

博士（人間科学）学位論文

体圧分布のパターン変動と座り心地

Sitting Comfort and the Change of Body Pressure  
Distribution

2005年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

藤巻 吾朗

Fujimaki, Goroh

研究指導教員： 野呂 影勇 教授

# 目次

## 1章 序論

1.1	研究背景	4
1.2	研究目的	5
1.3	先行研究	5
1.3.1	体圧分布と座り心地との間の関連性	5
1.3.2	体圧分布測定装置に関する報告	6
1.3.3	体圧分布の分析手法	6
1.4	研究意義	7
1.5	研究の流れ	8
1.6	論文の構成	8

## 2章 本研究において使用した体圧分布測定装置および分析手法

2.1	はじめに	10
2.2	体圧分布測定装置	10
2.2.1	センサ構造	12
2.2.2	ヒステリシス特性	12
2.2.3	クリープ特性	13
2.2.4	本研究における測定結果の取り扱い	13
2.3	自己組織化マップ	15
2.3.1	Kohonen の学習則	16
2.3.2	自己組織化マップのアルゴリズム	17
2.4	自己組織化マップを用いた体圧分布のパターン分類	18
2.5	本章のまとめ	20

3章 座り心地における「快」「不快」の定義	
3.1 はじめに	22
3.2 先行研究	22
3.3 本研究における座り心地の定義	24
3.4 着座状態の変化と座り心地	25
3.5 座り心地の研究における今後の研究課題	26
3.6 本章のまとめ	27
4章 着座状態の変化と座り心地の因果関係	
4.1 はじめに	28
4.2 調査目的	28
4.3 調査方法	28
4.3.1 アンケート調査	28
4.3.2 共分散構造分析	29
4.3.3 仮説モデル	29
4.4 結果	31
4.4.1 仮説モデルの検証	31
4.4.2 因果関係	31
4.5 考察	33
4.6 本章のまとめ	34
5章 座り込み動作時における体圧分布のパターン変動	
5.1 はじめに	35
5.2 調査目的	35
5.3 調査方法	35
5.3.1 被験者	36
5.3.2 アンケート調査	36
5.3.3 体圧分布測定	37
5.4 アンケート集計結果	37

5.5	自己組織化マップの学習結果	38
5.5.1	着座安定時に発火しなかったニューロン	40
5.5.2	着座安定時に発火したニューロン	40
5.6	体圧分布のパターン変動	40
5.6.1	特徴的なニューロン遷移	41
5.7	座り心地との対応関係	43
5.7.1	カテゴリーデータの作成	43
5.7.2	心地よい感じとの対応関係	44
5.7.3	不快な感じとの対応関係	45
5.8	考察	46
5.8.1	心地よい感じと体圧分布のパターン変動との対応関係	46
5.8.2	心地よい感じと着座安定時の体圧分布との対応関係	48
5.8.3	不快な感じと体圧分布のパターン変動との対応関係	48
5.8.4	不快な感じと着座安定時の体圧分布との対応関係	49
5.9	本章のまとめ	50
6章 結論		
6.1	体圧分布の測定結果の取り扱い	51
6.2	本研究で使用した分析手法	51
6.3	座り心地における「快」「不快」の定義	52
6.4	本研究において得られた知見	52
6.5	今後の課題と展望	54

謝辞

参考文献

付録

# 1章 序論

## 1.1 研究背景

近年，人々の快適性に対する関心が高まっており，様々な産業分野において，快適性を開発における重要な課題として取り扱っている．その背景には，人々の生活水準の向上に伴い生活に余裕が生じてきたことや，高度のハイテク化・自動化に伴う社会生活上のストレスが増してきたことへの対処策として「ゆとり」が重視されつつあることなどが挙げられる [1][2]．椅子についても同様に，上記したことを含め，デザイナーズチェアへの関心や，長時間の座位作業による身体への負担などの理由も伴い，座り心地に対する関心は高まっている．自動車シートにおいては，身体にかかる負担の軽減を考慮したシートの研究・開発が行われており，オフィスチェアにおいては座り心地を前面に押し出した椅子が多く販売されている．

人間の腰椎は臥位や立位の状態で，背骨が自然で無理のないS字のカーブを描く．この状態が背骨にとって最も負担の少ない姿勢であると言える．それに対し，座位は背骨のS字が崩れ，負担のかかる姿勢である [3][4]．以前はこのような観点から，オフィスチェアについても，良い姿勢を保持するために腰や骨盤を立位に近い状態で保持する椅子が主流であった．しかし，腰痛の防止には背骨を動かすことによる腰部の負担の軽減が重要であり [5]，近年では，背骨や骨盤のサポートだけではなく，身体の動きや姿勢の変化を妨げないように考えられた椅子が主流となってきている．近年では，着座状態における身体の動きや動作性が注目されているが，それに伴う着座状態の変化が座り心地に与える影響について，知見はほとんど得られていない．

座り心地との関連性が強いと言われている客観指標として，椅子と人体との接触面の圧力を測定する体圧分布測定があるが [6][7]，この測定においても静的着座時における研究がほとんどであり，着座状態が変化する状況での座り心地については未知の部分が多い．

## 1.2 研究目的

体圧分布に関する研究は数多く報告されているが、その多くは静的な状態での測定である。しかし、実際に着座した際は、姿勢変化や座り直しなどの身体の動きにより椅子と人体との接触状態は頻繁に変化し、人間の心理的・生理的・物理的な状態は其间頻繁に変化している。さらには、実際に椅子の座り心地を調査した場合、主観評価を行う際に被験者が頻繁に身体を動かし、座り直しを何度も行う場面が観察される。このことから、座り心地を評価する上では安定着座時の静的な状態だけでなく、身体を動かした際に生じる感覚も重要であることが考えられる。

本研究では、椅子と人体との接触状態の変化に着目し、その代表的な例として座り込み動作を取り上げ、体圧分布のパターン変動と座り心地との対応関係を明らかにすることを目的とする。

## 1.3 先行研究

本研究では、着座状態の変化と座り心地との対応関係を調査する手段として、体圧分布測定に着目した。体圧分布は座り心地と最も関連性のある指標のひとつであることが知られている [6][7]。過去に行われた体圧分布に関わる研究を以下に示す。

### 1.3.1 体圧分布と座り心地との間の関連性

静的着座時における体圧分布の測定は数多く報告されている。上條らの報告によると、自動車運転中の座面上の体圧分布をその形状からパターン化し、分類することで自動車シートの乗り心地を評価することができ、良いシートは背もたれにかかる腰椎上部の支持圧が強く、悪いシートは腰椎下部の支持圧が強いとしている [6]。鶴岡らは座面、背面においてそれぞれ3つのパターン化を行い、体圧分布と主観評価との間に相関が見られたと報告した。特に座面前縁部（大腿下部）の圧力とクッション側圧力については主観評価との間に正の相関があり、背もたれ中央部の圧力と主観評価との間には負の相関があるとした [8]。また、岩崎らが報告した研究においては、体圧分布特性に関わる官能特性要因として、座部、背もたれ部のフィット感、左右の窮屈感、腰部支持感を主成分分析により抽出した [9]。また、Koliich は体圧分布と身体特性をもとに座り心地を予測するシステムを構築しており、体圧分布測定により座り心地が判断できるとしている [10]。

加藤らは、着座状態に変化が生じる状況での体圧分布測定を行っており、VDT 作業における時系列的姿勢変化を座面の体圧分布により計測した。これによると、姿勢変化（座り直し動作）は、長時間一定の姿勢を保つことが困難であることから発生し、その要因は、特定の部位への圧力の集中にあるとしている。また、背もたれ部分の圧力変動と主観評価との間に高い相関がみられ、背部の圧力が、椅子の評価を決定づける重要な要因であると結論づけることも可能であるとしている [11]。

また、体圧分布に関する研究をまとめた報告もされており、それによると、体圧分布は、座面において圧力が均等に分布していること、背面において腰部で一定の圧力がかかっていることが重要であり、全体的に圧力が広く分布している条件が座り心地がよいとしている [7]。

体圧分布と座り心地との関連性については、背もたれにおける腰部の支持について相関が見られており、その他の知見も背もたれに関するものが多い。座面については、知見が少なく、圧力が均等に分布するものが良いとされている。また、圧力の絶対値と座り心地との間に相関が見られたものは少なく、座り心地において重要なのは、一定の部位とその他の部位における圧力比であり、つまりは体圧分布の分布形状、相対的な値であると考えられる。

### 1.3.2 体圧分布測定装置に関する報告

Luらは、TekScan 社製の体圧分布測定装置について、測定された圧力値と実際にかかっている圧力値で差があると報告した。この誤差はセンサの伝導率が変化するために生じ、センサの伝導率に影響を与える要因として、温度、計測時間を挙げている。温度の上昇や時間経過により、センサの伝導率が上がり、測定される圧力値が高くなるとしている [12]。また、3種類の体圧分布測定装置のクリープ特性やヒステリシス特性を比較した報告もなされており、比較した測定装置の中ではFSAが最も測定誤差が小さかった [13]。

### 1.3.3 体圧分布の分析手法

体圧分布による評価は従来、実験者の経験的主観に基づき判断するものが多い。現在評価手法として使用されているもののほとんどは座面・背面をそれぞれ分割し、各領域における平均圧力値や分散等を分析する手法 [14][15][16] や座骨結節部や腰

部などの身体の主要な部分にかかる圧力を分析し評価を行う手法である [6]。また、長時間における体圧分布測定を行った研究はあまりなされていないが、現在報告がなされているものについては、短時間での評価と同様に座面・背面を分割し、各領域における圧力の平均値や部分荷重比をもとに解析する手法 [11][17] や圧力レベル別の面積を分析したものがある [18]。

#### 1.4 研究意義

体圧分布は個人差が大きく、統計的な解析を行うことが困難である。そのため、各研究者は様々な手法を用いて体圧分布の測定結果を分析し、全体の傾向を調べることで評価を行っている。しかし、この方法では、大量のデータを分析することが困難であり、体圧分布のパターン変化を把握することも難しい。また、各領域における圧力値等の変化を分析し評価したものも多く、体圧パターンの変動を推測することはできるが、各領域内での分布情報が失われてしまうため、その分割方法に問題が残ると考えられる。

本研究では、これらの問題の解決案としてニューラルネットワークを用いた解析手法に着目した。この手法を用いることで、体圧分布の客観的な分類を行い、大量のデータの解析やパターン情報を維持した状態での分析が可能となり、体圧分布のパターン変化を把握することが可能となる。以上のことから、本研究では、体圧分布の新たな分析手法として、ニューラルネットワークを用いた手法を構築した。

体圧分布に関しては、静的着座時における測定がほとんどであり、長時間の測定や動作時などの身体の動きが伴い着座状態が変化する状況で測定を行った研究は少ない。しかし、実際に椅子に座ったときの人間の心理的・生理的・物理的な状態は刻々と変化し、始めは座り心地が良いと感じたものであっても、その状態が続くと不快を感じることもある。また、実際に椅子やクッションの座り心地を調査した場合、主観評価の際に被験者が頻繁に身体を動かし、座り直しを何度も行う場面が観察される。このことから、座り心地を評価する上では身体を動かしたときの感覚も非常に重要であることが考えられる。

本研究では、着座状態が変化する状況の顕著な事例として着座する瞬間の座り込み動作における座り心地に着目しており、その際の体圧分布のパターン変動と座り心地との対応関係について調査した。



