

実社会における身体活動の同調現象に基づく ネットワーク構造の解析

峰村 寿一*¹ 徐 歩杰*¹ 肥後 直樹*¹ 小川 健一朗*¹ 荒 宏視*²
矢野 和男*² 三宅 美博*¹

Analysis of Network Structure by Synchronization of Body Motions in Real Society

Juichi Minemura*¹, Bujie Xu *¹, Naoki Higo*¹, Ken-ichiro Ogawa*¹, Koji Ara*²,
Kazuo Yano*² and Yoshihiro Miyake*¹

Abstract – We are communicating with others in face-to-face manner in daily life. It is considered that body movements such as gestures and nods are an important factor that holds face-to-face communication networks. However, it is not yet known how body movements affect the formation of network structure. We therefore aimed at investigating the structure of face-to-face communication network in actual society in terms of body movements' synchronization between two peoples during face-to-face communication. Specifically, we defined the difference between the frequencies of two peoples' body movements as a degree of body synchronization, and divided face-to-face communication network in an actual organization by the difference. We further did a test for non-correlation between the degree of the body synchronization and several network indexes (density, transitivity, average path length, cluster coefficient). As a result, we found a significant correlation between the degree of body synchronization and the network indexes.

Keywords: face-to-face communication network, body synchronization

1. はじめに

我々は誰もが何らかの社会的ネットワークの中に埋め込まれた存在として、日々他者とコミュニケーションを行いながら生活している。近年、様々な社会的コミュニケーションネットワークにおいてその構造が不安定化していることが社会問題として大きく取り上げられており、この問題に対処することが急務として求められている。円滑なコミュニケーションは社会的ネットワークの維持形成に対して重要な役割を有しており、それゆえ、この問題に取り組むための鍵となるものと考えられる。

一般に、ネットワークは、コミュニケーションの性質により、バーバルコミュニケーションとノンバーバルコミュニケーションからなるネットワークに大別される。バーバルコミュニケーションは情報の媒体として必ずしも身体を必要としないが、ノンバーバルコミュニケーションには身体が必須となる。これに関し、心理学などの分野において、二者間の対面コミュニケーションの円滑性が頷きなどの身体運動の同調性に反映されていることが報告されている^[1-3]。これらの報告は統制のとれた実験室環境での報告であるが、実際の企業組織のような社会的ネットワークにおいても、日々の対面コミュニケーション時の身体運動に同調の傾向が見られることが示唆され

ている^[4]。

しかし、この報告において、組織内の対面コミュニケーション時に二者の身体運動に同調の傾向があることが示唆されたものの、それがネットワークの構造の形成にどのような影響を及ぼすのかについては示されていない。この点を明らかにすることにより、身体運動の同調性という観点から、円滑なコミュニケーションネットワークの形成に対する条件が得られることが期待される。そこで我々は、本論文において、対面コミュニケーション時に二者の身体運動が同調するという知見に注目し、そのような観点から、実社会における対面コミュニケーションネットワークの構造を調べた。

具体的には、まず近年ネットワーク分析用に開発されたセンサーデバイスにより実際の企業組織における対面コミュニケーションを計測した^{[5],[6]}。この対面コミュニケーションネットワークの構造を分析するにあたって、対面コミュニケーションを特徴づける特徴量として身体運動の振動数を導入した。そして、二者間の身体運動の振動数の差として身体同調度という評価量を定義した。この前提の下、当該ネットワークにおけるエッジの情報として、対面時間だけではなく、身体同調度を用いた。その上で、当該ネットワークを身体同調度の違いにより分割し、分割されたネットワーク（サブネットワーク）間で構造の比較を行った。その際、身体同調度が高い集団が形成するサブネットワークは、他のサブネットワークと比較して、クラスター性が高くなることが予想される。そこで、このことを確かめるために、身体同調度と

1: 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

*2: 株式会社日立製作所 中央研究所

*1: Department of Computational Intelligence and Systems Science,
Tokyo Institute of Technology

*2: Central Research Laboratory, Hitach Ltd.

