

# 実社会の対面コミュニケーション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\*

○浅見篤 峰村寿一 小川健一郎 三宅美博 (東京工業大学)

**概要** 本研究は、実社会における対面コミュニケーション時の身体運動の類似度の対面ネットワーク形成への影響を明らかにすることを目的とする。対面コミュニケーションにおける二者間の身体運動の類似度の指標として、身体運動の振動数差を定義し、この類似度によって対面ネットワークを複数のサブネットワークに分割し、その構造を解析した。その結果、類似度の高低によりサブネットワークの構造指標に有意差が見られた。

**キーワード:** 社会的ネットワーク, 対面コミュニケーション, 身体運動の類似度, ネットワーク構造

## 1 緒言

我々人間は日常生活の中で家族、学校、そして企業といった組織に属し、その中で他者とコミュニケーションを行いながら生活をしている。各個人は、他者とのコミュニケーションを通じて、友人関係、仕事仲間といった社会的な関係性を構築する。そして、この関係性が最終的に社会的ネットワークを構築する。個人間の関係性が、社会的ネットワークの構造にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることは、組織におけるコミュニケーションのメカニズムを解明する上で重要であると考えられる。

これに関して、対面コミュニケーション時の身体運動の観点から二者間の関係性を分析する研究が行われている。例えば、二者間の対面コミュニケーション時に、合意の度合いなどといった測る指標が身体運動の同調に反映することが明らかになっている<sup>1,2)</sup>。また、実験室環境内の対面コミュニケーションに限らず、実際の企業組織内でも対面コミュニケーション時に身体運動の振動数が同調する傾向が見られることが明らかにされている<sup>3)</sup>。この報告では、全ての対面コミュニケーションを取るペアの身体運動の振動数差の統計分布が、直接対面コミュニケーションを取らないペアの身体運動の振動数差の統計分布と比較して、有意に分布が0 [Hz] 付近に集中していることを示している。この報告では、実際の組織における対面コミュニケーションによって生じる二者間の関係性が、身体運動の同調という形で現れる可能性を示唆している。

しかし、この先行研究では二者間の身体運動にのみ注目しているため、身体運動の振動数差として表れた二者間の関係性が組織のネットワーク構造に及ぼす影響についてまでは触れられていなかった。すなわち、対面している全ての二者間の身体運動の振動数差の統計分布の比較を行っているものの、対面する二者の組み合わせ、すなわちネットワークのリンク構造に関しては考慮していなかった。実際には対面するペアの中における、二者の組み合わせにが身体運動の振動数差に影響を及ぼす可能性があり、その振動数差のような変動がネットワークのリンク構造にどのような影響を及ぼすのかは自明ではない。個人間の関係性が組織のネットワーク構造にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする上では、この問題について議論することは重要である。

そこで本研究では、実社会における対面コミュニケーション時の身体運動の類似度が対面ネットワークの形成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。具体的には、対面コミュニケーション時に二者間の身体運動が同調する知見に基づき、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明らかにする。方針として、対面する二者の身体運動の振動数差を身体運動の類似度と定義し、この類似度に基づいて対面ネットワークを複数のサブネットワークに分割し、その構造を4つのネットワーク構造指標(密度、推移性、平均パス長、クラスター係数)を用いて解析した。

## 2 方法

本研究では、対面ネットワーク分析用に開発された空間3軸加速度計およ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, Fig 1)<sup>4,5,6)</sup>を用いた。このセンサにより企業組織における各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。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、その平均値を越えるか下回る回数を算出し、それを1分毎に平均した値を身体運動の振動数 $x_i(t)$ と定義した。ここで、 $i$ はセンサの装着者のラベル、 $t$ は時刻のラベル[分]である。以降、このように定義された身体運動の平均振動数 $x_i(t)$ を身体振動数という。組織内での対面の検出は、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の範囲にある他のセンサIDを取得し、誰と対面したかを記録する。この通信記録は1分ごとに保存された。

分析の対象とした企業組織は、Table 1に示すように、研究開発、卸売、コンサルタント、開発支援、開発など多岐にわたった。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センサを一度でも装着した人数である。また、計測期間中には土日祝日も含まれる。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。

以上の組織内で起こる二者間の対面コミュニケーション時の身体振動数の差の絶対値を二者間の身体運動の類似度と定義する。二者間の $i, j$ の身体運動の類似度

\*本研究は第26回自律分散システム・シンポジウム<sup>7)</sup>で発表したものである。

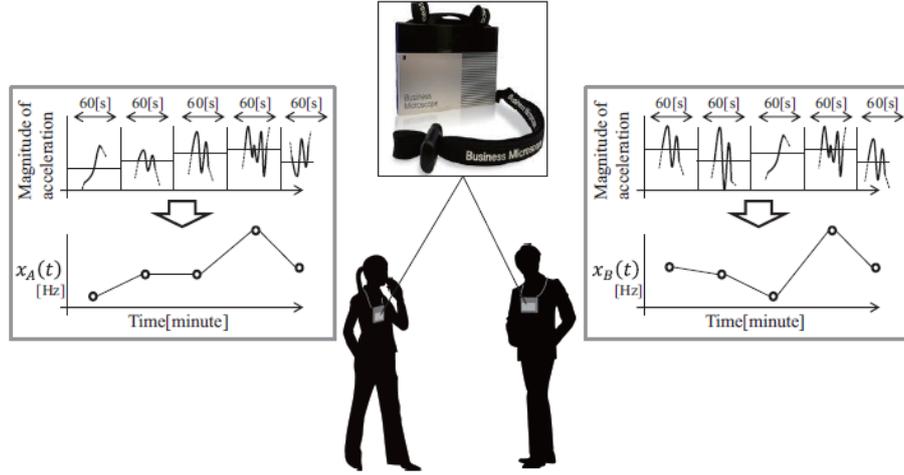


Fig. 1: Wearable sensor(Business microscope) and body movement frequencies of two persons during face-to-face communication.

