

実社会の対面コミュニケーションにおける身体運動同調とネットワーク構造の関係

○浅見 篤 (東京工業大学), 小川 健一郎 (東京工業大学), 荒 宏視 (株式会社日立製作所),
矢野 和男 (株式会社日立製作所), 三宅 美博 (東京工業大学)

Relationship between synchronization of body movements and network structure during face-to-face communication in real society

○Atsushi ASAMI (Tokyo Institute of Technology), Ken-ichiro OGAWA (Tokyo Institute of Technology),
Koji ARA (Hitachi Ltd.), Kazuo YANO (Hitachi Ltd.),
Yoshihiro MIYAKE (Tokyo Institute of Technology)

Abstract: Social network is constructed by communicating with others in face-to-face manner. Recently, several researchers have found the synchronization of body movement in face-to-face communication. However, it is not yet known clearly the relationship between synchronization of body movements in face-to-face communication and structure of face-to-face communication network. Therefore, we aim at investigating this relationship. Specifically, we divided the communication network into sub-networks based on the similarity of body movements. Then, we conducted a test for no-correlation between the similarity of body movements and the transitivity of each sub-network. The result indicates that the face-to-face communication network constructed from the participants with a high similarity of body movements has higher transitivity than that with a low similarity of body movements.

Keywords: Similarity of body movement, face-to-face communication network, body movement frequency

1 緒言

1.1 研究背景

我々は様々な組織に属し、その中でコミュニケーションを行うことにより他者との間に社会的なネットワークを構築しながら日常生活を営んでいる。近年、このような社会的ネットワーク構造と組織全体の状況を結びつける研究がなされてきた。例えば、企業組織内のメールでのコミュニケーションにより作られた社会的ネットワーク構造について、その企業組織が崩壊する期間では、分断されたコミュニティの数が増大することや相互性が増大するなどのネットワーク構造の変動が発生するという報告がされた[1]。また、学校のクラスでの数学の成績が、休憩時間の対面ネットワークにおける密度、クラスター係数といったネットワーク構造指標と正の相関を持つという報告もされた[2]。これらの様な研究から、コミュニケーションと社会的ネットワーク構造との関係を明らかにすることにより、組織全体の診断や支援を行うことが可能となると考えられる。

1.2 先行研究

これに関し、社会的コミュニケーションについての先行研究として、コミュニケーション時の身体運動の同調現象に注目したものがある。例えば、Knock-knock Joke タスクを行う 2 者の身体運動が同調すること[3]、心理臨床対話時のカウンセラー・クライアント間で身体運動が同調すること[4]が報告された。また、グループ

においてメンバーのことを思いやるリーダーの領きと姿勢変化が、そのグループのメンバーの領きと姿勢変化に同調して起きることが報告された[5]。さらに、合意形成課題における合意の度合いが高まるにつれて、うなずきの同調の度合いが増大することも明らかとなった[6]など、実験室環境では身体運動の同調現象の意味についても深く議論されてきた。

以上のようなコミュニケーションの内容や時間が統制された実験室環境での報告だけではなく、実社会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が同調することが確認された[7]。さらに、身体運動の同調現象と実社会の企業組織の対面ネットワーク構造の間に相関関係がある可能性も報告された[8]。これらの研究は、身体運動の同調現象が社会的ネットワークの形成に関わる可能性を示唆する。

しかしながら、先行研究[8]は身体運動の同調現象と社会的ネットワーク構造の間の関係を明確にするものではなかった。この研究により、身体運動の同調現象が複数のネットワーク構造指標と相関関係があることが示唆されたが、その相関関係はすべての組織においては明確な傾向を持っていなかったのである。さらに、身体運動の同調現象は、身体運動自体の特徴によってその機能が異なる可能性が示唆された[9]が、先行研究[8]は身体運動自体の特徴にまで踏み込むものではなかった。これらの観点を含めて身体運動の同調現象と社会的ネットワーク構造の間の明確な関係を示すことがで