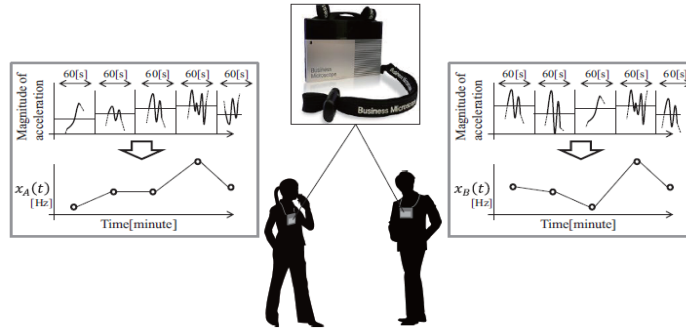


図1 ウェアラブルセンサ(ビジネス顕微鏡)と対面コミュニケーション時の2者の振動数

Fig. 1 Wearable sensor (Business microscope) and frequencies of two persons during face-to-face communication

ネットワーク指標(密度, 推移性, 平均パス長, クラスター係数)との間で無相関検定を行った。

2. 方法

2.1 計測装置

本研究では, ネットワーク分析用に近年開発された, 空間3軸加速度計及び, 赤外線送受信機を搭載した名札型ウェアラブルセンサ(ビジネス顕微鏡, 図1)を用いた^{[5],[6]}. このセンサを用いて, 実際の企業組織における個人の身体振動数と人々の対面があった時刻を計測した. このセンサは, 図1のように出社時に個々人の上半身に首から下げるようにして装着され, 退社時に外された. 我々は, センサに搭載された加速度計により上半身の運動の加速度の時間変動を計測し, この加速度のノルムの時系列を1分毎にオフセット除去した後, 加速度ノルムの時系列がゼロクロスする回数を身体活動の振動数 $x_i(t)$ [Hz] として定義した. ここで, i はセンサ装着者のラベル, t は時刻のラベル[分] である.

また, 組織内の人々の対面の検出は, センサに搭載されている赤外線送受信機を用いた. センサは左右 120 度, 上下 60 度, 距離 2m の範囲内にある他のセンサ ID を記録し, 誰と対面があったかを記録する. この通信記録は一分ごとに保存された.

2.2 身体同調度の算出

本研究では組織内で起こる 2 者間対面コミュニケーション時の上半身の運動の振動数の差を二者間の身体運動の同調度(身体同調度)とした^[4]. 従って, 2 者 i, j の身体同調度 $y_{ij}(t)$ は,

$$y_{ij}(t) = |x_i(t) - x_j(t)| \quad (1)$$

と計算される. 今回はすべての対面イベントにおいてこの値を計算した. その結果を図 2 に示す. 図 2 は横軸に身体振動数の差, 縦軸に頻度を表した度数分布である. この図から振動数差が 0 付近の数値が高いことから対面コミュニケーション時に 2 者の身体活動が同調する傾向があることがわかる.

2.3 ネットワーク分割の手法

本研究では, 1 章で示した目的を達成するために, 図

2 の結果をもとにネットワークに含まれるエッジがほぼ等しくなるように身体同調度に閾値を設け, 組織を 40 分割した. それにより, 身体同調度が異なるネットワークを 40 個作成される.

2.4 ネットワーク指標

本研究ではネットワークの特徴を測るため, 密度, 推移性, 平均パス長, クラスター係数の 4 つの指標を用いた. 密度はグラフにおいて張ることができるすべてのエッジに対する, 実際のエッジの数の比率である.

$$\text{Density} = \frac{m}{n(n-1)/2} \quad (2)$$

ここで, n は頂点数であり, m は実際に貼られたエッジ数である.

推移性はネットワークにおいて推移的な関係が成り立っている比率を表す指標である. 具体的には頂点 k と頂点 j にエッジがあり, かつ頂点 l と頂点 m , 頂点 k と頂点 m にもエッジが貼られる三角関係が存在する比率である.

