

非線形データ解析 / 多次元可視化ツールを用いた 健康になるオフィスの包括的デザインの試み

Comprehensive Design of Office for Promoting Workers' Health Using the Tools for
Nonlinear Analysis / Interactive Visualization of Multi-Dimensional Data Sets

吉村忍¹ 佐藤靖之² 高坂徹³ 松田聡浩⁴

Shinobu YOSHIMURA¹, Yasuyuki SATO², Toru KOHSAKA³, Akihiro MATSUDA⁴

¹ 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo

² 産業人文学研究所 ³ アトリー ⁴ プレシジョン・テクノロジー

The authors have been conducting industry-university cooperative activities to build business offices of promoting workers' health in the Dai-Maru-Yu (Ootemachi-Marunouchi-Yurakucho) area. As a part of the activities, we have send out questionnaires in 109 workers asking physical attributes of their working offices, human relation, the way of working, and satisfaction for their work from a variety of viewpoints. We have analyzed the obtained data using the Neural Network based nonlinear data analysis tool named n-DESIGN Pro and the interactive visualization tool of multidimensional data sets named ADVENTURE_DecisionMaker. Then we have shown a possible comprehensive design of the office for promoting workers' health. This paper describes the aim, the methods and tools, and some results.

1. はじめに

オフィス環境は、そこで働く人々が担う仕事の効率・生産性に影響を与えると同時に、働く人々の健康やメンタル面にも大きな影響を与える。このため雇用者にとっても被雇用者にとっても、良質なオフィス環境の実現が強く望まれる。ホワイトカラーが働くオフィス環境については、オフィス環境と知的生産活動の因果関係が明確でなく、スペースの広さ、間取り、床、動線、調度品、壁の色、空調、照明等のハード的な側面からのデザインがほとんどであった。しかし、ストレスの多い現代社会において働く人々の健康を守り、知的生産性を向上するためには、オフィスで働く人々に影響を与え得るあらゆる因子に着目し、オフィス環境と働く人の健康、知的生産性に関する因果関係を明らかにし、総合的にデザインすることが必要になってきている。

筆者らは、(社)大丸有環境共生型まちづくり推進協会(エコツェリア協会)(注:大丸有地区とは大手町、丸の内、有楽町一体の地区を指す)を拠点として活動している「丸の内地球環境倶楽部」の産学連携の取り組みとして、「健康になるオフィス研究会」の活動をしている。この研究会では、精神的健康と身体的健康といった健康的側面と、職務満足度(働きがい)を同時に実現するオフィス環境の提案を目指して活動している。

その取組の一環として、2009年8月に、この地区で働く人々100名強を対象として、オフィス環境のハード的屬性や人間関係、仕事のやり方、仕事に

対する満足度などについて多角的視点から61項目に及ぶアンケート調査を行った。その調査結果を、吉村らが開発したニューラルネットワークと統計処理に基づく多次元非線形データ解析ツール n-DESIGN Pro [1-3]および対話型多次元データ可視化ツール ADVENTURE_DecisionMaker [4-7]を用いて、分析及び可視化を行うことにより、健康になるオフィスを目指した包括的デザインを試みた。本論文ではその狙い・手法・結果について報告する。

2. アンケート調査項目の概要

今回の調査では、都心に立地する非製造業企業の戦略部門(事業・営業・商品企画などの企画部門)で働く人、働きを量で計る「知的生産」を持ちめられる人を対象とし、大丸有地区の企業に勤める109名から回答を得た。その内訳は、男性64名で平均年齢41.7才、女性45名で平均年齢36.5才である。

本アンケートでは、今回新たに作成したアンケート(以降主アンケートと称する)に加え、標準的に用いられる職務性ストレス簡易調査票及び簡易職務満足度調査の3種類から構成されている。

主アンケートは、本調査のために新たに設計したものであり、年齢・性別や職種、雇用形態等の基本7項目を尋ねるフェイスシートに続き、オフィスの属性を尋ねるアンケート12項目、オフィスが立地している周辺環境を尋ねるに7項目、健康状態に関して尋ねる5項目から構成されている。基本的に各項目は4段階で尋ねた。一方、職務性ストレス簡易調査票(大項目4、小項目67)、簡易職務満足度チ

