

2者間の協調コミュニケーションの同期情報量を用いた人間関係の推定 Estimation of inter-personal relationship with entropy for behavioral synchronization in cooperative communication

川崎 真弘[†] 高見澤 賢侍[†] 宮内 英里[†]
Masahiro Kawasaki Kenji Takamizawa Eri Miyauchi

1. はじめに

現在の社会問題の多くは、人と人とのコミュニケーション時において、他者との関係性つまり相性を客観的に評価することが困難であることが関係する。例えば、職場において、上司と部下、同僚の間でも、どのような組み合わせにおいて仕事が効率化されるのか？そして組織の中でのストレスは減少されるのか？については大きな問題である。これらは個人の性格に起因した個性の問題でもあるが、コミュニケーションにおいては、相手との関係性も重要な問題である。

上記のような他者との関係性には、趣味や考え方が合う、容姿がお互い好き、などの言語化できる要因だけではなく、「あの人はなんとなく気が合う」という言語化できない「間(ま)」が関係する。たとえば、会話時のうなずきやジェスチャーなどは他者の行動と無意識的にかつ自発的に「同期現象」を引き起こす。このような間の同期は、相手に好印象を与えるなど人間関係にポジティブな効果をもたらす。たとえば、簡単な指のタッピングが他者の友好関係を高めること (Hove & Reisen, 2009) や、幼児と母親の同期が向社会的行動を促進すること (Cirelli, et al., 2014)、などが報告されている。

さらに近年の認知脳科学では2者の脳活動を同時に計測する方法を用いて、この行動同期と脳活動の同期に関係があることを示してきた。交互に発話する課題や交互に指のタッピングを行う課題では、行動が同期するペアほど2者間の脳波が同期することが報告されている (図1; Kawasaki, et al., 2013; Kawasaki, et al., revision)。そのほかにも、真似をする人、される人の脳波が同期すること (Dumas, et al.,

2010) や同期の学習に伴って2者間の同期が増加すること (Yu, et al., 2013)、など行動同期と脳波同期の関係は様々に示されてきた。

従来研究でのコミュニケーションにおける行動同期はあくまで行動の相関であった。そもそも同期現象は媒介する何かが存在するために現れる現象であり、この何かに対して行動としての反応がそろうことによって人間のコミュニケーションにおける同期が観測されると説明できる。一方で、我々のコミュニケーションにおける同期現象は、情報の流れによって引き起こされる可能性がある。つまり一方が他方に影響を与えることによって同期が観測されるとも説明できる可能性がある。

そこで本研究では、2信号間の因果関係を推定する手法である移動エントロピー (transfer entropy: TE) を用いて、リズム協調課題である交互協調タッピング課題の行動データより、2者の関係性を特定することを目的とした。TEは2信号間の情報量の差から因果関係を導く手法である。従来研究では、脳波や自律神経系などの非線形的な生体信号から因果関係の推定を可能にした (Schreiber, 2000; Kawasaki, et al., 2014)。本研究では、同様に、1人の行動リズムはどのくらい相手の行動リズムを予測できるか、またその逆は、といった2者間の動的な関係性を解くことを目的とした。ここで2者の動的な関係性として、リーダーとフォロワーの2つを定義する。リーダーは相手のリズムに合わせてやしない者、フォロワーは相手のリズムに合わせてやする者とし、TEによる因果関係の解析結果は、リーダーからフォロワーの向きであると予想した。そしてこの2者の関係性と行動リズム同期の関係性を調べた。

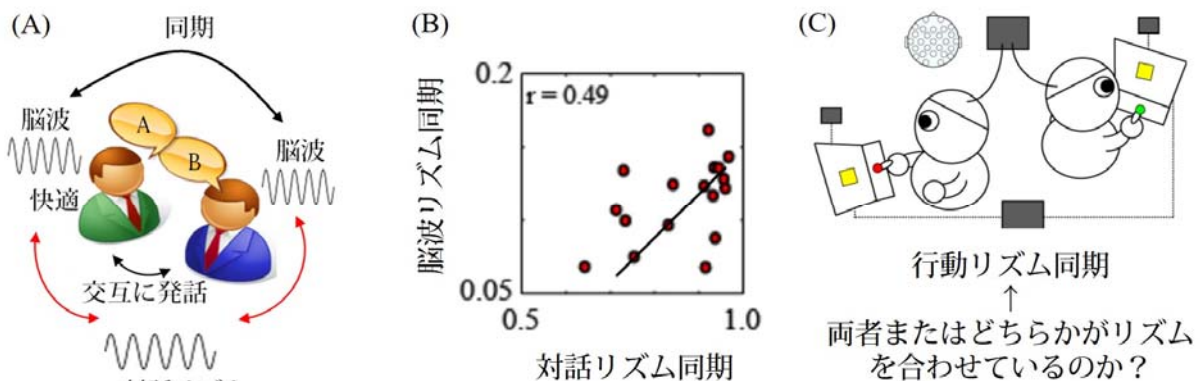


図1 行動リズム同期と脳波リズム同期の関係性を示した従来研究。(A) 交互発話課題。(B) 対話リズムと脳波リズムの同期の相関関係。(C) 交互タッピング課題と行動リズム同期。

