

センサ環境を利用したオフィスワーカーの行動パターン分析

Office Worker's Activity Patterns Analysis by Using Sensor Networks

岡田 将吾*¹
Shogo Okada

神谷 祐樹*²
Youki Kamiya

佐藤 裕作*¹
Yusaku Sato

藤田 善弘*²
Yoshihiro Fujita

山田 敬嗣*²
Keishi Yamada

新田 克己*¹
Katsumi Nitta

*¹東京工業大学 大学院

Dept. of Computational Intelligence and Systems Science, Tokyo Institute of Technology

*²NEC C&C イノベーション推進本部

C&C Innovation Initiative NEC Corporation

In this paper, we analyze the correlation between the workers' activity patterns and internal patterns: their levels of stress and questionnaire variables to understand worker's activity in an office. We use a 23-month behavioral dataset for 18 workers that recorded their use of PCs and their locations in the office. We found that the principal eigenbehaviors extracted from the dataset with PCA represented typical work behaviors such as overwork using a PC and routine times for meetings. After clustering of workers by levels of stress, we conducted the correlation analysis between work behaviors of the workers in each cluster and questionnaire variables for evaluation of individual business works: level of satisfaction, disturbance, efficiency, progress. Our results show that there exist significant correlations between the activity parameter of the workers which have high or low stress level and questionnaire variables for evaluation of individual business works.

1. はじめに

近年、センサノードおよびネットワークの技術が急速に発展している。環境に設置されたセンサノードと人が身につけるウェアラブルセンサーの併用は、長期にわたる安定した行動時系列データの収集を可能にし、企業におけるオフィス内のワーカーの行動のモニタリングへ利用されている [1]。これらの背景の中で、本研究の目的は、ワーカーのオフィス内での習慣的な一日の活動・働き方などの外面的特徴とワーカーのストレス・業務に対するやりがい・満足度などの内面的特徴の間の関係を抽出するアプローチにより、オフィス行動の意味づけ・理解を行うことである。

目的を達成するために、我々はオフィス内センサー環境で長期にわたり蓄積したオフィスワーカーの行動時系列のセットから、オフィスにおけるワーカーの日々の行動に内在する主要な時系列パターン (= 固有行動パターン) の抽出を行ってきた [4]。またストレスメーターおよび質問紙調査を行うことでワーカーの内面的特徴を調査した。

相関分析の結果、約 2 か月間収集したワーカーのストレスデータから算出した、各ワーカーの身体的ストレス・ストレス耐性の平均値と行動パターンのパラメータの間に有意かつ高い相関 ($p < 0.01$, 最大相関値は 0.7) が得られた [5]。一方で、日ごとのストレス値・質問紙の値と行動の間では高い相関値が得られなかった (最大相関値は 0.3 以下)。本研究ではワーカーのクラスタリングを行い、各クラスター内で日々の行動パターン特徴と内的パターン特徴の関係を抽出することで上記の問題に対処する。ワーカーをクラスタリングすることにより、ストレス値の高い(低い)ワーカーに特有の固有行動パターンを抽出できることを示し、このパターンについて分析する。図 1 に本論文の行動分析の手順を示す。本論文ではこの手順に沿って分析結果を報告する。

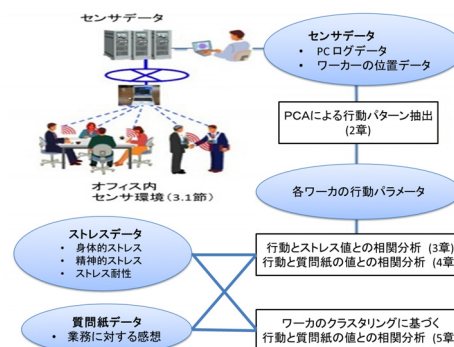


図 1: 行動分析の概要図

2. センサデータからの行動パターン抽出

本研究では、NEC C&C イノベーション推進本部のオフィス内センサー環境を利用して、各ワーカーの活動に関する主要特徴であるオフィス内での位置情報と PC の操作状況の取得し、これらのデータからワーカーの行動時系列を構成する。データを収集した期間は約 23 か月であり、休日や外出日といった対象のワーカーがオフィスに不在の日や、センサデータに欠損がある日のデータは除外した。また期間内の途中で移入・移出したワーカーも含むため、ワーカーごとにサンプルされたデータの日は異なる。