Table 1 Organizations for Analysis

	Organization A	Organization B	Organization C	Organization D
Type	R & D	Wholesale	Consultant	Development
Participants	158	211	133	1463
Days	43	47	33	58

されれば、定量化された社会的コミュニケーションの観点から組織の診断・支援へと適用することができると考えられる。

1.3 目的と方針

そこで本研究では、実社会の企業組織を対象として、対面コミュニケーション時の身体運動の同調現象と対面ネットワークの構造との関係を明確にすることを目的とする。この目的のために、本研究では曜日という単位時間に区切って先行研究[8]の分析方法を適用する。またネットワーク構造を定量的に評価するため、ネットワーク構造指標のうち、推移性に注目する。推移性は、ネットワーク内の三角構造に注目する指標であり、この三角構造は社会的ネットワークの機能を考える上での基本構造となっている[10]。身体運動の同調がより強く発生するメンバーにおける対面ネットワーク構造はより緊密なものとなるため、ネットワーク内に存在する三角構造の割合は増大すると予想される。さらには、どのような身体運動の状況下における同調がネットワーク構造に強く反映するかを調べる。これらの方針の下、推移性と身体運動の同調現象との関係について分析し、身体運動の同調現象と社会的ネットワーク構造の間の関係性を明確にすることで、身体運動の同調現象の実社会における意味も議論できると考えられる。

本稿は以下のような構成となっている。まず、2節において、組織内での身体運動の計測方法について述べ、対面コミュニケーション時の身体運動の同調の強さの指標を定義する。さらに、定義された身体運動の同調の強さの指標に基づき、組織の対面ネットワークを分割する方法について述べる。次に、3節において本研究の分析手法を実際の企業組織に対して適用した結果を示す。そして、4節において、得られた結果について考察する。最後に本稿をまとめる。

2 方法

2.1 対象組織

本研究で対象とする組織を Table 1 に示す。ここで、参加者は計測期間内に 1 回以上他者と対面コミュニケーションを行った人数である。また、計測日数は土日祝日を除く、計測期間内に 1 回以上対面コミュニケーションがなされた日数である。これらの組織から提供された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。

2.2 計測装置

本研究では、対面コミュニケーション時の身体運動を対象として分析を行うために、3 軸加速度計および赤外線送受信機を搭載したセンサ（ビジネス顕微鏡[11]、株式会社日立製作所：Fig. 1）を用いた。このセンサは、参加者の首から下げるように装着する。装着する時間は、入社時から退社時までである。

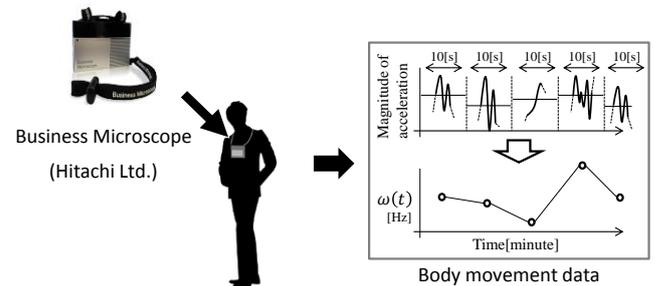


Fig. 1 Business Microscope

我々が分析対象とする身体運動の特徴量は以下のようにして計算される。まず、センサに搭載された 3 軸加速度計によって計測された加速度ノルムの時間変動を計測する。次に、この加速度ノルムの 10 秒ごとの平均値を求め、その平均値ラインをクロスする回数を求める。身体運動の特徴量は、この平均値ラインをクロスする回数を 1 分毎に平均した値である。以降、この方法で計算された身体運動の特徴量を身体運動の振動数 $\omega_i(t)$ [Hz] と呼ぶ。ここで、 i は参加者のラベル、 t は観測された時刻[分]である。