### 1.5 研究の流れ

本研究では，図1.1の流れに従い研究を進める．

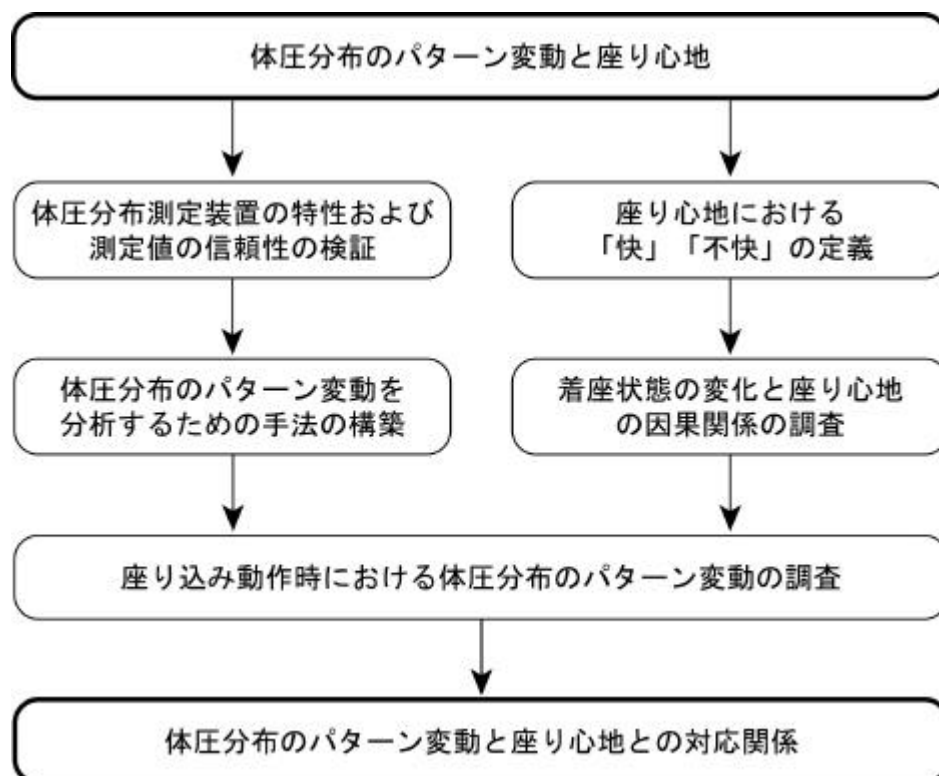


図1.1 本研究の流れ

### 1.6 論文の構成

本論文は6章構成である．1章では研究背景や研究目的，先行研究より得られた知見および研究意義について述べた．

2章の前半では，本研究で使用した体圧分布測定装置（Force Sensing Array）のシステム概要やヒステリシス特性，クリープ特性について記述し，特にヒステリシス特性については実際に測定を行い，測定値の信頼性について検討した．また，本研究では，体圧分布のパターン分類にニューラルネットワークの教師なし学習である自己組織化マップを使用した．2章後半では自己組織化マップの概要および本研究における体圧分布の測定値の学習方法や分析方法について記述した．

3章では，座り心地における「快」「不快」についての定義を行った．「快」「不快」の定義については現在でも様々な議論がなされており，明確な定義はされていない．過去に報告された研究をもとに本研究における座り心地の定義を行った．また，座り

直しや姿勢変化などによる着座状態の変化が座り心地の研究において、どのように位置付けられるかを記述した。

4章では、着座状態の変化と座り心地との間の因果関係について、主観評価による調査を行った。座り直しや姿勢変化などの着座状態の変化は座り心地において重要な位置を占めていると考えられる。着座状態の変化は身体の動きに対応しており、身体の動きに関わる要因と座り心地との間の因果関係を調査した。また、調査結果をもとに3章で行った「快」「不快」の定義が妥当であったかの検討も行った。

5章では、着座状態に変化が生じる顕著な事例のひとつとして椅子に着座する瞬間の座り込み動作を取り上げ、その際の体圧分布のパターン変動と座り心地との対応関係について調査を行った。4章で行われた調査は主観評価によるものであり、具体的にどのような着座状態の変化が座り心地に影響するかはわかっていなかった。5章では客観指標として、体圧分布を導入し、体圧分布のパターン変動と座り心地との対応関係について検討を行った。

## 2章 本研究で使用した体圧分布測定装置と分析手法

### 2.1 はじめに

本章の前半では、本研究で使用した体圧分布測定装置（Force Sensing Array）のシステム概要やヒステリシス特性、クリープ特性について記述し、測定装置の信頼性について検討した。また、本研究では、体圧分布のパターン分類にニューラルネットワークの教師なし学習である自己組織化マップを使用した。後半は自己組織化マップの概要および本研究における体圧分布の測定値の学習方法や分析方法について記述する。

### 2.2 体圧分布測定装置

本研究において行われた調査、実験の体圧分布測定には、Force Sensing Array（以下FSA）（VERG Inc., Canada）を使用した（図2.1）。図2.2にFSAのシステム構成を示す。



図2.1 Force Sensing Array (VERG Inc., Canada)

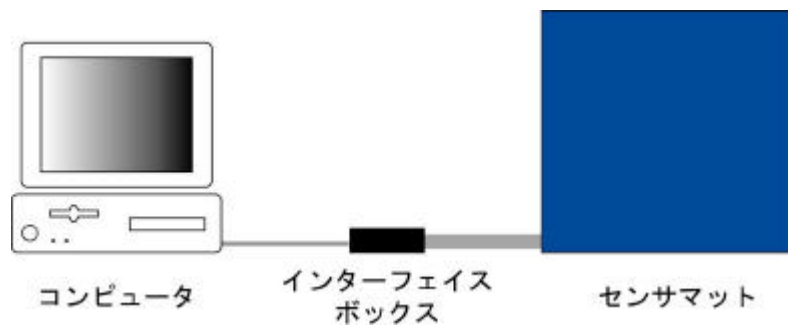


図 2.2 FSA システム構成

センサマットには圧力センサが埋め込まれており、検出された圧力値がインターフェイスボックスで処理される。デジタル変換された測定値はコンピュータ上に図 2.3 のように表示される。本論文では、上方が臀部、下方が大腿部となるように統一した。カラーバー上に表示された色は、赤色に近いほど圧力値が高く、水色に近いほど圧力値が低いことを示す。なお、カラーバーに表示された数値はその色に対応した圧力値 (mmHg) を示す。

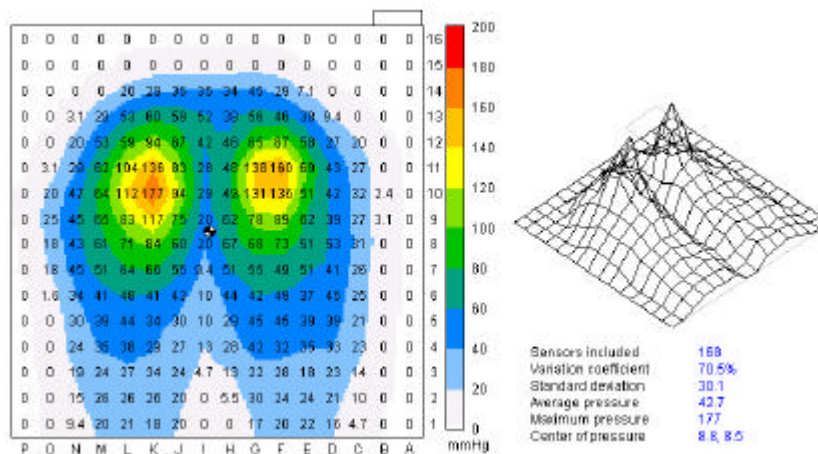


図 2.3 FSA による体圧分布の測定結果の表示

### 2.2.1 センサ構造

図2.4のように数本の導電性のフィルムを重ね合わせ、その重なりあった部分に圧抵抗素材 (Piezo resistive material) を挟んだ構造になっている。圧力がかかることによって、導電性が変化し、その電気抵抗を測ることで圧力を測定する仕組みとなっている。なお、FSAにおいてコンピュータ上に表示される圧力の単位は mmHg (水銀柱ミリメートル) である。センサマットのサイズは 53cm×53cm で、厚みは 0.36mm である。センサマットには 16×16 個の圧力センサが埋め込まれており、圧力センサ1個のサイズは 24.5mm×24.5mm で、0~200mmHg の圧力値の測定ができる。

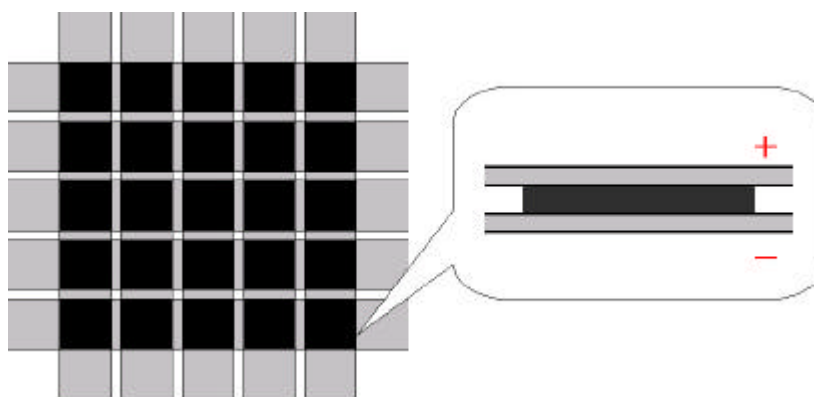


図2.4 FSA センサ構造

### 2.2.2 ヒステリシス特性

体圧分布測定装置のほとんどがこの特性を持っている。圧力が上昇しているときは実際の圧力よりも少し低い値を示し、圧力が下降しているときには少し高い値を示す (図2.5 参照)。

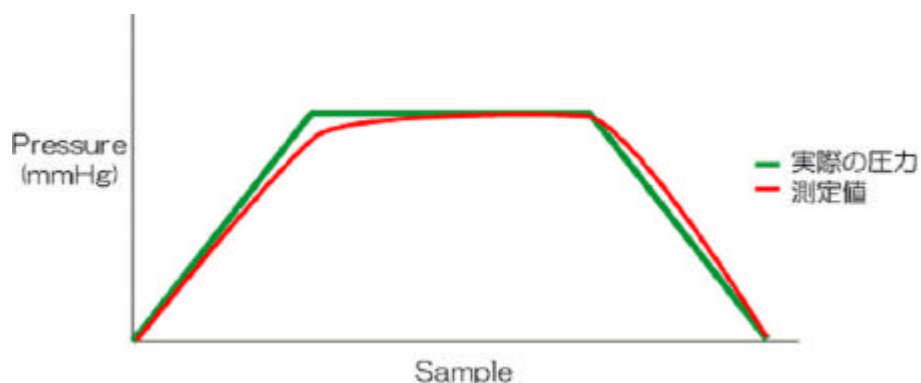


図2.5 ヒステリシス特性

### 2.2.3 クリープ特性

ヒステリシス特性と同様にほとんど全ての体圧分布測定装置にある特性である。時間経過とともに実際は圧力が上がっていないにもかかわらず、徐々に測定値が上がるという現象である（図2.6参照）。その理由としては、センサ自体の温度依存性、歪みなどが考えられる。

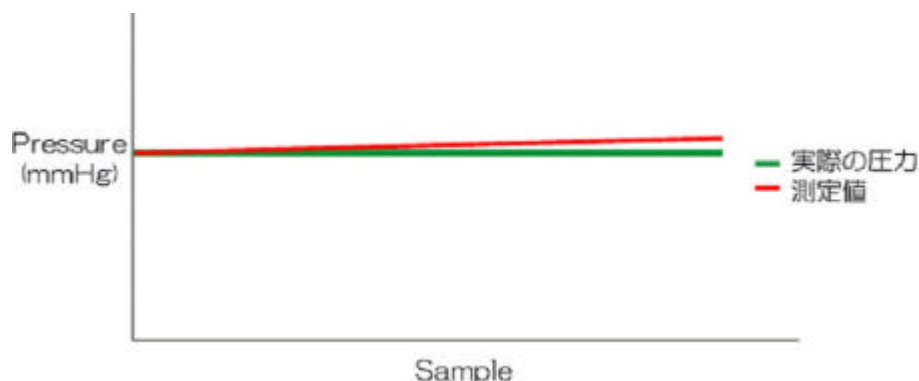


図2.6 クリープ特性

### 2.2.4 本研究における測定結果の取り扱い

本研究においては、特に体圧分布のヒステリシス特性について考慮しなくてはならない。そこで実際に測定を行い測定値の信頼性について検討した。図2.7，図2.8は16×16個の圧力センサの平均値と実際の圧力値を比較したものである。

