

ウェアラブルセンサを用いた 人間行動分析

—社員の対面コミュニケーションや職場の活気の定量評価—

Human behavior analysis using wearable sensors



株式会社日立製作所 研究開発グループ主任研究員

渡邊 純一郎

1999年、日立製作所中央研究所に入社し音声認識技術の研究に従事。2003年より同社基礎研究所にてコンピュータヒューマンインタラクションの研究に従事。2009年より同社中央研究所にてウェアラブルセンサを用いた人間行動分析に関する研究に従事。博士（工学）。

1. はじめに

業務の生産性向上に向けて、蓄積されている膨大な業務関連データを有効に活用しようという、いわゆるビッグデータ利活用の可能性が指摘されて久しい。消費者行動の分析や業務の効率化におけるビッグデータの利用は広がりつつあるが、有効な活用方法を見出せない企業も多い。

我々は、具体的なアクションにつながる生産性向上施策の設計には、既存のビッグデータだけでなく、社員同士の対面でのコミュニケーションや職場の活気を定量的に分析することが重要であると考えている。実世界における対面コミュニケーションが組織の生産性に対して重要な役割を果たすことは社会学や心理学の分野で指摘されている [1,2]。また近年の小型センサ技術の発達により多数の行動データを長期間計測することが可能になり、実世界における人間行動が生産性に影響することが客観的なデータに基づいて明らかになってきている [3,4,5]。

本稿では、名札型のウェアラブルセンサを用いた人間行動計測技術の概要と、ビジネスシーンでの適用事例に

ついて述べる。

2. 名札型センサ

我々が開発した名札型のウェアラブルセンサ（図 1 (a)）には 3 軸加速度センサと赤外線センサが搭載されており、装着者の身体的な動きと他人との対面イベントを検出できる。取得したデータは名札型センサのメモリに一旦蓄積され、名札型センサを充電器に置いたときにサーバへ送信される。赤外線センサ、および加速度センサから得られる主な情報は、

- 対面情報：誰と誰が、いつ、何分間対面したか
- 身体的な動き：加速度および加速度のゼロクロス回数から得られる周波数

である。赤外線センサは距離 3m、水平方向 60 度、垂直方向 60 度（上方 15 度、下方 45 度）の範囲内で 2 つの名札型センサが対面した場合に対面イベントを検出する。名札型センサに紐づけられているユーザ ID から誰と誰がいつ対面したかを特定することができる。また、赤外線ビーコン（図 1 (b)）を特定の場所（たとえば会議室や喫煙所など）に設置することにより、誰がいつ、

どこにいたかという情報も得ることができる。加速度のゼロクロス値から身体的な動きをある程度識別することが可能であり、たとえば静止状態は 0Hz、静聴やデスクワークは 0-1Hz、発話やキーボード操作は 1-2Hz、歩行や身振りのある会話は 2-3Hz の周波数を伴う動きとして判定される。名札型センサは、サイズ 86 × 54 × 7 mm、重さ 34 g、バッテリー持続時間は 24 時間である。したがって、勤務時間中に継続して装着し、帰宅時に充電器に置くことにより、長期間の計測が可能である。赤外線ビーコンは、サイズ 65 × 65 × 28 mm である。

3. 行動指標

3.1 対面コミュニケーション

対面イベントに関するデータを用いて対面状況を可視化できる。人をノードとし、一定時間以上対面した場合にノード間にリンクを張ることにすれば、対面状況を反映した「対面ネットワーク図」を描画できる（図 2）。

ネットワークの性質をあらわす指標を用いれば、対面の状態を定量的に評価可能である。本研究では次数とクラスタリング係数という 2 つの指標を用いて対面コミュニケーションの活発さを評価する。ノード i の次数 k_i は接続されているリンク数であり、対面人数のことで

