

対話コミュニケーションにおける身体動作の同調の解析*

○三浦俊介 井上祐樹 小川健一郎 三宅美博 (東京工業大学)

概要 人間の対話コミュニケーションを考える上で時間的なプロセスに注目することは重要である。本研究では、対話の時間的なプロセスと二者の身体動作の同調度との定量的な関係を分析することを目的とする。具体的には、対話時の二者の身体動作の加速度を計測し、加速度の時系列データを合意度が高いプロセスと低いプロセスとに分けて時間-周波数解析した。その結果、身体動作の同調と合意度との間に有意な相関があることが示された。

キーワード: 身体同調, 対話コミュニケーション, 合意形成

1 緒言

人間の対話コミュニケーションにはジェスチャーや会話内容といった明示的な側面と、その場の雰囲気や会話内容に関する互いの理解度といった暗黙的な側面がある¹⁾。我々はこのコミュニケーションの二重性、特に暗黙的側面について理解することに取り組んできた。この暗黙的な側面を明らかにすることで、人と人との会話におけるその場の雰囲気の改善や会話内容を理解することによるスムーズな対話への対話支援などに応用できると考えているからである。しかしながら、いまだ不明瞭な部分が多いと思われる対話コミュニケーションの暗黙的側面を直接的に計測することは困難であると考えられる。

これに関して、対話コミュニケーションにおける非言語的振る舞いである身体動作に着目した研究が行われている。例えば、二人の身体動作が多く同調した対話において好印象が得られたという研究報告²⁾があり、身体動作の同調と暗黙的側面との間に関係性があることを示唆している。もしこの2つに関係性があるとすれば、比較的計測が容易であると思われる身体動作を解析することによって暗黙的要素を定量的に見ることができるのではないかと考えた。

しかしこの先行研究では対話の暗黙的な側面を時間ごとに評価されていなかった。我々は場の雰囲気といった暗黙的な要素が、対話が進むにつれて徐々に変化していくものと推測している。そのため時間的なプロセスを観察することで、身体動作の同調との関係性を時間別に解析することができると考えられる。したがって、人間の対話コミュニケーションを考える上で時間的なプロセスに注目することは重要なことである。

これらの背景から本研究は、二者の身体動作の同調と対話の時間的なプロセスとの定量的な関係を分析することを目的とする。ここで身体動作の指標として、うなずきを含む頭部運動を対象とする。この理由は、日本人の頭部運動にはさまざまな機能があるとされており、その中でも主にあいづちや会話の区切りとしての機能があることが確認されている³⁾からである。また、コミュニケーションにおける暗黙的側面として、先行研究である吉田ら⁴⁾の合意形成課題をもとに、雰囲気などといった暗黙的側面の一指標と思われる合意度についての時間的なプロセスを観察する。具体的な指針として、対話時の二者の身体動作の加速度を計測し、その時系列データを時間-周波数解析した。そのあと、第三者の評価によって得られた知見により、対話を合意度が低い前半部分と高い後半部分に分けて同調の検定

を行った。

2 方法

2.1 合意形成課題

本研究では対話課題として、実験参加者が意見を出し合い、ひとつの解答を導くような課題を用意することで、二人の合意が形成されるまでの時間的なプロセスを分析した。課題内容は、吉田らの先行研究⁴⁾を参考とした。具体的には、「賃貸マンションの一室の月額家賃を推測する課題」を用いた。二人の実験参加者には共通の資料Aとそれぞれ異なる資料Bが渡された。資料Aには家賃を推測する賃貸物件の所在階数、面積、間取りなどの諸情報が記載されている。ただし、家賃は記されていない。一方、資料Bには資料Aに書かれた物件の、近隣の物件についての諸情報が掲載されている。この資料Bの物件については家賃が明記されており、課題となっている資料Aの物件の家賃を推測することができる。本課題はこれらの資料をもとに二人でひとつの金額を検討し、提示するという課題である。

2.2 実験参加者

実験参加者は男性4名(2ペア, 22歳-24歳)と女性6名(3ペア, 21歳-22歳)の合計10名(5ペア)であった。吉田らの報告⁴⁾に従って、会話の促進を図るため、実験参加者のペアは年齢差5歳以内、同学年、同性、同国籍で、日本語が母国語であり、それぞれ互いに既知でためらいなく話せる関係となるように組み合わせを統一した。

