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

肥後 直樹

Embodied Entrainment in Everyday Face-to-face Communication

Naoki Higo

Abstract – This study investigates whether the body sways of people entrained with each other in everyday face-to-face communication. Using werable sensors, we measured individual time series regarding the body movement of the upper torso and also face-to-face interactions between people in daily life. People in the seven business organizations participated in this study. The rhythms frequencies of the body movement are defined as the number of the upper torso movement for a minute to analyze embodied entrainment simply in daily life. The observation included 100 to roughly 220 participants from each of organization over a period of two to three months. The present study analyzes the distribution of the differece of the rhythms frequencies by re-sampling. We show that the distribution of the difference of the rhythms frequencies have the small standard deviation and the high kurtosis than that of the differece obtained from re-sampled rhythms frequnecies. It suggests that the rhythms frequencies of the body movement become more closer in face-to-face situations. This result promises that the embodied entrainment can be observed in everyday face-to-face communication. Our proposal method for measuring the daily body-entrainment is expected to develop an assessment method of the smoothness of social interaction in daily life by the degree of entrainment related to the quality of communications.

Keywords : Embodied entrainment, Daily life, Face-to-face interaction

1. 緒言

1.1 研究の背景

私たち人間は，日常生活の中で，家族，学校，および職場などの集団に属し，その集団の中でコミュニケーションをとり協調し生活している．コミュニケーションの成立には言語の意味内容の共通理解に加えて，非言語的なコンテキストの理解が重要である．コンテキストには，自身と相手が置かれている状況，自己と相手との関係性，さらには，属している集団の社会的，文化的な背景などが考えられる．コンテキストの理解に差異があると，言葉の解釈の不一致など円滑なコミュニケーションが阻害される可能性がある [1]．しかし，実際には私たち人間は，そのコンテキストの差異を乗り越えて他者とコミュニケーションをとり，集団として協調して暮らしている．

個人の間でのコンテキストが共有される過程は，言語的な意味内容の相互伝達だけでなく，身体活動の同調など無意識的なインタラクションが関与している．人間は他者と対面しコミュニケーションをする際に，身体の活動が無意識的に同調することが知られている [2–12]．身体活動の同調は，対話時に相手へ与える印象を変える働きがあり，また，コミュニケーションの円滑性を高めることが報告されている [7,12]．これらの研究は，身体活動の同調が相手との関係性を変化させる，つまり，コンテキストの共有に関わっており，さらには，結果としてコミュニケーションの円滑さへと寄与していることを示唆している．また，身体活動の同調は，コミュニケーションにおいてコンテキストを共有しようとする段階において多く観察されるとの報告があり [13]，このことからも身体活動の同調とコンテキストとの関係が考えられる．

このようなコンテキストの共有過程と身体活動の同調との関係は，身体活動の同調をコミュニケーションの円滑性を評価する支援へと活用できることを期待さ

せる．しかしながら，コミュニケーションにおける身体活動の同調は，実験室における参加者，もしくは，母子間，および，インタビューにおける話者と聞き手などの特定の二者間に限られてきた [2–8, 10–12]．コミュニケーションを円滑化する支援システム，および，方法を構築するためには，日常生活の中で身体活動を計測し，定量的に同調の分析を行う必要がある．

1.2 身体活動の同調現象とその効果

人間の身体の動きは，無意識的に他者のそれと同調することが知られている．例えば，母子間や成人間において，話し手の声に聞き手の身体の動作のリズムが同調することが知られている [4, 8]．また，街中を歩いているカップルの歩くリズムのテンポがそろうということが報告されている [6]．これらの研究は，日常生活の広範な活動において身体同調が見られることを示している．

このような身体活動の同調現象の中で，身体活動として上半身の動きに注目し，その動きが同調することが示されている [10,11]．Shockely らは，共にパズルを解く個人間において姿勢が同調することを示した [10]．彼らは，身体活動として姿勢の動きに着目し，磁気センサを用いて姿勢の変動を計測し分析を行った．また，Schmidt らは，実験室において参加者 2 名にジョークの掛け合いをさせ，その際の身体活動をビデオで記録し，動画内の実験参加者の上半身に関する動きの差分を検出することで，身体活動の同調を定量的に評価した [11]．その結果彼らは，対面コミュニケーション時における振幅の大きな身体振動に関して，コヒーレンスを生じることを示した．これらの結果は，上半身の動きのような振幅の大きな身体活動に関して同調現象が生じることを示唆している．

さらに，身体活動の同調のコミュニケーションの質を変化させる効果，および，コミュニケーションにおいて持つ意味に関する研究も進められてきている [7,12]．例えば，面接時における被面接者の発言に対する面接官のうなずき動作が，被面接者の発言量を増加させる効果があると報告されている [7]．また，大学授業において教師-生徒間の身体活動の同調の度合いを分析し，その同調度合いにより生徒の授業への関心度合いが評価されている [12]．これらの研究は，身体活動の同調によって集団内の日常生活のコミュニケーションが円滑になされているかを評価するような支援を期待させるものである．

1.3 同調現象の観察における日常生活と実験室環境との違い

社会的なコミュニケーションの観点からすると，日常生活におけるコミュニケーションは，そのコミュニケーションが生じる場が集団内にあることの影響を受けることが予想される．先行研究では，実験室のような特定の環境における観察が行われており，コミュニケーションが集団から閉じている状況で，身体活動の同調が分析されている [10–12]．しかし，実験室の中で観察された 2 体間に生じる同調が，多体系，すなわち，集団に埋め込まれたときにも，同じように生じることは必ずしも自明ではない．さらに，集団内の一人一人が均質なコンテキストを持つよりは，むしろ異なるコンテキストを持つと考えられる．そのため，それぞれの個人の間で生じるコンテキストの共有過程も異なると考えられ，それに伴った身体活動の同調にも多様性が示唆される．多様な同調が存在しうる状況において，先行研究と同様に分析ができるのか否かについては明らかではない．

同じ相手とのコミュニケーションであっても，そのときの身体活動の同調は定常的ではなく経時的な変化が想定され，さらに同調の分析が困難であると考えられる．コミュニケーションをするにつれて，個人間で共有されるコンテキストは変化するため，身体活動の同調もそれに伴い変化すると考えられる．しかし，先行研究は，ある特定の課題，および，話題のコミュニケーションにおいて身体活動の同調が生じるか否かに注目しており [10–12]，この意味において同調は定常的に存在するという視点であったと考えられる．すなわち，実験室環境においては，同調の時間的な変化を考慮する必要がなかった．

また，日常生活における 2 体間の身体活動の同調は，その計測がそもそも難しいと考えられる．先行研究では，統制された環境および条件における身体活動を計測し，その同調の分析がなされた [10–12]．そのため，コミュニケーションがいつ始まりいつ終わるのかということを統制でき，コミュニケーションの相手も明らかである，もしくは，特定が容易であった．同調現象の観察と分析においても，それらを前提とした手法がとられていた．例えば，実際のコミュニケーションの長さは事前に定められておらず，その長さは短いものから長いものが存在することが知られている [15]．すなわち，先行研究のように時系列の長さがわかった上で適度な時間幅での要約，および，一定以上のサンプル数の時系列の長さを要するような時系列解析手法の適用は難しい．

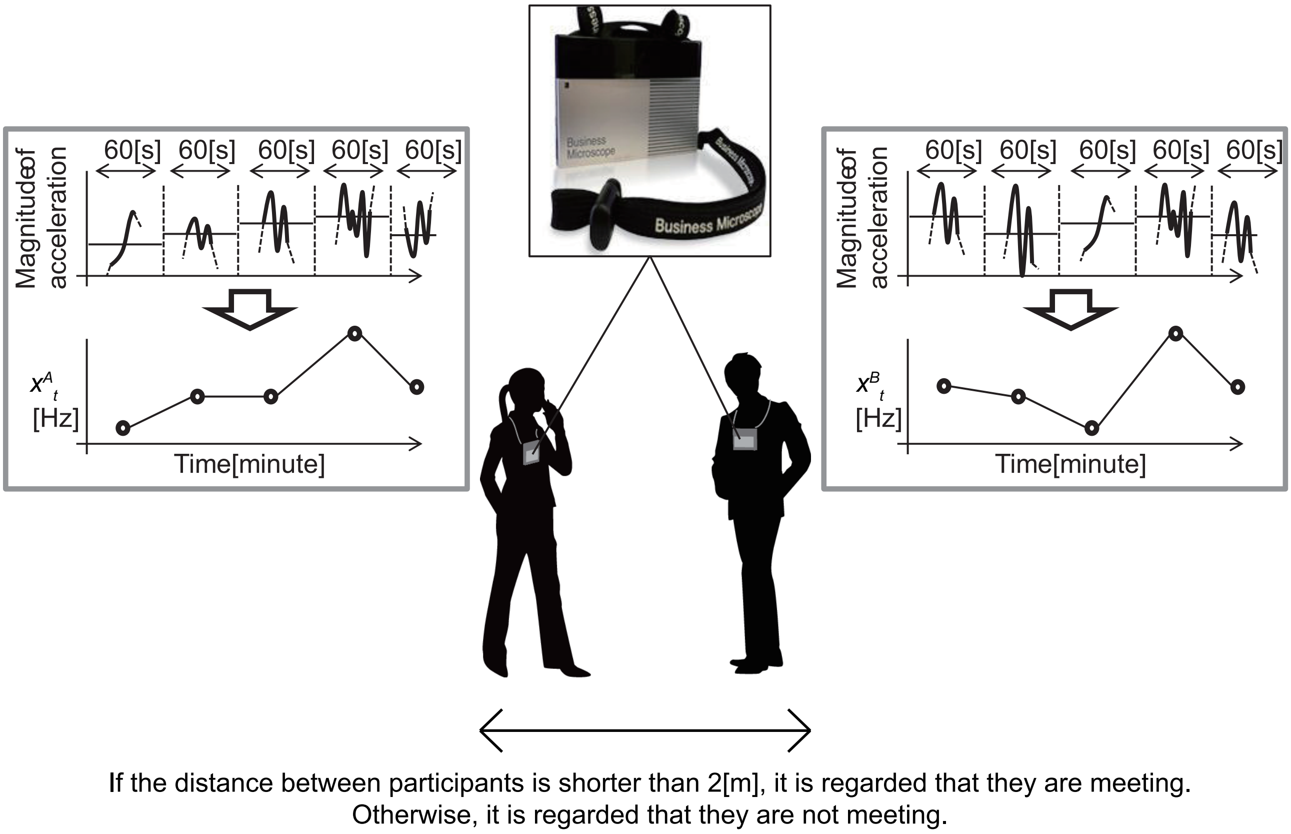

Fig.1 The wearable sensors (Business Microscope). The equipment is attached on the upper torso of a participant [18]. The equipment has a three–axis acceleration sensor and an infrared transceiver. The three–axis acceleration sensor captures the rhythm of upper torso movement. The infrared transceiver detects face-to-face interaction. The data are collected by minute. Participants put on this equipment when arriving at work and took it off when leaving.