対面状況の計測は、センサに搭載された赤外線送受信機を用いて行う。この赤外線送受信機は、左右 120[度]、上下 60[度]、距離 2[m]以内にある他のセンサ ID を記録する。この記録は 1 分毎に保存される。また、各時刻における対面状況については三角形補完を行った。これは、ある 3 人 i, j, k において、 i と j が対面し、 j と k が対面している状況では、 i と k も対面している状態であるとすることである。

2.3 分析データ

ここまでの方法で観測されたデータはすべて 1 日ごとに分けて保存されている。ここで、実際の組織内での活動には、1 日や 1 週間など様々な単位となる時間区間が存在し、時間区間が異なればコミュニケーションの

状況も異なるであろう。そして、それに応じて、時間区間ごとにネットワーク構造も異なることが予想される。そこで、本研究では上記のデータを1週間の曜日ごとに分類し、全観測期間の曜日ごとにまとめたデータを用いて分析を進めた。

2.4 身体運動の同調の強さの指標

本研究では身体運動の同調の強さごとのネットワーク構造を分析する。そこで、身体運動の同調の強さを示す指標として、組織内で発生する2者間の対面コミュニケーション時の上半身の身体運動の振動数の差を用いる。これを身体運動の類似度 $\Delta\omega_{ij}(t)$ と呼ぶ。つまり、ある2者 i, j の身体運動の類似度 $\Delta\omega_{ij}(t)$ は、

$$\Delta\omega_{ij}(t) = |\omega_i(t) - \omega_j(t)| \quad (1)$$

と計算される。これを対面するすべてのペア (i, j) について算出する。

2.5 対面ネットワークの分割

身体運動の同調現象と組織内のネットワーク構造の関係を調べるために、2.4で定義した身体運動の類似度に基づいて組織の対面ネットワークを分割する。ネットワーク分割は以下の手順で行われる。

1. 特定の単位時間内における全対面コミュニケーション時の身体運動の類似度を求める
2. 1.で求めた身体運動の類似度を n 等分するように、身体運動の類似度に閾値を設ける。これにより、各対面コミュニケーションが類似度別に分類される。
3. 各類似度帯に含まれる対面イベントのみの対面ネットワーク（サブネットワーク）を構成する。

以上の操作を行うことにより、組織の対面ネットワークから類似度別に n 個のサブネットワークが生成される。ここで、各サブネットワークに含まれる対面コミュニケーション時の平均類似度をそのサブネットワーク全体の類似度を示す特徴量として定義した。

2.6 ネットワーク構造指標

本研究では分割したサブネットワークごとのネットワーク構造を定量的に評価するために、ネットワーク構造指標として推移性を用いて分析を行った。推移性は、ネットワーク内の推移関係を定量化するための指標である。推移関係とは、3個のノード i, j, k について、 i と j 間にエッジが張られており、かつ j と k の間にエッジが張られている場合に、 i と k の間にもエッジが張られていることである。推移性 T はこのような関係がネットワーク全体でどの程度存在するかという比率を示す指標であり、

$$T = \frac{(i \text{ と } k \text{ が接続する組})}{(i \text{ と } j, j \text{ と } k \text{ が接続する三つ組}(i, j, k) \text{ の数})} \quad (2)$$

と表現される。

2.7 統計分析

2.5で求めた各サブネットワークにおける身体運動の類似度とネットワーク構造指標との関係を求めるために相関分析を行った。今回はそれぞれの指標に正規性が見られなかったため、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。

3 結果

Fig. 2は、特定の曜日の対面ネットワークを身体運動の類似度に基づいて40分割($n=40$)し、それぞれのサブネットワークにおける身体運動の類似度と推移性をプロットしたものである。Fig. 2において、横軸は身体運動の類似度、縦軸は各サブネットワークの推移性を表している。身体運動の類似度は、0 [Hz] に近いほど身体運動がより同調していることを示している。この図から、各組織において、身体運動の類似度と推移性の間に強い相関が見られた日(i)と見られなかった日(ii)が存在することが分かる。

