

生体情報に基づく会議状態推定 — 心拍変動共鳴現象の観測 —

細田 真道† 中山 彰† 小林 稔† 岩城 敏†

会議参加者の生体情報を用いて議論が同調してるか、していないかといった会議状態を推定する方法を提案する。まず、従来提案されてきた、コミュニケーションにおける、生体リズムが相手に引き込まれて同調する「引き込み現象」を拡張し、多人数相互間の関係を捉えるための「共鳴」現象について論じる。次に、共鳴現象を観測するため、マルチメディア会議収録システムを利用し、参加者の生体情報として心拍変動に処理を行い、共鳴現象の指標として共鳴相関行列を求める。最後に、共鳴相関行列から参加者の会議参加度を推定できることを示す。

Conference State Estimation by Biosignal Processing — Observation on Resonances of Heart Rate Variability —

Masamichi Hosoda† Akira Nakayama† Minoru Kobayashi† Satoshi Iwaki†

In this paper, we propose a method of conference state estimation by using biosignal processing. In a human communication, a physiological “entrainment” by vis-a-vis is known. We enhance “entrainment” to bidirectional between multi talkers and call “resonance” relations between participants. To measure the resonance, we recorded conferences with a multimedia conference collection system. By a processing recorded “resonant” biosignal, a correlation matrix is calculated as a relation to the biosignal and the conference state. We can estimate participant’s conference participation level through measuring the resonance.

1 はじめに

通常、会議などの進行状態を記録しておくためには、議事録が作成され、それを参照することによって、過去の会議がどのようなものであったかを知ることができる。しかし、議事録担当者は、記録をとることに集中するため、議論に参加しにくいという問題がある。一方、ブロードバンド環境の普及やPCの高性能化に伴って、マルチメディア会議を行える環境が整いつつあり、議事進行のすべてをマルチメディアデータとして記録しておくことも可能となっている。我々は、複数の家庭と会社を、多地点接続インターネット会議システムで結んだ、在宅勤務実験を約1年間実施してきた[1]。この実験においては、会議に参加できなかったユーザのために、会議アーカイブとして画面のビデオキャプチャを用意したが、

利用者はわずかで、より利便性の高い会議アーカイブ閲覧ツールの必要性が指摘された。そこで我々は、会議参加者の発言や行動など、会議中に発生する時系列データから、会議の構造・要所に関する情報をマイニングし、記録することによって検索を可能とする「おっかけ会議」の研究を進めてきた[2,3]。

本研究では、会議における発言や行動など表に出ている情報だけでなく、生体情報を用いて、会議状態（議論が同調してるか、していないか等）を推定する方法を提案する。会議を含むコミュニケーションにおいて、これまで呼吸や心拍数といった生体リズムが、相手に引き込まれて同調してくる「引き込み現象」が報告されている[4]。本研究では、参加者相互間において発生する、生体情報の引き込み現象を、コミュニケーションチャンネルを通じた結合による「共鳴」と呼び、この共鳴現象を表現する指標となる共鳴相関行列を求めることによって、会議の状態を推定することを試みる。本論文では、まず生体情報

†日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

によるコミュニケーション分析について、従来の研究について検討した後、本研究における共鳴現象について論じ、共鳴現象を利用した会議状態推定手法を提案する。次に、実際の会議を収録するためのマルチメディア会議収録システムについて述べ、生体情報の取得・処理方法および共鳴相関行列について述べる。最後に、収録実験の進行状況と実験を通じて得られた生体情報と会議状態との関係について述べる。

