバタを介したコミュニケーション時における場の盛り上がり特性を解析するために，身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS を用いて 2 者間コミュニケーション実験を行った．

2.1 身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS

EVCOS は，自己と相手のアバタである VirtualActor (VA) をバーチャル空間に配置し，同一空間内で対面コミュニケーションを実現している．対話者は互いの VA を観察しながらコミュニケーションを行うことで，相互の身体性を共有することができる⁽¹³⁾．EVCOS では，磁気センサ (POLHEMUS FASTRAK) を用いて対話者の身体動作を計測し，リアルタイムに VA に反映すると同時にハードディスクに記録している．このときの描画速度は 30fps である．EVCOS を用いた対話場面例を図 1 に示す．この場面は，対話配置実験により最も好まれた対話場面であり，自己 VA と相手 VA が対面している様子を自己 VA の後方から確認できる⁽¹⁴⁾．

Fig. 1 Communication scene using EVCOS.

Fig. 2 Selecting scene of interaction-activated communication using video.

2.2 実験方法

実験は2人1組で行い、被験者にはそれぞれ別室でディスプレイを見ながら対話を行わせた。本実験では、自然に対話が盛り上がると想定される日常対話を対象として自由対話実験を行った。被験者は友人の間柄で、21歳～24歳までの男子学生4組8人であった。

実験手順は、まず3分間システムを試用させた後、自由対話実験を3分間行った。このとき、ディスプレイに表示される映像と相互の音声を対話の様子として録画した。実験直後、図2のようにノートPCを用いてMicrosoft WindowsMediaPlayerにより録画した動画を対話者自身に視聴させた。本研究では、会話全体に対する盛り上がりではなく、時系列での盛り上がりを対象としているため、個人の主観に基づいて場が盛り上がっていると感じる開始時刻と終了時刻を1秒単位で記録させた。動画の視聴回数は無制限にし、何度でも再生可能とした。また、場の盛り上がり区間は複数選定してよいものとした。なお、対話における場の盛り上がりの判定手法として、個人の主観評価による判定の妥当性が認められていることから⁽¹⁵⁾、本研究では主観評価を採用した。とくに、主観評価の信頼性の観点から、場の盛り上がりの段階的な程度ではなく、「盛り上がっている状態」「盛り上がっていない状態」の2値として回答させた。次に、対話に参加していない被験者6人に対して同じ動画を視聴させ、同様の方法で場の盛り上がり区間の時刻を記録させた。この手順で、全4組の動画に対して、対話者を含む合計8人の被験者が場の盛り上がり区間の選定を行った。

2.3 場の盛り上がり特性解析

まず、実験における場の盛り上がり区間を特定するために、被験者が実験動画から場が盛り上がっていると判断した区間をON、そうでない区間をOFFとして場の盛り上がりの2値化を行った。人数を縦軸として、全4組の2値化した場の盛り上がりを加算した時系列データを「場の盛り上がり加算波形」として図3に示す。斜線の区間は、実際に対話を行った両被験者が共に場の盛り上がりを感じた時間帯を示している。また、図中の矢印は両者が笑い合っている区間を示している。図より、両対話者本人が場の盛り上がりを感じる区間に対して、対話不参加者においても同様に判定される傾向が見られる。また、実験動画から場の盛り上がりを感じる区間を確認した結果、主に被験者同士が笑い合っている場面が確認された。ここで、全被験者が選定した1区間当たりの場の盛り上がりの平均時間は29秒であり、最小時間は5秒であった。このことから、場の盛り上がりは瞬間的なもので

Fig. 3 Change in the interaction-activated communication with time, based on the number of subjects by whom the scene is subjectively selected as the activated communication scene.

Fig. 4 Example of binary voices.

Fig. 5 Change in the relation between the speech overlap and the activated communication with time.