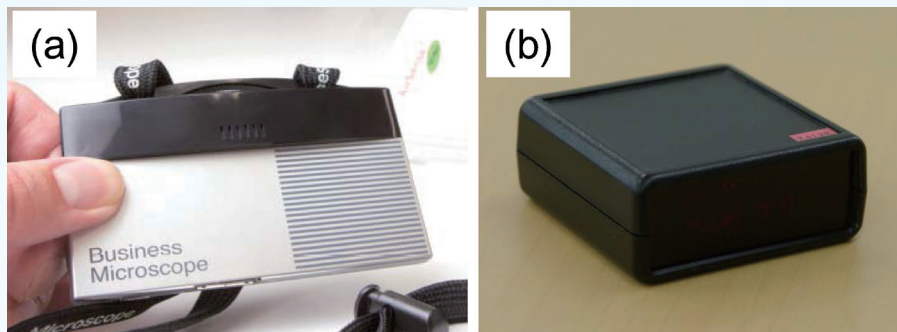


図 1 名札型センサ (a) と赤外線ビーコン (b)

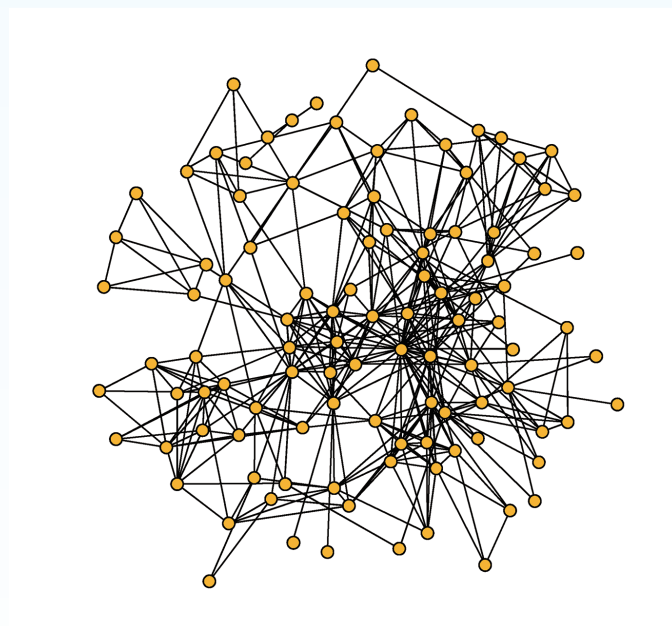


図 2 対面ネットワーク

ある。ノード*i*のクラスタリング係数は $C_i = 2y_i / k_i (k_i - 1)$ で定義され、ノードとリンクで構成される三角形構造の密度を表す。ここで k_i はノード*i*に繋がっている全ノード数（次数）、 y_i はこれらのノード間の全リンク数である。組織全体の次数とクラスタリング係数は全ノードの平均値として計算され、値が大きいほど活発あるいは密接な対面コミュニケーションが行われていることを示す。

3.2 職場の活発度

加速度センサで得られる身体的な動きの度合いをあらゆるデータを用いて、職場の活気を評価できる。まず、1分ごとに個人の身体的な動きの状態が active 状態か non-active 状態かの判定を行う。1分間の平均の加速度のゼロクロス周波数が 2Hz 以上の場合には active 状態、2Hz より小さい場合には non-active 状態と判定する。2Hz という閾値は、身振りのある会話のような活発な動作とキーボード操作のような静的な動作を分ける閾値である。次に職場全体の活発度を次のように定義する。

$$\text{職場の活発度} = \frac{\sum t_i^{\text{active}}}{\sum T_i} \quad (1)$$

ここで、 T_i は個人*i*の全対象時間（たとえば就業時間、単位は分）、 t_i^{active} はそのうち active 状態であると判定された時間である。職場の活発度は 0 から 1 の値を取り、値が大きいほど活気があることを意味する。一般に、対面コミュニケーションが活発（次数やクラスタリング係数が大きい）な場合には活発度も高くなる傾向がある。

4. コールセンタ事例

名札型センサを活用した業務の生産性向上の事例として、コールセンタにおける事例を紹介する。

4.1 対象

コールセンタの業務にはインバウンド型とアウトバウンド型の 2 種類がある。前者は、クレーム対応や問い合わせ対応などを行う業務であり、顧客からかかってきた電話に対応する。この場合、電話対応や後処理の効率をあらゆる Average Handling Time (AHT) が生産