FSAにおいて、実際にヒステリシス特性が確認された。実際の圧力値との相関は非常に高く（ $r=0.993$ ， $p<0.01$ ），大きな問題は見られなかったものの、最大で23mmHgの誤差が確認された。さらに圧力センサ間の標準偏差が小さく、ヒステリシス特性の圧力センサによる違いは確認されなかった。このことから、測定結果を絶対値として扱うには補正が必要となり、相対値として取り扱うには問題がないことが確認された。

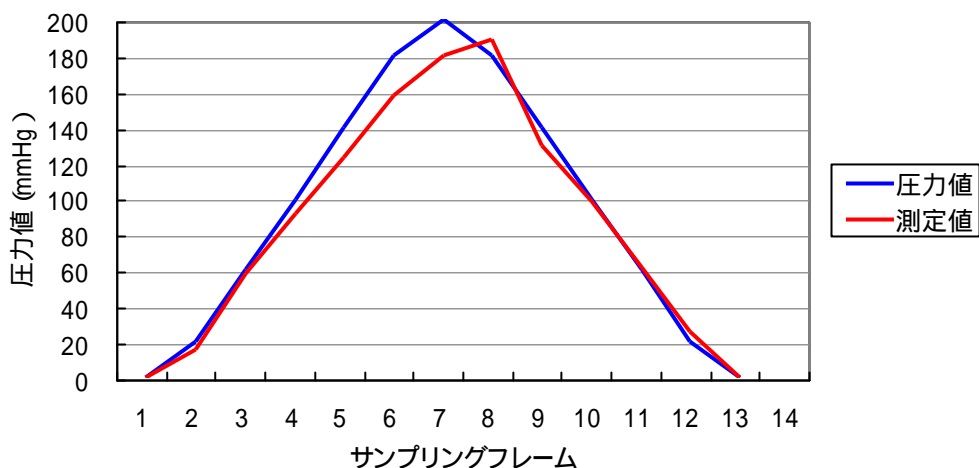


図2.7 FSA ヒステリシス特性値

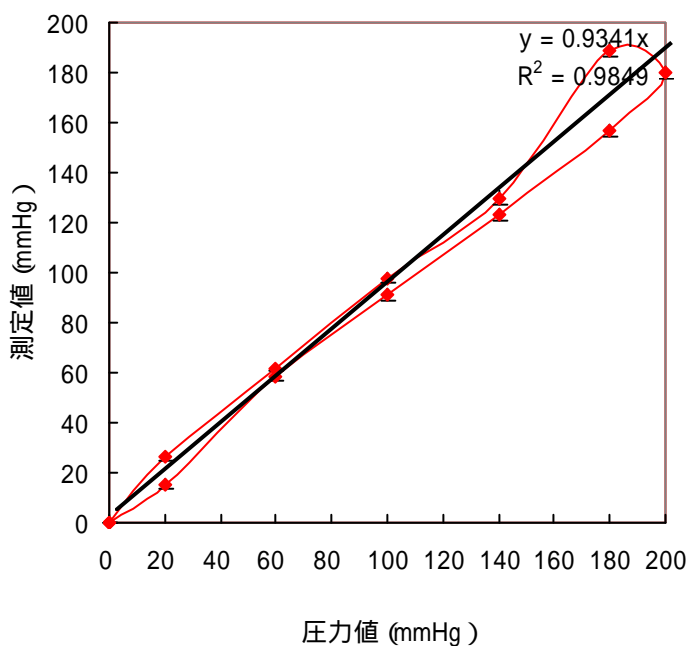


図2.8 FSA ヒステリシス特性の検証

本研究では、体圧分布と座り心地との間の関連性について検討を行うが、その際に測定結果を絶対値と相対値のどちらを扱うか検討を行う必要がある。

温熱感を例にあげると、温熱的な「快」「不快」は絶対値のみに規定されるわけではないことが先行研究によりわかっている[19][20]。同じ20の室内温度でも、30を超える屋外から20の室内に入れば、心地よい(涼しい)と感じ、20の室内にそ

のまま居続ければ、次第に寒気を感じるようになる。このように、身体の温度と気温との相対的な関係によって快適性が規定される[21]。

座り心地についても、過去に行われた研究より得られた知見が相対値によるものが多いことから、「快」「不快」の感覚は絶対値のみに規定されず、座骨結節部や大腿部などの圧力比が大きく影響していることが考えられる。

以上のことから、本研究では体圧分布の測定結果は絶対値ではなく、相対値として扱うこととした。

### 2.3 自己組織化マップ[22][23]

従来の分析手法は座面・背面それぞれを分割し、それぞれの領域における圧力値や圧力の分散等を分析する手法[14][15][16]が多い。その分割方法は様々であるが、主に臀部、大腿部、座面側部、腰部、背部、背面側部に分割されている。また、坐骨結節部や腰部などの身体の主要な部分にかかる圧力を分析し評価を行う手法[6]も多く使用されている。これらの手法は体圧分布のパターン変化を把握することが困難であるため、本研究では、体圧分布測定のデータは自己組織化マップを用いて分類を行った[24]。この手法を用いることで分析結果を測定データと同じ配列で表示することが可能であり、パターン変化の把握がしやすいという利点がある。

ニューラルネットワークは、教師あり学習と教師なし学習の2つに大きく分類される。前者はどのグループに属するかという教師データを与えて分類方法や解がすでにわかっている場合に有効であるが、実際には教師データがわからない場合も少なくない。本研究においては体圧分布を分類する際の適した教師データがないため、教師なし学習である Kohonen の自己組織化マップ(Self-organizing map: SOM)を使用した。

SOM の大きな特徴は、教師となるデータがなくても、入力データの隠れた特徴を抽出して自動的に学習が行える点にある。また、このモデルは配置されたニューロンの競合により勝者ニューロンだけでなくその近傍ニューロンも同時に学習し、似た入力同士をネットワーク上の近くに配置するという特徴をもつ。

SOM は入力データの分類や、特徴抽出に利用されることが多く、分類方法が現状でははっきりとしていない体圧分布を分類する際の特徴抽出を行う上でも有効であると考えられる。以下に本研究で使用した Kohonen の自己組織化マップのアルゴリズムについて記述する。



## 2.3.1 Kohonen の学習則

一つの入力データに対し、多数のニューロンが反応、そのうち最も強い出力しているニューロンが勝ち残り、学習はそのニューロンに対してのみ作用し結合重みが修正される。入力ベクトルが投入されると(2.1)式により内部ポテンシャルが計算される。

$$net_i^j = \frac{1}{D(w_i, x_j)} \quad (2.1)$$

$net_i^j$  : 内部ポテンシャル

$D$  : 距離関数

$w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$  : 結合重みベクトル

$x_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$  : 入力データベクトル

距離関数  $D$  はユークリッド距離であり、入力データベクトルと結合重みベクトルの非類似度を表す。距離関数  $D$  は(2.2)式により求められる。

$$D(w_i, x_j) = |w_i - x_j| \quad (2.2)$$

この内部ポテンシャルが最大となる、つまり入力データベクトルと結合重みベクトルの距離が最小となるニューロンを見つけ出す。この作用を競合といい、勝ち残ったニューロンのことを勝者ニューロンと言う。

そして、(2.3)式により勝者ニューロンの結合重みベクトルは更新される。

$$w_c^{new} = w_c^{old} + \mathbf{a}(x_j - w_c^{old}) \quad (2.3)$$

は学習率係数であり、初期値は0.8程度とし、学習が進むにつれ小さくしていく。

このようにしてできた結合重みベクトルをその部分空間に含まれる入力データを代表とするテンプレートと見なす。

### 2.3.2 自己組織化マップのアルゴリズム

自己組織化マップは図2.9に示すような入力層と競合層の2層構造のネットワークである。

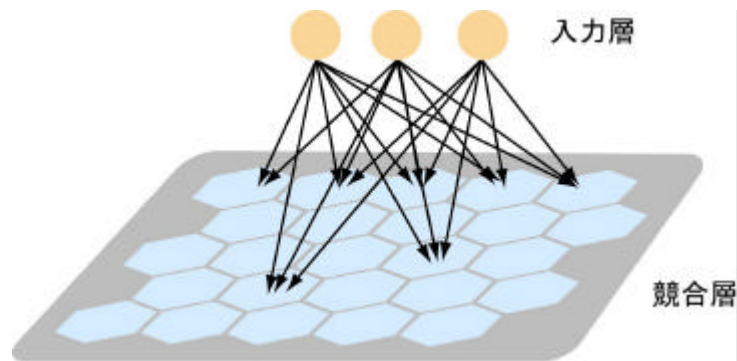


図2.9 自己組織化マップの構造

自己組織化マップではニューロンが1次元あるいは2次元の位置関係をもち，競合に勝ち残ったニューロンだけでなくその近傍に位置するニューロンも含め集団で学習が行われる。

学習方式は設定されたニューロンが2次元の六角形格子状に配置され，入力データは全てのニューロンに結合されている．結合重みの初期値は乱数によって与えられ，入力ベクトルが投入されると(2.4)式に従い勝者ニューロン $c$ が決定される。

$$net_c = \max \{net_i : i=1,2,\dots,m\} \quad (2.4)$$

そして勝者ニューロンは近傍のニューロン集合を巻き込みながら，Kohonenの学習則によって，(2.5)式に従い結合重みベクトルの更新を行う。

$$w_i(t+1) = w_i(t) + h_{ci}(t)[x_i(t) - w_i(t)] \quad (2.5)$$

ここで， $t$ は学習回数を示す． $h_{ci}$ は近傍関数と呼ばれ，ニューロン $c$ の近傍集合ニューロンを $N_c(t)$ と定義したときに， $i \in N_c(t)$ なら $h_{ci} = a(t)$ ， $i \notin N_c(t)$ なら $h_{ci} = 0$ である．このとき $a(t)$ は学習率係数である．近傍関数は学習の初期は広く，学習の進行とともに狭くなっていく。

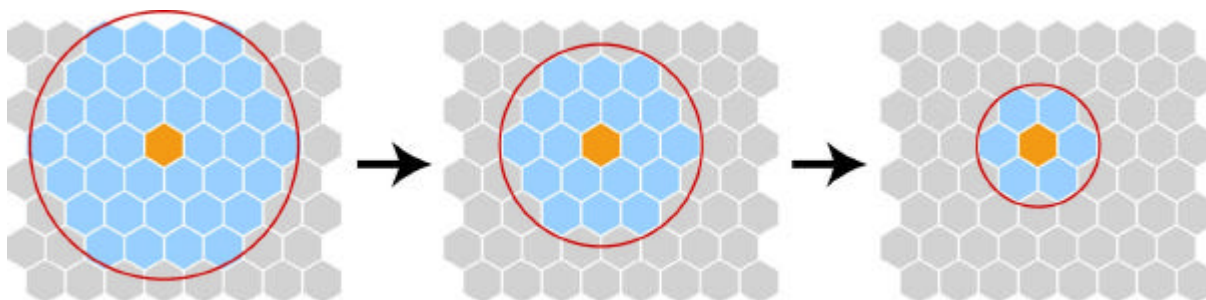


図 2.10 自己組織化マップにおける近傍学習

図 2.10 のオレンジ色のニューロンは勝者ニューロンを表し、水色のニューロンはその近傍のニューロンとみなされたニューロンを表す。学習の初期は近傍関数  $h_{ci}$  が広く、多くのニューロンが更新されるため、おおまかなマップが形成される。学習の進行とともに近傍関数  $h_{ci}$  が狭くなり、勝者ニューロンの近傍とみなされるニューロンが少なくなり、局所的な微調整が進み、空間的な解像度が上がる。近傍関数についてはどのような関数が最適かは明確ではなく、経験に基づくもので決定される。