はなく、ある程度の時間幅を有することが示された．以上のことから、主観的に場の盛り上がりを感じる区間は、笑い合いなどの両者の音声の重なりが生じる場面であると考えられる．

次に、コミュニケーション時における場の盛り上がりと対話者の音声の重なり（オーバーラップ）との時系列関係に着目して解析した．ここで、オーバーラップに着目したのは、オーバーラップと場の盛り上がりとの間に関連性があることが報告されているからである⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾．音声データ $x(i)$ は、16bit で量子化した最大振幅値 (± 32767) が ± 1 となるように正規化・絶対値化し、サンプリング周波数 30 Hz で音圧が閾値を超えた場合を ON、そうでない場合を OFF として、ON 区間に対して 5/30 秒でハングオーバー（ON 区間を伸ばして短い OFF 区間を ON 区間に置換）処理を施して 2 値化した．ここで、盛り上がっている場面では音量が大きくなることから⁽¹⁸⁾、音声入力の有無に用いる閾値よりも高い閾値を用いて 2 値化を行った．音声を 2 値化した例を図 4 に示す．通常の閾値 a よりも高い閾値 A に設定することで、音量の大きい部分が抽出されていることがわかる．対話者相互のオーバーラップは以下の式 (1) を用いて算出した．

$$\text{overlap}(i) = x_1(i) \times x_2(i) \quad (1)$$

$x_1(i)$: 対話者 1 の 2 値化した音声, $x_2(i)$: 対話者 2 の 2 値化した音声

図 5 に実験 3 分間における対話者 1 の音声、対話者 2 の音声及びオーバーラップの時系列推移例を示す．場の盛り上がり加算波形が増加するとともにオーバーラップの割合が増加し、密になっていることがわかる．これは、他の 3 組においても同様の傾向が認められた．そこで、オーバーラップと場の盛り上がり加算波形との相関係数を求めた結果、全 4 組の平均が 0.51 となったことから、場の盛り上がり区間とオーバーラップとは正の相関関係にあることが示された．

3. 会話活性度推定モデル

前章の場の盛り上がり特性解析から、アバタを介したコミュニケーションにおける場が盛り上がっていると判定された区間では、主に笑い合っている場面が多く、対話者相互のオーバーラップが頻出する結果が得られた．これらのことから、場の盛り上がりを感じる区間では、オーバーラップが増加し、音声インタラクションが活性化しているものと考えられる．そこで本研究では、これらの場の盛り上がり特性に基づいて、発話音声からオーバーラップを算出し、会話活性度を推定する会話活性度推定モデルを提案する．このモデルは、対話者相互の発話音声の重なりに基づき、会話活性度（音声インタラクションにおける活性の度合い）を推定するものである．さらに、このモデルに基づく推定値から場の盛り上がっている状態を推定する．

Fig. 6 Change in the model-based estimated value with time.

3.1 会話活性度推定モデル

2.3 節の場の盛り上がり特性解析において、場の盛り上がりにはある程度の時間幅を有することが示された。そこで本研究では、重み付き移動平均により会話活性度の推定を試みる。まず、現在のオーバーラップの状態を式 (1) により算出する。次に、式 (2) のように算出したオーバーラップに対して重み付き移動平均処理を行うことで、会話活性度を推定する。現在のオーバーラップに対して高い重み付けを行うことで、推定値の立ち上がりを早めている。

$$u(i) = \frac{\sum_{j=1}^K (K+1-j) \text{overlap}(i-j)}{\sum_{j=1}^K j \times 0.01} \quad (2)$$

$u(i)$: 会話活性度, K : const.