性の指標になる。後者は、商材を電話営業により販売する業務であり、コールセンタの社員が顧客に電話をかける。この場合、単位時間あたり何件受注が取れたか、という受注率が生産性の指標になる。本研究では、アウトバウンド型の業務を行う 2 つのコールセンタ（以下、コールセンタ A および B）を対象にし、社員に名札型センサを装着してもらい、職場の活発度や対面コミュニケーションと受注率との関係を調べた。両コールセンタは同じ業務（同じ会社が提供するインターネット接続サービスの受注業務）を行う。電話をかける人はテレマーケッタ (telemarketer、以下、TM) と呼ばれる。業務に関するビッグデータ（システムにログインしている時間、受注数、発信数、など）は業務システム (CTI: Computer Telephony Integration) に蓄積されており、比較的容易に活用が可能である。

コールセンタ A では 2011 年 11 月 18 日から 12 月 16 日 (29 日間)、コールセンタ B では 2012 年 2 月 7 日から 3 月 9 日まで (同じく 29 日間、3 日間の休業日を含むため)、名札型センサを用いた社員の行動計測を行った。対象者は、コールセンタ A は 51 名 (女性 31 名、男性 20 名)、コールセンタ B は 79 名 (女性 49 名、男性 30 名) である。

TM が受注業務を行っているか、あるいは、休憩室などで休憩をとっているかを区別するために、赤外線ビーコン (図 1 (b)) を TM の業務机に設置した。赤外線ビーコンと TM が装着している名札型センサが対面していれば業務中であり、対面していなければ業務机以外の場所で休憩中であることを意味する。

4.2 結果

名札型センサで得られるコールセンタ社員の行動データと受注率の関係を調べた。

まず受注率に関して、2 つのコールセンタは全く同じ業務をしているにもかかわらず、日ごとの受注率はコールセンタ B の方が有意に高いことがわかった (コールセンタ A: 0.51、コールセンタ B: 0.71、 $p < 0.0001$)。そこで、「受注率に影響するのは受注業務を行っているときの TM の行動である」と仮定し、業務中の職場の活発度を 2 つのコールセンタで比較した。

図 3 (a) に 2 つのコールセンタの日ごとの業務中の

活発度を示す（実際の計測日は異なるが重ねて示してある）。コールセンタ間の受注率の差が業務中のTMの行動の差に起因するという前述の仮定に反し、2つのコールセンタ間で業務中の活発度に関して有意な差は認められなかった ($p > 0.2$)。

これに対し、2つのコールセンタの休憩中の活発度の間には大きなギャップがあり、受注率が高いコールセンタBの休憩中の活発度は、コールセンタAの活発度よ

りも有意に大きい (図3 (b)、 $p < 10^{-9}$)。

次に、コールセンタごとに日ごとの受注率と休憩中の活発度との相関を調べた。その結果、両者には有意な相関が認められた (図4、コールセンタA：相関係数 $R = 0.38$ 、コールセンタB： $R = 0.37$ 、いずれも $p < 0.05$)。これに対し、業務中の活発度と受注率には相関がなかった (コールセンタA： $R = -0.11$ 、 $p > 0.5$ 、コールセンタB： $R = 0.28$ 、 $p > 0.1$)。