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科, Graduated school of systems and information engineering, University of Tsukuba

2. 実験データ

2.1 実験参加者

健康な 34 名の右利きのボランティアが参加した実験を対象にした (17 ペア; 8 女性-女性ペア、7 男性-男性ペア、2 女性-男性ペア; 平均年齢, 22.64 ± 1.01 years)。6 ペアは初対面、11 ペアは知り合いであった。本研究は理化学研究所脳科学総合研究センター研究倫理委員会に承認され、全被験者は参加同意書に記入後に実験に参加した。

2.2 交互タッピング課題

2 名が背中合わせに着席した状態で課題を遂行した (図 1C)。各参加者はそれぞれコンピューターモニターを前に、右手の人差し指でキーを押した。参加者は交互にキー押しを行い、他者とタッピング時間間隔を揃えることが要求された。タッピングのリズムは教示されなかった。1 名がタッピングをすると赤色の四角形が、もう 1 名がタッピングすると緑色の四角形が呈示された。そしてタッピングが同期する、つまりタッピング時間間隔の差が小さい (± 50 ミリ秒) ときは黄色の四角形が呈示された。刺激は 2 者で同時に呈示された。

各ペアは 300 回のタッピングを行った (つまり各個人は 150 回のタッピングを行った)。視覚刺激以外の手掛かりを排除するために、実験中は、耳栓をし、体を固定し、コンピューターモニターの中心点を注視することが要求された。

2.3 移動エントロピー

移動エントロピーは、2 信号の時系列データより信号間の情報量を求め、その情報量の大小の差から因果関係を導出する手法である。この手法は周期性を持つ 2 信号についても適用可能である。

本研究では、各参加者の各 1 回のタッピングと次のタッピングの間隔を用いて位相変換した ($-\pi$ から π ; 図 2A)。交互タッピング課題を行う 2 被験者の位相データを用いて、(1)の式を用いて TE (X さん→Y さん) と TE (Y さん→X さん) を算出し、比較する。たとえば、TE (X さん→Y さん) のほうが大きい場合は、X さんの行動リズムが Y さんの行動リズムをよく予測できていることになり、X さんがフォロワーで、Y さんがリーダーであると評価できる。

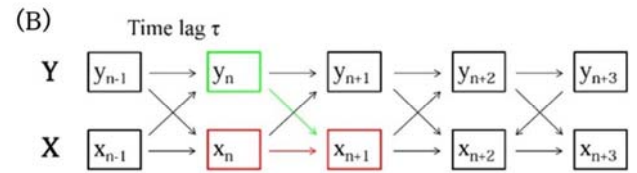
変数 X, Y について、時刻 t における実現値をそれぞれ $x(t), y(t)$ とすると、 X から Y の方向へ時間 τ 後に流れる $TE(X, Y, \tau)$ は (1) 式のように定義される (図 2)。

$$TE(X, Y, \tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \log_2 \frac{P_{Y|YX}(y(t+\tau)|y(t), x(t))}{P_{Y|Y}(y(t+\tau)|y(t))} dt \quad (1)$$

$TE(X, Y, \tau)$ と $TE(Y, X, \tau)$ は、式の非対称性から異なる情報量が算出される。(2) 式を満たす場合、情報は X から Y の向きに移動していると定義される。

$$TE(X, Y, \tau) > TE(Y, X, \tau) \quad (2)$$

本研究では TE の大小に有意差 ($p < 0.05$) がある場合に因果関係を認め、因果の向きが X から Y であれば、 X を情報の移動元とした。



$$h_1 = - \sum_{x_{t+\tau}, x_t, y_t} p(x_{t+\tau}, x_t, y_t) \log_2 p(x_{t+\tau} | x_t, y_t)$$

$$h_2 = - \sum_{x_{t+\tau}, x_t, y_t} p(x_{t+\tau}, x_t, y_t) \log_2 p(x_{t+\tau} | x_t) \quad x_{n+1} \text{ と } y_n \text{ が独立の場合}$$

$$TE_{Y \rightarrow X} = \sum_{x_{t+\tau}, x_t, y_t} p(x_{t+\tau}, x_t, y_t) \log_2 \left(\frac{p(x_{t+\tau} | x_t, y_t)}{p(x_{t+\tau} | x_t)} \right)$$