ここで、移動平均処理における分析区間を 2 秒, 3 秒, 5 秒, 10 秒と変化させた場合における会話活性度推定値の時系列変化例を図 6 に示す。分析区間が 2 秒または 3 秒の場合では、推定値の立ち上がりが早く、瞬間的な盛り上りを捉えるには有効であるが、推定値の変化が激しく、時間幅が短い。また、分析区間を 10 秒とした場合では、場の盛り上がり区間として十分な時間幅を有するが、推定値の立ち上がりが遅いため突発的な盛り上がりに対応できない。分析区間が 5 秒の場合では、推定値の立ち上がりも早く、かつ盛り上りの時間幅を有していることがわかる。そこで、各分析区間の推定値を $x(i)$ 、場の盛り上がり加算波形を $y(i)$ として、式 (3) の相互相関関数 $C(\tau)$ を用いて評価した。

$$C(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} \{x(i) - \mu_x\} \{y(i+\tau) - \mu_y\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \{x(i) - \mu_x\}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \{y(i) - \mu_y\}^2}} \quad (3)$$

μ_x, μ_y : x, y の平均値, n : データ数, i : 描画フレーム, τ : 時間遅れ

その結果、分析区間を 5 秒とした場合に相互相関関数 $C(\tau)$ の最大値が 0.90 となり最も高く評価された。また、他の 3 組においても同様の傾向が見られたことから、本研究では移動平均処理における分析区間を 5 秒とした。

次に、会話活性度推定モデルによって推定された値から、予め設定した閾値に基づいて場が盛り上がっている場面の推定を行う。この閾値については、以下のように選定を行った。まず、場の盛り上がり加算波形において過半数（4 人）以上の被験者が盛り上がっていると回答した区間を ON、そうでない区間を OFF として、場が盛り上がっている場面の 2 値化を行った。次に、推定値に対して 0.0～1.0 の範囲で閾値を 0.1 刻みで変化させ、推定値が閾値を超えた場合を ON、そうでない区間を OFF として推定値の 2 値化を行った。推定値を 2 値化したデータと場が盛り上がっている場面の 2 値化データについて相互相関関数 $C(\tau)$ を用いて評価した。ここでは、分析区間 180 秒間として相互相関関数 $C(\tau)$ のずれ時間を前後最大 5 秒で評価した。その結果、閾値を 0.4 とした場合に相関値が 0.94 となり最も高く評価された。また、他の 3 組においても同様の傾向が見られたことから、本研究では推定閾値を 0.4 とした。

3.2 会話活性度推定モデルの評価実験

会話活性度推定モデルの妥当性を検討するためにモデル評価実験を行った。実験手順は以下の通りである。まず、EVCOS を用いて被験者にシステムを試用させた後、日常対話を対象として自由対話実験を 3 分間行った。被験者は場の盛り上がり解析実験とは異なる女子学生 2 人であった。実験後、対話に参加していない被験者 8 人に実験の動画を視聴させ、場が盛り上がっていると思われる区間の開始時刻と終了時刻を記録した。ここで、両対話者本人が場の盛り上がりを感じる区間是对話不参加者においても同様に判定される傾向が見られることから、本実験では不参加者のみの主観評価を行った。また、実験中にリアルタイムに生成された会話活性度推定値はハードディスクに記録した。

実験結果を図 7 に示す。図 7 (a) は実験の動画から場が盛り上がっていると判断した被験者の場の盛り上がり加算波形である。図 7 (b) は対話者相互の発話音声からリアルタイムに生成された会話活性度推定値の時系列波形である。図 7 (c) は分析区間を 30 秒として、上記 (a), (b) の時系列データを相互相関関数 $C(\tau)$ で評価した結果である。図より、 $\tau =$ 約 2.5 秒付近に強い正の相関が確認できる。そこで、分析区間を 180 秒間として相互相関関数 $C(\tau)$ のずれ時間を前後最大 5 秒で評価した。その結果、相互相関関数 $C(\tau)$ の最大値は 0.71 となり、提案する会話活性度推定モデルの妥当性が示された。

Fig. 7 Change in the cross-correlation $C(\tau)$ between the interaction-activated communication and the model-based estimated value with time.

Fig. 8 Concept of the interaction-activated communication support system.