単位時間を 1 分間とし、「PC 操作」、「ミーティング」、「その他」の 3 つの行動ラベルについて、それぞれ行っているならば 1, 行っていないならば -1 とし、 $\{1, -1\}$ の 2 値で表現された時系列データに変換する。1 人の 1 日分の行動時系列は $H = 60[\text{分}] \times 24[\text{時間}] \times 3[\text{ラベル数}] = 4320$ 次元のベクトル Γ で表現される。サンプル日数を D_i とすると、ある一人のワーカー i の行動データセット B_i は、 $D_i \times H$ 次元の配列として与えられる。

$$B_i = [\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{D_i}]. \quad (1)$$

上記の行動時系列、18 名のワーカーについて算出する。ワーカー 18 人全員分の行動データを結合したデータセットを $B_{all} =$

連絡先: 岡田将吾, 東京工業大学 総合理工学研究科知能システム科学専攻, 横浜市緑区長津田町 4259, J2-53, 045-924-5218, okada@ntt.dis.titech.ac.jp

表 1: ワーカーごとのオフィス行動パラメータの平均値とストレスメータによる測定値の平均の相関

| | | 各ワーカーのストレス平均値と 再構築精度, ミーティング・PC 作業の総時間との ピアソン積率相関係数 | | |
|--------------------------------|----|---|---------|----------------|
| | | 身体的ストレス | 精神的ストレス | ストレス耐性 |
| 行動データの再構築精度 (右の数字は固有ベクトルの数) | 1 | -0.15 | 0.03 | 0.18 |
| | 3 | -0.36 | -0.11 | 0.36 |
| | 6 | -0.46* | -0.10 | 0.44* |
| | 9 | -0.57** | 0.00 | 0.56** |
| | 12 | -0.71*** | -0.11 | 0.68*** |
| | 20 | -0.70*** | -0.14 | 0.69*** |
| ミーティングの総時間 | | 0.08 | -0.25 | -0.13 |
| PC 作業の総時間 | | 0.16 | -0.27 | -0.17 |

(* : $p < 0.1$, ** : $p < 0.05$, *** : $p < 0.01$)

$[B_1, B_2, \dots, B_{18}]$ とする. 全ワーカーの行動時系列データセット B_{all} に対し主成分分析を行い, 固有ベクトルとしてオフィス内での固有行動パターンを抽出する. オフィス内の固有行動を用いて, 各ワーカーの行動時系列を再構築した際の, 再構築精度を各ワーカーの行動パターンのパラメータとして定義する. 行動特徴抽出方法は [2] の手法を基盤に構成しており, 詳細については [5] を参照されたい.

3. ストレス値とオフィス行動の相関分析

ストレスメータを利用して, 約 2 か月間にわたり取得した各ワーカーの平均ストレス値をパラメータとして用い, 行動パターンとストレスパターンの相関分析を行った. 相関分析の結果を図 1 に示す.

図 1 よりオフィス全体の固有行動パターンに基づく行動の再構築精度が, 身体的ストレスに対しては負の, ストレス耐性に対しては正の有意な相関をもつことが示された. これは, オフィス全体に典型的な行動をよくとり, 日々の行動の規則性が高いワーカーほど, 身体的ストレスが低く, ストレス耐性が高い傾向にあると解釈できる. 言い換えると, 規則的なリズムで活動をしている人ほど身体的な負担が少なく (もしくは身体的な負担が少ないと規則的なリズムで活動しやすく), また活動のリズムを維持している人ほどストレスに耐性がある (もしくはストレスに耐性がある人ほど活動のリズムを維持しやすい) という解釈が可能である.