チェックリスト 19 項目についても調査し、前者の各項目は 4 段階で、後者の各項目は 5 段階で聞いた。

3. 分析の基本方針と前処理

3.1 基本方針

基本的には、働く人の健康と仕事に対する満足度は、働く人個人に付属するある種の属性と言える。それに影響を与える重要な因子の一部として、オフィス環境がある。オフィス環境には、ハード的な設備に由来するものもあるし、ある種のソフト的、雰囲気的なものもあるだろう。また、大丸有地区の場合には、オフィスの中だけでなく、オフィスが立地する周辺、街の部分も働く人に少なからず影響を与えていると考えられる。それらが相互作用するというのが筆者らの基本的認識である。その相互作用の関係性を何とか抽出し、たとえば、働く人の健康度であるとか、仕事への満足度をより増進するには、オフィス環境をどうデザインすればよいのか、あるいは大丸有地区の周辺環境をどのようにデザインすればよいのかを考えていきたい。そのためには、各因子間の相互作用を我々が扱える形で明確化したい。

2 章で述べたように、今回のアンケートにはたくさんの質問項目が含まれているが、第一段階として質問項目を大まかに分類し、次元を縮小する。

また、このアンケートでは、「[1]あなたは今のオフィス環境全般に満足していますか」という項目や、「[2]今のオフィスで仕事をすることが楽しいですか」という質問によって、オフィスに関する主観的、感性的な総合評価を尋ねている。実は、オフィス環境の属性に関する因子と、そこで働く人の総合評価は、少なからず原因と結果の関係となっているはずである。そこで、本分析では、原因と結果の関係性を見出すことを目的として行う。

3.2 前処理 - 次元縮小 -

アンケート項目を見直してみると、全質問項目 61 項目のうち、52 項目が原因、残り 9 項目が結果におおよそ分類できる。後述するように、アンケート結果の分析法として多次元のデータを直接分析・可視化できるツールを用いるのであるが、それでも次元があまりに大きいと処理が難しくなる。そこで、多次元データの分析・可視化に先立ち、ある程度次元を縮小することを考える。本研究では、各因子間の相関係数を網羅的に計算することにより、アンケートの全 61 項目を、次の 12 項目に絞り込んだ。

結果 / 基準変数 / 目的関数：

1. 仕事や生活の満足度
2. 人間関係
3. 全般的満足度

原因 / 説明変数 / 設計変数：

1. 会議室のレイアウト柔軟性

2. 意見・アイデアの交換場所
3. 机の配置
4. 活気
5. 上司からのサポート
6. 同僚からのサポート
7. 全般的な疲労感
8. 抑うつ感
9. 仕事の適性

3.1 節の最後に、全項目の分類として、一般的な「原因 - 結果」という言い方をしたが、これは多変量解析においては「説明変数 - 基準変数」となり、デザイン問題においては、「設計変数 - 目的関数」として理解できる。次に、上記の 3+9 項目に関する 109 人分のアンケート結果に関する分析を行う。

4. 多次元分析・可視化手法

本章では、吉村らが開発した 2 種類の多次元データの分析・可視化ツール n-DESIGN Pro と ADVENTURE_DecisionMaker について説明する。

4.1 n-DESIGN Pro[1-3]

4.1.1 問題設定

M 次元のベクトル空間 R^M と N 次元のベクトル空間 R^N が存在し、それぞれの要素ベクトル $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ R^M および $B = \{b_1, \dots, b_N\}$ R^N の間に、ある種の非線形な関係が成立することが予想されるとしよう。このとき、その関係を利用可能な形式に定量化し、それをデザインに活用する。

4.1.2 解析の流れ

(1) ステップ 1：データセット収集

・個の M 次元ベクトル $A^{(1)}, \dots, A^{(\alpha)}$ と ・個の N 次

元ベクトル $B^{(1)}, \dots, B^{(\alpha)}$ があり、ベクトル $A^{(i)}$ と $B^{(i)}$ が対応するとする。すなわち、 $(A^{(i)}, B^{(i)})$ $i=1 \sim \alpha$ は i 番目のデータセットとする。 A は多変量解析における説明変数に対応し、 B は基準変数に対応する。