1.4 目的と方針

以上の背景から，本研究は日常生活の対面コミュニケーションにおいて，身体活動を計測し，身体活動の同調を観察，および，分析することを目的とした．

方針としては，上半身の動きに注目し，この動きが日常生活の中で対面している個人間において揃うかどうかを調べることにした．Schmidt らは，ジョークの掛け合う個人間において上半身の動きの大きさにコヒーレンスが生じることを示していた [11]．ジョークの掛け合いは，実験室で統制された環境ではあるが，日常生活に近い状況だと考えられる．

しかし，先に述べたように，日常生活における身体活動の同調には，その同調の様相の多様性・非定常性が想定される．したがって，同調とは本来，相互に作用する二つの振動子の振動数が揃う現象を指すが，日常生活における身体活動が周期的なリズムを刻むこと，および，完全に互いの身体活動の動きが一致する状況は考えにくい．この点を考慮し，本研究では，一定時間内に上半身の動きが生じる頻度が，対面している個人間で近い値を示すことを身体活動の同調とみなすこととした．身体活動を上半身動作の加速度の大きさとみなすと，その時系列には動きに応じてパルス波，または連続波が生じる．ある長さの時間内に生じるこれら波の数を，身体活動である振動数として算出すれば，身体活動が同調する，すなわち相互に相手の動きに応じて身体が動くとき，個人間においてこの振動数は一致するはずである．そこで，個人間の振動数の差が 0 となること，もしくは 0 付近の値をとることを，身体活動の同調としてみなした．

また，計測はウェアラブルセンサを用いて，100 名を

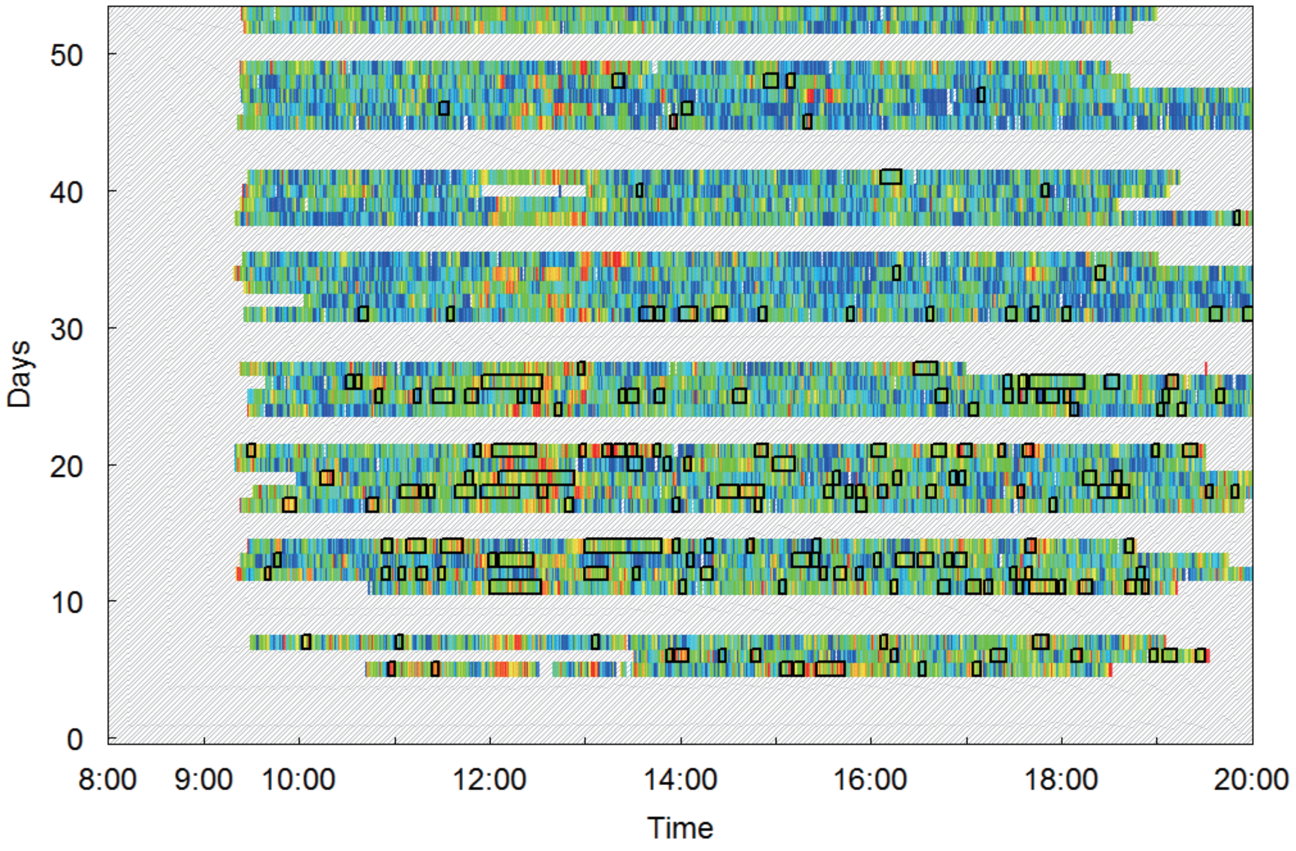

Fig.2　Measured data sample.

超える複数の企業組織内における，日常生活の身体活動の記録と対面の検出を 2，3 か月にわたり行うこととした．近年，センサ技術の高性能化および計算機の小型化に伴って，人間の身体活動，および他者との対面近接に関する記録が可能となっている [14, 15, 18, 19]．身体活動の記録から上半身の動きの頻度に関わる振動数を一分ごとに算出し，この振動数の一致度合いを用いて対面時の毎分の身体活動の同調の度合いとして評価した．さらに，この評価された同調の度合いが，直接対面していることによって生じているのか，または単に対面する行動に固有の振動数が存在するために生じているのかを明らかにすることを試みた．

2.　方法

2. 1　計測

本研究では，加速度計および赤外線の送受信機を搭載した名札型のウェアラブルセンサ（ビジネス顕微鏡，日立ハイテク [18, 19]）を用いて，身体活動の時間変動および企業組織内の人間同士の対面を計測した．このセンサは，計測対象組織に属する各個人に配布され，毎日出社時に Fig. 1 のように首から下げて装着され，退社時に外された．身体活動の時間変化の波の数は，センサに搭載された 3 軸加速度計により時間変動を計測し，一分毎に振動数として算出された．時間変化の波の数に関する振動数は，一分毎に加速度ノルムの時系列をオフセット除去し，その処理した時系列がゼロクロスする回数を変換した値である．以後，この毎分の身体活動の時間変化の波数である振動数を，身体活動の振動数 x^i_t[Hz] と呼ぶ．ただし，i はセンサ装着者ラベル，t は時刻ラベル [分] である．x は，うなずくなどの上半身の身体活動が多い程，オフセット除去した時系列のゼロクロスが多くなるため，高い値を示す．

組織内の人々の対面検出には，センサに搭載された赤外線送受信機同士の 10 秒ごとの通信記録を指標とした．センサの左右 120[度]，上下 60[度]，距離 2[m]（Fig. 1）の範囲内にある他のセンサと通信し，あらかじめ各センサに割り当てられた ID を交換することで，だれと対面していたのかを記録する．通信距離は，センサのバッテリーの消耗を考慮し定められたものであるが，2[m] 範囲内というのは，個人間で対面コミュニケーションが行われる上で，十分に近い距離であると言える．なぜなら，Hall によれば [20]，1.2 から 3.6[m] 範囲内は社会距離と呼ばれ，ビジネスの話をするときになどに用いられる距離帯であるためである．1.2[m] より近い範囲には密接距離および個人距離という距離

帯があり，より親密な関係の際に取られる距離となる．この対面に関する通信記録は，一分毎に保存された．

このウェアラブルセンサによって得られた一名分のデータ例を Fig. 2 に示す．この図は，計測期間中のうちの午前 8 時から午後 8 時までの，身体活動の振動数，および，対面の記録を可視化したものである．この図の横軸は時刻を表しており，縦軸は計測日を表している．身体活動の振動数が高い時刻においては赤く，低い時刻においては青くなるように可視化した．また，このセンサユーザが他のセンサユーザと対面状態にあった時刻を黒い四角の枠によって囲っている．この対面している際の，身体活動の振動数のデータを用いて，対面時の身体活動の同調について分析を行う．

2.2 分析

2.2.1 分析の概要

本研究では，身体活動の時間変化の波の数に注目し，この波の数としての振動数より，身体活動の同調の度合いを評価した．もし，対面している個人間において身体活動の同調が生じるのであれば，一分間あたりの身体活動の時間変化において見られる波の数，すなわち振動数は近い値となるはずである．したがって，1.4 節で述べたように，身体活動の振動数の差が小さくなるということが，身体活動の同調が生じていることを示唆することとなる．