再構築精度が行動パラメータとして適切であったかどうかを調査するために, ミーティング総時間, PC 作業を行った総時間を行動パラメータとして採用した場合の相関係数を計算した. ここではミーティング総時間, PC 作業を行った総時間を日数で割って正規化している. 図 1 よりストレス値はミーティング総時間, PC 作業を行った総時間とは高い相関が得られていないことがわかる. この結果より, 単純に仕事時間とストレス値が相関しないことを示しており, 提案する特徴抽出手法を使うことで初めてストレス値との相関値が得られていることが示された.

次に日ごとのストレス値とストレスを測定した日に該当する行動パターンのパラメータ群の相関分析を行った. 行動パターンのパラメータには, ある日の行動が各固有行動パターンをどれだけ含有しているかをパラメータ (固有行動得点) として利用した. 分析の結果, 相関係数の最大絶対値は 0.21 (第 22 固有行動との相関係数) であり, 図 1 のように高い相関が得られる固有行動パターンは存在しないことが分かった.

3.1 業務後の感想とオフィス行動の相関分析

もう一種類の内面パターンとしてワーカーのその日の仕事に関する主観的評価値を計測し相関分析を行った. 具体的には, 1 日の業務後にその日の仕事に関する感想を答えてもらい, その回答データと行動パターンとの相関分析を行った. 仕事に関する感想は質問紙調査によって収集した. 行動データを取得した 18 人の内, 有効な回答が得られた人数は 14 人であり総数は 154 であった.

質問項目はその日の業務に対する感想および終業時の気分に関するものである. その日の業務に対する感想については, オリジナルの質問項目を用いて

- 業務の総合的な進捗
- 業務への集中度・業務の効率
- 業務への満足度
- 外部からの障害

の 4 尺度の調査を行った. 次に 154 個の有効回答データから, 上記の 4 項目に関してプロマックス回転による主因子分析を行った. その結果, 第一尺度を業務満足感, 第二尺度を個人作業実感, 第三尺度を外部障害感, 第四尺度を低能率感と決定した.

各調査尺度はいくつかの設問から構成される. 各設問における得点を集計することで, ワーカーのその日のそれぞれの尺度に対する度合いを数値で評価する. その日の業務に対する感想の各尺度の設問はそれぞれ 1 点から 5 点 (全く当てはまらない, あまり当てはまらない, どちらともいえない, やや当てはまる, 非常に当てはまる), 終業時の気分の各尺度の設問はそれぞれ 1 点から 4 点 (全く当てはまらない, あまり当てはまらない, やや当てはまる, 非常に当てはまる) で回答する. なお, 逆転項目については, (満点 +1) から回答点数を減じたものを得点とする.

次に各回答データに対応する行動パターンとの相関分析を行った結果, 相関係数の最大絶対値は 0.25 (第 19 固有行動との相関係数) であり, 高い相関が得られる固有行動は存在しないことが分かった.

3.2 問題点

上記の結果をまとめると, ストレス値の平均と各ワーカーの行動データの再構築精度については有意かつ高い相関を得ることができた. ただし, 日ごとのストレス・日ごとの業務に関する感想と行動データの相関を得ることができなかった. これは, ワーカーごとにその日の行動, ストレス値, 質問紙調査の値が異なるためと考えられる.

4. ストレス値によるワーカークラスタリングに基づく相関分析

4.1 問題点を踏まえた分析方針

3.2節の問題点を解決するために、ワーカーのプロファイリングを行いワーカーを分類した上で、グループごと・類似するワーカー群内で行動と内面パターンの相関を分析する。プロファイリングの項目として、高い相関が観測された各ワーカーの平均ストレス値に着目し、平均ストレス値によってワーカーをクラスタリングし、ストレス高・中・低の3つのグループに分類する。その後、各グループ(各クラス)ごとに、日ごとの行動パターンとストレス値の間で相関分析を行う。

4.2 ワーカークラスタリングに基づく相関分析の手順

以下の手順でストレスレベルに基づくワーカークラスタリングを行い、クラスごとに相関分析を行う。

Step1 3章で用いた身体的ストレス・精神的ストレス・ストレス耐性の平均値 m_i を 18 人のワーカーごとに求める。ここで i はワーカーの ID とする。このデータセットを $M = m_1, m_2, \dots, m_{18}$ と定義する

