

実社会における身体運動の類似度に基づくネットワーク構造の解析

○峰村 寿一 (東京工業大学), 徐 歩杰 (東京工業大学), 小川 健一朗 (東京工業大学), 荒
宏視 (日立製作所), 矢野 和男 (日立製作所), 三宅 美博 (東京工業大学)

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

○Juichi MINEMURA (Tokyo Institute of Technology), Bujie Xu (Tokyo Institute of Technology),
Ken-ichiro OGAWA (Tokyo Institute of Technology), Koji ARA (Hitachi , Ltd.),
Kazuo YANO (Hitach , Ltd.), and Yoshihiro MIYAKE (Tokyo Institute of Technology)

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' similarity 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 similarity, and divided face-to-face communication network in actual organization by the difference. We further did a test for non-correlation between the degree of the body similarity and several network indexes (density, transitivity, average path length, cluster coefficient). As a result, we found a significant correlation between the degree of body similarity and the network indexes.

Keywords: Daily face-to-face communication, Interpersonal similarity of body movements, Network structures of real organizations

1 緒言

1.1 研究背景

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。しかし近年、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。

1.2 先行研究

一般に社会的なネットワークにおけるコミュニケーションは、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、2者間の対面コミュニケーションの円滑性が顔き

などの身体運動の同調度に反映されていることが報告されている[1-4]。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、実社会におけるノンバーバルコミュニケーション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[5]。この報告では、実際の7つの企業組織において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否かを確認した。具体的には、各企業組織における個人の日常の身体運動を計測した。そして、2者の身体の振動数の差を身体運動の類似度として定義した。この前提の下、1~2ヶ月に亘る計測期間中の対面コミュニケーション時における全ての2者の同調度をまとめたデータ(オリジナルデータ)の度数分布(オリジナル分布)を作成した。そして、オリジナル分布とオリジナルデータにおけるペアを時間方向も含めてランダム化して作成した無相関の度数分布(リサンプル分布)との比較を行った。その結果、計測を行った7組織の全てにおいて共通にオリジナル分布はリサンプル分布に対して、有意に分布が0[Hz]付近に集中していることが示された。この結果は実社会のような開かれた環境において

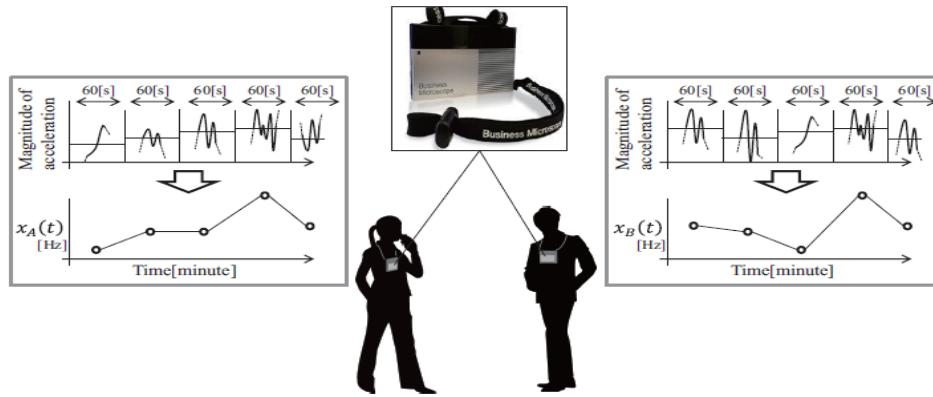


Fig. 1 Wearable sensor (Business microscope) and body movement frequencies of two persons during face-to-face communication

も、ノンバーバルコミュニケーション時に集団的な同調現象が起こり得ることを示した点において非常に興味深い。

しかしながら、先行研究はコミュニケーションにおいて重要と考えられる人間関係のネットワーク構造については考慮していなかった。つまり、企業組織におけるコミュニケーションネットワークの構造と類似度との関係にまで踏み込むものではなかった。実際には2者の組み合わせにより、対面コミュニケーションの頻度や長さ、身体運動の類似度に差があるものと考えられる。この組み合わせは、組織における職位や仕事の種類、または組織の種類などに依存するであろう。そして、このような組み合わせが対面コミュニケーションを行う2者の身体運動の類似度にどのような影響を及ぼすのかということについても自明ではない。例えば、上記の先行研究において企業組織の対面コミュニケーションをネットワークとして見た場合、そのネットワークはエッジの情報として2者間の対面時間と2者の身体運動の類似度（振動数差）が付与されていた重み付きネットワークと見なすことができる。このとき対面時間が長い2者が必ずしも同調度が高いとは限らない。また、対面時間に応じて同調度に幅があるかも知れない。研究背景で述べた社会的問題に取り組むためには、これらのことを含めて対面コミュニケーションにおける身体運動の類似度とネットワークの構造との関係を明らかにする必要がある。