4. 会話活性度推定モデルを付与した場の盛り上がり支援システム

提案モデルをこれまで開発してきた仮想観客インタフェース⁽⁸⁾に適用し、身体的引き込み反応に加え、場の盛り up を支援する身体的コミュニケーションシステムを開発した。

4.1 コンセプト

会話活性度推定モデルを仮想観客インタフェースに適用した場の盛り up 支援システムのコンセプトを図 8 に示す。仮想観客は対話者の発話音声に基づいてうなずきなどの引き込み動作を行い、バーチャル空間内に身体的引き込み⁽⁷⁾を誘発させる。この身体的引き込みによって場の盛り up や一体感が向上し、さらに会話活性度推定モデルによって場の盛り up が推定され、仮想観客が引き込み動作だけでなく盛り up 動作を行う。対話者は場の盛り up を実感しつつ、仮想観客と一体となってインタラクションが向上する⁽¹⁹⁾。とくに、身体的引き込み反応と場の盛り up を統合して提示することで、場を盛り up する雰囲気をつくるメディア表現が可能となる。

4.2 システム開発

本研究では、場が盛り up している場面での仮想観客の盛り up 動作を構築するために、場の盛り up の典型として笑い動作に着目した。

4.2.1 笑い動作における呼気段落区分の解析

まず、笑い動作における呼気段落区分に着目し、男性 12 人、女性 4 人の笑い声をマイクを用いて 16bit 11kHz でサンプリングした。次に、得られた音声データに対して 2.3 節と同様の 2 値化処理を行い、笑い動作における呼気段落区分を解析した。その結果、サンプリングした全員の呼気の 1 ユニット (On+Off) の平均時間は、 0.26 ± 0.11 秒であった。

4.2.2 仮想観客の盛り up 動作

本研究では、インタラクション支援の観点から、観客参加型番組等の観客が盛り up 場面で行う身体動作に着目し、場が盛り up している場面で観客が振舞うと想定される代表的な 5 種類の身体動作を選定した (図 9)。図には、仮想観客の動作軸および動作例を示している。さらに、被験者 8 人に対して、5 種類の動作から 2 つをランダムに選んで「盛り up している動作として好ましい」方を選択する比較を全ての組み合わせで行い、一対比較を行わせた。ここで、藤田らの研究によって、盛り up に応じてアバタの身体動作の大きさや速度を増加させることで、場の盛り up を表現できることが示されていることから⁽²⁰⁾、本研究においても笑い動作の呼気段落区分である 0.26 秒の周期を用いて盛り up 動作を生成した。一対比較の結果を表 1 に示す。表中の数字は各種類の勝数、つまり各行の種類を選択した回数を表している。この結果に対して被験者による評価を定量的に評価するために、Bradley-Terry モデルを想定した⁽²¹⁾。

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

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

π_i : i の強さの量, P_{ij} : i が j に勝つ確率

Fig. 9 Comparison of the virtual audience's behavior.

Table 1 Result of paired comparison.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	Total
(a)		8	4	2	8	22
(b)	0		0	1	4	5
(c)	4	8		1	7	20
(d)	6	7	7		7	27
(e)	0	4	1	1		6

Fig. 10 Comparison of π .

π_i は 5 種類の盛り上がり動作の好ましさを (5 モードの合計 100) を表し、このモデルを想定することにより、一対比較に基づく好ましさを定量的に定めることができる。Bradley-Terry モデルより推定された盛り上がり動作の好ましさを図 10 に示す。このモデルの整合性を検討するために、適合度検定を行った結果、モデルは棄却されず、 π の妥当性が保証された。図 10 より、(d) 身を乗り出す動作が最も高く評価されていることがわかる。以上の結果より、仮想観客の盛り上がり動作は、会話活性度推定モデルで場の盛り上がりが検出された区間、笑い動作の呼気段落区分である 0.26 秒の周期で、身体全体が前に身を乗り出す動作を連続して行うものとした。