Step2 M を入力として、k-means アルゴリズムによりクラスタリングを行い、ワーカーを K 個のグループに分類する。

Step3 各クラスに属するワーカーの日ごとの質問紙調査の回答データと、対応する行動データの相関分析を行う。

[Step2]において k-means アルゴリズムの実行時に、 K の数と、クラスタの中心ベクトルの初期値を予め決定する必要がある。クラスタの中心ベクトルの初期値については、 M をソートして小さい値から $K-1$ 分割して分割点に該当する(最大値・最小値を含む)ベクトルをクラスタ中心の初期値 C とする。

$$C = \{m_1, m_{\frac{T}{K-1}}, \dots, m_{\frac{jT}{K-1}}, \dots, m_{\frac{(K-2)T}{K-1}}, m_T\} \quad (2)$$

上式において、 T はワーカーの総数、 $\frac{jT}{K-1}$ が整数とならない場合、小数点以下を切り捨てる。次に K の決定方法について述べる。 K の決定方法については情報量基準を用いたり、クラス内分散値の総和の増加量を用いたりして探索的に決定する方法が考えられるが、本研究では $K=3$ と天下的に決定した。第一の理由として、ワーカーの総数が 18 であるため、クラスタ数を多くすると各クラス内のワーカーが少数になり十分にサンプルが得られない。第二の理由として、身体的ストレス・精神的ストレス・ストレス耐性共に、第二の理由として、身体的ストレス・精神的ストレス・ストレス耐性共に、中程度のストレスを持つワーカーと、中程度より低め・高めのストレスを持つワーカーに分かれていることがわかった。一例として、身体的ストレスの平均値 M をソートした後プロットしたグラフを図 2 に示す。図 2 よりソート後のワーカー ID6~16 のストレス値はほとんど横ばいであり、これを中程度とすると ID1~5 はそれよりも低く、ID17, 18 はそれよりも高い。これより分析に用いるクラスタ数を 3 と決定した。上記の傾向は精神的ストレス・ストレス耐性共でも同様であった。

5. ワーカークラスタリングに基づく相関分析結果

身体的ストレス値・精神的ストレス値・ストレス耐性値に基づいてクラスタリングを行い、ストレス小・中・高群にワー

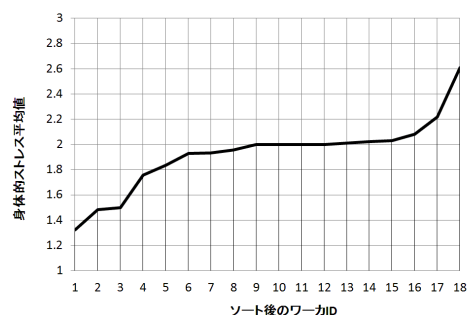


図 2: 身体的ストレス値のソート後のプロット(ソート後のワーカー ID6~16 のストレス値はほとんど横ばいであり、これを中程度とすると ID1~5 はそれよりも低く、ID17, 18 はそれよりも高い。このプロットより分析に用いるクラスタ数を 3 と決定した。)

カーを分類し、各群内で質問紙の各因子得点と、質問紙に回答した日の行動パラメータの間で相関分析を行った結果を報告する。

全てのストレス指標において、ストレス高群・低群のクラスタ内で行動と質問紙の因子得点の間に有意な相関が得られた。ここではストレス高群と低群で中程度以上(相関係数が 0.4 以上)の逆相関が出ている、もしくはストレス高群と低群どちらか一方で中程度以上の相関が得られている場合の因子と行動について代表的な例を報告する。