身体活動の振動数 x の差が対面することによって小さくなるか否かについて分析を行うために，リサンプリング法を用いた．計測データから，振動数 x の差の分布を求めただけでは，対面し相手との身体活動の同調が生じることによって，分布が 0[Hz] 付近に集中しているのかを知ることは出来ない．先行研究によれば，対面コミュニケーション時における各個人の身体活動の振動数は，1[Hz] 程度の値をとることが知られている [18]．つまり，そもそも対面という行動自体により各個人の振動数が類似することが想定される．以後，この対面行動自体によって，見かけ上同調しているように振動数が類似する要因を，対面行動自体による効果と呼ぶことにする．これより，身体活動の振動数の差を見るだけでは，身体活動の同調による影響のみについて議論することは出来ない．したがって，得られたデータから対面行動自体による効果を差し引かなければならない．そのために，本研究では計測データから求められた分布（オリジナル分布）と，計測データをリサンプリングすることにより求められた分布（リサンプリング分布）を比較し，その分布の差から身体活動の同調による影響を明らかにすることとした．オリジナル分布には身体活動の同調による効果と対面行動自体による効果が混在しているのに対し，リサンプリング分布には対面行動自体による効果のみとなるように，計測データのリサンプリングを行う．このリサンプリングの方法については，次の 2.2.2 項において具体的に述べる．

オリジナル分布とリサンプリング分布の比較には，分位数–分位数プロット（Quantile–Quantile plot，以後 Q–Q プロット）を用いた [23]．オリジナル分布がリサンプリング分布に比べて，0[Hz] 付近に分布が集中する場合には，分布全体のスケールが小さくなることが考えられるが，分布の中心付近がより中心へと偏る場合，および，分布のテール付近が中心へと引き寄せられる場合など，その他の分布のずれ方も想定される．この分布のずれ方を見ることによって，もし，対面することによって身体活動の同調が生じ，オリジナル分布がリサンプリング分布に比べて 0[Hz] に分布が集中しやすいことが示された際に，どのような要因によってその同調が生じているのかを予想する手がかりになる．

2.2.2 リサンプリング

具体的なリサンプリングの説明のために，まず初めに振動数の差の集計の仕方について触れておく．本研究では分布の形状を把握しやすくするために，分布が 0[Hz] を中心として左右対称となるように，集計した振動数差の集合を Y とすると，

$$Y = \left\{ \left\{ \pm |x_t^i - x_t^j| \middle| t \in T_{ij} \right\} \middle| (i,j) \in E \right\} \tag{1}$$

として集計した．ここで，T_{ij} は，センサユーザ i と j が対面していたと時刻ラベル集合であり，E は分析対象とされたセンサユーザ組のラベルである．単に，振動数の差を集計しただけでは，必ずしも 0[Hz] が分布となるとは限らない．しかし，先に述べたように，振動数の差がどれだけ 0[Hz] に近いかどうかによって同調の程度を評価を行うため，差の絶対値に正負記号をつけるようにして分布を作成するデータを集計した．

リサンプリングは，振動数の差の集合 Y を求める際のデータ要素 x のペアをランダムに組み合わせた．先に 2.2.1 項で述べたように，対面行動自体によって一定の身体活動の振動数を示すために，個人間で振動数が類似する効果，すなわち，対面行動自体の効果を差し引かなければならない．もし，対面行動自体の効果によってのみ身体活動の振動数が近づくとすれば，対面している時の振動数を適当に組み合わせて作成した振動数差の分布（リサンプリング分布）は，計測データの振動数差の分布（オリジナル分布）の形からほぼ変化しないはずである．しかし，オリジナル分布と，リサンプリング分布に差異が存在するとすれば，それは計測データの組み合わせに相関があるということ示

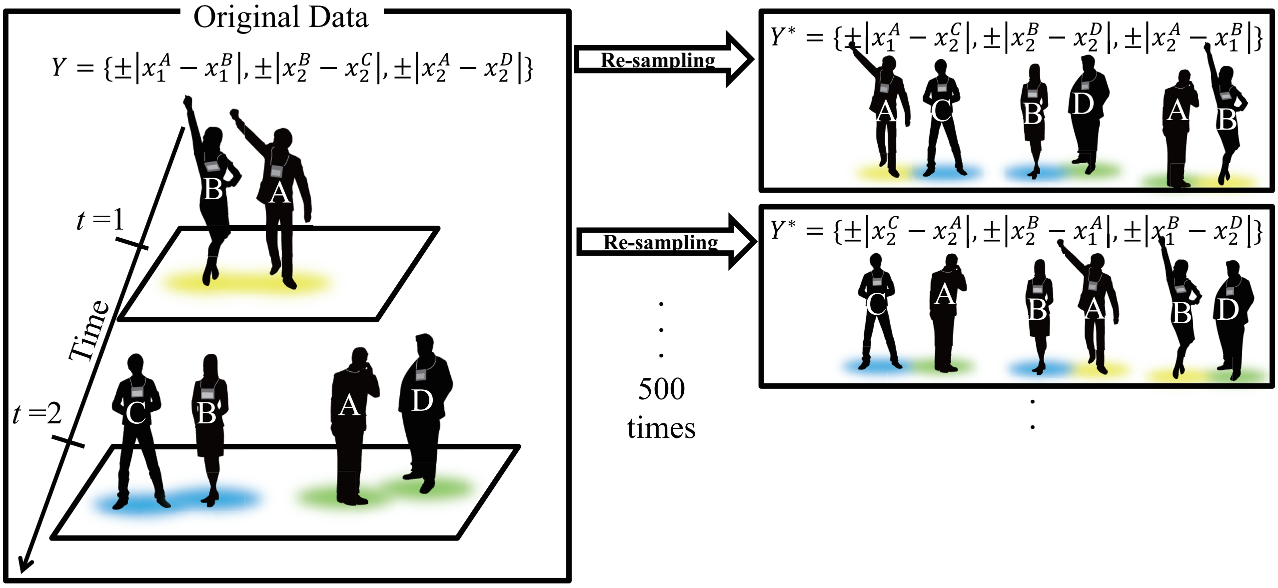

Fig.3　re-sampled example.

される．すなわち，直接対面し同じ空間でインタラクションを行う意味，つまり，身体活動の同調の存在が示唆されることとなる．

さらに，本研究におけるデータのリサンプリングの理解のために，具体的な例を挙げて説明をする（Fig. 3）．例えば，オリジナル分布を求めるための振動数差の集合を $Y = \{\pm|x_1^A - x_1^B|, \pm|x_2^B - x_2^C|, \pm|x_2^A - x_2^D|\}$ とする．つまり，$t = 1$ の時，センサユーザ A と B は対面しており，$t = 2$ の時，センサユーザ B と C およびセンサユーザ A と D がそれぞれ対面していたとする．この集合に対し，リサンプリングした集合 Y^* の一例をとしては，$Y^* = \{\pm|x_1^A - x_2^C|, \pm|x_2^B - x_2^D|, \pm|x_2^A - x_1^B|\}$ を得る．ただ，一度のリサンプリングだけでは，そのリサンプリングから得られる結果が偶然生じているのかどうかわからないため，以上のようなリサンプリングを 500 回行い，オリジナル分布との比較を行った．

2.2.3　分布の形の比較

オリジナル分布とリサンプリング分布を比較する方法として Q–Q プロットを用いた．Q–Q プロットは，２つの分布があるとき，一方の分布の分位数を横軸にとり，もう一方の分布の分位数を縦軸にとり，散布図を描いたものである．この得られた散布図から，２つの分布が同じ分布であるのか否かということだけでなく，その２つの分布のスケールの大きさの違い，および，テールの重さについての比較が出来る．以下では，具体的にシミュレーションをした結果を用いて，比較の方法を述べる．ただし，本研究では，振動数の差についてオリジナル分布とリサンプリング分布の比較を行うこととしており，これらの分布は 0[Hz] を中心として左右対称であるので，そのような場合に関する比較の例を示す．

Fig. 4 に４つの例を示した．まず，図の見方について説明する．それぞれの例には，２つの分布とその Q–Q プロットが描かれている．本研究では，分位数としてパーセンタイル（百分位数）を用いて Q–Q プロットを描くことにした．q パーセンタイルは，整数 q，$0 \leqq q \leqq 100$ に対し，分布を $q : 100 - q$ に分割する値である．n 個のデータ集合 Y に対する q パーセンタイル $Q(q)$ は，昇順にソートしたデータを $y_1 \leqq y_2 \leqq \ldots \leqq y_n$ とすると，

$$Q(q) = y(1 - \frac{q}{100} + n\frac{q}{100}) \tag{2}$$

$$y(t) = \begin{cases} y_t, & (t \in \mathbf{N}) \\ (\lceil t \rceil - t)y_{\lfloor t \rfloor} + (t - \lfloor t \rfloor)y_{\lceil t \rceil}, & (t \notin \mathbf{N}) \end{cases} \tag{3}$$

と定義される．ただし，$\lfloor\cdot\rfloor$ は床関数，$\lceil\cdot\rceil$ は天井関数，$\mathbf{N}$ は自然数の集合である．Fig. 4 の各パネルにおける Q–Q プロットの青い丸点の横軸，および，縦軸の座標は，２つの分布のそれぞれの q パーセンタイルに対応しており，1%刻みで描かれている．中でも，赤い大きな丸点は，分布の代表的な q パーセンタイルとして，低い値の方から順に，$q = 1, 10, 25, 50, 75, 90, 99$ を表しており，分布上ではそれぞれの点がどこに位置するのかを示した．また，２つの分布が同じであるかどうかを参照する直線として原点を通る傾き１の直線を灰色の破線で描いている．