#### 2.4 自己組織化マップを用いた体圧分布のパターン分類 [24]

体圧分布は複雑な情報をもったデータであり、その分布情報の変化を捉えることは非常に困難である。分布情報の変化を捉えるため、各研究者は体圧分布を領域に分割し、各領域における圧力値等や領域間の圧力比の変化を分析しているが、これらの手法では、分割することにより情報量が減ってしまい、各領域内における分布情報や圧力のかかる位置情報などが失われ、さらにはその分割方法にも課題が残される。分布情報を維持した状態での客観的な分析を行うための新たな手法が必要である。

本研究では、新たな手法としてニューラルネットワークの教師なし学習である自己組織化マップに着目した。この手法を用いることで、大量のデータ分析や複雑なデータの二次元への可視化が可能となり、体圧分布の分布情報を維持した状態での分析を行うことが可能となる。SOM を用いた体圧分布のパターン分類の概念を図 2.11 に示す。

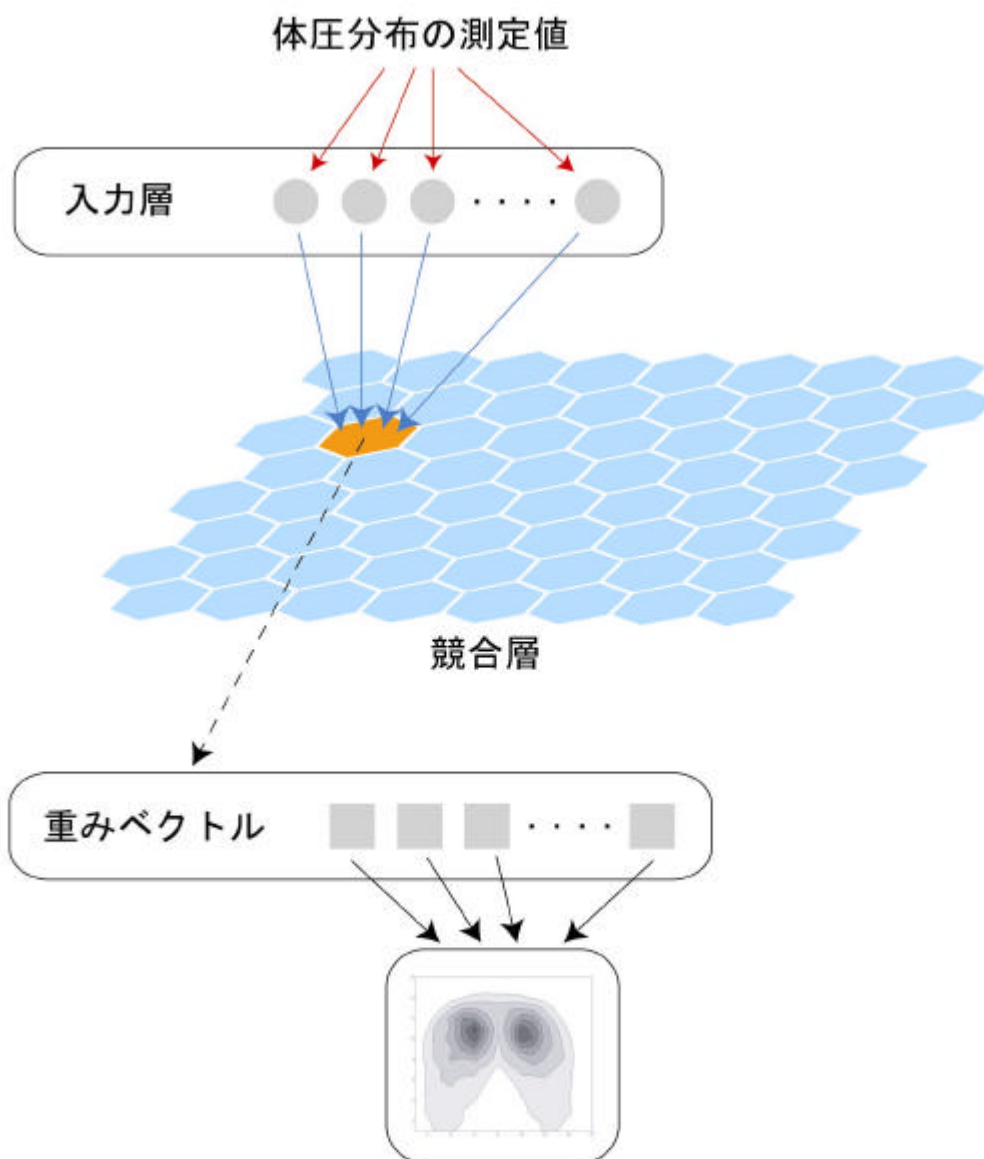


図 2.11 自己組織化マップを用いた体圧分布のパターン分類

学習データにあたる入力層には、体圧分布のサンプリングフレームそれぞれについて最大圧力値が 1 となるように比率に換算したものを使用した。

SOM における学習では、競合に勝ち残った勝者ニューロンが入力データをもとに更新され、さらにはその近傍にあるニューロンも勝者ニューロンにより更新される。このような学習を繰り返すことで、似た値をもつニューロン同士は近くに、似ていない値のニューロン同士は遠くに分布されるような 2 次元のマップが形成される。

学習後のニューロンの重みベクトルは、最終的にそのニューロンに分類された体圧分布の分布形状を示しており、学習後のニューロンの重みベクトルを体圧分布の行列に配列することにより、そのニューロンに分類された体圧分布がどのようなパターンであったかを把握することが可能である。また、ニューロンの遷移を分析することで、体圧分布のパターン変動を把握することが可能となる（図2.12）。

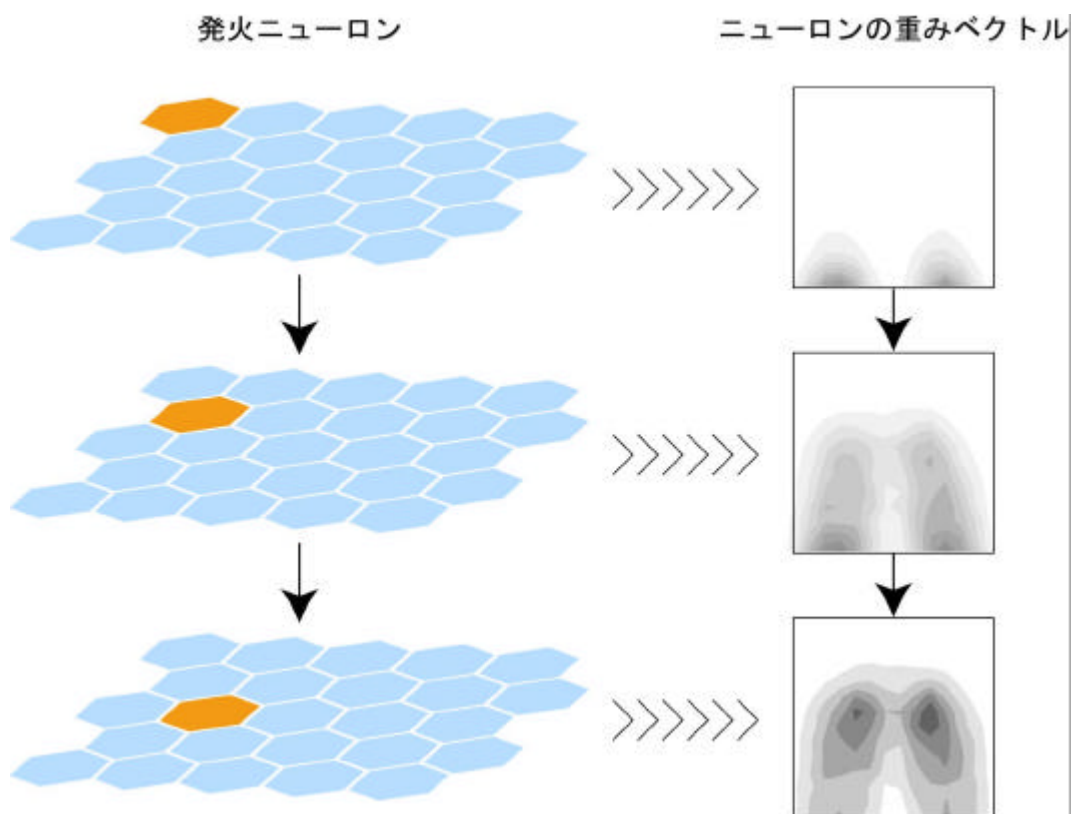


図2.12 ニューロン遷移

## 2.5 本章のまとめ

本研究では、座り込み動作時の体圧分布の変化を測定するため、体圧分布測定装置のヒステリシス特性を検証する必要があった。本研究における体圧分布測定にはFSAを使用した。FSAにおいてもヒステリシス特性が確認された。実際の圧力値との相関は非常に高かったものの、圧力が上昇する際に最大で23mmHgの誤差が確認された。また、256個の圧力センサの間にばらつきはほとんどなく、絶対値の取り扱うには補正が必要となり、相対値としての取り扱いが問題ないことが確認された。また、座り心地における「快」「不快」の感覚は絶対値のみに規定されず、座骨結節部や大腿部

などの圧力比が大きく影響していることが考えられたことから、本研究では、体圧分布の測定結果は圧力の最大値が1となるように比率に換算し、相対値として扱うこととする。

本章の後半では、自己組織化マップを用いた体圧分布のパターン分類について記述した。従来の手法では体圧分布のパターン変化を捉えることが困難であったが、この手法を用いることにより、体圧分布の分布情報を維持した状態での分析を行うことが可能となり、体圧分布のパターン変化を捉えることが可能となった。学習後のニューロンの重みベクトルは、分類された体圧分布の抽象的な分布パターンを示し、ニューロン遷移は体圧分布のパターン変動を表す。本研究においては、体圧分布のパターン変動を学習後のニューロンをもとに分析した。

### 3章 座り心地における「快」「不快」の定義

#### 3.1 はじめに

座り心地の定義については現在でも様々な議論がなされており、明確な定義はされていない。本章では過去に報告された研究をもとに本研究における座り心地の定義を行う。また、座り直しや姿勢変化などによる着座状態の変化が座り心地の研究において、どのように位置付けられるかを記述する。

#### 3.2 先行研究

椅子の座り心地には様々な要因が関わっている。山崎 [25] は座り心地の要因を図 3.1 のようにまとめ、座り心地における重要な因子として着座姿勢を挙げ、椅子に対しては支持性に、作業に対しては動作性に、人体に対しては生体内付加に影響することを述べている。この中でも支持性は姿勢を安定させ、最適な状態を維持する上で、動作性は作業のしやすさや身体を動かし筋骨格系の負担を軽減させる上で重要であることが知られており [5]、現在では、定量的な評価も可能となってきている。しかし、座り心地の要因とそれに対する評価基準の多様性のため、一般的、絶対的な設計指針を得ることが困難であり、このことがさらに多数の個別的評価を必要とする要因ともなっていた [25]。

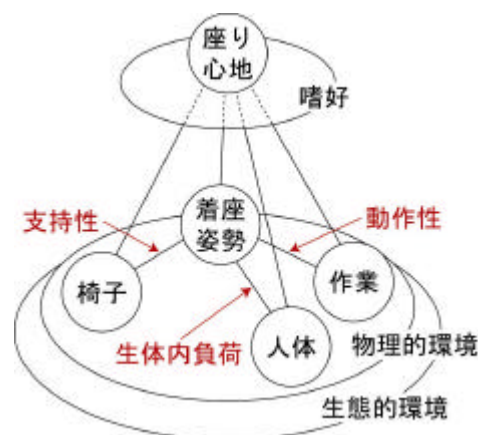


図 3.1 座り心地の要因 [22]

このような背景には、座り心地（快適性）の定義がされていなかったこともあり、Herzberg[26]は快適性を不快の少ない状態（absence of discomfort）であると定義した。この定義をもとに快適性の最低限の保証を与える考え方が広まり、設計に関わる様々な知見を得ることが可能となった。しかし、座り心地の定義については現在でも様々な議論が成されており[7][27]、「快」「不快」をそれぞれ同次元の対極にあるものとした定義と、それぞれ別の発生要因をもつ二次元のものとした定義が存在している。このような状況で、Helanderらは「快」「不快」に関わる様々な項目についてアンケート調査を行い、因子抽出を行った。その結果「快（comfort）」「不快（discomfort）」は別の因子として抽出され、被験者が「快」「不快」を個別に評価可能であったことを述べた[28]。