4.3 場の盛り上がり支援システム

仮想観客インタフェースに会話活性度推定モデルを適用し、場の盛り上がり支援システムを開発した。システムの概略を図 11 に示す。本システムは、WindowsXP を搭載した PC (Hewlett-Packard hp workstation xw4200: Pentium4 2.8GHz, メモリ 1GB, グラフィックボード NVIDIA Quadro FX3400), 磁気センサ (POLHEMUS FASTRAK), ヘッドセット (SONY DR-260DP) から構成される。VA の身体動作は、対話者の頭部、背部、両手首に取り付けた 4 個の磁気センサから、位置及び角度情報を 30Hz でサンプリングし、合成している。音声は 16bit 11kHz でサンプリングしている。身体動作及び音声はギガビットイーサネットを経由して PC 間で送受信すると同時にハードディスクに記録している。バーチャル空間の構築は、Microsoft DirectX 9.0 SDK Update (Summer 2003) を用い、描画速度は 30fps である。

仮想観客であるひまわり型 CG キャラクタは、音声入力がない場合であっても自然な揺らぎ動作を行うが、音声が入力されると聞き手としてうなずきや身体動作などの引き込み動作を行う。このときのうなずき動作は、先行研究の知見を基に、角速度 0.03rad/frame で花の部位が前後方向の回転運動を行うものとした⁽²²⁾。また身体動作は、角速度 0.0125rad/frame で葉先を上下に揺らすものとした。揺らぎ動作は、生命感を与える瞬き反応モデル⁽²³⁾を用い、うなずきを基点として指数分布させた。さらに、会話活性度推定モデルに基づいて、両対話者のオーバーラップから推定された会話活性度が閾値を越えた場合に、仮想観客は盛り上がり動作を行う。この盛り上がり動作は、予備実験の知見を基に、身体全体が角速度 0.012rad/frame で 0.12rad までの身体全体が前に身を乗り出す動作を行う。さらに、角速度 0.04rad/frame で 0.12rad までの範囲内で複数の葉先を左右に揺らすことで、躍動感のあ

Fig. 11 Setup of the system.

る動作を生成している．これら引き込み動作と盛り上がり動作をそれぞれ排他的に実行するのではなく，両動作を合成することで，身体的引き込みの効果を損なうことなく場が盛り上がっている雰囲気を生成している．なお，予備実験の際に会話活性度推定モデルに伴う盛り上がり動作の 2.5 秒程度の遅延については，「観客に盛り上がり伝播しているようだった」等のコメントにより，遅延に対する違和感がないことを確認している．

5. コミュニケーション実験

5.1 実験概略

実験は 2 人 1 組で行い，被験者にはそれぞれ別室でシステムを用いて対話を行わせた．各室の対話の様子はビデオカメラにより録画した（図 12）．本実験では，日常対話を想定した自由対話実験と，会議などの話し合いを想定した合意形成対話実験を行った．自由対話実験での対話内容は日常の談話とした．合意形成対話実験における対話内容は表 2 に示す goo ランキング⁽²⁴⁾調べによる，各ランキングにおける上位 4 項目の中から 1～3 位の順位を予想するものとした．比較モードは，先行研究により，うなずきなどの引き込み動作の有効性をすでに確認しているため⁽⁸⁾，自由対話実験では仮想観客が引き込み動作を行う「引き込み動作」と引き込み動作と盛り上がり動作を行う「併用動作」とした．合意形成対話実験では，本システムの顕著な有効性を検証するために，仮想観客が動作を行わない「動作なし」を基準として提案システムである「併用動作」を比較した．被験者は 18～24 歳までの同性同士の男性 10 組，女性 10 組の計 40 人であった．

5.2 実験手順

まず，システムを 3 分間試用させた．その後，各モードで 3 分間ずつ計 6 分間の自由対話実験を行わせた．次に，各モードで時間制限を設けずに合意形成対話実験を行わせた．ここでは，2 人の間で予想順位が一致するまで対話を続けさせた．最後に，「使用したい」の観点から二者択一の一対比較を行わせた．各対話終了後，7 段階に

Fig. 12 Example of communication scene using the system.