2.3 実験環境

実験は、対話に適した室温、湿度、明るさの個室にて行った。二人の実験参加者は約1.5[m]の距離をあけてテーブルを挟んで向かい合わせに着席した。テーブルの上にはふたつの書見台がそれぞれ参加者から見やすいように置かれ、そこに課題資料を固定した。計測装置としては次の三種類を用意した。身体運動の取得のためにサンプリング周波数100[Hz]の加速度センサ(ワイヤレステクノロジー社製(日本))を準備し、参加者それぞれの額にゴムバンドで固定した。映像の取得のためにビデオカメラ(Xacti, SANYO社製(日本))を使用し、参加者から垂直方向3[m]の位置に設置した。音声の取得のためにボイスレコーダー(ICD-UX533F, SONY社製(日本))をテーブルの上に置いた。ここで、実際の実験室環境をFig. 1に示す。

2.4 実験手順

実験室内にて実験参加者が席に着いたら、まず、実験者が実験におけるルールと対話課題を説明した。実

*本研究はSII2013⁶⁾で発表したものである。



Fig. 1: Experimental environment.

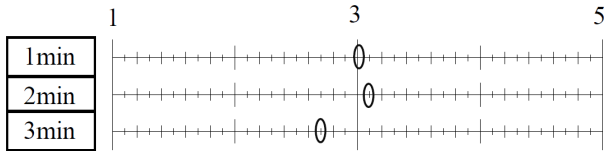


Fig. 2: Questionnaire of consensus degree: Evaluators evaluated consensus degree every 1[*min*] from 1(consensus degree was very low) to 5(consensus degree was very high) and marked appropriate points.

験参加への同意が得られたあと、実験を開始した。実験者は計測を開始したあと、速やかに実験室を退出した。その後、実験参加者の対話が始まり、両者の意見がまとまった時、参加者は呼び鈴を鳴らしてその旨を実験者に伝えた。実験者は入室後、計測を終了させ、実験を終了とした。

2.5 合意形成過程の評価

合意形成過程の評価は対話者ではない複数名の第三者によって行われた。第三者は評価の前に録音された音声を一度全体を通して聞き、希望があれば何度も再生して対話の内容を理解した。その後、録音された音声を1分ごとに区切って再生し、その都度第三者は合意の度合いを評価した。合意度は1(非常に低い)から5(非常に高い)の間とし、実験開始時の合意度は3(どちらでもない)であると教示した。Fig. 2に示すように、アンケート用紙には小目盛りが振られており、詳細な合意度の変化を取得することができるようにした。今回、3名の評価者によって評価され、それを平均したものを合意度として使用した。

2.6 身体動作の分析

本研究では頭部に取り付けた加速度センサ (Fig. 3) から得られた加速度の時系列データを用いて、時間-周波数解析を行った。手順は以下のとおりである。

(1) 加速度ノルム

はじめに齊賀らの報告⁵⁾を参考に、加速度センサから得られた上下方向 x と前後方向 z の合成ノルムを計算した。

$$a(t) = \sqrt{(x(t))^2 + (z(t))^2}. \quad (1)$$

ここで、時間分解能は 0.01[*sec*] であった。

(2) 短時間 Fourier 変換

本研究では加速度ノルムの時系列データを解析するため、短時間 Fourier 変換 (STFT) を採用した。窓関

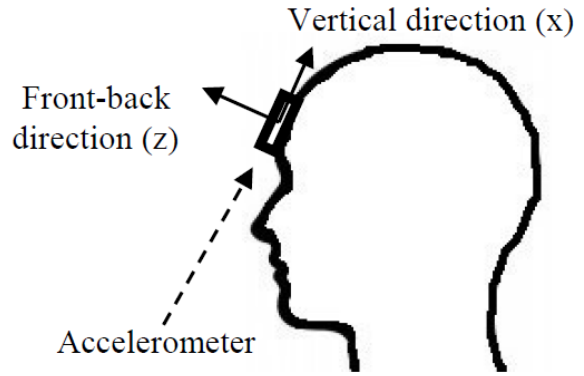


Fig. 3: Equipment of an accelerometer: The accelerometer was equipped on the participant's forehead.