近年では、「快」「不快」を個別に扱う考え方が広く認められてきており、Loozeらは、Helanderによる調査結果や、先行研究より得られた知見をもとに図3.2のような論理モデルを提案した。モデルは人、椅子、状況の3つのレベルに分けて考えられており、それぞれのレベルにおいて椅子の座り心地に関わる重要な因子を挙げて、その因果関係を整理している[7]。

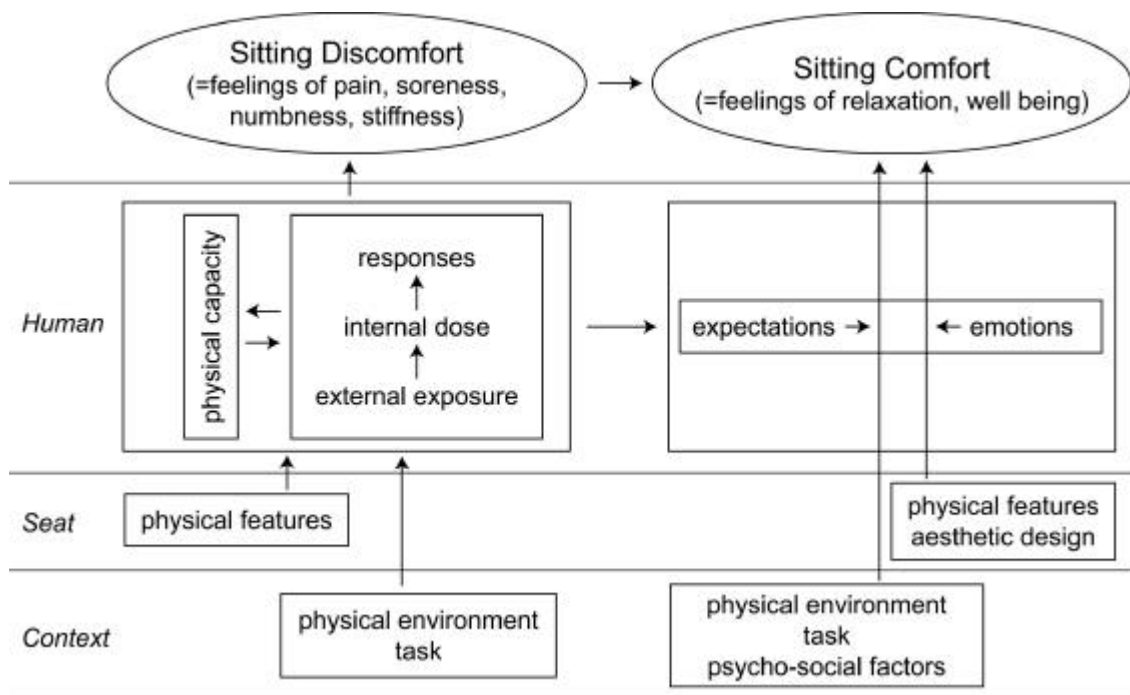


図3.2 椅子の座り心地に関する論理モデル[7]



また、鈴木 [ 21 ] は快適性について、具体的な例を挙げて述べている。快適性には「快 (pleasantness)」と「適 (neutral)」の2側面があると述べており、不快な刺激のない状態を「適」、より積極的に好ましい状態を「快」と定義している(表3.1)。好ましくない騒音、振動、悪臭などを取り除くことが「適」状態を実現することであり、BGM、芳香剤、映像、その他の付加サービスを用いてより積極的な対処を行うのが「快」環境の実現に相当するとしている。

表3.1 快適性の2側面 [ 21 ]

	適 (neutral)	快 (pleasantness)
呼び方	・消極的快適性 ・あたりまえ品質	・積極的快適性 ・魅力的品質
性質	・不快要因の除去 ・ホメオスタシス ・知覚されない	・快適環境の創造 ・付加価値 (サービス) ・非日常的
具体例	・不快な振動, 騒音, 悪臭の除去 ・温度, 湿度, 照度などの最適化	・マッサージ, BGM, 芳香剤など ・照明, 色彩, 映像などの積極的活用 ・遊園地のアトラクション

### 3.3 本研究における座り心地の定義

本研究では、「快」「不快」を別の発生要因をもつ、それぞれ独立した感覚と定義した。先行研究をもとに自身の考察を加え、定義したものを表3.2にまとめる。「快」はリラックス、気持ちよさ、心地よさ、幸福感、充実感、満足感などの感覚であり、「不快」は痛み、痺れ、無感覚な状態、違和感などの感覚で代表される。

表3.2 本研究における「快」「不快」の定義

	快 (comfort)	不快 (discomfort)
代表される感覚	リラックス 気持ちよさ, 心地よさ 幸福感, 充実感, 満足感	痛み, 痺れ, 無感覚な状態 違和感, 疲労
感覚が生じる際の主な状況	着座状態の変化	着座状態の維持 着座状態の変化
関連する椅子の設計要因	ロッキングなどの可変機能 クッションのヒスロス特性	寸法, 形状, クッションの硬度 その他

詳細について次節で触れるが、「快」は着座状態に変化があった際に生じる感覚であり、椅子の設計に関わる要因としてはロッキング機能などの可変機能やクッションのヒスロス特性などの物理的な変化を伴う要因が挙げられる。また、「不快」については、特に決まった状況で発生する感覚ではないと考えられる。しかし、着座環境においては、着座状態の維持の際に重要視されるべき要因である。椅子の設計に関わる要因の全てが発生要因として考えられる。

### 3.4 着座状態の変化と座り心地

鈴木は温熱環境を例に「快」「不快」について以下のように述べている。サウナ室で身体が十分に温まった後に入る水風呂の場合は、極端に熱い条件から冷たい条件に接するため、変化量が極めて大きく、強い「快」環境を生み出すことになり、入った直後は気持ちよかった水風呂もそのまま入り続けると身体が冷えて不快となる[26]。このことは、「快」環境は主に状態が変化したときに感じる感覚であることを示しており、座り心地における「快」には着座状態の変化が影響していると考えられる。

着座時における状態の変化は、着座の瞬間、姿勢変化、座り直し、立ち上がる瞬間などの身体の動きと対応している(図3.3)。

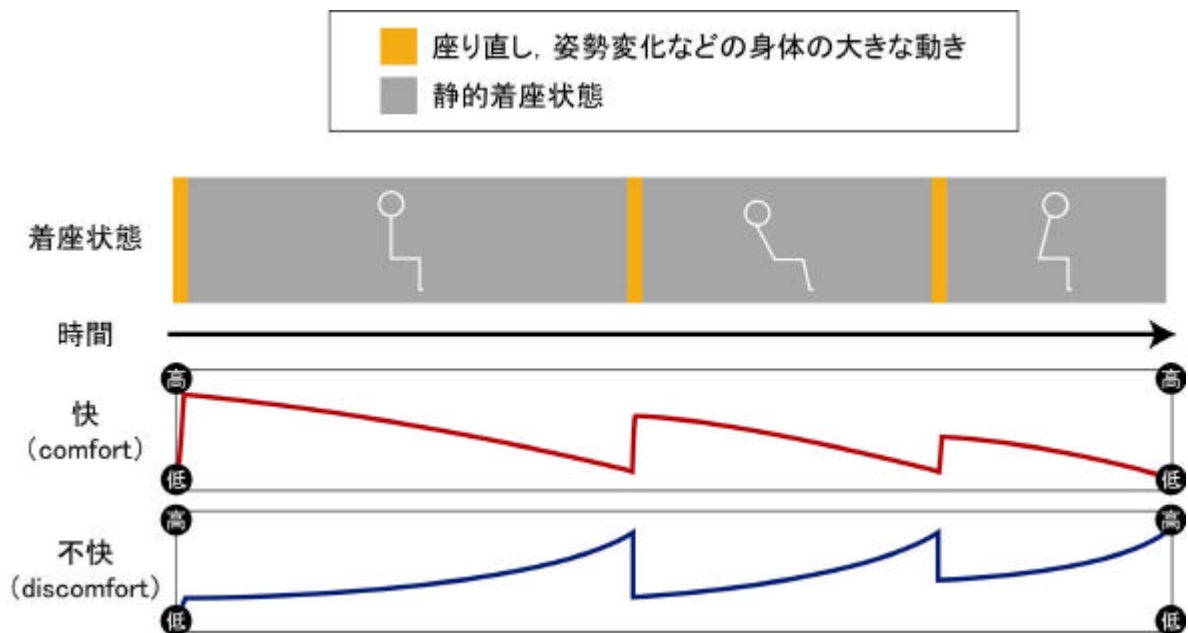


図3.3 着座状態の変化と座り心地の「快」「不快」

短時間の静的な状態では、「適」状態であった場合でも、時間が経過するにつれて、人体の生理・心理状態は変化するし、物理的な環境も変化する(クッション性の低下,)。そのため時間経過とともに「適」状態ではなくなり、不快感を生じる。その際に健常者であれば姿勢変化や座り直しを行い、再度「適」状態に近づくように人間側が調節を行う。姿勢変化や座り直しなどの身体の大きな動きが生じた際、着座環境にも大きな変化が生じる。その際にちょうどサウナで充分温まった後の水風呂のように快を感じると考えられる。そのため、姿勢変化や座り直しは筋骨格系の負担を軽減させ、不快を減少させるのみではなく、着座環境において快を感じる場面である。逆に、着座環境が維持されている状態である静的着座時においては、うれしいことがあった、楽しいことがあった、などの外的要因の変化を除き、快を感じる場面はほとんどないことが考えられる。

不快を無くすことは、「適」状態を長時間維持することにもつながり、設計にとっては非常に重要なものであるが、人体の生理的・心理的状态は変化するし、そもそも着座姿勢自体が人体にとっては負荷の高い姿勢であるため、姿勢を完全に固めない限りは身体の疲労により姿勢のくずれが生じて「適」状態を維持できなくなる。

そのため、姿勢変化や座り直しなどの着座状態に変化が生じた際の「快」や「不快」についての研究は、より快適な着座環境を実現する上で重要な位置をしめていると考えられる。

### 3.5 座り心地の研究における今後の研究課題

座り心地については、「不快」が「快」に比べて定量化がしやすいと考えられているため、「不快」に関する研究は多いが、「快」に関する研究は「快」「不快」を明確に定義していない研究を除いては報告されていない。「不快」を取り除くことは、最低限の座り心地を保障するために重要であるが、より快適な椅子・シート開発のためには「快」に関する研究も行われることが望ましい。しかし、座り心地における「快」については、現在までその発生要因がわかっていなかった。その原因の一つは従来の研究が静的な状態で行われていることが多く、着座状態が変化する環境での研究が少なかったことが挙げられる。

もちろん、こうした背景には、快よりも不快の除去が優先されるべきであることが最大の理由として挙げられるが、近年では、人間工学的な知見をもとに作られた椅子

も多く販売されており、金銭的な問題を残すものの高額の椅子では不快はほとんど感じなくなっている。このような状況では不快の発生要因はむしろユーザの身体特性に起因しており、身体特性に合わせて調節を行うことで問題となるほどの不快は発生しなくなっている。今後の椅子研究の課題として重要となってくるのは、椅子を身体特性に合わせて調節する方法や、座り直しや姿勢変化などの着座状態に変化が生じた際の「快」「不快」に関する研究であると考えられる。

### 3.6 本章のまとめ

本研究では、「快」「不快」を別の発生要因を持つそれぞれ別の感覚であると定義した。「快」は主に着座状態に変化があった際に生じる感覚であり、静的着座時にはほとんど知覚されない。従来の研究は静的着座状態での測定が多かったが、近年では着座状態に変化が生じる環境での測定も増加してきている。しかし、これらの研究はいずれも「不快」に着目したものであり、「快」についてはほとんど報告されていない。