Table 2は、身体運動の類似度と各サブネットワークの推移性との間でのスピアマンの順位相関係数の値を示したものである。この表から、いずれの組織においても身体運動の類似度と推移性との間に有意な相関がある曜日が必ず存在することが分かる。

以上の結果は分割数 $n=40$ の場合であるが、この分割数を変えた場合にどのように結果が変わるかも調べた。その結果をFig. 3に示す。Fig. 3において、横軸が分割数、縦軸が各分割数でネットワークを分割した際の身体運動の類似度と推移性の間の相関係数である。グラフ中の塗りつぶされている点は無相関検定の結果相関が有意に見られる分割数である。この図から、組織A, C, Dでは分割数を20~60個の範囲において変えても安定して相関が見られるが、組織Bについてはやや少なく分割数がおおよそ35~50個の範囲の中において有意な相関が見られる。

ここまでの分析においては、式(1)により定義された身体運動の振動数を用いていた。しかし、式(1)の定義では身体運動の振動数の高さは考慮されていない。すなわち、どのような活動時における同調が推移性を高めているかについては明らかでない。そこで、Table 2において負の相関が見られた曜日に注目し、身体運動の振動数差が1 [Hz] 未満の各サブネットワークにおける身体運動の振動数の代表値と推移性の間の相関分析を行った。ここで、振動数差1 [Hz] 未満に注目した理由は、各個人の活動状況が身体運動の振動数1 [Hz] ごと