2 生体情報によるコミュニケーション分析

2.1 従来研究

生体情報を用いてコミュニケーションを分析する研究は、いくつか行われている。

例えば、コミュニケーションにおいて、呼吸や心拍数などの生体リズムが同調してくる「引き込み現象」についての研究 [4] がある。これは、ノンバーバルなインタラクションとして、身体的動作をはじめ、呼吸、心拍数などの生体情報も含めた、自己のリズムを変化させることにより、相手に引き込まれ同調してくることによって、より深いコミュニケーションが可能になると報告している。また、この「引き込み現象」を積極的に利用するため、仮想空間にアバターを多数配置し、音声によって身体的動作を駆動して、身体的引き込みを発生させて、コミュニケーションの場を盛り上げる研究 [5] などが行われているが、多人数における生体情報の引き込み現象に関する検討は十分ではない。また、生体情報の引き込み現象を観測することによって、場面ごとのコミュニケーション状態を推定する研究は行われていない。

また、生体情報として脳波を利用してミーティング分析を行う研究 [6] がある。これは、参加者の思考状態を読み取るため、脳波から思考レベルを示す数値を求め、ミーティングの索引にするというものである。この研究では、個々の参加者の思考レベル測定を行っており、参加者相互間の関係にまで言及されていない。よって、このままでは議論が同調しているかどうかなどの、参加者間の関係によって決定される会議状態を推定することは難しいと思われる。

2.2 共鳴と会議状態

本研究では「引き込み現象」の考え方を拡張し、個々の思考状態だけではなく、多人数相互間の関係

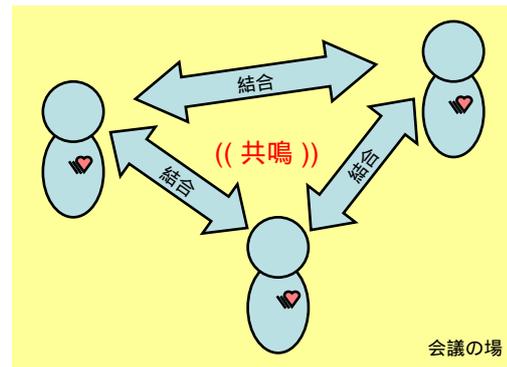


図1 共鳴の概念図

を捉えるための、「共鳴」現象について仮説を提示し、共鳴現象による会議状態推定手法を提案する。

2.2.1 共鳴現象仮説

人体は、自律神経系によって、心拍などの生体情報が、ある程度の「ゆらぎ」を持ちつつ鼓動する、1つの独立したシステムであるとみなす研究 [7] がある。これがコミュニケーションチャンネルを通じて結合することにより、相手に引き込まれ、生体情報が同調してくるものと考えられる。対等な立場の参加者による会議では、議事の進行に伴い、参加者の立場や意見の相違などにより、互いの心理的距離が変わり、結合の疎密が変化する。密結合の状態では、引き込み現象が発生して生体情報が同調し、疎結合の状態では、引き込み現象がなくなり生体情報が同調しなくなる。会議における結合の疎密は多対多の関係であり、これを通じて互いが互いに影響しあい、引き込み、引き込まれが複雑な変化をする。そこで本研究では、多対多の関係にあって、時系列に変化する引き込み現象によって、生体情報が同調ないし同調しなくなる現象を、生体情報の「共鳴」現象と呼ぶことにする。この概念図を図1に示す。

2.2.2 会議状態推定手法の提案

本研究では、共鳴現象仮説に基づいて生体情報の共鳴現象を観測し、参加者の相互関係を推定し、会議状態を推定することを提案する。

3 共鳴現象観測システム

3.1 システムの概要

本研究で、共鳴現象を観測するため使用したマルチメディア会議収録システム [2] の概要について、構成を図2に示す。マルチメディア会議を統括するサー

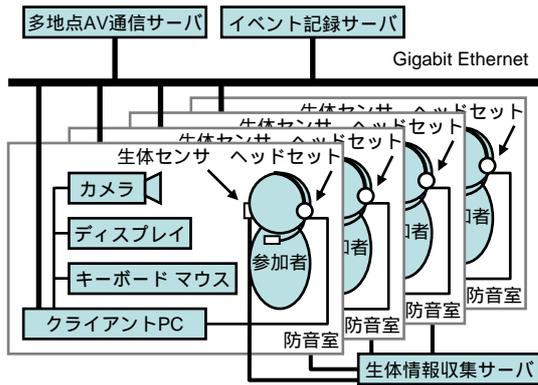


図2 システム構成図

表1 システム性能概要

項目	性能
顔画像フレームレート	15 fps
顔画像フレームサイズ	160 × 120
音声サンプリングレート	22050 Hz
音声遅延量	約 220 ms 程度
同時参加数	4 人
記録可能イベント	発話開始終了時刻 チャット送信時刻他
イベント記録精度	ms 単位