本研究では着座状態に変化が生じた際の座り心地について、「快」に着目した研究を行う。しかし、「快」「不快」はそれぞれ別の2次元の因子であるものの、両者を切り離して考えることはできない。次章では、着座状態に変化が生じる環境において、身体の動きに関わる要因と座り心地の「快」「不快」について、その因果関係を明らかにするための調査を行う。

## 4章 着座状態の変化と座り心地の因果関係

### 4.1 はじめに

同じ姿勢を続けることは困難であり、長時間座り続けると必ず座り直しや姿勢変化が起きる [29]。また、前章で述べたように、座り直しや姿勢変化などの着座状態の変化は「不快」の軽減や「快」を知覚する場面であり、座り心地において重要な位置を占めていると考えられる。着座状態の変化は身体の動きに対応しており、身体の動かしやすさや身体を動かした時の椅子の支持性、また、身体を動かした際の姿勢の安定感などが重要な因子として挙げられる [25]。本章では、身体の動かしやすさを「動作性」、身体を動かした際の身体の支持性および姿勢の安定感を「安定性」と定義し、着座状態に変化が生じる環境において、身体の動きに関わる要因と座り心地の「快」「不快」について、その因果関係を明らかにするための調査を行う。

### 4.2 調査目的

着座状態に変化が生じる環境での「動作性」や「安定性」に着目し、これらの要因と座り心地との間の因果関係を明らかにすることを目的とする。また、結果をもとに3章で行った座り心地の「快」「不快」の定義の妥当性について検討を行う。

### 4.3 調査方法

22～48歳の11名の被験者（男性8名、女性3名）を対象に60分間のコンピュータ作業を行ってもらい、座り心地に関するアンケート調査を行ってもらった。調査の際は、6種類のオフィスチェアを使用した。座面高は作業面に対して被験者が最も負担を感じない高さに調節した。姿勢変化や座り直しなどの身体の動きは自由に行ってもらった。

#### 4.3.1 アンケート調査

アンケート項目は、それぞれ7段階の評価尺度で、評点は最高得点を7、最低得点

を1とした。また、アンケート調査は20分毎に実施した。調査の際に使用したアンケート用紙を付録1として添付する。なお、「快」「不快」については、座面・背面で個別に知覚されると考えられたことから、アンケートの際は座面・背面それぞれについて調査を行った。

#### 4.3.2 共分散構造分析 [30] ~ [33]

アンケート結果は共分散構造分析により分析を行った。一般的に行われる因子分析がアンケート結果などをもとに探索的に行われるのに対し、共分散構造分析は確認的に行われるものであり、調査計画段階で考察した仮説モデルがデータと一致しているかを統計的に検証することができる。

本章では、「安定性」「動作性」「疲労感」「不快感」「心地よさ」を潜在因子として、これらの因子について、仮説モデルを作成した。また、共分散構造分析には、SPSSおよびAmosを使用した。

#### 4.3.3 仮説モデル

身体の安定感に関わる因子を「安定性」、身体の動かしやすさに関わる因子を「動作性」と定義した。本研究では座り心地を「快」「不快」の2次元の因子と仮定し、快、不快はそれぞれ「心地よさ」「不快感」として、さらに、時間経過に伴う身体の負担や疲労を「疲労感」と定義した。痛みなどの不快感はその瞬間に感じる感覚であり座り直しや姿勢変化により減少し、頻繁に変化する感覚であると考えられる。また、疲労は不快の一つの感覚であると考えられるが、蓄積されることで生じる感覚であり、座り直しや姿勢変化などの影響が小さいと考えられる。これらの感覚はそれぞれ別に知覚することが可能と考えられるため、疲労は不快の一要因であるという定義は変えないものの、本章においては、痛みなどの不快感は「不快感」、身体の疲労感については「疲労感」と個別の因子として扱った。

これらの因子について、2通りの仮説モデルを作成し、モデルの適合度を検証した。仮説モデル1は、「心地よさ」「不快感」がそれぞれ別の発生要因を持つと仮定したモデルであり(図4.1)、「安定性」が「心地よさ」に影響を与え、「動作性」が「不快感」に影響を与える。仮説モデル2は、「安定性」「動作性」が共に「心地よさ」「不快感」に影響すると仮定したモデルである(図4.2)。

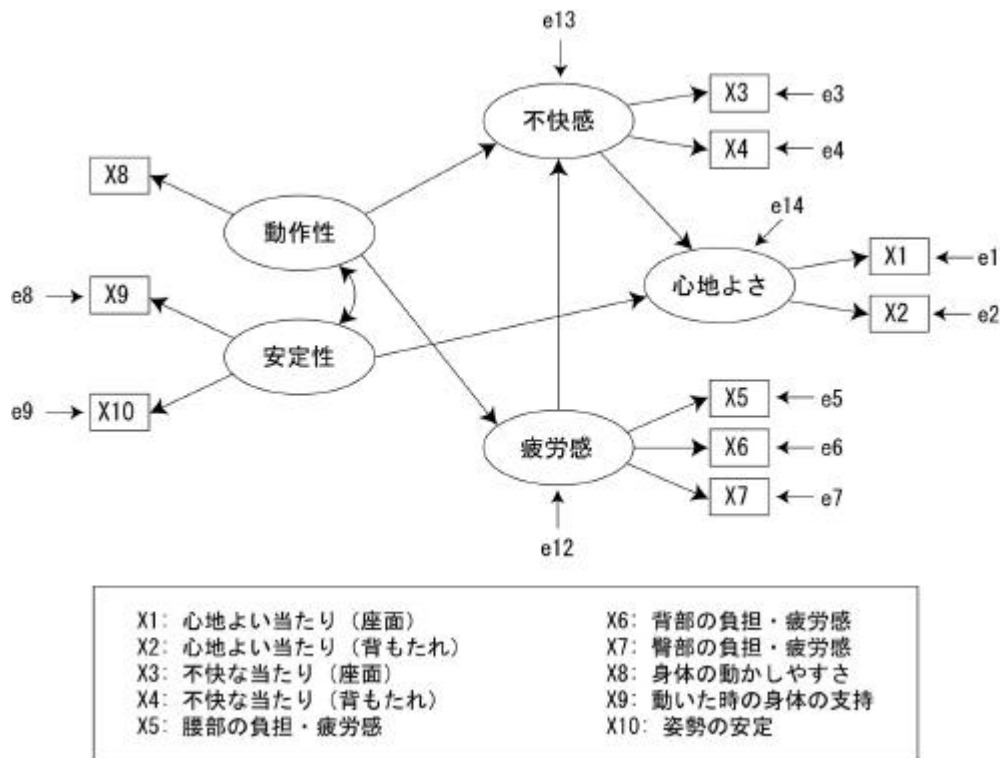


図 4.1 仮説モデル 1

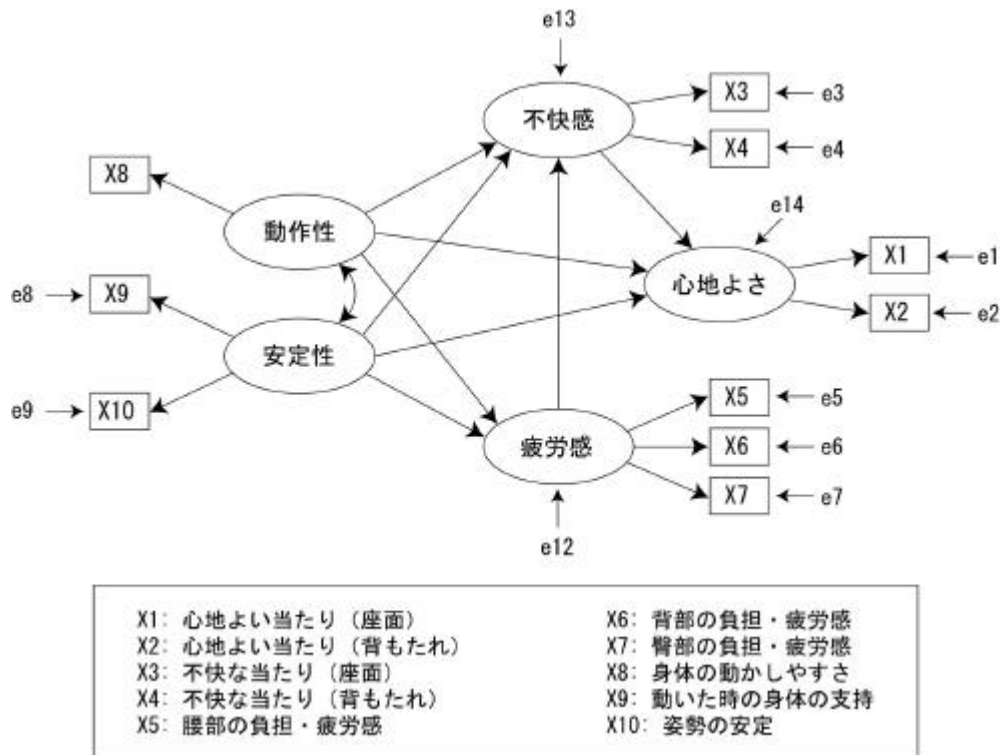


図 4.2 仮説モデル 2

#### 4.4 結果

仮説モデルの適合度を検証し、最良のモデルの選択を行った。また、選択されたモデルについて、その因果関係を示した。

##### 4.4.1 仮説モデルの検証

仮説モデルの適合度指標を表に示す。有意水準を 0.05 としたため、仮説モデル 1 はデータと適合しており ( $p=0.067$ )、モデル 2 はデータと一致していないと判断された ( $p=0.033$ )。仮説モデル 1 の修正を行い、モデル 3 からモデル 14 を作成した。その結果、モデル 3、モデル 4、モデル 5、モデル 6、モデル 14 がデータと適合していると判断された。仮説モデル 3 ~ 14 については付録 2 として添付する。

その後、赤池情報量規準 (AIC) によるモデルの比較を行った。AIC は複数のモデルを比較し、最良のモデルを選択する際によく用いられる指標である。AIC の値が小さいモデルほど優れていると判断される。仮説モデルを比較した結果、仮説モデル 1 の値が最小であるため、最良のモデルと判断された。

表 4.1 仮説モデルの適合度指標

仮説モデル	カイ2乗	P	GFI	AGFI	AIC
モデル1	42.348	0.067	0.825	0.679	92.348
モデル2	42.002	0.033	0.826	0.646	98.002
モデル3	42.329	0.052	0.825	0.668	94.329
モデル4	42.341	0.052	0.825	0.668	94.341
モデル5	42.060	0.055	0.826	0.670	94.060
モデル6	43.804	0.050	0.819	0.669	93.804
モデル7	48.089	0.014	0.801	0.623	100.089
モデル8	42.679	0.049	0.823	0.664	94.679
モデル9	42.646	0.038	0.823	0.653	96.646
モデル10	46.671	0.020	0.817	0.653	98.671
モデル11	44.015	0.037	0.825	0.669	96.015
モデル12	46.671	0.020	0.817	0.653	98.671
モデル13	46.747	0.026	0.817	0.665	96.747
モデル14	42.274	0.053	0.826	0.670	94.274