Table 2 Ranking of conversational topics in a consensus building.

The favorite competition ranking of an athletic meet	<ul style="list-style-type: none"> • Throwing-ball game • Mock cavalry battle • Relay • Tug-of-war
The last homework ranking of the summer vacation that always remained at elementary school	<ul style="list-style-type: none"> • Book report • Independent research • Diary • Manual training

よる官能評価（中立0）を自由対話実験で「楽しさ」「対話しやすさ」「場の盛り上がり」「好み」アバタを介しての相手との「一体感」「安心感」の6項目、合意形成対話実験では「満足感」を追加した7項目のアンケートを行わせた。各モードの提示順および合意形成対話の話題は順序効果を考慮して組ごとにランダムとした。

5.3 官能評価結果

7段階評価結果を図13に示す。図には平均値とその標準偏差を示している。自由対話実験において、「引き込み動作」と「併用動作」を比較した結果、Wilcoxonの符号順位検定により「楽しさ」「場の盛り上がり」の項目において有意水準1%で有意差が認められ、「好み」「一体感」の項目において有意水準5%で有意差が認められた（図13(a)）。さらに、合意形成対話実験では全ての項目において有意水準1%で有意差が認められ、「併用動作」が「動作なし」に対して極めて高く評価された（図13(b)）。

次に、一対比較実験の結果を図14に示す。自由対話実験では、併用動作が40人中33人(82.5%)の被験者に支持された。さらに、合意形成対話実験では、併用動作が40人中37人(92.5%)の被験者に支持された。

以上の結果は、場の盛り上りを視覚提示することによるコミュニケーション支援への有効性を示している。

5.4 行動解析結果

対話における場の盛り上りを会話活性度推定モデルから算出された推定値に着目して解析を行った。各実験における会話活性度推定モデルの推定値の平均値を式(6)によって評価した（図15）。自由対話実験において、「引き込み動作」と「併用動作」を比較した結果、t検定により有意水準1%で有意差が認められ、「併用動作」が「引き込み動作」に対して会話が活性している割合が高かった。一方、合意形成対話実験では統計的な有意差は認められなかった。

Fig. 13 Questionnaire-based sensory evaluation.

Fig. 14 Paired comparison.

Fig. 15 Activated level in each experiment.

Fig. 16 Number of nodes by the virtual audience during free conversation.

$$\text{Average of activation level} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u(i) \quad (6)$$

$u(i)$: 会話活性度, N : データ数

また、自由対話実験における仮想観客が行ったうなずき動作回数を図 16 に示す。「引き込み動作」と「併用動作」を比較した結果、 t 検定により有意水準 1% で有意差が認められた。両モードともに身体的引き込み反応を提示しているにも拘わらず、うなずき動作の回数が増え、発話の促進効果が認められた。

5.5 考察

先行研究において、日常対話を対象とした自由対話実験では、仮想観客がうなずきなどの引き込み動作を行うことで、「対話しやすさ」や「安心感」が向上することが示されている⁽⁸⁾。これに対して、本研究で仮想観客が引き込み動作と盛り上がり動作を行った場合では、「対話しやすさ」「安心感」については引き込み動作のみと同程度であったものの、「楽しさ」「場の盛り上がり」「好み」「一体感」の項目において高く評価された。さらに、官能評価だけでなく行動解析においても会話活性度の向上やうなずき動作の回数が増加するなど、インタラクションの促進を高める結果となった。これは、引き込み動作がコミュニケーション場に身体的リズムの引き込みを促しているのに対して、盛り上がり動作はさらにこの身体的引き込み効果に加えて、仮想観客を含めたダイナミックなコミュニケーション場の情報を対話者にフィードバックし、それらの相乗効果がコミュニケーションの活性化をもたらしたものと考えられる。