5.1 身体的ストレス値に基づく相関分析結果

図 3 に身体的ストレス低群における満足度の比較を記載する。図では身体的ストレス低群グループにおいて、満足度を示す因子と相関が大きかった固有ベクトルを可視化している。図の左端の E^* は第 i 固有行動を示し、 $()$ 内に相関係数を記載した。この図に記載した固有ベクトルは全て、0.4 以上かつ有意水準 0.1 以上で有意差が認められたものに限っている。3 列のグラフタイトル PC・Meeting・Others は PC 作業・ミーティング・その他の活動にそれぞれ対応する。また上段は満足度への相関があった固有行動、下段は満足度因子への相関があった固有行動を可視化している。横軸の値は時間を示しており、固有行動の単位は 1 日なので 24 時間となっている。

温度グラフは固有行動の各要素の値を可視化しており、赤は正の値、青は負の値を示す。この絶対値が大きいほど深い色で表記されている。値の大きい要素は固有行動の特徴をよく表しており、例えば Meeting の 12 時から 13 時が赤くなっている。12 時から 13 時によくミーティングを行っていることを示す。なお温度グラフのスケールは -0.1 以上、0.1 以下であり、0.01 以下の値は全て 0 に変換した。これは、固有行動の中で大きい値を持つ特徴的な要素を見やすくするためである。

図 3 より満足度因子に + 相関の固有行動では 12 時から 14 時までと、18 時以降に PC 作業を行っている。ミーティングについては 10 時、16 時に 30 分程度の時間で固有行動の成分が大きい値を示している。一方満足度因子に - 相関の固有行動では、10 時、16 時ころに PC 作業が行われている他、一日に 3 度以上のミーティングに参加したり、18:00 時以降のミーティングに参加したりしていることがわかる。

次に身体的ストレス個人作業感・低群・高群で逆相関を示す固有行動を図 4 に示す。図 4 において、 $L(r=*)$ は身体的ストレス低群、 $H(r=*)$ は身体的ストレス高群の相関係数を示している。ストレス低群の第 6 固有行動 ($E6$) に対する行動得点は個人作業感因子に + 相関を示している一方で、ストレス高群のそ

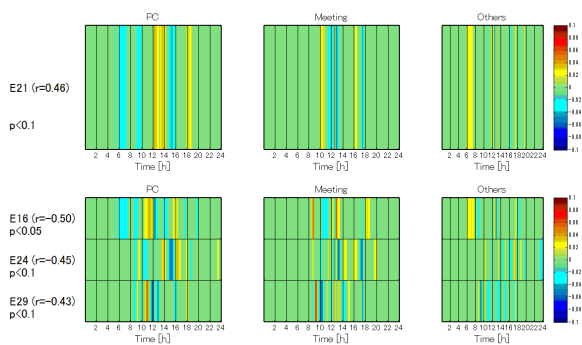


図 3: 身体的ストレス低群における満足度の比較

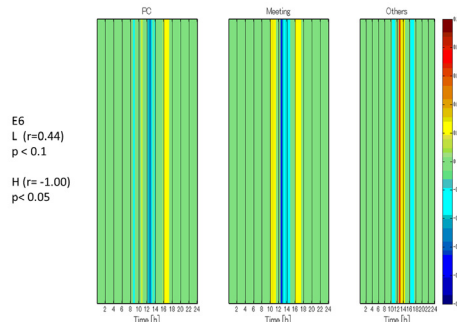


図 4: 身体的ストレスの低群・高群で、個人作業感の変数が逆相関を示す固有行動

れは個人作業感因子に - 相関を示している。この固有行動で顕著な特徴は、10 時、16 時から約 2 時間のミーティングである。2 時間のミーティングが 2 回開催されることが身体ストレスが低いワーカーにとって、個人作業感が高いと感じているのに対し、身体ストレスが高いワーカーにとっては個人作業感が低いと感じていることが示された。

5.2 精神的ストレス値に基づく相関分析結果

図 5 に精神的ストレス低群における外部阻害感の比較を記載する。図より外部阻害感因子に + 相関の固有行動 E2 では 18:00 以降に PC・ミーティング以外の作業か、定時に帰宅するという特徴が得られている。また E27 からは 22 時前後にミーティングが行われていることがわかる。一方外部阻害感因子に - 相関の固有行動では 22 時前後に PC が行われている。つまり残業であっても、ミーティングではなく PC 作業を行っている日に外部阻害感が少ないと解釈できる。