次に，４つの例の違いを述べる．２つの分布が等しいのであれば，それぞれの分布上の分位数もほぼ等しい値を示すはずなので，参照直線上に Q–Q プロットは描かれる（Fig. 4 の（a））．赤丸で示された代表

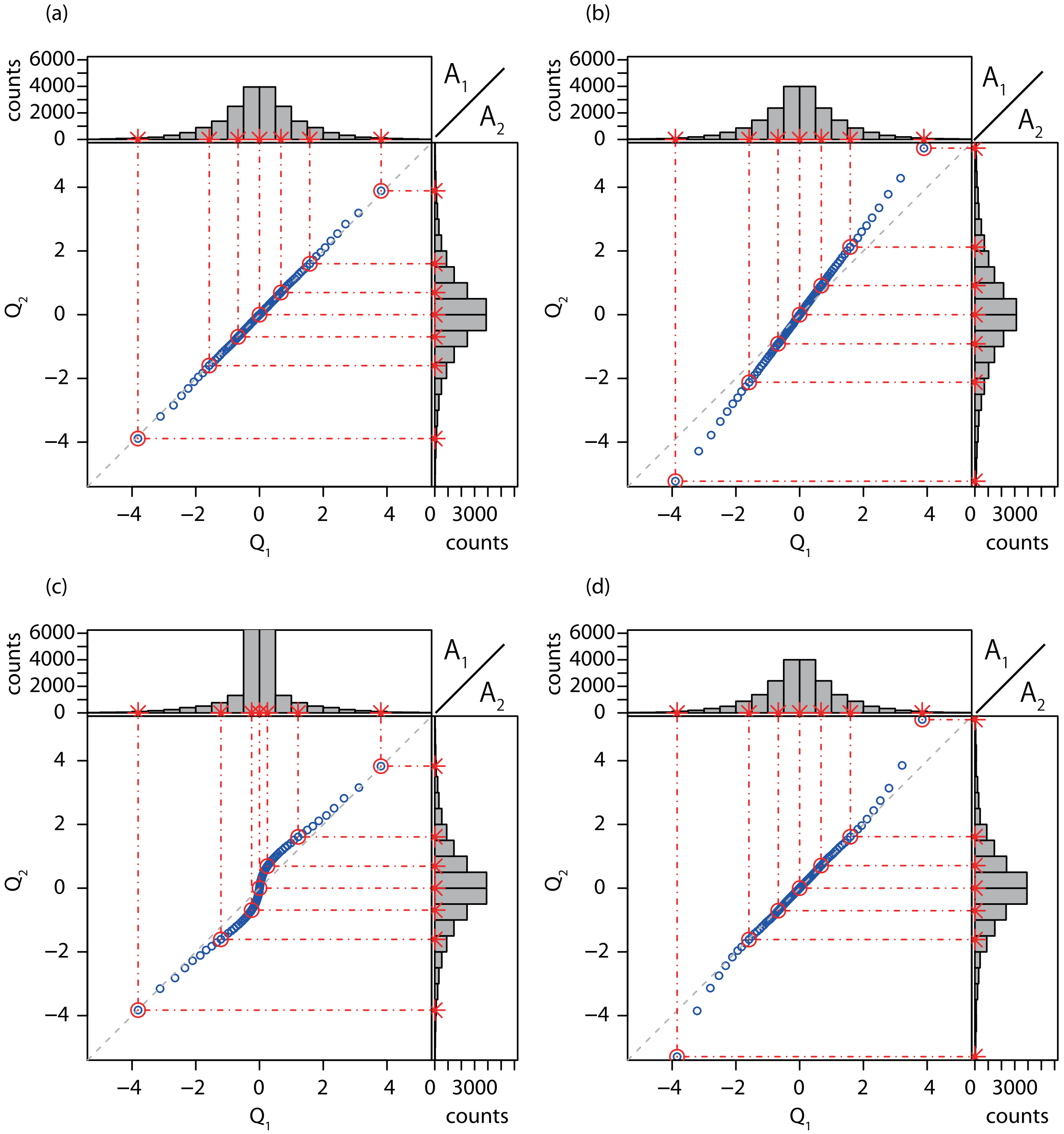

Fig.4 The four examples of Q–Q plot. Each example has two histograms and the Q–Q plot. In the Q–Q plots, grey reference line represents $Q_1 = Q_2$. In the panel (a), two data sets A_1 and A_2 obey the same distribution. In the panel (b), the distribution of A_2 is 1.2 times as broad as that of A_1. In the panel (c), the kurtosis of A_1 is higher than that of A_2. In the panel (d), the tale of the distribution of A_2 is heavier than that of A_1.

的なパーセンタイルに注目してみれば，データセット A_1 と A_2 の分布上における，その位置がほぼ等しいことが確認できる．一方の分布の広がりが，もう一方の分布の広がりの定数倍になっている場合，Q–Q プロットはその定数倍に比例した傾きを持つ直線となる（Fig. 4 の（b））．この場合，データセット A_2 の分布上の代表的なパーセンタイルの間隔は，データセット A_1 の分布上のその間隔のそれぞれ定数倍になっており，Q–Q プロットの傾きはそのスケールの比に一致する．また，一方の分布が分布の中心に偏りを持つ

Table 1　Summary of organizations. "Type" expresses the category of business in the organizations. "Participants" is the number of people whose data were analyzed. "Days" is the total duration for analysis. Organizations A, B and C are different companies. Organizations D, E, F and G 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	117	212	135	219	144	109	124
Days	41	48	33	57	57	57	57

場合，Q–Q プロットは分布の中心付近において S 字を描く（Fig. 4 の（c））．代表的なパーセンタイルに注目すると，分布のテール付近における $q = 1, 99$ は，参照直線上に乗っているため，分布上においてほぼ等しい位置を示している．しかし，分布の中心付近においては，データセット A_1 の代表的なパーセンタイルの間隔は，データセット A_2 のそれよりも狭くなっている．このため，Q–Q プロットは分布の中心付近において S 字となる．最後に，一方の分布のテールが重い場合には，分布の中心においては２つの分布は等しいので，Q–Q プロットは参照直線上に乗っているが，テールの方では参照直線から遠ざかっていく（Fig. 4 の（d））．分布の中心付近においては，分布上の代表的パーセンタイルの間隔は，データセット A_1 と A_2 とでほぼ等しいことが確認できる．しかし，テールの付近では，データセット A_1 に比べて，データセット A_2 の分布は，テールが重いために $q = 1, 99$ のが分布の中心から大きく離れており，Q–Q プロットは参照直線上から反るようにしてずれている．このように，Q–Q プロットを描くことにより，２つの分布のヒストグラムの比較では捉えにくい差異を議論することができる．

2.3　分析対象の企業組織

本研究において対象とした企業組織の数は 7 つであった．ここで組織とは，企業内の１つの部署を指し，企業全体ではない．Table 1 にこれらの組織の業種と分析の対象とされた人数および日数を示す．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の数である．また，分析対象の日数は，計測期間中の内，ウェアラブルセンサを装着した人数が分析対象の全体の人数の 10 %以上を満たした日の数である．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

Fig. 5 に，７組織それぞれのオリジナル分布とリサンプリング分布のヒストグラム，および，それらの分布に基づく Q–Q プロットを示す．ヒストグラムは Fig. 5 の (a-1), (b-1), (c-1), (d-1), (e-1), (f-1) ，および，(g-1) に対応し，Q–Q プロットは Fig. 5 の (a-2), (b-2), (c-2), (d-2), (e-2), (f-2) ，および，(g-2) に対応している．以下では，まず，ヒストグラムにより，オリジナル分布およびリサンプリング分布のそれぞれの分布の形を比較するとともに，度数の違いを述べる．そののち，Q–Q プロットにより，２つの分布の形がどのように異なるのかを示す．最後に，それぞれの分布の差を統計解析を用いて，定量的に評価する．

3.1　個人間の振動数差の分布

3.1.1　ヒストグラムによる比較

まず，ヒストグラムによって比較した結果について述べる．Fig. 5 のすべてのヒストグラムの区間幅は 0.2Hz である．灰色の帯型ヒストグラムはオリジナル分布である．また，多角形ヒストグラムは 500 回のリサンプリングにおける各区間の平均値を折れ線によって結んだものである．リサンプリング分布の各区間に付けられたエラーバーは，500 回のリサンプリングにおける各区間の度数の最大値と最小値である．

すべての組織において，オリジナル分布の方がリサンプリング分布に比べて，-0.8[Hz] から 0.8[Hz] の区間において度数が高く，逆に，−0.8[Hz] 以下，または，0.8[Hz] 以上の領域では度数が低い．すなわち，オリジナル分布の方がリサンプリング分布に比べて，ペア間の振動数の差が 0[Hz] 付近に集中していることがわかる．また，オリジナル分布とリサンプリング分布の違いに比べ，リサンプリング分布に図示されたエラーバーの大きさは，十分に小さい．このことから，リサンプリングは 500 回で十分であったといえる．