合意形成対話実験では、先行研究において仮想観客の動作モードとして「引き込み動作」と「動作なし」との比較を行った結果、インタラクション支援効果が認められたことから、本研究においても同様の効果が期待されるため、「併用動作」と「動作なし」との比較を行った。その結果、「場の盛り上がり」「一体感」「満足感」などの全ての項目において極めて高く評価された。これは、仮想観客が身体的引き込みにより身体性の共有を促すだけでなく、場の盛り up をを反応動作に反映させることで、対話者はインタラクションの様態（場の盛り上がり）とコミュニケーション場との関連付けが容易に行いやすくなり、一体感が向上したものと考えられる。

また、先行研究において、アバタの身体動作のみを反映させたモードと、うなずき反応モデルによって生成されたうなずき動作の動作タイミングを時間的にシフトさせ、アバタの動作頻度を高めたモードを用いてインタラクション支援を検討した。その結果、動作頻度を高めたモードでは、身体動作のみを反映させたモードに比べて「場の盛り上がり」「一体感」「好み」等の項目において評価が低くなることが示されている⁽²⁵⁾。すなわち、単に動作量を増加させるだけでなく、インタラクションを考慮したシステム設計でなければ、コミュニケーション支援に繋がらないことが示されている。本研究で開発したシステムは、自由対話実験および合意形成対話実験の両実

験において高く評価されていることから、場全体とのかかわりが実感でき、コミュニケーション支援に繋がったものと考えられる。

以上のことから、開発したシステムが場の盛り上がりを支援し、コミュニケーション・インタラクションを促進することから、システムの有効性が示された。

6. お わ り に

本研究では、身体的バーチャルコミュニケーションシステムを用いてアバタを介したコミュニケーションにおける場の盛り上がり特性を解析し、その解析結果に基づいて会話の活性度を推定する会話活性度推定モデルを提案した。次に、提案モデルを仮想観客インタフェースに適用し、身体的引き込み反応に加え、場の盛り上がりを支援する身体的コミュニケーションシステムを開発した。さらに、開発したシステムを用いてコミュニケーション実験を行った。その結果、場の盛り上がり把握しつつ、楽しさや一体感が向上するなど円滑なコミュニケーションが実現され、提案モデルおよび開発したシステムの有効性を示した。

今後は、場の盛り上がり評価の確立や盛り上がっていない状況下での活性化モデルの開発、さらに場の盛り上がりに応じて仮想観客の振舞いを変化させ、人と人との身体的引き込みの度合いを制御するコミュニケーションシステムの構築など、各種条件下で分析評価する予定である。