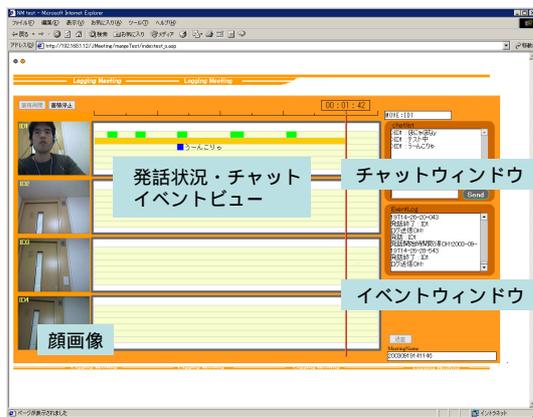


図3 システム画面



図4 脈波センサ

バとして多地点 AV 通信サーバおよびイベント記録サーバがあり、Gigabit Ethernet を通じて 4 台のクライアント PC に接続されている。クライアント PC には USB カメラ、ディスプレイ、キーボード、マウス、ヘッドセットが接続されている。クライアントはそれぞれ独立した防音室に設置され、4 人の参加者間の聴覚的、視覚的な直接の結合が生じないように、かつ外来の影響を防ぐようになっている。クライアント PC に表示される画面を図 3 に示す。表 1 にシステムの性能概要を示す。また、被験者には生体センサを装着してもらう。この生体情報は生体情報収集サーバで収集される。

3.2 生体情報

3.2.1 生体情報測定

本研究では、参加者の負担が少なく、比較的測定が容易である脈波を計測することにする。脈波センサとしては、スポーツの分野などで広く使用されている、光電脈波検出センサによって耳朶部の脈波を検

出する。本研究で使用する脈波センサを図 4 に示す。このセンサは脈波のピーク間隔を 10 ms 単位で出力する。これは心電図における R 波と R 波の間隔である RR 間隔 (RR Interval: RRI) と、ほぼ同等のものである。

3.2.2 生体情報処理

得られた RRI を 1 分あたりの心拍数に換算し、瞬間心拍 (Heart Rate: HR) を求める。瞬間心拍の変動のことを心拍変動 (Heart Rate Variability: HRV) と呼ぶ。心拍変動には、0.2 Hz ~ 0.3 Hz 付近に現れる呼吸に由来する変動および 0.1 Hz 付近に現れる血圧の変動に由来する変動の、2 つの変動成分があることが知られている [7]。本研究では、これらの変動成分を取り除くことにする。瞬間心拍は等時間間隔データではないため、瞬間心拍を単純に直線で補間する線形補間によって、サンプリング周波数 10 Hz の等時間間隔データに補間し、925 次の FIR 形線形位相ローパスフィルタにて 0.07 Hz 以下の成分を取り出