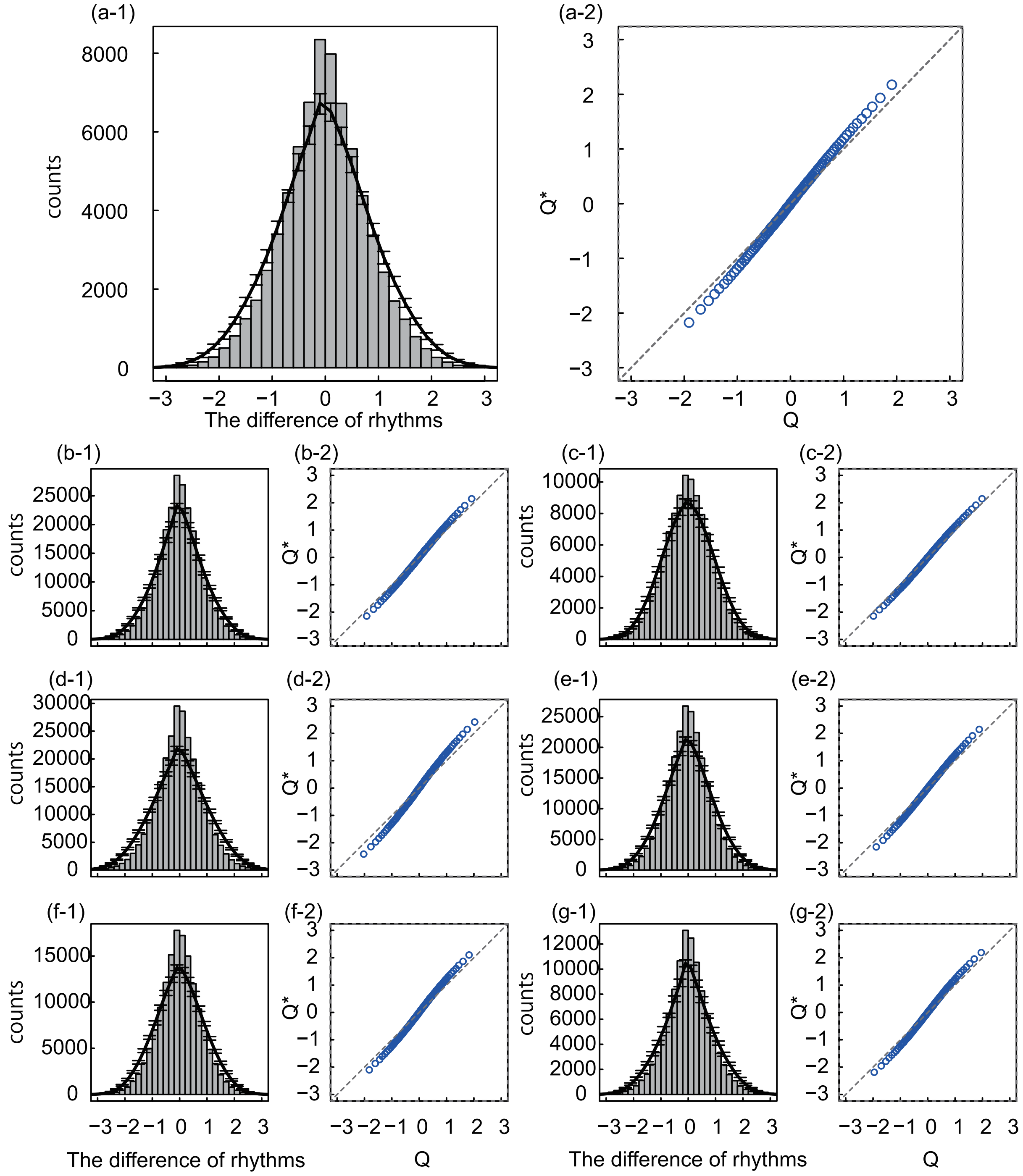

Fig.5 The original distribution and the re-sampled distributions by histograms and Q–Q plots. Panel (a-1), (b-1), (c-1), (d-1), (e-1), (f-1) and (g-1) show the histograms of the original distribution and the re-sampled distributions of organizations A, B, C, D, E, F and G. In each panel, the grey histogram represents an original distribution, and the polygon histograms shows a resampleing distribution calculated by averaging five hundreds resampling. These histograms' bin width size is 0.2. The polygon histograms have error bars, which shows standard deviation of each bin's length. Panel (a-2), (b-2), (c-2), (d-2), (e-2), (f-2) and (g-2) show Q–Q plot (the quantile of the original distribution – the quantile of the re-sampled distributions) of organizations A, B, C, D, E, F and G. The horizontal axis presents the percentile of the original distribution, and the vertical axis presents the percentile of the re-sampled distributions. Red reference line represents $Q = Q*$.

3.1.2　Q–Q プロットによる比較

次に，Q–Q プロットによって比較した結果について述べる．Fig. 5 の各 Q–Q プロットにおける横軸はオリジナル分布のパーセンタイル Q，縦軸はリサンプリング分布のパーセンタイル $Q*$ である．すべての Q–Q プロットは，オリジナル分布およびリサンプリング分布の 0 パーセンタイルから 100 パーセンタイルまで，刻み幅 1% のパーセンタイルによって描かれている．リサンプリング分布については，パーセンタイルごとに 500 回分のリサンプリングの平均値をプロットした．リサンプリングによるばらつきは十分に小さいため，平均値のみのプロットを行った．

これらの図から，次の 2 つの傾向が見られる．まず，全ての組織において，Q–Q プロットが直線 $Q = Q*$ より傾きが急である．これは，いずれの組織においてもオリジナル分布の広がりがリサンプリング分布の広がりより小さいことを示している．また，Q–Q プロットが S 字型に曲がる傾向が見られる．この傾向から，オリジナル分布とリサンプリング分布は，単にスケールの変換をした関係ではなく，リサンプリング分布に比べて，オリジナル分布は 0[Hz] 付近に偏ることを示している．

3.2　分布の広がりと中心への偏り

前節において述べた分布の広がりと中心への偏りに関するオリジナル分布とリサンプリング分布の差を統計的に検定するために，分布の標準偏差，および，尖度を調べることにした．標準偏差，および，尖度は次の式によって定義された．

$$\theta_{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (y_k - \bar{y})^2}{n}} \tag{4}$$

$$\theta_{kurt} = n \frac{\sum_{k=1}^{n} (y_k - \bar{y})^4}{\left(\sum_{k=1}^{n} (y_k - \bar{y})^2\right)^2} - 3 \tag{5}$$

ただし，n は集合 Y の要素数である．全ての振動数差は絶対値をとり正負の符号をつけるので，n は分析対象となった対面のデータの数の 2 倍となる．また，$\bar{y} = (\sum_{k=1}^{n} y_k)/n$ だが，必ず 0[Hz] を中心として対称な分布となるのでここでは常に $\bar{y} = 0$ となる．尖度については，正規分布の時に尖度 0 となる定義式を採用している．検定は，オリジナル分布の標準偏差 θ^{SD}，および，尖度 θ^{kurt} と，500 回のリサンプリングによって得られるそれぞれのリサンプリング分布の標準偏差 θ^{SD^*}，および，尖度 θ^{kurt^*} との差が有意に 0 であることを帰無仮説として行った．各組織のオリジナル分布とリサンプリング分布それぞれの標準偏差，および，尖度を Table 2 に示す．また，Fig. 6 に，各組織の標準偏差，および，尖度のオリジナル分布とリサンプリング分布との差を箱ひげ図によって示す．

オリジナル分布の標準偏差 θ^{SD} は，0.75 から 0.85 の間の値を示しているのに対して，リサンプリング分布の標準偏差 θ^{SD^*} は，0.90 から 1.05 の間の値であった（2）．Fig. 6 の（a）に，リサンプリングによって得られた $\theta^{SD} - \theta^{SD^*}$ の箱ひげ図を示されている．これより，いずれの組織においても，$\theta^{SD} - \theta^{SD^*}$ は，0 より低い値を示しており，500 回のリサンプリングにおいて，一度も正の値をとることはなかったことが確認できる．すなわち，すべての組織に関して，500 回のリサンプリングの内で θ^{SD^*} が θ^{SD} よりも小さい値をとなることは一度もなかった．したがって，帰無仮説「オリジナル分布の標準偏差はリサンプリング分布の標準偏差と同じである」を棄却し，対立仮説「オリジナル分布の標準偏差はリサンプリング分布の標準偏差よりも小さい」を採択した．これより，オリジナル分布はリサンプリング分布に比べて，有意に分布の広がりが小さいことが示された．

また，Table 2 より，オリジナル分布の尖度 θ^{kurt} は，0.12 から 0.76 の間の値をとる一方で，リサンプリング分布の尖度 θ^{kurt^*} の値は，−0.13 から 0.12 の間であったことが確認できる．標準偏差と同様に，リサンプリングによって得られたオリジナル分布の尖度とリサンプリング分布の尖度の差の分布，すなわち，$\theta^{kurt} - \theta^{kurt^*}$ の分布を箱ひげ図によって確認すると，すべての組織において常に正の値を示していることがわかる．すなわち，500 回のリサンプリングの内で θ^{kurt^*} が θ^{kurt} よりも大きい値をとなることは一度もなかった．したがって，帰無仮説「オリジナル分布の尖度はリサンプリング分布の尖度と同じである」を棄却し，対立仮説「オリジナル分布の尖度はリサンプリング分布の尖度よりも大きい」を採択した．尖度は，正規分布と比較して分布の裾の広がりと分布の中央への偏りを評価する指標であり，リサンプリング分布に比べてオリジナル分布が 0[Hz] 付近に偏りを持つ傾向を確かめる指標となる．すなわち，尖度が大きい値を示す本結果は，分布のテールが重いこと，もしくは，分布の中心に偏りがあることを意味する．

全ての組織において，オリジナル分布はリサンプリング分布よりも標準偏差が有意に小さく，尖度が有意に大きかった．この結果から，オリジナル分布はリサンプリング分布に比べて分布の広がりが小さく，かつ，0[HZ] 付近に分布が偏りやすいと言える．尖度が大きい値を取るだけでは，分布のテールが重いのか，分布の中心に偏りがあるのかを議論することは出来ない．しかし，オリジナル分布の方がリサンプリング分布に比べて標準偏差が小さいことから，分布のテールが重