(2) ステップ 2：ニューロの学習

ステップ 1 で収集されたデータセットを階層型ニューラルネットワーク（以下、ニューロと称する）に学習させる。ここでは、収集された全 α 組のデータセットのうち、ランダムに選定された β ($\beta < \alpha$)

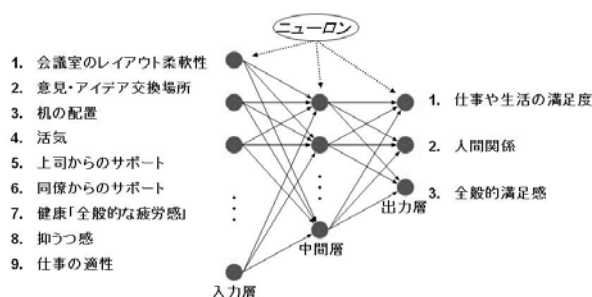


図 1 階層型ニューロと入出力データ

組のデータセット ($A^{(i)}, B^{(i)}$), $i=1 \sim \beta$ を学習用パターンとして選定し, $A^{(i)}$ をニューロへの入力信号, $B^{(i)}$ をニューロへの教師信号として階層型ニューロを学習させる. 図 1 に本研究の入出力イメージを示す.

(3) ステップ 3 : 入力データの影響度評価

(2) の学習プロセスで利用するニューロにおいては, ベクトル A の次元数 M がその入力ユニット数となり, B の次元数 N がニューロの出力ユニット数となる. 一般に, M が小さいほうがニューロはコンパクトとなり学習させ易いが, データセットを収集するにあたって, あらかじめ基準変数に対して必要十分な説明変数を絞り込むことは困難である. このため, ベクトル A の成分の中には, ベクトル B に強く影響を及ぼすものもあれば, ほとんど B には影響しないものも含まれるであろう. そこで, ステップ 3 では, 次のようにして A の成分のうち B の各成分への影響(寄与)が強い成分を抽出する. 具体的には, ステップ 2 で構築した学習済みニューロを用いて算出される感度係数に統計処理を施して得られる寄与度 η と呼ばれるパラメータを縦軸とし, 一方, A, B の各成分間の線形相関係数の絶対値 $|r_j|$ を横軸にとった 2 次元グラフを利用し, 影響度解析を行う. 簡単のために基準変数 B が 1 成分のみから構成される場合を例として説明する.

まず, 感度係数 S_{ji} は次式により定義される.

$$S_{ji} = \left. \frac{\partial O}{\partial I_j} \right|_i \cong \frac{f(I_j^{(i)} + \Delta_j) - f(I_j^{(i)} - \Delta_j)}{2\Delta_j} \quad (1)$$

ここで, O は学習済みニューロの出力データ (基準変数 B の成分に対応する), $I_j^{(i)}$ は i 番目の学習パターンの入力信号 (説明変数 A に対応する) の j 番目の成分, Δ_j は j 番目の入力信号の微小変化量, $f(\cdot)$ はステップ 2 で構築された学習済みニューロによる非線形写像である. 感度係数は全パターンについて求める. 次に寄与度 η を (1) 式の感度係数を用いて次式のように定義する.

$$\eta_j = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{\alpha} |S_{ji} (I_j^{(i)} - \bar{I}_j)| \quad (2)$$

ここで, \bar{I}_j は入力データの j 番目の成分の全パターン $i=1 \sim \alpha$ に対する平均値である. (2) 式で定義される寄与度は, 全パターン点で評価した感度の絶対値の重み付き平均を表している. ただし, 各パターン点における感度係数が同じ場合には, 入力データの平均値から離れた点ほど, 重みを大きくして評価する. 一方 A 成分の B への全体的な影響度を測るために, 第 2 の指標として, A の j 番目の成分と B との線形相関係数 r_j を求める. 寄与度 η_j と線形相関係数の絶対値 $|r_j|$ の 2 次元マップを用いて影響度評価を行う.

(4) ステップ 4 : 満足化設計・最適化設計

設計問題においては, A に設計変数を対応させ, B に目的関数あるいは制約関数を対応させると, 上述のプロセスは階層型ニューロを近似関数として応答曲面を構築したことに他ならない.