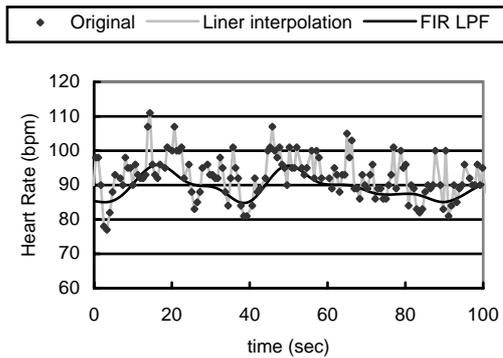


図5 心拍データ処理の例

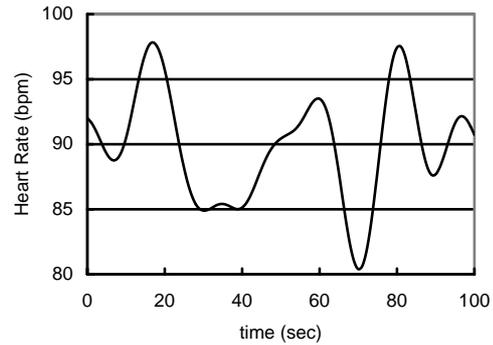


図7 心拍データの例 B

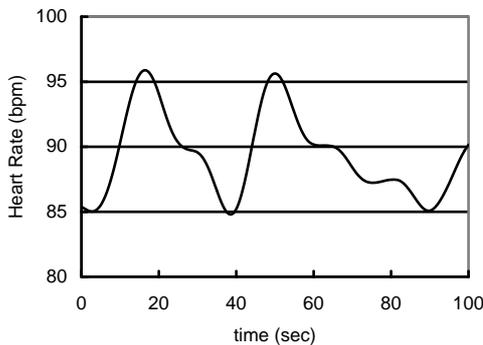


図6 心拍データの例 A

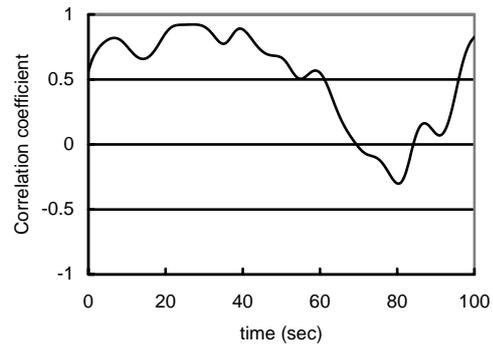


図8 A-B間の相関係数の例

す．図5に心拍データ処理の例について示す．グラフはOriginalがセンサから得られたデータを1分あたりの心拍数に換算したものの，Liner interpolationが線形補間をしたもの，FIR LPFがローパスフィルタを通したものである．

3.2.3 共鳴現象観測

共鳴現象の観測を行うために，まず，以上で求めたデータについて，参加者間の相関係数を計算する．相関係数の計算は0.07 Hzの周期の約2倍となる30秒のウィンドウを設け，1秒ごとに行った．図6と図7に心拍データの例A, Bをそれぞれ示す．図8に例A, Bの相関係数を取ったものを示す．グラフより，例Aと例Bの参加者は，時刻20秒付近では相関が高く，80秒付近では相関が低いことがわかる．

次に各参加者間の相関係数より相関行列を求める．これを共鳴相関行列と呼ぶことにする．共鳴相関行列を用いて会議状態の推定を行う．例えば，4人の参加者が完全に同調している場合の共鳴相関行列 R_a は式(1)のようになる．

$$R_a = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

一方，4人がまったく同調していない場合の共鳴相関行列 R_b は式(2)のようになる．

$$R_b = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

以上より共鳴相関行列によって，該当する時刻における共鳴現象の状態(共鳴状態)を表す指標として用いることができる．

4 収録実験

4.1 会議収録

会議収録手順 [2] の概略を述べる．まず最初に被験者に対して実験の目的(研究用であり，通常の会議と同様の状況を収録したいこと)を詳細に説明し，理解させた．次に，ビデオ会議システムに習熟させるため，しりとり，ゲーム，被験者にとって日常的な話題などで練習をさせた．その後，収録する話題に

表 2 取得データの概要

回	話題	男女構成	職業	時間(分)
1	選択	女 4	電話オペレータ	29
2	選択	女 4	ファイリング	37
3	名付	女 4	建築学科卒	61
4	名付	男 2 女 2	専門学校生	15
5	名付	男 1 女 3	音楽仲間	45
6	企画	男 4	大学生	36