##### 4.4.2 因果関係

最良のモデルであると判断された仮説モデル 1 について、その因果関係を図 4.3 及び表 4.2 に示す。



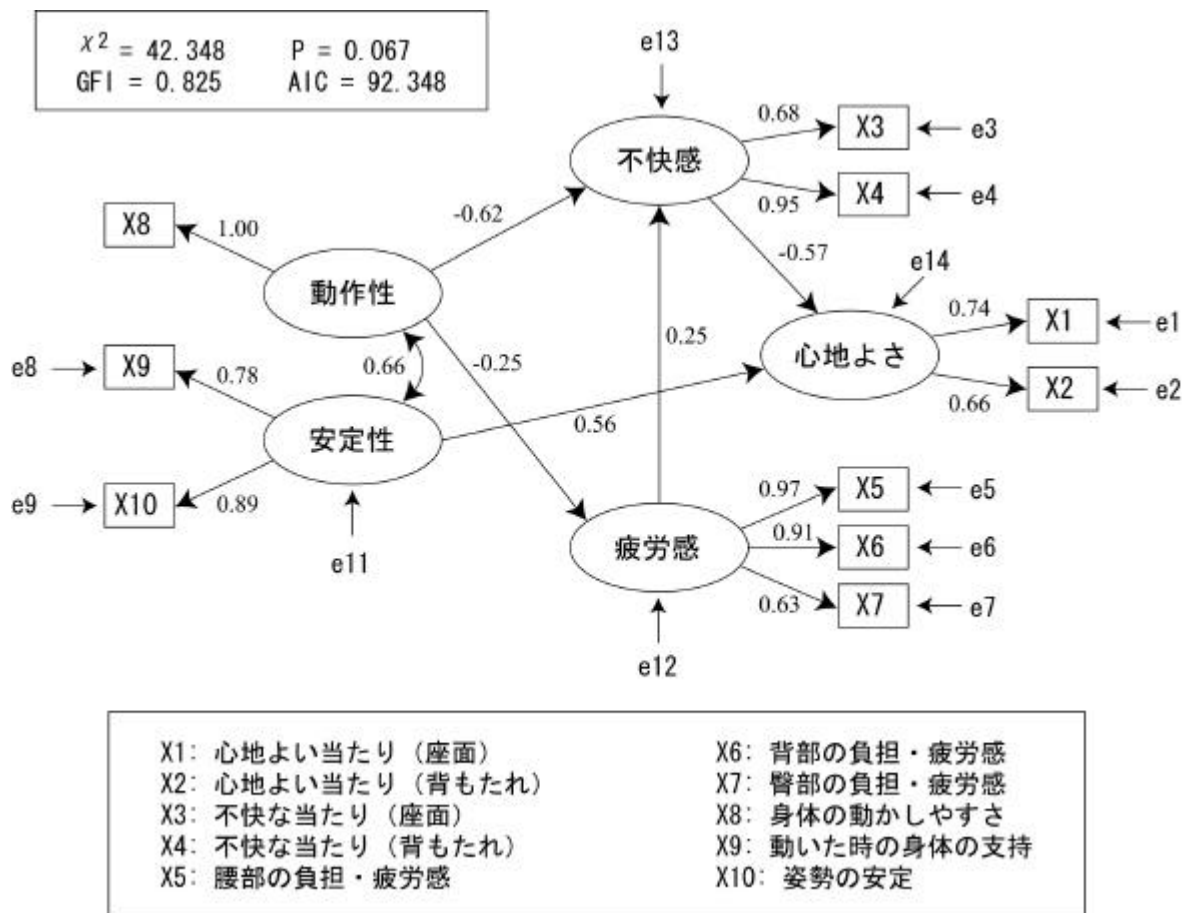


図4.3 座り心地の因果関係

表4.2 総合効果

	動作性	安定性	疲労感	不快感	心地よさ
疲労感	-0.25	0	0	0	0
不快感	-0.684	0	0.25	0	0
心地よさ	0.388	0.559	-0.142	-0.567	0

「心地よさ」に直接の影響を与えるのは「不快感」「安定性」であり、「不快感」を強く知覚すると「心地よさ」が下がり、「安定性」が高いと「心地よさ」が強く知覚されることが確認された。また、「不快感」に直接の影響を与えるのは「疲労感」「動作性」であり、「疲労感」が高くなると「不快感」が高くなり、「動作性」が高いと「不快感」「疲労感」が下がる。「動作性」「疲労感」については「心地よさ」に直接の影響はないものの間接的にはそれぞれ正の影響、負の影響を与えていることが確認された。「動作性」「安定性」については、相互に影響を与え合っている。

#### 4.5 考察

本研究では座り心地を「快」「不快」の2次元の因子と定義し、座り直しや姿勢変化などの身体の動きを伴った環境の中での「動作性」や「安定性」が座り心地に与える影響について調査した。その結果、「動作性」は「不快感」「疲労感」を取り除くために重要な因子であると考えられた。この知見は過去の知見とも一致しており[5]、妥当であることが考えられる。また、「疲労感」は「不快感」にのみ直接の影響を与えており、他の因子との因果関係も同様であったことから、疲労が不快の一要因であるという定義が妥当であることが示唆された。本調査において、「不快感」「疲労感」に正の影響を与える因子はなかったが、これは身体の動きに関わる要因には、不快を軽減させる効果はあるものの、不快を発生する要因はなく、不快の発生は主に静的着座時に起こると考えられる。

「安定性」は着座時の「心地よさ」を実現するために重要な因子であることが確認された。「安定性」に似た言葉として「支持性」が先行研究においてよく注目されたが、支持性は「適」状態を維持し、不快に影響すると考えられていたのに対して、「安定性」は不快に直接の影響はなく、快に直接の影響を与える因子であることが確認された。「支持性」と「安定性」の違いについては、「支持性」が静的着座状態における腰椎の支持を中心として扱っていたのに対して、「安定性」は着座姿勢が変化する状況を加味しており、姿勢変化や座り直しを行う際の身体の支持性や姿勢の安定を考慮したものである。

本調査においては、着座状態が変化する環境において、「不快」の発生要因のみならず、「快」の発生要因の一つを抽出することができた。安定感があること、すなわち、座り直しや姿勢変化などの着座状態の変化が安定して行えること、姿勢が安定することが座り心地における「快」に影響を与えることが考察された。従来、座り心地の「快」についての知見はなく、その発生要因は不明であったが、本研究においては「快」の発生要因の一つを抽出することができた。これは今後の研究において有用な知見であると考えられる。

また、結果からも「快」「不快」が同次元の対極のものではなく、別の発生要因を持つ2次元の因子であるという本研究の定義が妥当であることが示唆された。

## 4.6 本章のまとめ

座り心地における「快」「不快」の定義に明確なものはなく、「快」「不快」をそれぞれ同次元の対極にあるものとするか、それぞれ別の発生要因をもつ二次元のものとして扱うかは今日までに様々な議論がなされているが、先行研究より得られた知見をもとに、本研究では、座り心地を「快」「不快」の2次元の因子と定義し、調査を行った。その結果、姿勢変化などの身体の動きを伴い、着座状態が変化する環境において「快」「不快」には、個別の発生要因があることが確認された。この結果は、「快」「不快」がそれぞれ別の発生要因を持つ2次元の因子であり、本研究における定義が妥当であることを示唆している。動作性が高く、身体の動きが阻害されないものは「不快」を軽減させる効果があり、安定性が高く、着座状態の変化が安定しているものや状態の維持が安定しているものは「心地よさ」を高める効果があることが確認された。

従来、座り心地の「快」についての知見はなく、その発生要因は不明であったが、本研究においては「快」の発生要因の一つを抽出することができた。これは今後の研究においての有用な知見であると考えられる。

## 5章 座り込み動作時の体圧分布のパターン変動と座り心地

### 5.1 はじめに

着座状態の変化は「不快」の軽減や「快」を知覚する場面であり、その変化の状態により、「快」「不快」それぞれに影響を与える要因が個別にあることが確認された。動作性が高く、身体の動きが阻害されないものは「不快」を軽減させる効果があり、安定性が高く、着座状態の変化が安定しているものや状態の維持が安定しているものは「心地よさ」を高める効果があることが確認された。しかし、具体的にどのような変化が「快」「不快」に影響するかはわかっておらず、さらなる調査の必要がある。

本章では、着座状態に変化が生じる顕著な事例のひとつとして椅子に着座する瞬間の座り込み動作を取り上げ、そのときの椅子と人体との接触状態の変化と座り心地との対応関係について調査を行った。座り込み動作時の接触状態の変化は椅子の第一印象を決めるものであり、座り心地と深い関係があることが考えられる。

### 5.2 調査目的

座り込み動作時における体圧分布のパターン変動を調査し、座り心地との関連性を検討することを目的とする。

### 5.3 調査方法

硬さの違う6種類のクッションに着座してもらい、その中で最も座り心地が良いと感じたものについて、座り心地に関するアンケート調査および体圧分布測定を行った。クッション選定および測定の際、ポケットの中のものは外に出してもらい、座面高は被験者の下腿高に合わせて理論値に調節した[34]。また、着座を行う際は手を軽く膝の上に置き、腕の力はあまり使用しないようにしてもらった。

### 5.3.1 被験者

210名（男性162名，女性48名）の被験者を対象とした．図5.1に被験者の身長分布，図5.2に被験者の体重の分布を示した．

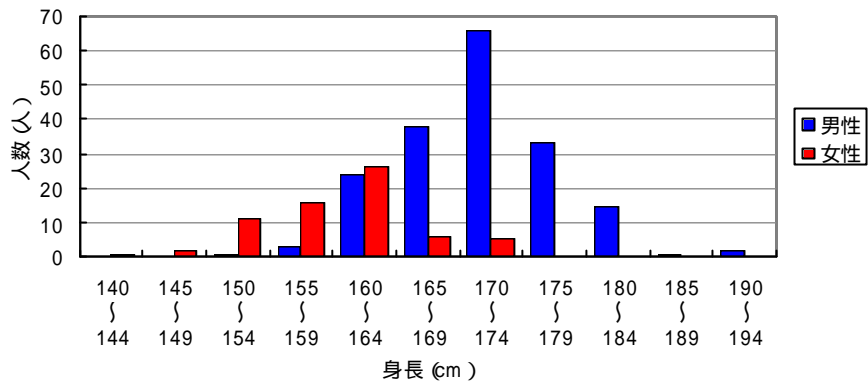


図5.1 被験者の身長分布のヒストグラム

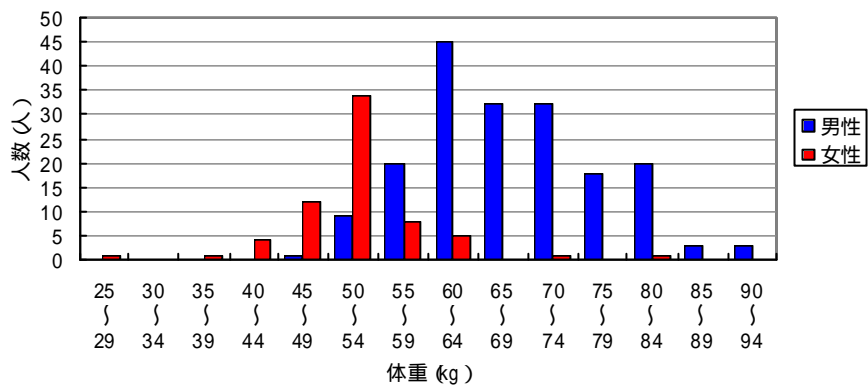


図5.2 被験者の体重分布のヒストグラム

### 5.3.2 アンケート調査

アンケート調査については「硬い感じ」「軟らかい感じ」「跳ね返る感じ」「底につく感じ」「不快な感じ」「心地よい感じ」のそれぞれの項目について7段階の評価尺度で評価してもらった．評点は最高得点を7とし，最低得点を1とした．調査の際に使用したアンケート用紙を付録3として添付する．

## 5.3.3 体圧分布測定

体圧分布測定には、Force Sensing Array (VERG Inc., Canada) を使用し、身体の一部がクッションに接触した瞬間から目視により体圧分布が安定するまでを 14Hz のサンプリング周波数で測定した。測定の際は座面前縁部に合わせてセンサマットを設置した。また、体圧分布の測定結果は自己組織化マップを用いてパターン分類を行い、体圧分布のパターン変化に相当するニューロン間の遷移を分析した。

## 5.4 アンケートの集計結果

アンケートの集計結果を以下に示す。本研究においては、特に座り込み動作時の心地よさに着目し、調査時に 6 種類の中から最も心地よいと感じたものについてアンケート調査および体圧分布測定を行った。そのため、「心地よい感じ」の評点の高い被験者が多かったが、心地よさと同時に不快を感じている被験者や不快を感じていないものの「心地よい感じ」の評点の低い被験者も多かった。この結果をもとに座り心地と体圧分布のパターン変動との対応関係を調査した。