5.3 ストレス耐性値に基づく相関分析結果

図 6 にストレス耐性高群における満足度の比較を記載する。図 6 より満足度因子に + 相関、- 相関の固有行動は身体的ストレス低群のそれと等しいことが図 3 とあわせて確認できる。ストレス耐性高群における個人作業感因子と行動の相関関係も、身体ストレス低群のそれと等しいことが示された。

6. まとめ

本分析ではストレス値に基づくワーカーのクラスタリングを行い、行動が類似するワーカーを集めることで、日ごとの内面パターンと行動の相関関係を抽出した。

分析結果から、身体的ストレス低群・ストレス耐性高群では、一日に 3 度以上のミーティングがあったり、18:00 時以降のミーティングが行われると満足感が低くなる一方で、ミーティングと PC の作業は別の時間に行うような場合に満足感が

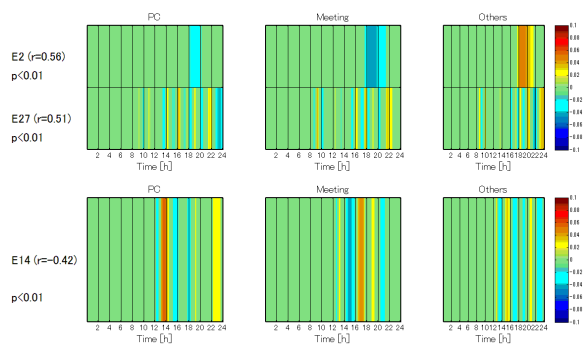


図 5: 精神的ストレス低群における外部阻害感の比較

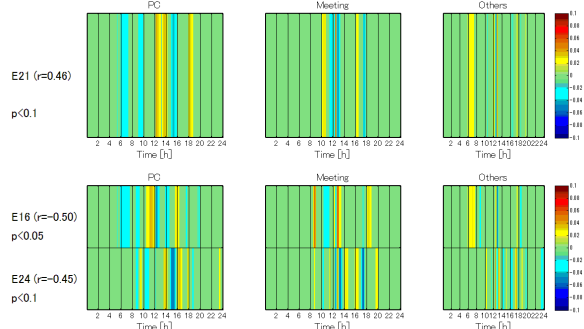


図 6: ストレス耐性高群における満足度の比較

高くなる傾向があることが示された。また精神的ストレス低群は定時以降にミーティング・PC 作業を行わないことが外部阻害を受けていると感じる反面、残業でミーティングがある場合にも外部阻害を感じており、残業があっても PC 作業を行っている日には外部阻害を感じていないことが分かった。

以上の結果より、一日の業務行動を時系列データとして扱い、日常行動を抽出し、内面パターンとの相関分析を行うことにより、「夜 PC 作業をする」、「PC 作業を行わずにミーティングを行う」、「朝にミーティングをする」、など内的パターンと関連する業務行動の特徴を分析できることを示した。

参考文献

- [1] 辻聡美, 佐藤信夫, 森脇紀彦, “「ビジネス顕微鏡」を用いたコミュニケーションスタイル可視化方法”, *Technical report of IEICE. HCS 107* (241), pp.37-42, Sep.2007;
- [2] Nathan Eagle, Alex Sandy Pentland, “Eigenbehaviors: identifying structure in routine ” *Behav Ecol Sociobiol* **63** 1057-1066, 2009;
- [3] 注連, 河合, Bojduj, 國枝, 山田, “滞在場所を考慮したコミュニケーション検出システム”, *GNWS*, 2008;
- [4] 佐藤, 岡田, 神谷, 新田, 國枝, 山田, “長期のセンサデータに基づくオフィスワーカーの固有行動パターンの獲得とその分析”, *ICM/LOIS 研究会 IEICE Technical Report*, 2012;
- [5] Shogo Okada, Yusaku Sato, Yuki Kamiya, Keiji Yamada, Katsumi Nitta, Analysis of the Correlation between the Regularity of Work Behavior and Stress Indices Based on Longitudinal Behavioral Data, 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI) 2012, pp 425-432