図 2 (A) 交互タッピング課題における行動データの位相化のイメージ図。(B) 移動エントロピーの算出のイメージ図。

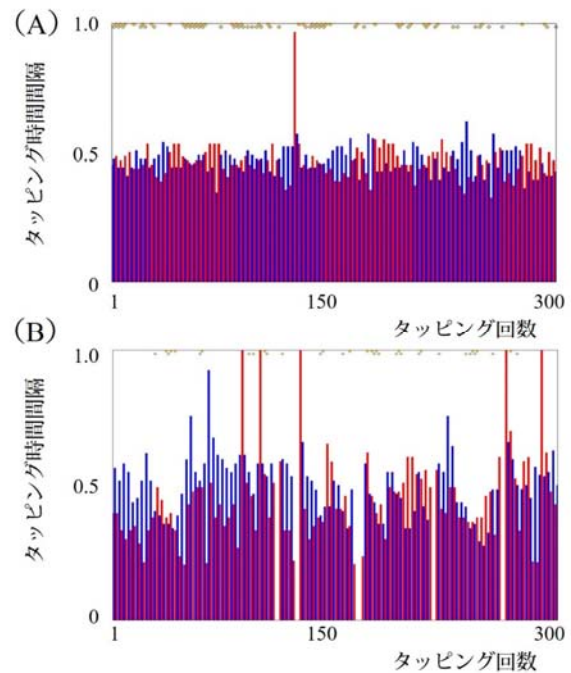


図 3 交互タッピング課題の行動結果例。(A) 同期が観測されたペアと (B) 観測されなかったペアのタッピング時間間隔。

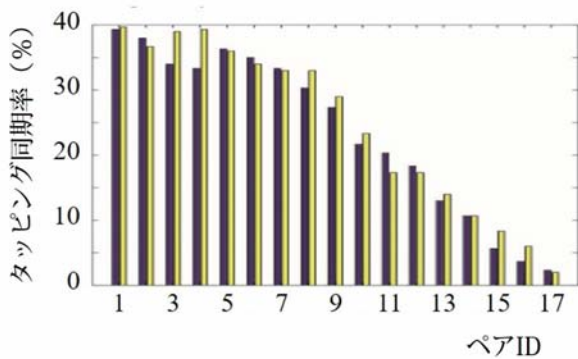
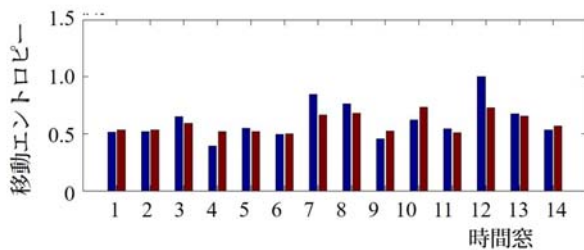


図 4 各ペア（同期率の高い順）各参加者のタッピング同期率。

(A) 関係性が変動



(B) 関係性が一定

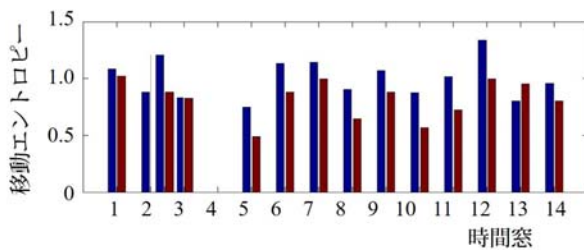


図 5 移動エントロピーの結果例。リーダーとフォロワーの関係性がセッションを通じて (A) 変動したペア例と (B) 一定であったペア例。

3. 結果

3.1 行動結果

本研究では、2 者間のタッピング同期率を、黄色の四角形が出現した（つまり他者のタッピングとの誤差が 50msec 以内であった）確率で評価した。同期を多く示したペアとほとんど示さなかったペアのタッピング時間間隔の例を図 3 に示した。各参加者のタッピング同期率を図 4 に示した。平均タッピング同期率は $24.2 \pm 2.1\%$ であった。

3.2 移動エントロピー

各ペアで参加者 1 名からもう 1 名への TE とその逆の TE を算出した。参照する実験データの時間窓を 30sec にし、15sec ずつスライドさせながら TE を算出した。その結果、TE の大小関係に有意差がある場合と無い場合が発生した ($p < 0.05$)。