ついて説明し、「会議収録後、議事録を作成してもらう、メモ用紙は自由に使用していい」という旨を伝えた。そして、収録する話題について、各被験者が具体的な考えを持つための時間を設定した後、本番の収録を開始した。

実験は現在のところ 6 回分の会議の収録が終了している。取得データの概要を表 2 に示す。

4.2 会議状態解析

共鳴現象による会議状態推定方法を検討するために、会議状態が明確に変化する場面を観測し、その変化を共鳴現象仮説に基づいて解析する。会議状態が変化する場面としては、議論の変化などが考えられるが、より大きな共鳴状態の変化となりえる、議論への参加不参加を観測することにする。参加不参加が発生する場面としては、参加者が会議に途中から参加した場合、途中で会議を抜けた場合、機器の不調により一時的に参加できなくなった場合などが考えられるが、ここでは、第 1 回収録時に観測されたトラブルによる一時的不参加から解析を行う。第 1 回収録時、会議開始から約 4 分経過時点で、ID3 の参加者がチャットの文字入力うまくできない(操作ミスにより、かな入力ができなくなった)というトラブルを訴えた。トラブル発生前は議論に参加していたのだが、トラブル発生後はトラブルを解消しようとするため、議論に参加できない状態となった。このトラブル発生前後において、それぞれ 3 分間の相関係数を平均したものを図 9 に示す。グラフは 1-3 が ID1 と ID3 の相関係数の平均、1-4 が ID1 と ID4 の相関係数の平均、3-4 が ID3 と ID4 の相関係数の平均であり、トラブル発生前後における相関の変化を示す指標として使用する。なお、ID2 については、脈波の測定ができなかったため、データが存在しない。グラフより、ID1 と ID3 の相関および ID3 と ID4 の相

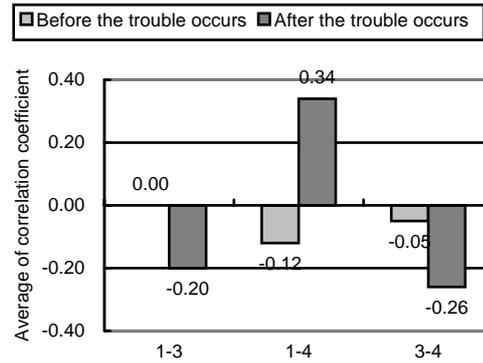


図 9 トラブル発生前後における相関の変化

関のように、ID3 に関係する相関は低下し、逆に ID3 が関係しない ID1 と ID4 の相関は上昇している。これは、ID3 が議論に参加しなくなったため、ID1 および ID4 とのコミュニケーションチャンネルを通じた結合が疎になり、心拍数が同調しなくなる一方、ID3 が抜けたために ID1 と ID4 との間の議論が深まり、コミュニケーションチャンネルを通じた結合が密となって、心拍数が同調してきたことを示している。

その後、トラブルは会議開始から約 15 分経過時点で解消した。トラブル解消前後について、図 9 と同様に前後それぞれ 3 分間の相関係数を平均したものを図 10 に示す。グラフより、ID3 が関係しない 1-4 については相関が低下し、ID3 が関係する 3-4 については相関が上昇しており、トラブル解決によって ID3 の参加度が増加していることを示している。一方、ID3 に関する相関である 1-3 は相関が低下している。これは、トラブル解決前に ID1 が ID3 に対して助言を行っており、この助言による結合が、解決後には解消してしまったためと推定できる。また、1-3, 1-4, 3-4 いずれも、トラブル発生前後における差分よりも差が小さくなっている。これは、トラブル発生直後の ID3 の行動は、トラブルを解決しようとして議論に参加していなかったが、その後、トラブルを抱えつつも徐々に議論に参加するようになり、ID1 や ID4 との結合がトラブル発生直後よりも密になってきており、トラブル発生時の変化よりも変化が小さかったためと推定できる。