4.2 対話型多次元可視化システム

ADVENTURE_DecisionMaker

n-DESIGN Pro では, A と B の間の非線形関係を定量化できるものの, 4 次元以上の多次元空間上の情報であるため, このままで直観的な理解が困難である. 吉村らは文献[4]の研究成果をベースとして, 多次元情報空間の対話型可視化・意思決定支援ツール ADV_DecisionMaker を開発し, ADVENTURE システムの新しいモジュールの一つとして, 2008 年 4 月にプロジェクト HP より無料公開した[7].

本ツールでは, 設計変数空間, 目的関数空間, 制約変数空間などの多次元情報空間を複数個の 2 ないし 3 次元の部分空間に分割し同時可視化するとともに, それぞれにプロットされる点を直線で結ぶことによって, それぞれの部分空間の関係を表現する. しかも, 多次元情報空間に表示された点や点群をユーザーが対話的に操作することにより, 各部分空間の相互関係を理解することができる.

ADV_DecisionMaker を用いて, 原子力発電プラントのメンテナンス最適化問題などに適用し有効性を検証した[5]. また, 小型人工飛翔体の羽ばたき運動の多目的設計にも適用されている[6].

5. アンケート結果の分析

はじめに, n-DESIGN Pro を用いて, 109 件のアンケート結果 (3.2 節に述べた設計変数 9 項目, 目的関数 3 項目) を学習させた.

図 2 に, 一例として, 寄与度, 相関係数の絶対値の 2 次元マップ上に表示した 9 項目 \times 3 項目 = 27 点を示す. このうち, やや大きめのマークで示した 3

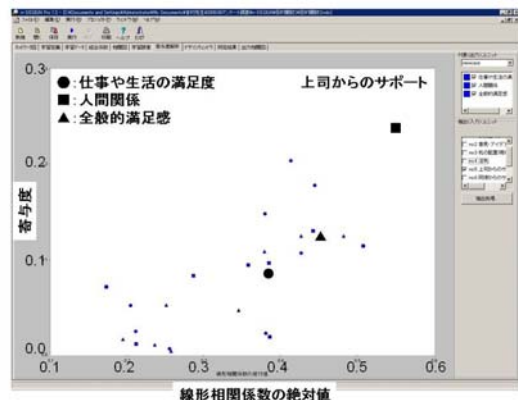


図 2 寄与度解析結果 (上司のサポート)

点は、上司のサポートの仕事や生活の満足度に対する影響度(印),上司のサポートの人間関係への影響度(印),上司のサポートの全般的満足感への影響度(印),を強調表示したものであり、図 2 の結果から、上司からのサポートは、いずれの項目に対しても大きな影響を与える因子であることがわかる。次に、学習済みの n-DESIGN を使って、9次元の全設計変数空間に 1000 点の仮想点をランダムに設定し、それぞれに対する目的関数の推定値を出力させた。その 1000 点のデータ点を、ADV_DecisionMaker で可視化した。図 3 にその一例を示す。ここで9つの設計変数を3つの3次元部分空間、すなわち設計変数空間 1(意見・アイデア交換場所, 机の配置, 会議室のレイアウト柔軟性), 設計変数空間 2(上司からのサポート, 同僚からのサポート, 活気), 設計変数空間 3(抑うつ感, 仕事の適性, 全般的な疲労感)に分割して表示している。一番右端は(仕事や生活に関する満足度, 人間関係, 全般的満足度)に関する目的関数空間である。図 3 では、1000 点のうちで、仕事や生活の満足度 3.5 となる点をピンクで表示した。同図より、設計変数空間 2では、上司のサポートや同僚からのサポートがあることが仕事や生活の満足度を上げる上で重要であることがわかる。また、設計変数空間 3(抑うつ感, 仕事の適性, 全般的な疲労感)でも、抑うつ感 + 仕事の適性 + 全般的な疲労感が高いほど仕事や生活の満足度が上がっていることがわかる。