いのではなく，分布の中心に偏りがあると結論づけられる．したがって，これらの結果より身体活動の振動数差は，対面することにより有意に小さくなることが明らかとなった．

4. 考察

4.1 日常生活における身体活動の同調

Fig. 5 におけるヒストグラムの比較，および Q–Q プロットに対する直線近似による回帰分析の結果より，オリジナル分布はリサンプリング分布に比べて，分布の広がりが小さいことが確認された．これは，オリジナル分布においては，振動数の差が 0[Hz] 付近に集中しやすいことを示している．すなわち，対面時においては身体活動の振動数の差が小さくなりやすい性質を持つことが示された．本研究では，個人間で身体活動が同調するということを，身体活動の振動数が近くなる状態と定義した．この意味において，得られた結果は実社会の企業組織内での対面コミュニケーションにおける身体活動の同調を抽出することができた．

Fig. 6，および，Table 2 にみられるとおり，組織の間で標準偏差，および，尖度のオリジナル分布とリサンプリング分布のそれぞれの差は一様ではなかった．特に，組織 D，E，F，G に関しては，同じ企業でありながら，その標準偏差，および，尖度に一貫性は見られていない．これより，企業業種は，身体活動の同調の程度を説明する変数とはなりにくいと考察される．考えうる説明変数としては，業種よりも組織におけるコミュニケーションのパタン，すなわちコミュニケーションを行う時間の長さ，および，人数の規模が予想される [24]．

4.2 同調の程度を変化させる要因

Fig. 6 に示された結果より，オリジナル分布はリサンプリング分布に比べて分布全体の広がりが小さくなるとともに，0[Hz] 付近への分布の偏りを持つことが示された．この結果は，身体活動が同調生じる状況と同調を生じない状況が存在することを示唆する．同調が生じている場合は，同調が生じていない場合に比べて 0[Hz] に振動数差が集まる分布となり，それと同調を示さない振動数差の分布が重ね合わされた混合分布であったため，リサンプリング分布と単なるスケール変換の関係ではなく，0[Hz] 付近に偏りを持つ分布となったと考えられる．

考えられる要因の一つとしては，個人の組み合わせによって，同調を示しやすい組と，同調を示しにくい組とが存在することである．他者とコミュニケーションを取るとき，自分が持つパーソナリティの背景と相手が持つ背景が同じ時と異なる時では，その場に生じるコミュニケーションの活発性が異なることが知られている [21]．同じような背景を持つ相手とは，コミュニケーションはあまり活発にならなず，異なる背景を持つ相手の場合は，コミュニケーションが活発になるとされている．これより，身体活動の同調の程度も，異なるコンテキストを持つ相手の場合と同じコンテキストを持つ相手の場合において異なることが予想される．本研究においては，職位，および，職種という社会的なコンテキストが異なる個人間で，コミュニケーションの同調の程度が変化した可能性が考えられる．もし，このような社会的なコンテキストの違いが同調の程度を変化させる要因となるのであれば，組織内の円滑なコミュニケーションの保守という意味において，支援へとつながることが考えられる．例えば，同じような社会的なコンテキストを持っているにもかかわらず，異なる社会的なコンテキストを持っているような同調を示すような個人間を発見することができる．これに対するアプローチとしては，人間関係のネットワークのコミュニティ分析により [25]，共通の社会的なコンテキストを持つ集団を抽出し，コミュニティ内のコミュニケーションとコミュニティ間におけるコミュニケーションの身体活動の同調では，どのような特徴の差異があるかを調べることが挙げられる（現在行われている分析については付録 A を参照されたい）．このような支援は，集団の人数が多く，人間が管理するには，全ての個人間を監視することが出来ないような状況において有効であると考えられる．

もう一つの要因としては，同じ相手であっても，コミュニケーションの中で同調する場合と同調しない場合があったと考えられる．大学の講義において，教師が話すトピックに生徒が関心を持つとき，教師–生徒間に身体活動の同調が生じることが示されている [12]．これは，講義をしていく中で，生徒が持つコンテキストと教師が持つコンテキストが共有される領域が増加したため，身体活動の同調が生じたと考えられる．つまり，身体活動の同調は，コンテキストが共有される領域が存在することによって生じるよりは，その領域の変化に依存し生じるとみなすことができる．これより，同じ個人の間であっても同調の程度が定常的であるとは限らないといえる．すなわち，先述したような同調の程度よりコミュニケーションの円滑性を評価する支援を考える場合，身体活動の同調のダイナミカルな変化を考慮する必要があると考えられる．

Table 2 The standard deviations and the kurtosis of the distribution of the difference of the frequencies. θ^{SD} represents standard deviation of original distribution. θ^{SD^*} represents standard deviation of re-sampled distribution. θ^{kurt} represents kurtosis of original distribution. θ^{kurt^*} represents kurtosis of re-sampled distribution.

	θ^{SD}	$\theta^{SD^*}(mean \pm sd)$	θ^{kurt}	$\theta^{kurt^*}(mean \pm sd)$
A	0.794	$0.912 \pm 2.99 \times 10^{-3}$	0.329	$0.098 \pm 2.53 \times 10^{-2}$
B	0.785	$0.902 \pm 1.56 \times 10^{-3}$	0.595	$0.165 \pm 1.43 \times 10^{-2}$
C	0.837	$0.929 \pm 2.29 \times 10^{-3}$	0.122	$-0.131 \pm 1.83 \times 10^{-2}$
D	0.826	$1.046 \pm 1.69 \times 10^{-3}$	0.516	$0.095 \pm 1.50 \times 10^{-2}$
E	0.770	$0.910 \pm 1.61 \times 10^{-3}$	0.595	$0.130 \pm 1.67 \times 10^{-2}$
F	0.748	$0.895 \pm 1.96 \times 10^{-3}$	0.382	$-0.029 \pm 1.61 \times 10^{-2}$
G	0.788	$0.926 \pm 2.56 \times 10^{-3}$	0.756	$0.127 \pm 1.95 \times 10^{-2}$

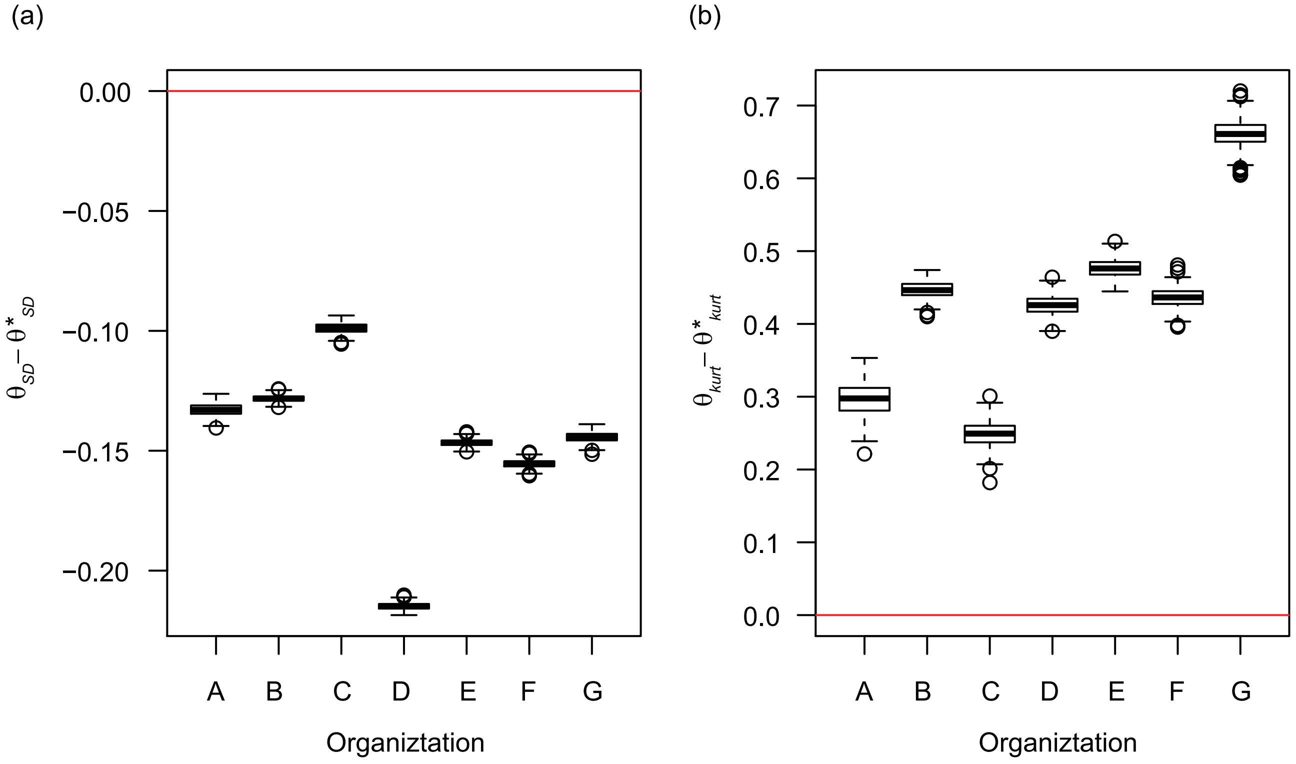

Fig.6 The differences of the standard deviation and the kurtosis between the original distribution and the re-sampled distribution on each organization . Panel (a) shows the difference of the standard deviation between the original distribution and the re-sampled distribution by the box-plot. Panel (b) shows the difference of the kurtosis between the original distribution and the re-sampled distribution by the box-plot.