数として Hamming 窓 $\omega(t)$ を用い、その幅を 1.28[*sec*] (128 点) とした。

$$F(\nu, t) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t')\omega(t' - t) \exp(-2\pi i\nu t') dt'. \quad (2)$$

ここで、 ν は周波数であり、 t は窓関数の中心点である。また、窓関数および STFT は t を 0.1[*sec*] ごとにずらして計算を行った。

(3) 振動スペクトルの和

(2) より得られた各周波数の振動スペクトルの平均値による事前の分析から、うなずきの周波数帯を 2.0–4.0[*Hz*] の周波数帯として定義した。Parseval の定理よりこの周波数帯の振動スペクトルの積と、頭部の振動の和は一致することから、2.0–4.0[*Hz*] の周波数帯について振動スペクトルの和を 0.1[*sec*] ごとに計算した。

$$Sum(t) \equiv \int_2^4 |F(\nu, t)| d\nu. \quad (3)$$

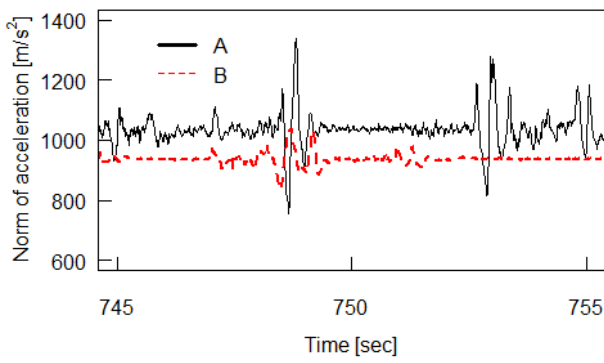
この値を、身体動作の指標と定義した。

(4) 同調の統計的分析

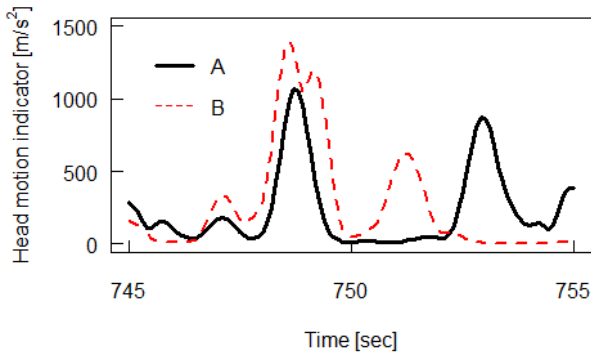
本研究では二者間の身体動作の同調性の分析に相関分析を用いた⁴⁾。各参加者の身体動作の指標は正規分布でないため、ノンパラメトリック手法である Spearman の順位相関係数を適用した。

相関の窓幅は、身体動作の指標が全データの 90 パーセンタイル値以上を持続した時間の平均値を用いた。ここで、90 パーセンタイル値にした理由は、うなずきが頭部運動の中で相対的に強い振動であると考えられるからである。上記の窓幅を用いた相関分析は 0.1[*sec*] ごとに行い、有意な正の相関があり、また、対象の二人のそれぞれの指標の中央値が全データの 90 パーセンタイル値以上であるとき、そのペアの身体動作が同調としたと定義した。

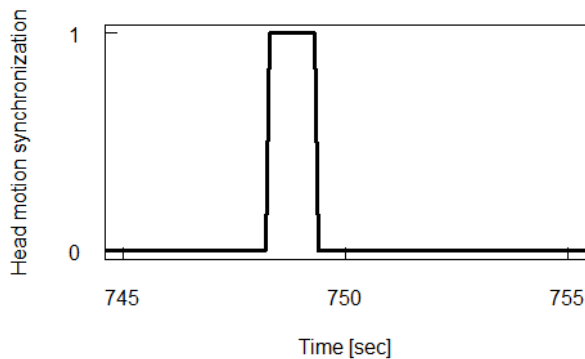
Fig. 4 に代表的な分析例を示す。Fig. 4(a) は、二人の参加者の頭部に取り付けた加速度センサから得られた上下前後方向の加速度から計算された加速度ノルムを表している。この加速度ノルムを短時間 Fourier 変換したのち、2.0–4.0[*Hz*] の周波数帯の振動スペクトルを足し合わせた身体動作の指標が Fig. 4(b) である。そして、身体動作の指標から相関分析によって同調検出を行った結果を Fig. 4(c) に示す。実際に同調が起きている 749[*sec*] 付近を Fig. 4(a) または Fig. 4(b) で見てみると、頭部運動が同時発生していることがわかる。