1.3 目的と方針

そこで本論文において、対面コミュニケーション時に2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と身体運動の類似度との関係を調べた。方針として、2者の身体運動の類似度に応じてネットワーク構造がどのように変化するかを分析した。

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[6-8]。まず、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物理量として身体運動の振動数を導入した。そして、2者間の身体運動の振動数の差を身体運動の同調具合を特徴づける評価量として身体運動の類似度という名前で定義した。この前提の下、対面コミュニケーションネットワークにおけるエッジの情報として、対面時間だけでなく、身体運動の類似度を用いた。その上で、分析1として、当該ネットワークを身体運動の類似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、身体運動の類似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凝集性や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、身体運動の類似度とネットワークの構造指標（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

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刺型ウェアラブルセンサ（ビジネス顕微鏡, Fig. 1）を用

Table. 1 Summary of organizations. “Type” denotes the business categories of the organizations. “Participants” is the number of people whose data were analyzed. “Days” is the total duration for analysis.

Organization	A	B	C	D	E	F	G
Type	R&D	Wholesale	Consultant	Development support	Development	Development	Development
Participants	175	216	136	219	144	109	124
Days	64	48	53	92	92	92	92

いた[6-8]. このセンサにより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. ここで, 加速度計のサンプリング周波数は 50Hz, 赤外線送受信機のサンプリング周波数は 20Hz である. このセンサは, Fig. 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. そして, 当該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, 加速度ノルムの時系列データを構成した. 次に, この加速度ノルムの時系列の 10 秒毎の平均値を求め, その平均値のラインをクロスする回数を算出し, さらにそれを 1 分に渡って平均した値を身体運動の平均振動数 $x_i(t)$ [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. 以降では, このように定義された身体運動の平均振動数のことを簡便のため単に身体振動数ということにする. この身体振動数は, 通常の会話時には 1.0~3.0Hz, 激しい議論の際には 3.0~4.0Hz 程度の値を示す[6-8].

また, 組織内の人々の対面の検出は, 当該センサに搭載された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 分析対象

本研究では, 表 1 に示す 7 つの企業組織に対して分析を行った. 業種は, 調査開発, 卸売, コンサルタント, 研究開発, 開発支援など多岐にわたった. また, 各組織の分析人数はおよそ 100~200 名程度の規模であり, 計測期間は 1 ヶ月半~3 ヶ月であった. 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. また, 計測期間には土日休日も含まれる. これは休日出勤も考慮するためである. 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.

2.3 分析

2.3.1 類似度の算出

本研究では組織内で起こる 2 者間の対面コミュニケーション時における上半身の運動の身体振動数の差を 2 者間の身体運動の類似度として定義した. 従って, 2 者 i, j の身体運動の類似度 $y_{ij}(t)$ は,

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

と計算される. 今回は全ての対面イベントにおいてこの値を計算した. 対面コミュニケーション時に 2 者の振動数が近づけば身体運動の類似度は 0 に近づく傾向を示すことが予想される. なお, 本研究では 2 者の身体運動の位相差については考慮しなかった. その理由は, 本研究はノンバーバルコミュニケーションにおける身体運動の類似度に焦点を当てるものであり, 例えばコミュニケーションにおける実質的な会話の理解度などを表現するような身体的な反応を見ることに主眼を置いていないためである. 後者の場合であれば, 一定の位相差を伴う身体運動の同調を考慮する必要があるであろう. もちろん, ノンバーバルコミュニケーションにおいても厳密には 2 者の身体運動の間に位相差が生じる. しかし, 第 1 次近似として, 振動数差に注目することは合理的な選択であると考えられる.

2.3.2 ネットワークの分割

全ての対面イベントでの身体運動の類似度の集計分布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運動の類似度に閾値を設け, 組織を n 分割した. ここで n は 2 以上の自然数である. それにより, 身体運動の類似度の異なるネットワークが n 個作成される.