5. 結言

日常生活におけるコミュニケーション支援に向けて，本研究では実社会における同調の分析を行うことを目的とした．実社会の複数の企業組織において身体活動を計測し，ウェアラブルセンサを用いて，各参加者の上半身の活動量の振動数と対面時刻を計測した．また，個人間で振動数が近い状態を同調状態と定義し，個人間の振動数の差の分布を用いて対面時の身体活動の同調の程度を評価した．その結果，全ての組織において，振動数差の分布は，リサンプリングした分布と比較して，有意に標準偏差が小さく，また，尖度が大きいことが示された．このことから，実社会の対面コミュニ

ケーションにおいて，日常生活の中で身体活動の同調を計測，および，分析できることを示した．また，コミュニケーションをする個人の組み合わせに依存して，観察された同調の程度を変化させる要因となることを示唆した．

謝辞

本研究を進めていくるにあたり，手厚いご指導に併せて，研究を行う環境をいただいた三宅美博教授に心から感謝いたします．また学会への原稿執筆の際に，いかにわかりやすく，なおかつ得られた限られた結果の中で，興味深く研究をまとめる方法について，いつもご意見等をいただきました緒方大樹研究員に対しても，深く感謝いたします．野澤孝之研究員には，正しく結果を示すための，緻密な分析方法について，日ごろから頻繁に連絡をさせていただきました．

参考文献

[1] J. D. Bransford, and M. K. Johnson, Contextual Prerequisites for Understanding: Some Investigations of Comprehension and Recall, Journal of Verbal Learning: and Vebval Behavior, 1972, vol. 11, pp. 717–726.

[2] G. Knoblich, S. A. Butterfill, and N. Sebanz, Psychological research on joint action: theory and data, in Psychology of Learning and Motivation, B. Ross (Ed.), Academic Press, Burlington, 2011, pp. 59–101.

[3] W. S. Condon, and W. D. Ogston, Sound film analysis of normal and pathological behaviour patterns, The Journal of Nervous and Mental Disease, 1966, Vol. 143, pp. 338–347.

[4] W. S. Condon, and W. D. Ogston, A segmentation of behaviour, Journal of Psychiatric Research, 1967, Vol. 5, pp. 221–235.

[5] W. S. Condon, and W. D. Ogston Speech and body motion synchrony of the speaker–hearer, in the Perception of Language, D. L. Horton, and J. J. Jenkins (Eds.), NY: Academic Press, 1971, pp. 150–184.

[6] A. Mehrabian, Silent messages, Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company, 1971.

[7] J. D. Matarazzo, and A. N. Wiens, The interview: Research on its anatomy and structure, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.

[8] W. S. Condon, and L. W. Sander, Neonate movement is synchronized with adult speech, Science, 1974, Vol. 183, pp. 99–101.
(Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, 1991, pp. 401–432.

[9] R. C. Schmidt, and B. O'Brien, Evaluating the dynamics of unintended interpersonal coordination, Ecological Psychology, 1997, Vol. 9, pp. 189–206.

[10] K. Shockley, M. V. Santana, and C. A. Fowler, Mutual interpersonal postural constraints are involved in cooperative conversation, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2003, Vol. 29, pp. 326–332.

[11] R. C. Schmidt, P. Fitzpatrick, and J. Mergeche, Understanding social motor coordination, Human Movement Science, 2011, Vol. 30, pp. 834–845.

[12] G. Katsumata, C. Nagaoka and M. Komori, Assessing students' interests in a lecture using speech-driven body movement entrainment, Human Interface Conference Magazine, 2011, Vol. 13, pp. 275–282 (in Japanese).

[13] 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).

[14] J. A. Paradiso, J. Gips, M. Laibowitz, S. Sadi, D. Merrill, R. Aylward, P. Maes, and A. Pentland, Identifying and facilitating social interaction with a wearable wireless sensor network, Personal and Ubiquitous Computing, 2010, Vol. 14, pp. 137–152.

[15] C. Cattuto, W. Van den Broeck, A. Barrat, V. Colizza, J.-F. Pinton, and A. Vespignani, Dynamics of person-to-person interactions from distributed RFID sensor networks, PLoS ONE, 2010, Vol. 5, e11596.

[16] J. Stehle, N. Voirin, A. Barrat, C. Cattuto, L. Isella, J. -F. Pinton, M. Quaggiotto, W. Van den Broeck, C. Régis, B. Lina, and P. Vanhems, High-resolution measurement of face-to-face contact patterns in a primary school, PLoS One, 2011, Vol. 6, e23176.

[17] K. Zhao, J. Stehle, G. Bianconi and A. Barrat, Social network dynamics of face-to-face interactions, Physical Review E, 2011, Vol. 83, 056109.

[18] 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.

[19] 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.

[20] E. T. Hall, The Hidden Dimension, Doubleday&Company,Inc., 1966.

[21] I. Daibo, The role of anxiety trait and communication medium in dyadic conversation, In Hiebsch, H. et al. (Eds.) Social Psychology: XXIInd International Congress of Psychology Selected Papers. Amsterdum：North–Holland. pp.188–194.

[22] A. Steland, Resampling Methods for the Nonparametric and Generalized Behrens-Fisher Problems, Doubleday&Company,Inc., 1966.

[23] M.B. Wilk, and R. Gnanadesikan, Probability Plotting Methods for the Analysis of Data, In Biometrika, Biometrika Trust, Vol. 55, pp. 1–17, 1968.

[24] E. Ono, T. Nozawa, T. Ogata, M. Motohashi, N. Higo, T. Koboyashi, K. Ishikawa, K. Ara, K. Yano, and Y. Miyake, Complex Medical Engineering, 2012 ICME International Conference on, 2012, pp. 321–326.

[25] M. E. J. Newman, Analysis of weighted networks,

Physical Review E, 2004, Vol. 70, 056131.

付録

付録 A　身体活動の同調と人間関係のネットワークとの関係性

Daibo らは，コミュニケーションをとる個人間で，背景が異なる場合，コミュニケーションの活発さ，すなわち，身体活動の強度が大きくなることを示した [21]. この結果から，互いが持つコンテキストが異なる場合には，その時の身体活動の同調の特性も異なることが予想される．そこで，本章では職位，および，仕事上において行動を共にするというような社会的なコンテキストと関与すると考えられる，組織内の人間関係のネットワークに注目した．そのネットワーク上で同じコミュニティに属する相手とのコミュニケーションと，別のコミュニティに属する相手とのコミュニケーションとの間で，身体活動の同調の程度が異なるか否かについて分析を行った．

1.1　人間関係のネットワークにおけるコミュニティの抽出

組織内の人間関係のネットワークを表現するために，ノードを人，エッジを対面によって生じた関係，そして，そのエッジの重みを対面時間として定義した．対面時間は，赤外線センサによって記録された対面データから，計測期間中の各ノード間の対面時間の合計を算出した．コミュニティの抽出については，Newman の重み付き無向ネットワークにおける分析方法を用いた [25]．ここで，重み付きネットワークとは，エッジに重みを持つネットワークを指し，その逆は重みなしネットワークと呼び，エッジには重みがなく，エッジの有無のみによってネットワークが決定される．また，無向ネットワークとは，ノード間に張られるエッジに方向性がなく，双方向に対称的にパスが通ることを指し，一方，有効ネットワークとは，一方向にのみパスが通るようなエッジを持つネットワークを指すこととする．本研究で定義されたネットワークは，エッジに対面時間長に対応した重みが存在するが，方向性はないため，重み付き無向ネットワークとなる．以後，このネットワークをネットワーク G と呼ぶ．以下に，このネットワークに対するコミュニティの抽出のアルゴリズムを示す．1. ネットワーク G を重みなしネットワークみなし，各エッジの媒介性 [25] を算出, 2. 各エッジの媒介性をネットワーク G におけるエッジの重みにより除算し，媒介性を規格化, 3. 規格化された媒介性の中で最も高い値を持つエッジをネットワーク G から除去, 4. コミュニティ抽出の最適性を表すモジュラリティ [25] を計算．この過程を繰り返し，最も高いモジュラリティを持つようにコミュニティが分割されたネットワーク G を探索する．

Fig. A·1 に，各組織に対してコミュニティ抽出を行った結果を示す．Fig. A·1 の（a）,（b）,（c）,（d）,（e）,（f），および,（g）は，組織 A，B，C，D，E，F，および，G の対面ネットワークのコミュニティの抽出結果を示している．これらの図中の黒いエッジは，その両端につながっている 2 つのノードが同じコミュニティに属していることを表し，灰色のエッジは，その両端のエッジが異なるコミュニティに属していることを表している．Fig. A·1 の（h）は，各組織において分割されたコミュニティのサイズ，すなわち，そのコミュニティに属しているノードの数を表している．例えば組織 A であれば，コミュニティ抽出によって 7 つのコミュニティに分割され，それぞれのコミュニティのサイズは，22，17，8，19，18，9，および，15 であった．

組織 A，および，F，G は，それぞれのコミュニティのサイズが同じ程度であることが確認される．組織 C は，3 つのコミュニティに分割され，そのコミュニティのサイズは同等であるが，ネットワーク図（Fig. A·1（c））を見ればわかるとおり，孤立しているノードが多く，かつ，3 つコミュニティが近接している．

1.2　身体活動の同調のエッジ依存性

同じコミュニティ内で生じたコミュニケーションにおける身体活動の振動数差のオリジナル分布とリサンプリング分布とのずれ方と，異なるコミュニティ間で生じたコミュニケーションにおける身体活動の振動数差のオリジナル分布とリサンプリング分布とのずれ方を，比較することによってエッジの特性に依存した同調の特徴の変化を分析した．コミュニティ抽出の結果を用いて，分析対象とした個人間の集合 E を，同じコミュニティ内でつながることができる個人間の集合 E^{intra} と，異なるコミュニティ間でつながる個人間の集合 E^{inter} に分けた．それぞれの個人間の集合 E^{intra}，および，E^{inter} において，前章と同様に以下のように振動数の差を集計した．

$$Y^{intra} = \left\{ \left\{ \pm|x_t^i - x_t^j| \middle| t \in T_{ij} \right\} \middle| (i,j) \in E^{intra} \right\} \tag{A·1}$$

$$Y^{inter} = \left\{ \left\{ \pm|x_t^i - x_t^j| \middle| t \in T_{ij} \right\} \middle| (i,j) \in E^{inter} \right\} \tag{A·2}$$