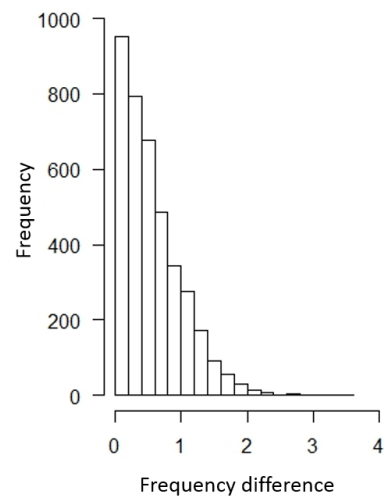


図2 身体同調度の度数分布

Fig. 2 Diagrams of difference between body movements' frequencies

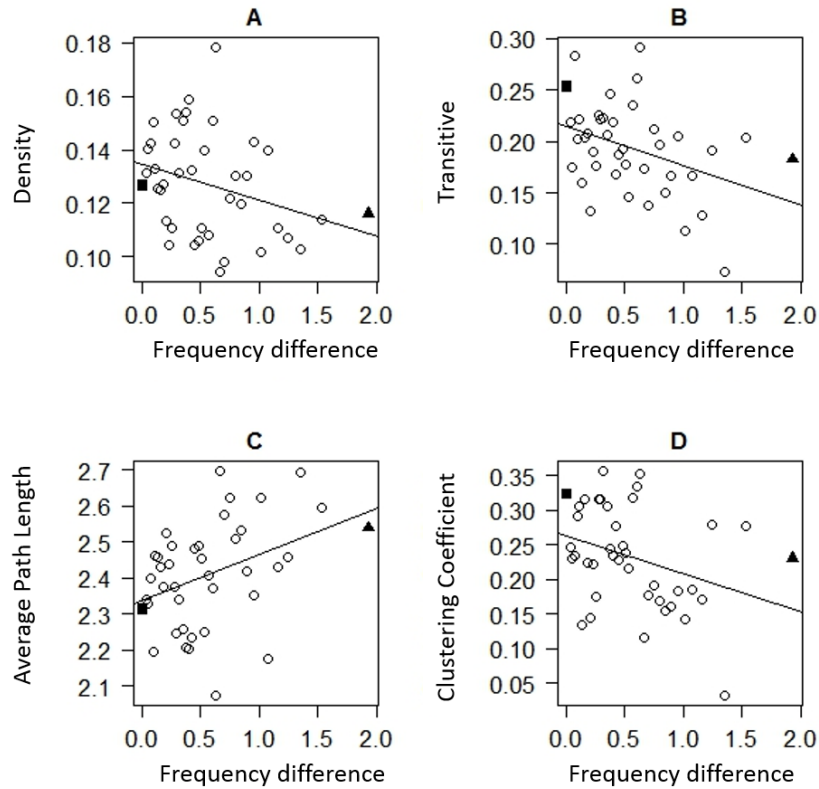


図3 同調度と各ネットワーク指標との関係性

Fig. 3 Relation between the degree of synchrony and typical network indexes

平均パス長はすべてのパターン 2 頂点間の最短距離の平均値である。

$$\text{Average path length} = \frac{1}{n(n-1)/2} \sum d_{ij}^{\min} \quad (3)$$

ここで n はノード数であり、 d_{ij}^{\min} はある 2 点 i, j 間の最短距離である。

クラスター係数は、ある頂点 i に隣接した頂点から構成されるネットワークの密度 (C_i) を求め、それをすべての頂点で平均した値である。

$$\text{Clustering coefficient} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i, C_i = \frac{E}{s(s-1)/2} \quad (4)$$

ここで、 n はノード数、 s は頂点 i と隣接するノード数、 E は s に貼られているエッジ数である。

2.5 統計分析

本研究では身体同調度と各ネットワーク指標の分析方法として相関分析を用いた。正規性が見られなかったため、ノンパラメトリック手法であるスピアマンの順位相関係数を用いて無相関検定を行った。

2.6 分析対象の組織

本研究では、予備的研究として 1 つの日本の企業組織を対象とした分析を行った。業種は卸売業、計測人数は 212 名、計測期間は 48 日間であった。ここで、組織とは、企業内の一つの部署を指し、企業全体ではない。分析対象の人数は計測期間中にウェアラブルセンサを一度でも

装着した人数である。これらの組織のデータはワールドシグナルセンタ ((株) 日立製作所) によって管理および提供された。

3. 結果

図 3 の 4 つのグラフは、横軸に対面する二者間の身体運動の振動数の差 (身体同調度) をとり、縦軸に各ネットワーク指標とった散布図である。無相関検定を行ったところ 4 つの結果はすべて $p < 0.05$ で有意な差が見られた。また、図 4A は同調度が一番高い状態のネットワーク図、B は一番低い状態のネットワーク図である。図 3 の 4 つのグラフ中の ■ 点は図 4 のネットワーク A、▲ 点は図 4 のネットワーク B を示している。

3.1 同調度と密度

図 3A の縦軸は密度、横軸は身体同調度 (二者間の身体運動の振動数の差) を示す。この図から、身体同調度が大きいほど密度は高く、小さいほど密度は低いという負の相関が見られた ($r = -0.334$)。

3.2 同調度と推移性

図 3B の縦軸は推移性、横軸は身体同調度を示す。この図から、身体同調度が大きいほど推移性は高く、小さいほど低いという負の相関が見られた ($r = -0.3911$)。事実、図 4A と図 4B を比較した場合、ネットワーク A はネットワーク B に比べて中心部にエッジが多く三角形が重なっていることが確認できる。