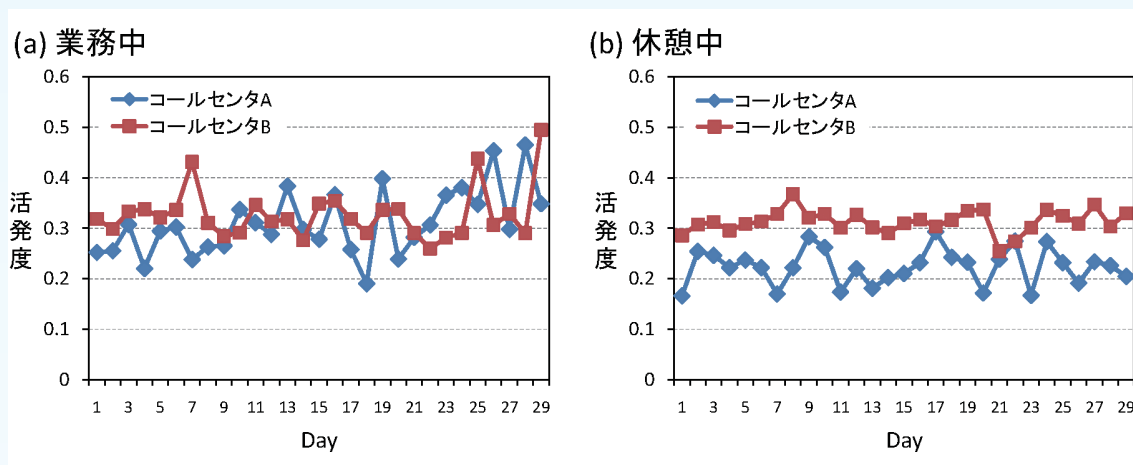


図3 業務中の活発度 (a) と休憩中の活発度 (b)

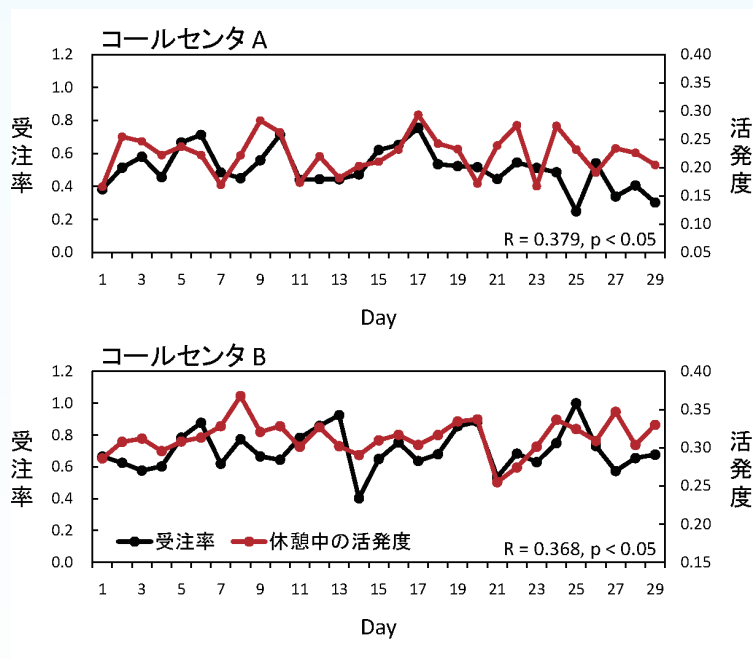


図4 休憩中の活発度と受注率

4.3 施策

これらの結果は、休憩中の活発度と受注率の間の相関関係を示すが、因果関係は示していない。そこで因果関係を明らかにするために、コールセンタ B において「少人数の TM でチームを編成しチームごとに休憩する」という施策を行った（通常のコールセンタ業務では TM は個別に休憩）。この施策は、少人数の TM が同時に休憩することにより TM 同士の対面コミュニケーションがどのように変化し、その変化が休憩中の活発度と受注率にどう影響するかを調べることが目的である。実験期間の最後の 1 週間に施策適用し、施策前の 3 週間と比較して、対面コミュニケーション、休憩中の活発度、受注率の変化を調べた。コールセンタ全体をチーム分けの対象とすることは実際運営上困難であったため、本研究では同年代の男性 4 名（20 代 2 名、30 代 2 名）で構成されるチームを編成した。これは、趣味や話題に共通点が多い可能性が高い同年代でチームを編成することにより、休憩中のコミュニケーションが促進されるのではないかと想定したためである。

施策実施後、チームの平均次数は 6.25 から 7.50 へ、クラスタリング係数は 0.14 から 0.48 へ ($p < 0.03$)、それぞれ増加した（図 5 (a)）。これは、メンバー間の会話機会の増加により対面コミュニケーションが促進されたためであると考えられる。休憩中のチームの活発度とチームの受注率（メンバーの受注率の平均）も、それぞれ増加した（休憩中の活発度：0.32 から 0.35、図 5 (b)、受注率：0.77 から 0.87、図 5 (c)）。これら