それぞれの振動数差の集合 Y^{intra}，および，Y^{inter} のリサンプリングを行った振動数差の集合を $Y^{intra}*$，および，$Y^{inter}*$ とする．これらのそれぞれの場合において，本論同様に Q–Q プロットを描き，オリジナル分布とリサンプリング分布の異なる特徴を観察した．

Q–Q プロットの結果を Fig. A·2 に示す．青色の線

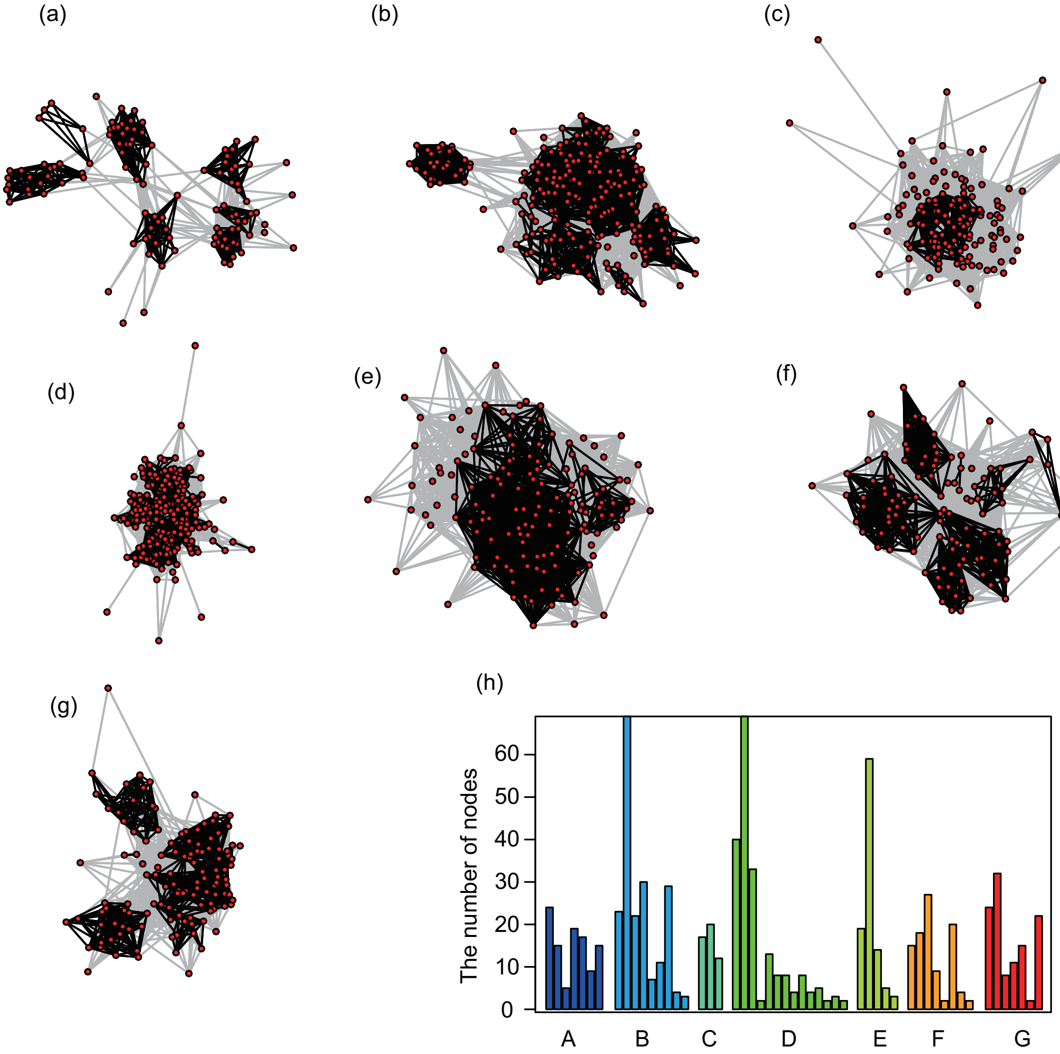

Fig.A·1 Extracting communities from face-to-face interaction human networks. Panel (a), (b), (c), (d), (e), (f) and (g) are respectively responding to organization A, B, C, D, E, F and G. The vertex represent sensor users, and the edges represent face-to-face interactions. The black edges connect the two vertex which belong to the same community. On the other hand, the grey edges connect the two vertex which belong to the different communities respectively. Panel (h) shows the size of communities on each organization.

は，同一のコミュニティ内で張られたエッジにおける身体活動の振動数の差に関する，オリジナル分布とリサンプリング分布の Q–Q プロットを表している．また，紫色の線は，異なるのコミュニティの間で張られたエッジにおける身体活動の振動数の差に関する，オリジナル分布とリサンプリング分布の Q–Q プロットを表している．組織 A，および，G に関して，紫色の線が青色の線よりも S 字型になっている様子がわかる．すなわち，コミュニティ内で張られたエッジにおけるコミュニケーションよりも，コミュニティ間で張られたエッジにおけるコミュニケーションの方が，0[Hz] 付近に偏りを持ちやすいことが示唆された．これより．同一のコミュニティ内でのコミュニケーションと異なるコミュニティ間でのコミュニケーションとでは，その時に生じる身体活動の同調が異なることが予想される．

1.3　まとめ

本論において観察された身体活動の同調と人間関係のネットワークとの関係を分析した．具体的には，企業組織内のコミュニティを抽出し，ネットワークのエッジを，同じコミュニティ内で張られるものと，異なるコミュニティの間で張られるものに大別し，それらの同調の差異を調べた．適切にコミュニティの分割がなされた組織では，コミュニティ内で張られるエッジにおける同調とコミュニティ間で張られるエッジにおけ

る同調が異なる傾向を示した．

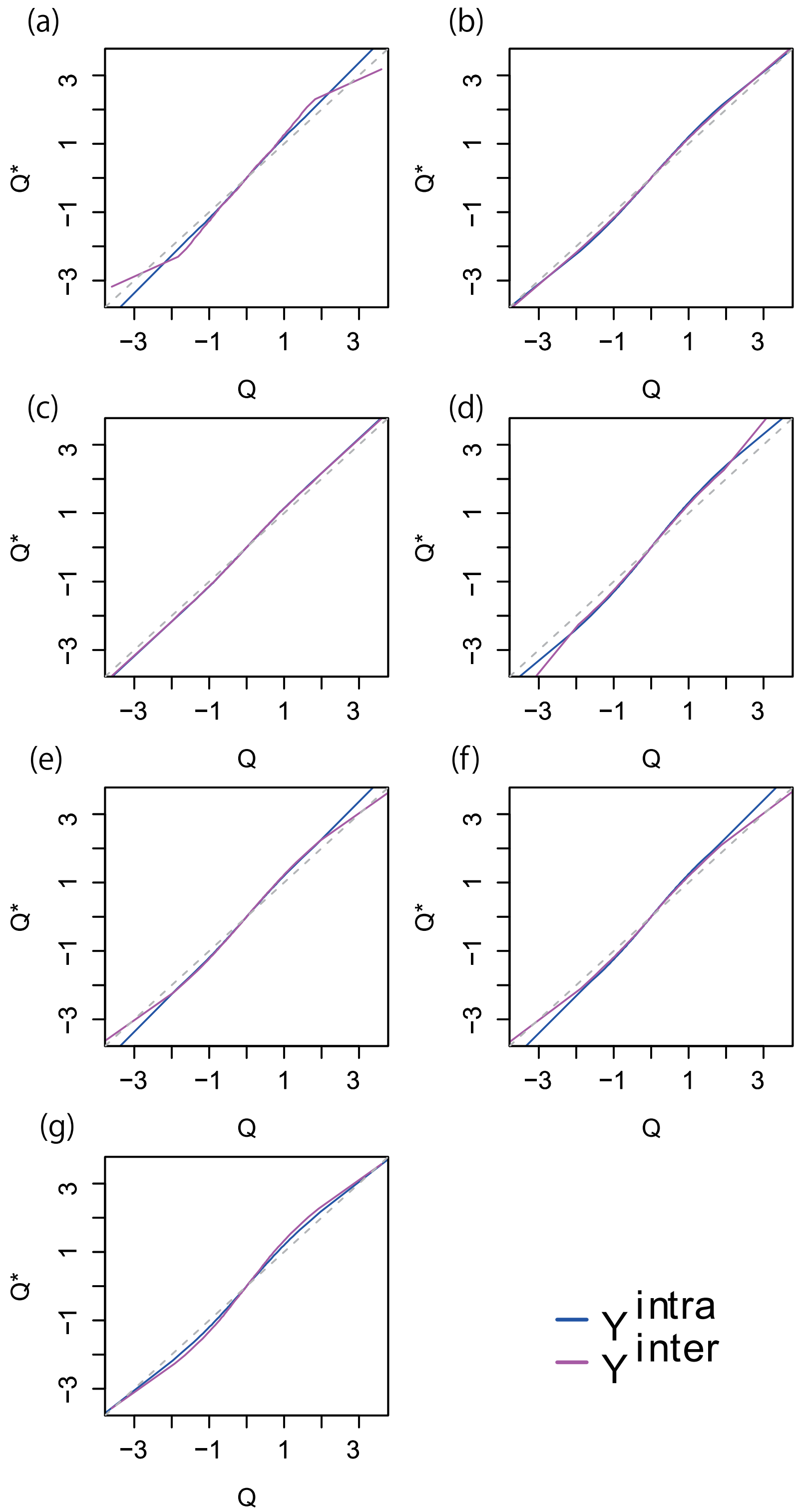

Fig.A·2 Q–Q plot on intra-community edges and inter-community edges. Panel (a), (b), (c), (d), (e), (f) and (g) show Q–Q plot (the quantile of the original distribution – the quantile of the re-sampled distributions) of organizations A, B, C, D, E, F and G.