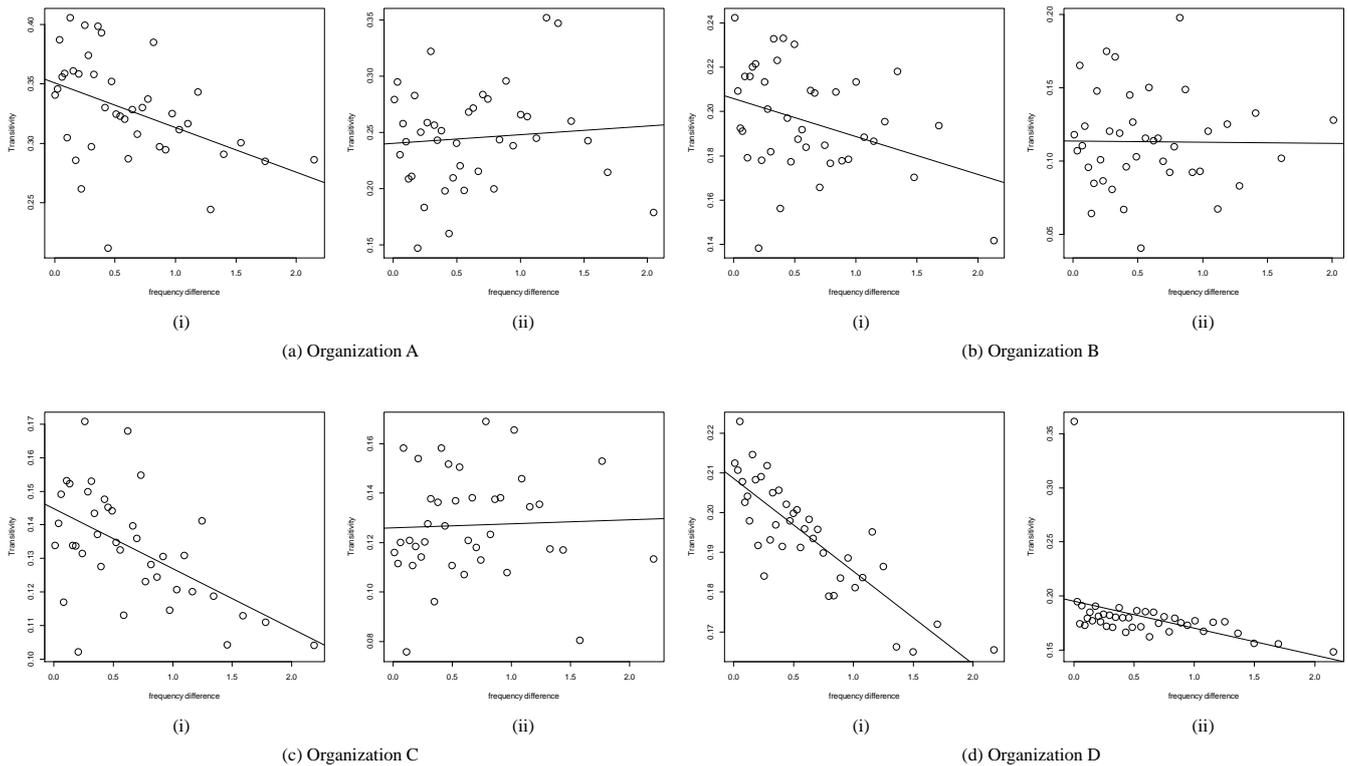


Fig. 2 Relationship between similarity of body movement and transitivity on each sub-network

に特徴づけられると示されているためである[12]. 身体運動の振動数の代表値としては、各サブネットワークに属するメンバーの対面コミュニケーション時の身体運動の振動数の平均値とした。相関分析結果を Table 3 に示す。Table 3 の結果から、身体運動の振動数差 1 [Hz] 未満各サブネットワークにおいて、4 組織中 3 組織で身体運動の振動数と推移性の間には有意な負の相関が見られた。このことから、身体運動が同調しているサブネットワークの中でも、対面コミュニケーション時の身体運動の振動数が低いサブネットワークの方が推移性が高い傾向があることが明らかとなった。

4. 考察

以上の結果から、いずれの企業組織内での対面コミュニケーションにおいても、1 週間のうちの 1 日以上、身体運動の類似度とネットワークの推移性との間に有意な相関関係があることが明らかになった。つまり、身体運動の同調の強さが強くなるに従い、ネットワークの推移性が高くなる傾向にあることを示した。さらに、身体運動の同調が発生するメンバーの中でも、身体運動の振動数が低いメンバーにおける同調が対面ネットワークの推移性を高めていることが明らかとなった。このことから、コミュニケーション時の身体運動の同調現象と社会的ネットワーク構造の間に、明確な関係性があることが示された。

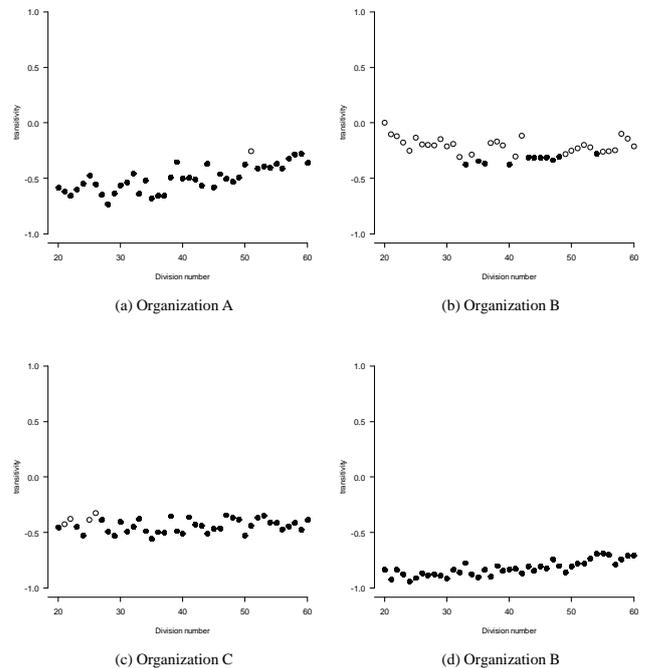


Fig. 3 Relationship between division number and correlation coefficient

Table 2 Result for test for no-correlation between similarity of body movement and transitivity on each sub-network