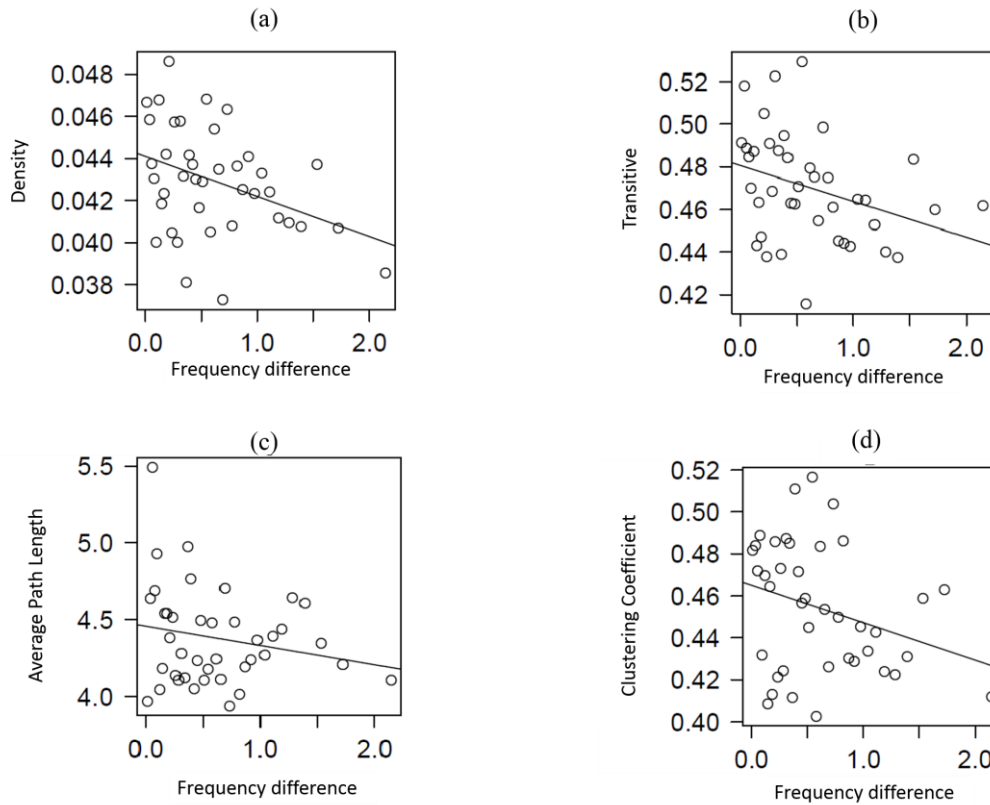


Fig. 2 Relation between frequency difference (the degree of similarity) and typical network indexes.

2.3.3 ネットワーク分析指標

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 D は、グラフにおいて張ることができる全てのエッジ数に対する実際のエッジ数の比率である

$$D = \frac{m}{n(n-1)/2}. \quad (2)$$

ここで、 n はノード数であり、 m は実際に張られたエッジ数である。密度が高いネットワークほど各ノードが多くノードと直接つながっており、凝集性が高くネットワーク内の意思疎通を図ることができるものと考えられる。

推移性 T 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 i と頂点 j にエッジがあり、かつ頂点 j と頂点 k 、頂点 k と頂点 i にもエッジが張られる三角関係が存在する比率である

$$T = \frac{\text{分母の組の内 } i \text{ と } k \text{ が隣接している割合}}{\{(i, k), (j, k) \in E \text{ である } 3 \text{ つの組の } i, j, k \text{ の数}\}}. \quad (3)$$

推移性が大きいネットワークほどネットワーク内に3つのノードが全結合する三角形が多く、ノード間の局所的な連結が強いものと考えられる。

平均パス長 L_a は、全ての2頂点間の最短距離の平均値である

$$L_a = \frac{1}{n(n-1)/2} \sum d_{ij}^{\min}. \quad (4)$$

ここで、 n はノード数であり、 d_{ij}^{\min} は2点 i, j 間の最短距離である。ただし、 $i=j$ の場合、 d_{ij}^{\min} は0とする。平均パス長が短いネットワークほどネットワーク内のノード間の距離が平均的に短く、情報が伝達しやすいものと考えられる。

クラスター係数 C は、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 i について平均した値である

Table. 2 The correlation coefficient of no correlation test between frequency difference and typical network indexes.