またセッションを通じて TE の大小関係の差を分析した結果、TE の大小が時間窓によって異なるペア (10 ペア) と、時間窓に関わらず一定のペア (7 ペア) が観測された。それぞれの移動エントロピーの推移の例を図 5 に示した。前者のペアでは、セッションを通じて TE 間に有意差が生じなかった。一方で後者のペアでは、セッションを通じて TE 間に有意差が生じたペアが 5 ペア存在した。

次にこの移動エントロピーの結果とタッピング同期率の結果の関係性を調べた。その結果、図 4 に示したペア ID3, 4, 9, 11, 15, 16, 17 が TE の大小が時間窓によって一定のペアであった。

4. 考察

本研究は、交互タッピング課題の行動結果を TE の計算に適用することで有意差を観測できるケースがあったことから、リーダーとフォロワーという 2 者間の関係性を特定できた。つまり、コミュニケーションの行動同期は、一方が他方に影響を与えることによって生じる可能性が示唆された。

本研究のプレテストとして、我々は交互タッピング課題をコンピュータプログラム上で作成し、TE の妥当性を示した。そこでは直前のタッピングに影響されたリーダータイプと直前のタッピングに合わせるフォロワータイプのプログラムを作成し、シミュレーションした。その結果、TE の有意差は、リーダータイプとフォロワータイプの組み合わせでは 100%、リーダータイプ同士では 20%、フォロワータイプ同士では 0%、で観測された。以上の結果より、本研究における TE の有意差がリーダーとフォロワーを特定していることが示された。

次に本研究は、行動リズムの同期が生じる場合に、2 者間の関係性の推移が影響する可能性を示唆した。解析では TE の関係性がセッションを通じて変動するペアと一定のペアが存在した。リーダーとフォロワーの関係が交互のように変動するペアの多くは、関係性が一定であったペアに比べて、同期率が高い傾向があった。これは関係性が変動するペアの多くが、TE の大小関係に有意差がない、つまりフォロワー同士であったことに起因する可能性がある。しかし、リーダーとフォロワーの関係性が一定であったとしても全ペアが同期しないわけではなかった。今後はこの TE の大小の時間的推移と同期との関係を特定すべきである。

本研究の方法を用いることによって、人間の複雑なコミュニケーションにおける役割を定量化できる可能性がある。特にリーダーとフォロワーの役割は人間の特性や精神疾患とも関係する可能性がある。将来的には、この簡単なリズム協調課題のように、その人の特性および他者との関係性を推定できるシステムを開発し、円滑なコミュニケーションを構築できる社会応用を目指す。

謝辞

本研究は、科研費・新学術領域研究「構成論的発達科学」(課題番号: 15H01576)及び、文部科学省テニュアトラック普及定着事業(個人選抜型)の補助により実施された。

参考文献

- [1] Michael J. Hove and Jane L. Risen, "It's All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation." *Social Cognition*: Vol. 27, No. 6, pp. 949-960 (2009).
- [2] Laura K. Cirelli, Stephanie J. Wan, "Social Effects of Movement Synchrony: Increased Infant Helpfulness only Transfers to Affiliates of Synchronously Moving Partners." *Infancy*, 1-15 (2016)
- [3] Masahiro Kawasaki, Yohei Yamada, Yosuke Ushiku, Eri Miyuchi, Yoko Yamaguchi "Inter-brain synchronization during coordination of speech rhythm in human-to-human social interaction." *Scientific Reports*, 3: 1692 (2013).
- [4] Masahiro Kawasaki, Keiichi Kitajo, Yoko Yamaguchi, "Sensory-motor synchronization in the brain corresponds to behavioral synchronization between individuals." in revision.
- [5] Guillaume Dumas, Jacqueline Nadel, Robert Soussignan, Jacques Martinerie, Line Garnero, "Inter-brain synchronization during social interaction." *Plos One*, 5(8): e12166 (2010).
- [6] Kyongsik Yun, Katsumi Watanabe, Shinsuke Shimojo, "Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction." *Scientific Reports* 2:959 (2012).
- [7] Thomas Schreiber, "Measuring information transfer." *Physical review letters* 85.2 (2000).
- [8] Masahiro Kawasaki, Yutaka Uno, Jumpei Uno, Kenji Kobata, Keiichi Kitajo "Transcranial magnetic stimulation-induced global propagation of transient phase resetting associated with directional information flow." *Frontiers in Human Neuroscience*, 8:173 (2014).