	A	B	C	D
Monday	0.091	0.007	-0.507**	-0.828**
Tuesday	0.031	-0.155	0.094	-0.771**
Wednesday	-0.182	-0.322*	0.026	-0.831**
Thursday	-0.498**	-0.370*	0.116	-0.567**
Friday	-0.037	-0.115	0.335*	-0.743**

*: p < 0.05, **: p < 0.01

Table 3 Result for test for no-correlation between body movement frequency and transitivity on each sub-network

	A	B	C	D
Day of the week	Thursday	Wednesday	Monday	Monday
Correlation	-0.385*	-0.355*	-0.157	-0.764**

*: p < 0.05, **: p < 0.01

本稿で注目した身体運動の振動数は、2.2節で示したように各個人の身体運動の状況を表していた。身体運動の振動数の定義によると、振動数が低いメンバーは頷きなどの身体運動がゆるやかに発生していると考えられる。身体運動の中でも特に頷きに注目している研究において、日本語話者では頷きの周波数が1.0 [Hz] ~ 5.0 [Hz] の中で1.0 [Hz] 程度の周波数成分は時間遅れなしで同調することが明らかとなっている[9]。本研究から、実験室環境で見られた時間遅れなしで発生する身体運動の同調が、組織内の対面ネットワークの推移性が高めていることが示唆された。

一方、推移性は式(2)に示すようにネットワーク内の2者間コミュニケーションの中で、3者間コミュニケーションをしていた割合を示している。これは、2者間のコミュニケーションの3者間のコミュニケーションへの広がりやすさを示していると考えられることができる。身体運動の類似度が推移性と正の相関を持つことを踏まえれば、身体運動の同調現象は組織内コミュニケーションを2者間から3者間以上のコミュニケーションへと拡張させる効果がある可能性が示唆された。

身体運動の同調が組織内の対面ネットワークを3者以上へ拡張させる可能性が示唆されたものの、拡張されやすいネットワークは構造が不安定になる可能性がある。しかし、社会心理学の研究において、3者間の関係が心理的に安定する状態になる構造は三角構造であり、反対に3者間の関係が三角構造ではない場合、その構造は社会的な緊張状態を引き起こすということが指摘されている[13]。これは、「友人の友人は友人である」という自然な状態を保つために他者とコミュニケーションを取ることによって三角構造を構成する傾向があることを意味している。身体運動の同調の強さが高

ければ高いほど、その同調の強さに対応する対面ネットワークの三角構造が多くなることから、身体運動の同調現象はそのネットワークにおける個人間の社会的な関係を全体として安定化する効果があることが示唆された。

以上の考察をまとめると、身体運動の同調現象は、企業組織内における対面ネットワーク構造指標の中でも推移性と正の相関を持つことが明らかとなった。この事実から、身体運動の同調が組織内において2者間のコミュニケーションから3者間のコミュニケーションへと拡張させること、および組織内のネットワーク構造を安定化することが示唆された。

本研究では単位時間毎に身体運動の同調現象と社会的ネットワーク構造の間の関係を分析してきた。一方で、なぜ身体運動の同調現象と推移性の間に関係が見られるかというメカニズムについて調べることも重要であると考えられる。このようなメカニズムについて調べるための方法として、社会的ネットワーク構造や身体運動の類似度の時間変動を考慮して分析することが考えられる。この点については今後の課題として残されている。

5. 結言

本研究では、実社会の企業組織を対象として、対面コミュニケーションにおける身体運動の同調現象と対面ネットワークの構造との関係を特定の時間区間を設けて分析した。具体的には、各曜日における対面コミュニケーション時の身体運動の同調の強さに基づいて対面ネットワークをサブネットワークに分割し、各サブネットワークの三角構造の割合を示す構造指標である推移性と身体運動の同調の強さとの関係を分析した。結果として、身体運動の同調と社会的ネットワーク構