(a)



(b)



(c)

Fig. 4: Analysis of synchronization of two participants' head motion. (a), (b) and (c) are parallel in the time-series. (a) Acceleration norm of head motions of two participants. X-axis represents times. Y-axis represents acceleration norm in the vertical and front-back direction of the accelerometer. (b) Head motion indicator of two participants. X-axis represents times. Y-axis represents the head motion indicator. (c) Judgment result of synchronization. X-axis represents times. Y-axis represents the judgment results of synchronization. The value "1" means that head motion synchronization was detected.

3 結果

3.1 合意度の分析

Fig. 5 に合意形成過程の評価結果の例を示す。合意形成過程の評価の結果より、合意の度合いはおよそ3から始まり、対話が進むにつれて徐々に上昇をしていた。

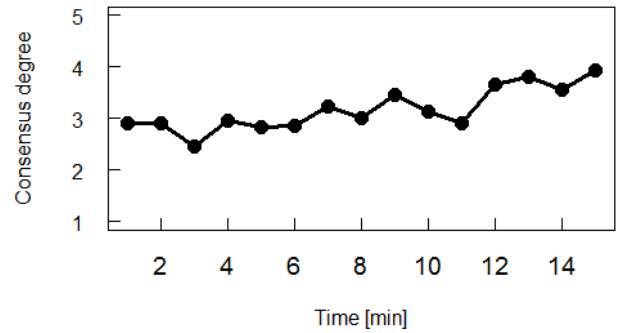


Fig. 5: Time-series data of consensus degree: X-axis represents times. Y-axis represents the evaluated value of consensus degree. This example is data of run number 5.

Table 1: Test results of significant difference in consensus degree (**: $p < .01$).

Run number	Opening Phase	Last Phase	p value
1	2.6	3.7	
2	3.0	3.9	
3	2.7	3.4	
4	3.0	3.4	
5	2.8	3.6	
Mean	2.8	3.6	**

そこで、対話時間における始めの5分間と終わりの5分間について分析を行った。ただし、最初の1分間は評価の基準が定まっていなかったと判断し、除外した。Table 1 に実験参加者の各ペアの対話の前半および後半部分の合意度の平均値及び全ペアの平均値を計算した結果を示す。すべての対話において始めの5分間よりも終わりの5分間のほうが合意度が高く、また、Wilcoxon 符号順位和検定を用いると、その差に有意性が見れた ($p < .01$)。

3.2 身体動作の同調の分析

Fig. 6 に身体動作の指標の例を示す。さらに、このデータを用いて同調の統計的分析を行った結果の例が Fig. 7 である。3.1 の分析結果から、本研究は Fig. 7 のような同調検出の結果を前半5分間および後半5分間に分けて同調時間の比較を行った。

身体動作の指標が全データの90パーセンタイル値以上を継続した時間の平均値は約0.8[sec]であった。したがって、相関の窓幅を0.8[sec]に設定し、実験参加者の各ペアの対話の前半および後半部分における身体動作の同調時間を求めた。Table 2 に計算結果を示す。今回の実験では、すべての対話において前半5分間よりも後半5分間の方が長く同調しており、Wilcoxon の符号順位和検定によってその同調時間の差に有意性が見られた ($p < .01$)。つまり、第三者により評価された合意度が高いとき、頭部運動の同調性が強かったことが示された。

4 考察

本研究では合意形成過程における身体動作の同調に着目し、データ解析を行った。3の結果から、対話開始から最初の1分を除いた5分間よりも最後から5分

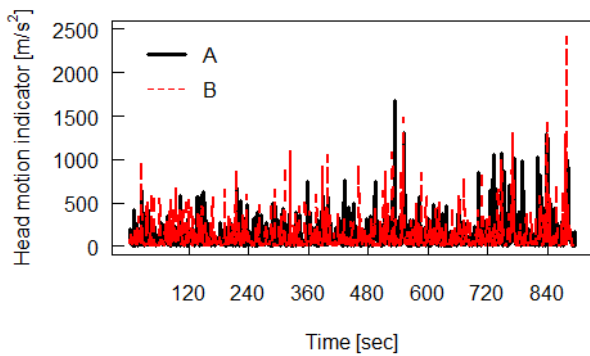


Fig. 6: Time-series data of head motion Indicator: X-axis represents times. Y-axis represents head motion indicator. This example is the data of run number 5.