6. オフィス環境の包括的デザイン

今後の予定としては、アンケート結果を学習済みの n-DESIGN Pro と ADV_DecisionMaker を用いて、次の手順でオフィス環境設計を行う。

ある既設のオフィス環境に関する9項目の設計変数データを学習済みの n-DESIGN Pro に入力し、目的関数3項目の出力を得る。たとえば、その結果が(仕事と生活の満足度, 人間関係, 全般的満足度) = (2, 4, 4)であったとする。この時、ADV_DecisionMaker で可視化した 1000 点のうち、(仕事と生活の満足度 3.5, 人間関係=4, 全般的満足度=4)となる、設計変数空間上の点をすべて表示

する。この点群と、既設のオフィス環境の設計変数の点数とを対話的・視覚的に比較し、どの設計変数をどのように変更すれば仕事と生活に対する満足度が現状の2から3.5以上に向上するか、を考察する。ここで重要なのは、多次元空間上で多様な改善方策が提示されることであり、その中から実現可能性の高い方策を選択すればよい。

7. おわりに

オフィス環境とそこで働く人の健康、仕事の満足度などに関する包括的デザインを目的として、アンケート調査と、調査結果の多次元的な分析・可視化に関して述べた。その結果、オフィス構成因子が仕事や生活の満足感や人間関係などに与える重要度を科学的に分析することができた。また、オフィス環境に関する包括的なデザイン法を提示した。

ここで、示したデータ解析手法は極めて汎用性が高く、人工物設計はもちろん、今回のような社会系システムの分析・設計にも威力を発揮すると期待している。

参考文献

- [1] 矢川, 吉村, 松田: 感性と設計, 培風館, 1999.
- [2] 八重樫, 坂内, 吉村: ニューロ非線形多変量解析手法に基づく自動車防錆設計, 材料と環境, Vol.51, No.6, pp.262-268, 2002.
- [3] <http://www.alde.co.jp/ndesign/ndesignpro.html>
- [4] 鄭, 吉村, 小林, 野村: 人工衛星用ヒートパイプの多目的最適化設計におけるパレート解の視覚化とクラスタリング分析, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.710, pp.3026-3033, 2005.
- [5] 吉村, 古田, 磯部, 匂坂, 野田, 秋葉: 軽水炉保全最適化のための総合型シミュレータ Dr. Mainte の開発, 日本原子力学会和文論文集, 受理.
- [6] 犬塚, 山田, 吉村: 小型人工飛行体の羽ばたき運動の多目的設計, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.75, No.754, 2009.
- [7] <http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp>

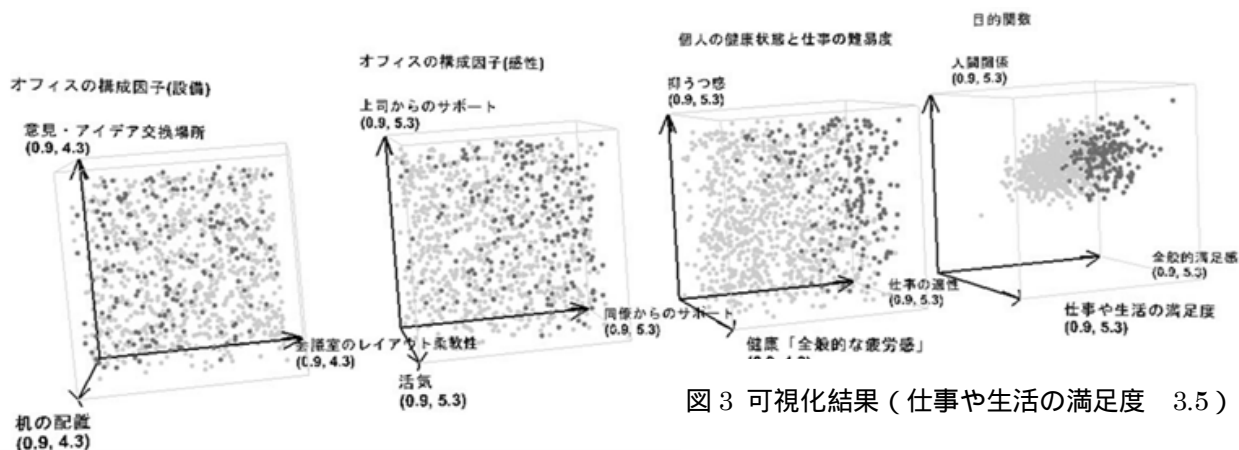


図 3 可視化結果 (仕事や生活の満足度 3.5)