	Density	Transitive	Average Path Length	Clustering Coefficient
A	-0.38*	-0.33*	-0.20	-0.29
B	-0.10	-0.13	0.07	0.20
C	-0.14	-0.01	0.09	0.02
D	-0.52**	0.05	0.50**	0.07
E	-0.12	-0.01	0.23	0.18
F	0.28	-0.14	-0.28	0.14
G	0.05	-0.29	-0.08	-0.02

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i, C_i = \frac{E}{s(s-1)/2}. \quad (5)$$

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。クラスター係数が大きいネットワークは、各ノードと隣接するノード同士もつながっている割合が高く、人間関係が密になるものと考えられる。

3 結果

3.1 類似度を用いたネットワーク分割

Fig. 2 の 4 つのグラフは組織 A (研究開発) を 40 分割 ($n=40$) した場合の結果であり、横軸に対面する 2 者間の身体運動の振動数の差 (身体運動の類似度) をとり、縦軸に各ネットワーク指標をとった散布図である。そして無相関検定を行ったところ、Fig. 2(a), (b) は $p < 0.05$ で有意な差が見られた。

Fig. 2(a)の縦軸は密度を表す。この図から、類似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 ($r = -0.38$)。

Fig. 2(b)の縦軸は推移性を表す。この図から、類似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 ($r = -0.33$)。

Fig. 2(c)の縦軸は平均パス長を表す。Fig. 2(d)の縦軸はクラスター係数、横軸は身体運動の類似度を示す。Fig. 2(c), (d)では相関は見られなかったが、グラフは右下がりの傾向を示した。

各組織に関して、身体運動の類似度と各ネットワーク指標との間で無相関検定を行った結果を Table.2 に示す。4 つの指標の内、密度は最も多く、組織 A (研究開発)、D (開発支援) の 2 組織で有意な相関が見られ、推移性は組織 A (研究開発)、平均パス長は組織 D (開

発支援) で有意な相関が見られた。

4 考察

3.1 節の結果より、実際の企業組織における身体運動の類似度と対面ネットワーク構造の指標との間には相関傾向があることがわかった。特に、身体運動の類似度と密度、推移性とは負の相関、平均パス長とは正の相関であった。具体的には身体運動の類似度が高いエッジからなるネットワークは密度や推移性が高く、平均パス長が短いネットワークを形成した。これにより、本研究において、2 者の身体運動の類似 (同調) 効果はネットワーク構造にも現れていることが示された。このことから、身体運動の類似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に比べ、凝集性、クラスター性が高くなることが確認された。このように、本研究によれば、対面コミュニケーション時の身体運動の同調現象が実際の企業組織のネットワーク構造に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

一方、凝集性やクラスター性などの構造指標が高いネットワークが、必ずしも身体運動の類似度の高い対面ペアの集団から構成されているとは限らない。従って、今後の研究として、ネットワークの構造が身体運動の類似度にどのような影響を及ぼすのかということについて分析する必要がある。

5 結言

本研究では、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と身体運動の類似度との関係を調べることを目的とした。具体的には、類似度の違いによりネットワークを分割しネットワーク分析を行った。

その結果、類似度とネットワーク構造との間に相関が見られ、類似度はネットワーク構造に変化させる可能性があることが示された。

6 謝辞

本研究は, (財) ホモコントリビューエンス研究所. およびワールドシグナルセンタのご支援を頂いた. ここに感謝の意を表す.

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] R. C. Schmidt, P. Fitzpatrick, and J. Mergeche, Understanding social motor coordination, Human Movement Science, 2011, Vol. 30, pp. 834-845.
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] K. Ara, T. Akitomi, N. Sato, S. Tsuji, M. Hayakawa, Y. Wakisaka, N. Ohkubo, R. Otsuka, F. Beniyama, N.

Moriwaki, and K. Yano: Healthcare of an organization: Using wearable sensors and feedback system for energizing workers, 2011 IEEE Proceedings of the 16th Asia South Pacific Design Automation Conference, ASP-DAC 2011, Yokohama, Japan, January 25–27, 2011, pp. 567–5.