4.3 考察

ID3 に発生したトラブルにより、トラブル発生前後において ID3 が関係する相関が低下し、関係しな

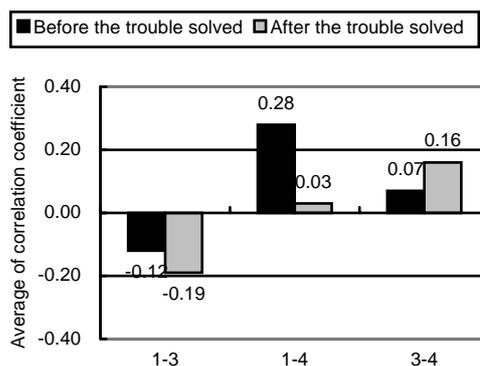


図 10 トラブル解決前後における相関の変化

い相関が上昇した。このことから、議論に参加している状態では相関係数が上昇し、参加していない状態では相関係数が低下する傾向にあることがわかる。これを共鳴現象仮説にあてはめると、議論に参加している状態では、参加者間のコミュニケーションチャンネルを通じた結合が密となり、参加していない状態では、結合が疎になるためといえる。これを利用し、共鳴相関行列を観測し、参加者間の相関係数を比較することによって、コミュニケーションチャンネルの疎密を測ることができ、そこから、会議の状態を推定することが可能となる。今回の現象からは会議参加度の大小を推定することができた。これより、式(1)や式(2)のような、共鳴状態を表す共鳴相関行列を登録した共鳴状態辞書を用意し、観測した共鳴相関行列と比較することによって、より複雑な会議状態の推定を行うことが可能となる。

5 おわりに

本研究では、会議における発言や行動などの表に出ている情報だけでなく、会議参加者の生体情報を用いて会議状態(議論が同調してるか、していないか等)を推定する方法を提案した。このために、まず、コミュニケーションにおいて、生体リズムが相手に同調してくる「引き込み現象」を拡張し、参加者の相互関係を捉えるための「共鳴」現象を論じ、これを利用して会議状態を推定する方法を提案した。本研究における「共鳴」は、多対多の関係にあって、時系列に変化する引き込み現象によって、生体情報が同調ないし同調しなくなる現象のこととした。次に、共鳴現象を観測するためのマルチメディア会議収録システムについて述べ、生体情報の取得・処理方法お

よび共鳴現象の指標となる共鳴相関行列について述べた。最後に、収録実験の進行状況と、実験によって得られた生体情報と会議状態との関係として、共鳴相関行列を求めることによって参加者の会議参加度を推定できることを示した。今後の展望としては、コミュニケーションチャンネルを故意に切断することによる会議参加度の変化など、共鳴相関行列と会議参加度との詳細な関係の調査を行うとともに、会議状態推定のための共鳴状態辞書を整備するための検討を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 小林稔, 岩城敏: 多地点接続インターネット会議システムを用いた在宅勤務実験, 信学技報, No. OIS2002-11, pp. 25-29 (2002).
- [2] 中山彰, 細田真道, 犬童拓也, 小林稔, 岩城敏: 多地点ビデオ会議コーパスに基づく会議途中参加支援機能の研究, 情処研報, No. 2003-GN-49 (20), pp. 115-120 (2003).
- [3] 犬童拓也, 細田真道, 中山彰, 岩城敏: 会議途中参加支援を目的とした会議情報検索インタフェース— GijiLook の提案—, 情処研報, No. 2003-GN-49 (21), pp. 121-126 (2003).
- [4] 渡辺富夫, 大久保雅史: コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報学論, Vol. 39, No. 5, pp. 1225-1231 (1998).
- [5] 小畑淳, 渡辺富夫, 大久保雅史: 音声駆動型複数身体コミュニケーションシステム“SAKURA”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, No. 2521, pp. 331-334 (2000).
- [6] 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一: 脳波情報を利用したミーティング分析, 情処研報, No. 2003-DPS-113 (12), pp. 63-68 (2003).
- [7] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野大海: 心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の解釈, BME, Vol. 11, No. 1, pp. 75-85 (1997).