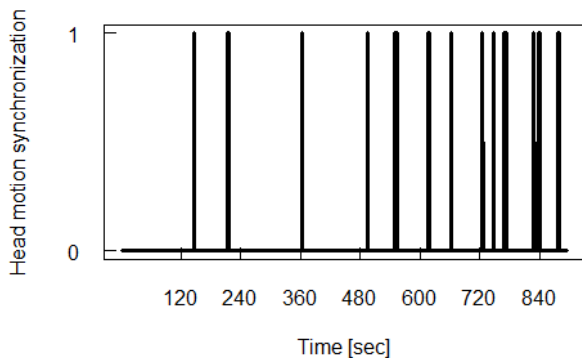


Fig. 7: Time-series data of head motion synchronization: X-axis represents times. Y-axis represents the judgment results of synchronization. The value “1” means that head motion synchronization was detected. This example is the data of run number 5.

Table 2: Synchronization time of head motions: The time unit is second (**: $p < .01$).

Run number	Opening Phase	Last Phase	p value
1	2.7	5.6	
2	5.0	6.3	
3	4.3	9.8	
4	4.6	7.6	
5	2.5	13.1	
Mean	3.8	8.5	**

間の対話部分の方が合意度が高かったことが示された。また、これをもとに身体動作の同調性を解析した結果、合意度が低い前半5分間より合意度が高い後半5分間の方が同調時間が長いことが確認された。したがって、本研究の対話から合意度が高くなると身体動作の同調性が強くなることが示唆された。

ここで先行研究の報告によると、意味的な合意度の増大に伴って、交替潜時の変動に同調傾向が見られたとある⁴⁾。また、身体動作に着目した研究ではカウンセラーとクライアントとの間で強い同調性が観測された時、カウンセラーは高い評価を得られており、本研究と似た傾向が示されていた²⁾。つまりこれらの先行研究から、本研究における結果は支持されるものといえる。

今回の統計的分析から、対話における合意度が高くなると身体動作の同調度も高くなるという関係が示された。したがって本研究は、対話コミュニケーションにおける明示的要素である身体動作の同調と暗黙的要素である合意度との間に関係性があることを示唆するものと考えられる。

5 結言

本研究では、対話の時間的なプロセスと二者の身体動作の同調度との定量的な関係を分析することを目的とした。具体的には、二者の身体動作の加速度を計測し、加速度の時系列データを時間-周波数解析した。第三者による合意度の評価によって、対話時間の前半部分と後半部分で合意度が異なることを確認した。そこで、身体動作の指標を合意度が高いプロセスと低いプロセスに分けて検定を行った。その結果、合意度が高いプロセスと低いプロセスのそれぞれの身体動作の同調度に有意な差があることが示された。

参考文献

- 1) Y. Miyake, et al.: Man-Machine Interaction as Co-emergence Communication, Trans. Of the Society of Instrument and Control Engineers, **Vol.E-2** No.1, 195/206 (2002).
- 2) C. Nagaoka, et al.: Body Movement Synchrony in Psychotherapeutic Counseling: A Study Using the Video-Based Quantification Method, IEICE TRANS. & SYST., **Vol.E91-D** No.6, 1634/1640 (2008).
- 3) S. K. Maynard.: Interactional Functions of a Nonverbal Sign: Head Movement in Japanese Dyadic Casual Conversation, Journal of Pragmatics, **Vol.11**, 589/606 (1987).
- 4) 吉田他: 合意形成における発話意味内容と発話ダイナミクスの時間発展, 計測自動制御学会論文集, **Vol.47** No.8, 337/345 (2011).
- 5) 齊賀他: 多人数会話におけるうなずきの会話制御としての機能分析, 情報処理学会研究報告. UBI, 2010-UBI-26(1), 1/8 (2010).
- 6) Y. Inoue, et al.: Head motion synchronization in the process of consensus building, Proc. of the 2013 IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (SII2013), 70/75 (2013).