造に明確な相関関係が見られた。さらに、身体運動の同調が発生するメンバーの中でも、身体運動の振動数が低いメンバーにおける同調が対面ネットワークの推移性を高めていることが明らかとなった。このことから、身体運動の同調現象は組織内の対面ネットワーク構造を拡張・安定化する可能性が示唆された。

参考文献

- [1] K.Hossain, S.T.Murshed and S.Uddin :Communication network dynamics during organization crisis, *Journal of Infomatics*, **Vol.7**, 1, pp.16-35 (2013)
- [2] J.Watanabe, K.Yano, S.Matsuda :Relationship between Physical Behaviors of Students and Their Scholastic Performance, *Ubiquitous Intelligence and Computing*, 2013 IEEE 10th International Conference on and 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, pp.170-177 (2013)
- [3] R.C.Schmidt, P.Fitzpatrick, R.Caron and J.Mergeche :Understanding social motor coordination, *Human Movement Science*, **Vol.30**, 5, pp.834-845 (2011)
- [4] 小森, 長岡 :心理臨床対話におけるクライアントとカウンセラーの身体動作の関係 :映像解析による予備的検討, *認知心理学研究*, **Vol.8**, 1, pp.1-9 (2010)
- [5] S.Feese, B.Arnrich, G.Tröser, B.Mayer and K.Jonas :Quantifying Behavioral Mimicry by AutoMatic Detection of Nonverbal Cues from Body Motion, *Proceedings of the 2012 ASE/IEEE International Conference on Social Computing and 2012 ASE/IEEE International Conference on Privacy, Security and Trust*, pp.520-525 (2012)
- [6] Y.Inoue, E.Ono, J.Kwon, M.Motohashi, D.Ikari, K.Ogawa and Y.Miyake :Head motion synchronization in the process of consensus building, *Proceedings of the 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp.70-75 (2013)
- [7] N.Higo, K.Ogawa, J.Minemura, B.Xu, T.Nozawa, T.Ogata, K.Ara, K.Yano, Y.Miyake :Interpersonal Similarity between Body Movements in Face-To-Face Communication in Daily Life, *PLoS ONE*, **Vol.9**, 7, pp.1-10 (2014)
- [8] 峰村, 徐, 小川, 荒, 矢野, 三宅: 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・シンポジウム予稿集, pp.233-238 (2014)
- [9] M.S.Y.Robin, Y.Inoue, S.Miura, J.Kwon, K.Ogawa, Y.Miyake: Head Motion Synchrony in the Process of Consensus Building: A Comparison between Native and Japanese Speakers, *Proceedings of the 2015 International Conference on Complex Medical Engineering (ICME)*, pp.31-36 (2015)
- [10] J.Scott: *Social Network Analysis: A Handbook Second Edition*, London SAGE Publications Ltd., pp.13-15 (2000)
- [11] Y.Wakisaka, K.Ara, M.Hayakawa, Y.Horry, N.Moriwaki, N.Ohkubo, N.Sato, S.Tsuji and K.Yano :Beam-scan sensor node:Reliable sensing of human interactions in organization, *Proceedings of the 6-th International Conference on Networked Sensing Systems*, pp.58-61 (2009)
- [12] K.Ara, N.Sato, Y.Wakisaka, N.Ohkubo, Y.Horry, N.Moriwaki, K.Yano: Predicting Flow State in Daily Work through Continuous Sensing of Motion Rhythm, *Networked Sensing Systems (INSS)*, 2009 Sixth International Conference, pp.1-6 (2009)
- [13] H.Louch: Personal Network Integration: transitivity and homophily in strong-tie relations, *Social Networks*, **Vol.22**, 1, pp.45-64 (2000)