Table 1: Summary of organizations. “Type” denotes the category of organization. “Participants” is the number of research objects(people). “Days” is the total duration for analysis. Organizations A, B are different companies. Organizations D, E, F are different divisions of the same company

| 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         | 63  | 48        | 53         | 92                  | 92          | 92          | 92          |

$y_{ij}(t)$  は,

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

と計算される．式 (1) によって定義される身体運動の類似度を全体面イベントにおいて計算した．

次に、全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のエッジ数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、対面ネットワークを  $n$  個のサブネットワークに分割した．ここで、 $n$  は 2 以上の自然数である．分割した  $n$  個のサブネットワークの特徴を測るため、以下の 4 つの分析指標を用いてネットワーク構造の特徴を分析した．

**密度** 密度  $D$  は、

$$D = \frac{m}{k(k-1)/2}, \quad (2)$$

と定義される量であり、グラフに張ることのできるエッジ数に対する、実際にグラフに張られているエッジ数の割合である．ここで、 $k$  はノード数、 $m$  は張られたエッジ数である．

**推移性** 推移性  $T$  は、

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

と定義される．これは、グラフ内の頂点  $i$  と  $j$  および  $j$  と  $k$  が接続されているとき、 $i$  と  $k$  も接続されている割合である．

**平均パス長** 平均パス長  $L$  は

$$L = \frac{1}{k(k-1)/2} \sum_{(i,j) \in E} d_{ij}^{\min}. \quad (4)$$

と定義される量であり、全ての 2 頂点間の最短距離の平均値である．ここで、 $k$  はノード数、 $d_{ij}^{\min}$  は 2 点間最短距離である．

**クラスター係数** クラスター係数  $C$  は、

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

と定義される量であり、頂点  $i$  に隣接する頂点からなるネットワークの密度を、全ての  $i$  について平均したものである．ここで、 $k$  は全ノード数、 $s$  は頂点  $i$  に隣接するノード数、 $m_s$  は頂点  $i$  に隣接するノード間に張られるエッジ数である．

### 3 結果

Table 1 に示した各組織ごとにネットワークを分割し、その構造指標と身体運動の類似度の関係を分析した．Table 2 に対象とした各組織における身体運動の類似度と各ネットワーク構造指標の無相関検定結果を示す．本研究で扱った各ネットワーク構造指標のうち、密度は組織 A (研究開発) では  $p < 0.05$ 、D (開発支援) では  $p < 0.01$  で有意な相関が見られた．また、推移性は組織 A (研究開発) において  $p < 0.05$  で有意差が見られ、平均パス長は組織 D (開発支援) において  $p < 0.01$  で有意な相関が見られた．

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

| Organization | 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                  |

#### 4 考察

3節に示した結果より、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指標の間には相関傾向があることが示された。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が見られた。すなわち、身体運動の類似度が高いネットワークでは密度と推移性が高く、平均パス長が短くなる傾向があることが示された。

密度の高いネットワークでは、ネットワークに存在するノード間にエッジが張られる割合が高く、ノード同士が密に接続される。組織Aと組織Dにおいて、身体運動の類似度が高いネットワークでは密度が高い傾向がある。これらの組織では、身体運動の類似度が高いペアが多数存在することを示している。

推移性が高いネットワークでは、ネットワーク内に接続された3つ組のノードが存在する割合が高い。組織Aにおいて、身体運動の類似度が高いネットワークでは推移性が高い傾向がある。これは、複数人で対面するとき身体運動の類似度が高くなっていくことを示している。

平均パス長が高いネットワークでは、あるノードから別のノードまで辿り着くために通るべきエッジ数が少ない。組織Dでは、身体運動の類似度が高いネットワークにおいて平均パス長が小さくなる傾向がある。

これらの結果は、2者の身体運動の類似（同調）現象が、実際の企業における対面ネットワークの構造に現れていることを示している。

#### 5 結言

本研究は、実社会における対面コミュニケーション時の身体運動の類似度の対面ネットワーク形成への影響を明らかにすることを目的とした。対面コミュニケーションにおける二者間の身体運動の類似度の指標として、身体運動の振動数差を定義し、この類似度によって対面ネットワークを複数のサブネットワークに分割し、その構造を分析した。

その結果、身体運動の類似度と対面ネットワーク構造との間には相関傾向があることが示された。すなわち、身体運動の類似度がネットワーク構造に影響をおよぼす可能性があることが示された。

#### 参考文献

- 1) Ono, E., et al.: Relation between Synchronization of Head Movements and Degree of Understanding on Interpersonal Communication, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, p.16–18 (2012)
- 2) 井上他：合意形成過程における頭部運動とその同調現象の分析、ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集、(2013)

- 3) Higo N, et al.: Interpersonal Similarity between Body Movements in Face-To-Face Communication in Daily Life. PLoS ONE 9(7): e102019, (2014)
- 4) Ara K, et al.: Predicting flow state in daily work through continuous sensing of motion rhythm. Networked Sensing Systems (INSS), 2009 Sixth International Conference on. IEEE, p. 1-6.(2009)
- 5) Wakisaka Y, et al.: Beam-scan sensor node: Reliable sensing of human interactions in organization. In: Networked Sensing Systems (INSS), 2009 Sixth International Conference on. IEEE, 2 p. 1-4.(2009)
- 6) Akitomi T, et al.: Generic Model of Activity-Level in Workplace Communication, Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT) and 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing (SocialCom), 2011 IEEE Third International Conference on , vol., no., pp.814-819 (2011)
- 7) 峰村他：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、第26回自律分散システム・シンポジウム、(2014)