謝 辞

本研究の一部は科学研究費（24700536，22300045）の助成を受けたものである。

文 献

- (1) 駒谷昇一，山川修，中西通雄，北上始，佐々木整，湯瀬裕昭，情報とネットワーク社会 (2011), pp. 2-25, オーム社.
- (2) CyberAgent, Inc., “アメーバピグ”, アメーバピグ, <http://pigg.ameba.jp/> (参照日 2012 年 4 月 15 日).
- (3) Miyajima, T. and Fujita, K., “Control of Avatar’s Facial Expression Using Fundamental Frequency in Multi-User Voice Chat System”, *Proceedings of The 6th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (2006), p. 462.
- (4) Kusumi, T., Ogura, K., Miura, A., “The Development of a Positive Community using Virtual Space for Cancer Patients”, *Proceedings of Second International Symposium on Universal Communication* (2008), pp. 490-493.
- (5) Courty, N., Breton, G., Peld, D., “Embodied in a Look: Bridging the Gap between Humans and Avatars”, *Proceedings of The 4th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (2003), pp. 111-118.
- (6) Amy, L. B. and Soyoung K., “The Effects of Agent Nonverbal Communication on Procedural and Attitudinal Learning Outcomes”, *Proceedings of The 8th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (2008), pp. 208-214.
- (7) Condon, W. S., Sander, L. W., “Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech”, *Science*, Vol. 183 (1974), pp. 99-101.
- (8) 瀬島吉裕，石井裕，渡辺富夫，“アバタコミュニケーション支援のための音声駆動型身体的引き込み絵画を用いた仮想観客システム”，日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 786 (2012), pp. 523-534.
- (9) 日本笑い学会，笑いの世紀 (2009), pp. 48-51, 創元社.
- (10) Björn, H., Maurizio, M. and Catherine, P., “Implementing Expressive Gesture Synthesis for Embodied Conversation Agents”, *Gesture Workshop 2005* (2005), pp. 188-199.
- (11) 前田貴司，高嶋和毅，梶村康祐，山口徳郎，北村喜文，岸野文郎，前田奈穂，大坊郁夫，林良彦，“3 人会話における非言語情報と「場の活性度」に関する検討”，電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 27 (2010), pp. 73-78.
- (12) 守屋悠里英，田中貴紘，宮島俊光，藤田欣也，“ボイスチャット中の音声情報に基づく会話活性度推定方法の検討”，ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 3 (2012), pp. 57-66.

- (13) Watanabe, T., Ogikubo, M., Ishii, Y., “Visualization of respiration in the embodied virtual communication system and its evaluation”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 17, No. 1 (2004), pp. 89-102.
 - (14) 石井裕, 渡辺富夫, “身体的バーチャルコミュニケーションシステムを用いた VirtualActor の対話配置の評価”, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 4, No. 2 (2002), pp. 43-50.
 - (15) 徳久良子, 寺嶋立太, “雑談における発話のやりとりと盛り上がりの関連”, *人工知能学会論文誌*, Vol. 21, No. 2 (2006), pp. 133-142.
 - (16) 伊藤秀樹, 重野真也, 西本卓也, 荒木雅弘, 新美康永, “対話における雰囲気分析”, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2002, No. 10 (2002), pp. 103-108.
 - (17) 西村良太, 北岡教英, 中川聖一, “対話における韻律変化・タイミングのモデル化と音声対話システムへの適用”, *人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会*, No. 48 (2006), pp. 37-42.
 - (18) 関口一樹, 小杉信, 向井信彦, “映像と音情報を用いた野球中継の自動インデクシング”, *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 106, No. 398 (2006), pp. 41-46.
 - (19) Sejima, Y., Ishii, Y., Watanabe, T., “A Virtual Audience System for Enhancing Embodied Interaction Based on Conversational Activity”, *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2011)*, Human Interface, Part II, HCI2011, LNCS 6772 (2011), pp. 180-189.
 - (20) 佐伯悠子, 田中貴紘, 藤田欣也, “会話活性度に基づくアバタ動作の統一的制御方法の検討”, *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 109, No. 28 (2009), pp. 71-74.
 - (21) 竹内啓, *現象と行動のなかの統計数理* (1978), pp. 133-148, 新曜社.
 - (22) 吉田真章, 渡辺富夫, 山本倫也, “3DCG オブジェクトを用いた音声駆動型身体的引き込みシステム”, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 9, No. 3 (2007), pp. 87-96.
 - (23) Watanabe, T., Yuuki, N., “A Voice Reaction System with a Visualized Response Equivalent to Nodding”, *Advance in Human Factors/Ergonomics*, 12A (1989), pp. 396-403.
 - (24) NTT Resonant Inc., “goo ランキング”, goo ランキング, <http://ranking.goo.ne.jp/> (参照日 2008 年 11 月 3 日).
 - (25) 瀬島吉裕, 渡辺富夫, 山本倫也, “うなずき反応モデルを重畳した VirtualActor を介する身体的コミュニケーションの合成的解析”, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 75, No. 758 (2009), pp. 169-178.
-