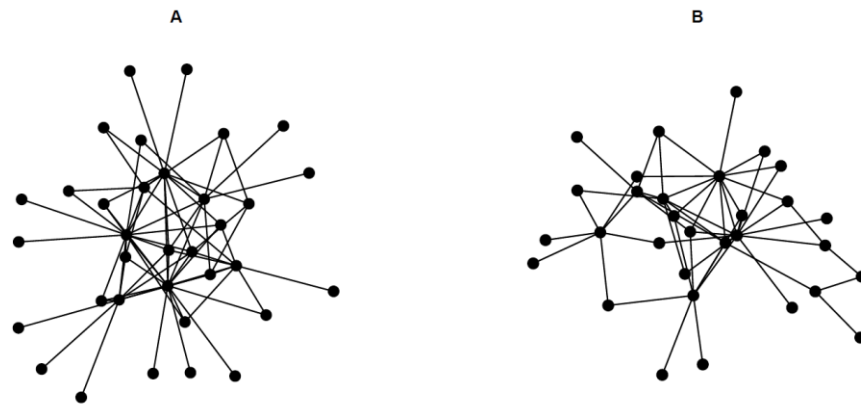


図4 分割後のネットワーク, A 振動数差が最小のネットワーク, B 振動数差が最大のネットワーク
 Fig.4 Divided Networks, A The divided network with the least difference of frequencies, B The divided network with the maximum difference of frequencies.

3.3 同調度と平均パス長

図3Cの縦軸は平均パス長,横軸は身体同調度を示す.この図から,身体同調度が大きいほど平均パス長が短く,小さいほど長いという正の相関が見られた ($r=0.3956$).

3.4 同調度とクラスター係数

図3Dの縦軸はクラスター係数,横軸は身体同調度を示す.この図から,身体同調度が大きいほどクラスター係数が高く,小さいほど小さいという負の相関が見られた ($r=-0.3394$).

4. 考察

これらの結果より,実際の一企業組織における対面コミュニケーション時の二者間の身体同調度とネットワークの密度,推移性,クラスター係数との間には負の相関,平均パス長との間は正の相関があることがわかった.具体的には,図3に示したように,身体同調度が高いエッジからなるネットワークは,密度や推移性,クラスター係数が高く,平均パス長が短い結果となった.これにより,本研究において,同調の効果はネットワーク構造にも現れていることが一例として示された.このことから,1章で予想したように,身体同調度が高い集団が形成するサブネットワークは,他のサブネットワークと比較して,クラスター性が高くなることが確認された.身体同調度が高いコミュニケーションが円滑なコミュニケーションの要因となることを考えれば,身体同調度の高い構造を有するネットワークは,その他のネットワークと比較して,その内部においてより円滑なコミュニケーションが行われるものと考えられる.それゆえ,身体運動の同調性という観点から,クラスター性が高いネットワーク構造は,円滑なコミュニケーションネットワークの形成に対して一つの条件となることが示唆される.さらに,身体同調度が高い状況,つまり,二者の身体運動の振動数の差が小さい状況は,理論的には例えば非線形振動子の引き込み現象に見られるように,互いの身体運動が引

き込むことにより生じるものと考えられるので,当該組織における二者間の対面コミュニケーションの背後には何らかの社会的な相互作用の存在が示唆される.

ただし,上記の考察は,一企業組織の結果からなされたものであり,この考察から得られた示唆を検証するためには今後その他の企業組織に対しても同様の分析を行う必要がある.これについては現在分析中である.

参考文献

- [1] J. D. Matarazzo, and A. N. Wiens: The interview Research on its anatomy and structure; Chicago Aldine-Atherton, 1972.
- [2] G. Katsumata, C. Nagaoka and M. Komori: Assessing students' interests in a lecture using speechdriven body movement entrainment; Human Interface Conference Magazine, 2011, Vol. 13, pp. 275-282 (in Japanese).
- [3] E. Ono, M. Motohashi, Y. Inoue, D. Ikari, and Y. Miyake: Relation between Synchronization of Head Movements and Degree of Understanding on Interpersonal Communication; 5th IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Fukuoka, Dec. 16-18 2012 (in press).
- [4] 肥後,他: 日常生活の対面コミュニケーションにおける身体活動の同調; 第25回自律分散システム・シンポジウム資料,pp.235-240(2013)
- [5] T. Akitomi, K. Ara, J. Watanabe, and K. Yano: Generic model of activity-level in workplace communication; 2011 IEEE 3rd International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and 2011 IEEE 3rd International Conference on Social Computing, Boston, MA, 9-11 October 2011, pp. 814-819.
- [6] K. Ara, N. Sato, S. Tsuji, Y. Wakisaka, N. Ohkubo, Y. Horry, N. Moriwaki, K. Yano, and M. Hayakawa.: Predicting flow state in daily work through continuous sensing of motion rhythm; 6th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS), Pittsburgh, PA, 17-19 June 2009, pp. 1-6.