の結果は、施策によるチーム内の休憩中の対面コミュニケーションの変化に起因する活発度の増加が、チームの受注率に影響することを示唆する。

5. 議論

アウトバウンド型コールセンタを対象に、名札型センサを用いて社員の行動を計測し受注率との関係を調べた結果、休憩中の活発度が受注率に影響することがわかった。TM の業務はある程度決まっている（業務机に座って CTI を操作）ため、業務中の TM の身体的な動きはコールセンタに依らずほぼ同じであり、センサから得られるデータにも差があらわれないと考えられる。これに対して、休憩中の動きはより多様（仲の良い同僚と会話をする人もいれば、一人で静かに休憩をとる人もいる）であるため、身体的な動きをあらわすデータにも差が出る。従来の経験に基づくマネジメントでは、社員のスキルレベル向上に向けた社員研修や業務の効率化など、業務中の行動に対する施策が主であった。ウェアラブル技術を用いた本研究の結果は、業務中よりもむしろ休憩中の行動が生産性に影響することを示すものであり、社員行動に関する客観的なデータに基づくマネジメントの有効性を示唆している。

我々の結果は、コールセンタを対象とした Pentland らの研究結果 [3] と本質的に一致する。彼らはインバウンド型コールセンタを対象とし、我々が用いたものと同様の名札型センサを用いて社員の行動と生産性の関係を

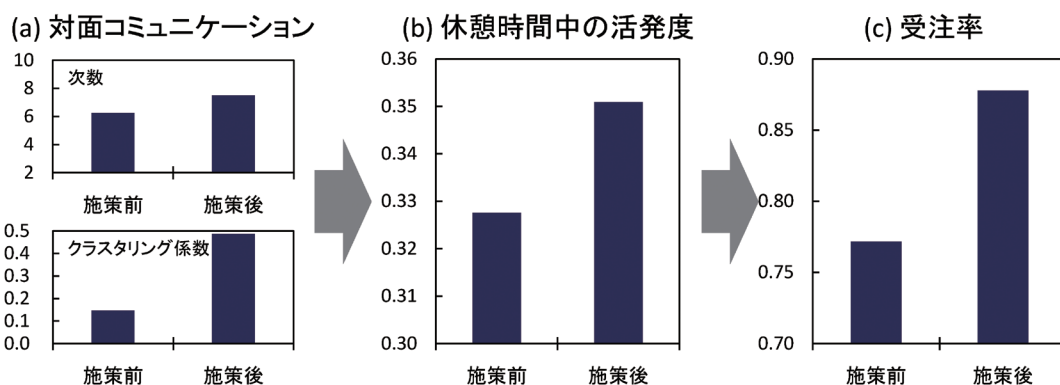


図 5 施策効果

調べた。インバウンド型コールセンターの場合には業務処理の効率をあらわす AHT が生産性の指標となる。米国の銀行のコールセンターを対象とした実験の結果、オフィシャルミーティング以外での会話の活発さが AHT の短縮に影響する、と報告している。彼らと我々の結果は、インバウンドとアウトバウンドの違いや国の違いがあるにも関わらず、インフォーマルな場における社員同士の対面コミュニケーションが生産性に影響するという点で本質的に同じである。

6. おわりに

本稿では、名札型センサを用いた人間行動計測技術の概要を述べ、コールセンター事例を紹介した。今後、実世界における人間行動を反映する膨大なデータと、利活用が期待されているビッグデータを統合的に分析する方法論を確立し、人間行動の深い理解に基づいた情報処理技術や業務システムの開発を目指していく。

参考文献

- [1] Kirkman, B. L., Rosen, B., Tesluk, P. E., and Gibson, C. B., The impact of team empowerment on virtual team performance: The moderating role of face-to-face interaction, *The Academy of Management Journal* 47(2), pp. 175-192 (2004).
- [2] Teasley, S., Covi, L., Krishnan, M. S., and Olson, J. S., How does radical collocation help a team succeed? *Proc. CSCW '00*, pp. 339-346 (2000).
- [3] Pentland, A. S., The new science of building great teams, *Harvard Business Review* 90 (4), pp. 60-69 (2012).
- [4] Watanabe, J., Ishibashi, N., and Yano, K., Exploring relationship between face-to-face interaction and team performance using wearable sensor badges, *PLoS ONE* 9 (12): e114681 (2014).
- [5] Watanabe, J., Yano, K., and Matsuda, S., Relationship between physical behaviors of students and their scholastic performance, *Proc. IEEE UIC '13*, pp. 170-177 (2013).