表 5.1 アンケート集計結果

		不快な感じ							合計
		評点=1	評点=2	評点=3	評点=4	評点=5	評点=6	評点=7	
心地よい感じ	評点=1	0	0	0	0	0	0	0	0
	評点=2	3	0	1	0	0	0	1	5
	評点=3	3	3	0	0	0	0	0	6
	評点=4	11	7	7	4	2	0	0	31
	評点=5	15	15	8	0	0	0	0	38
	評点=6	38	33	4	1	0	0	0	76
	評点=7	49	4	0	1	0	0	0	54
	合計	119	62	20	6	2	0	1	210

アンケート結果について「心地よい感じ」の評点と「不快な感じ」の評点との相関関係を調べたが、両者に相関はみられなかった ( $r=-0.391$ ,  $p=0.00$ )。図 5.3 に結果を示す。この結果からも不快と快が別の感覚であり、個別に知覚できることを示した。

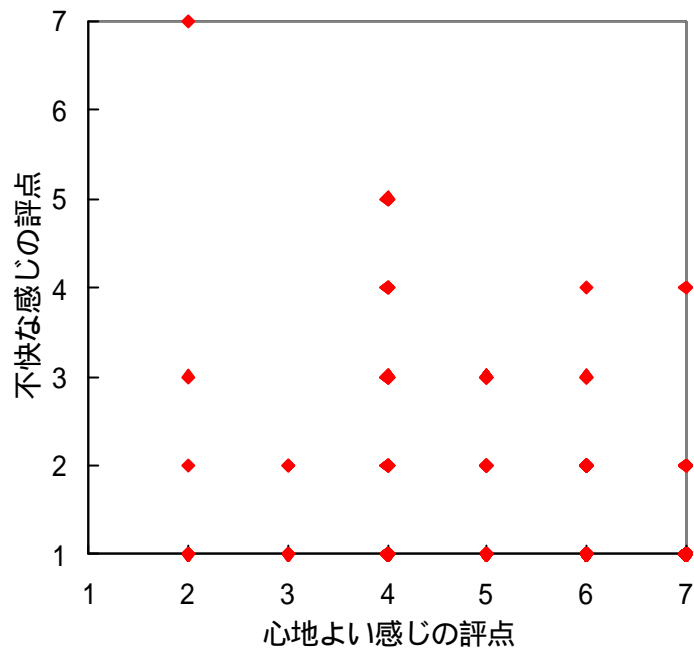


図5.3 「心地よい感じ」と「不快な感じ」の関係

### 5.5 自己組織化マップの学習結果

1000回学習後の結果を以下に示す。学習には5×6のニューロンを用意し、便宜上ニューロン番号は図5.4のように定義した。学習後のニューロンの重みベクトルを図5.5に示す。図5.5に示した学習後のニューロンの重みベクトルは図5.4に示したニューロン番号に対応している。それぞれのニューロンについて、重みベクトルを等高線グラフおよび3次元等高線グラフにしたもの付録4として添付する。

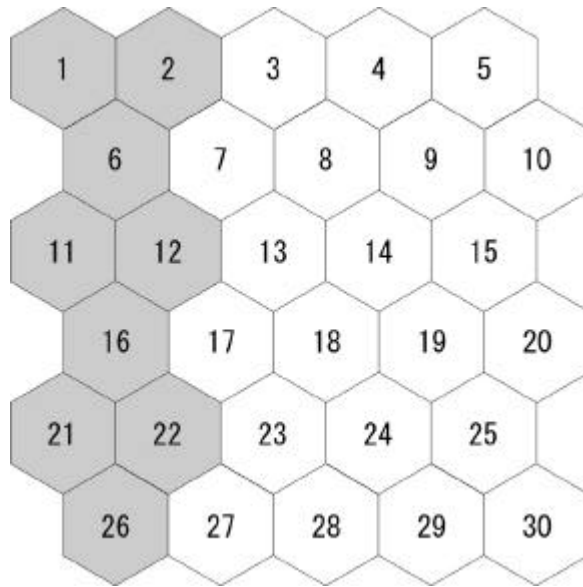


図5.4 ニューロン番号の定義

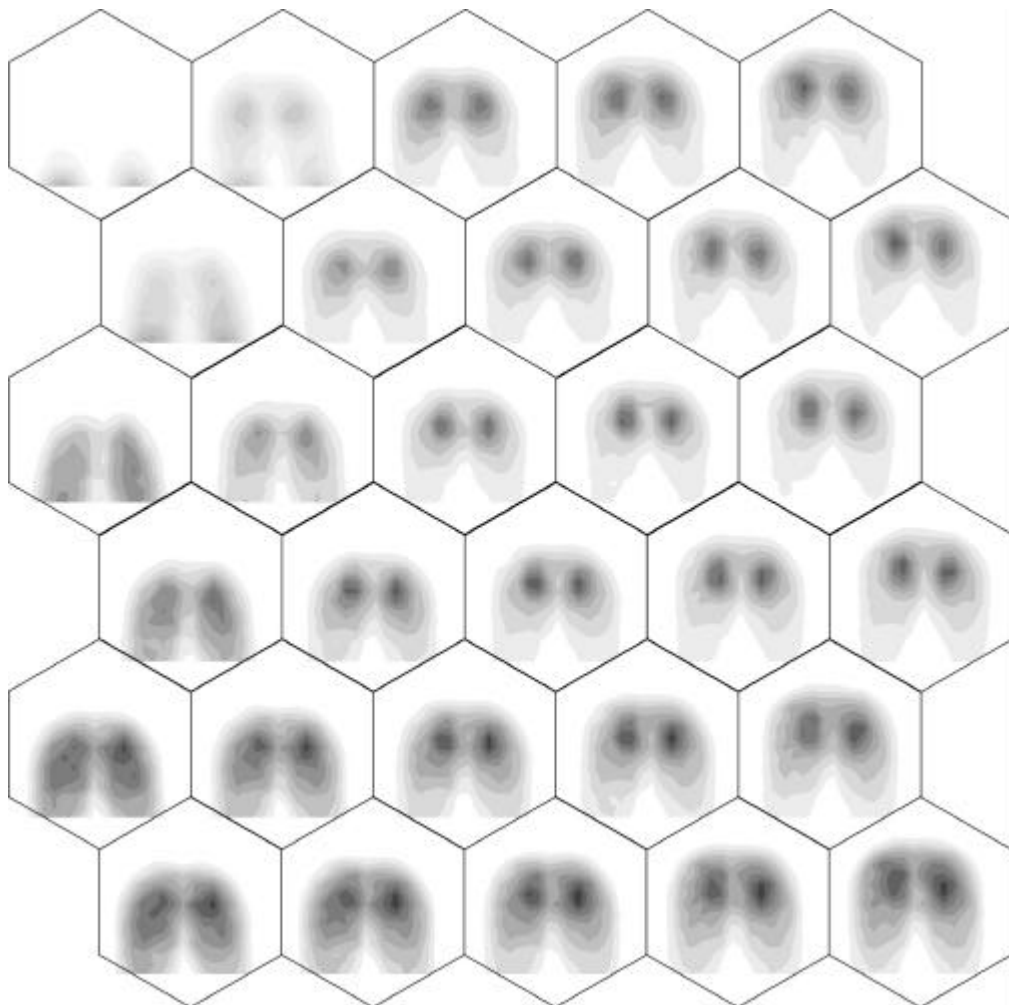


図5.5 学習後のニューロンの重みベクトル



### 5.5.1 着座安定時に発火しなかったニューロン

本研究においては1秒間以上ニューロンの遷移がなかった状態を着座安定時のニューロンと定義した。図5.4で灰色に塗られたニューロンは、着座安定時にはほとんど発火しなかったニューロンであった。これらのニューロンは他のニューロンと比較して特殊なニューロンであり、ピーク値が座骨結節部がないものや座骨結節部付近にあたる部分のピーク値が白色のニューロンに比べて顕著ではない体圧分布がこれらのニューロンを発火させた。

ニューロン番号1, 6, 11は座り込み動作の初期に発火するニューロンで、圧力のピーク値が座骨結節部になく、座面前縁部分にある場合にこれらのニューロンが発火した。その中でも座面前縁部のみに圧力がかかっている場合に1が発火し、6, 11の順に発火することで圧力バランスが後方に以降したことを示した。

ニューロン番号12, 16, 21, 22, 26については、座骨結節部にピーク値があるものの、灰色に塗られていないニューロンと比較してピーク値が座骨結節部の一点に集中していない場合に発火した。

### 5.5.2 着座安定時に発火したニューロン

図5.4で白色に塗られたニューロンについては、同じ行における横方向への遷移は接触面積の増減を表し、右側のニューロンほど座面後方の圧力センサが活動した際に発火することが確認された。縦方向への遷移は13, 14, 15の行を基点にした場合、上方への遷移はピーク値に対する臀部の圧力比の増加、すなわち臀部で圧力が均等に分散されていることを示し、下方への遷移はピーク値に対して全体の圧力比の増加、すなわち座面と人体との接触面の圧力が均等にかかっていることを示していることが確認された。

## 5.6 体圧分布のパターン変動

着座の瞬間における体圧分布のパターン変動と座り心地についての対応関係を調査するため、パターン変動に相当するニューロンの遷移を分析した。ニューロン遷移の基本的な進行方向を図5.6に示した。

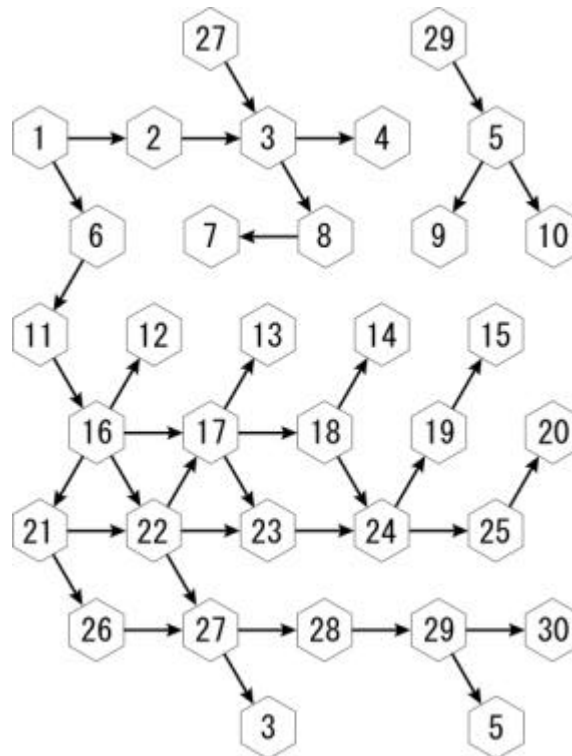


図 5.6 ニューロン遷移の進行方向

ニューロン 1 が発火した後，ニューロン 1，6，11、16 と下方向に遷移していく．その後は，着座安定時に発火するニューロンにより違うが，基本的には右方向の隣り合うニューロンに遷移した．

#### 5.6.1 特徴的なニューロン遷移

以下のような特徴的なニューロン遷移が抽出された（図 5.7）．基本的なニューロン遷移に加えて，これらの特徴的なニューロン遷移が組み合わせることで，座り込み動作時のニューロン遷移を表すことができる．

##### 1) 隣り合わないニューロンへの遷移

基本的には隣り合うニューロンに遷移したが，隣り合わないニューロンへの遷移もみられた．

##### 2) 左方向のニューロンへの遷移（ニューロン遷移の進行方向）

座り込み動作時の初期を除けば，基本的には右方向に遷移したが，左方向への遷移も観察された．

##### 3) 2つのニューロン間の繰り返した遷移

特に着座安定時の直前に多く観察されたが、2つのニューロン間を行き来する遷移であり、一度別のニューロンに遷移した後にすぐにまた同じニューロンが発火するという遷移である。便宜上、この遷移のことを Periodic な遷移と定義する。

4) 3つ以上のニューロン間を循環する遷移

Periodic な遷移と同様に着座安定時直前に多く観察された。他の複数のニューロン間を遷移した後に同じニューロンに戻ってくる遷移である。便宜上、この遷移のことを Loop 遷移と定義する。

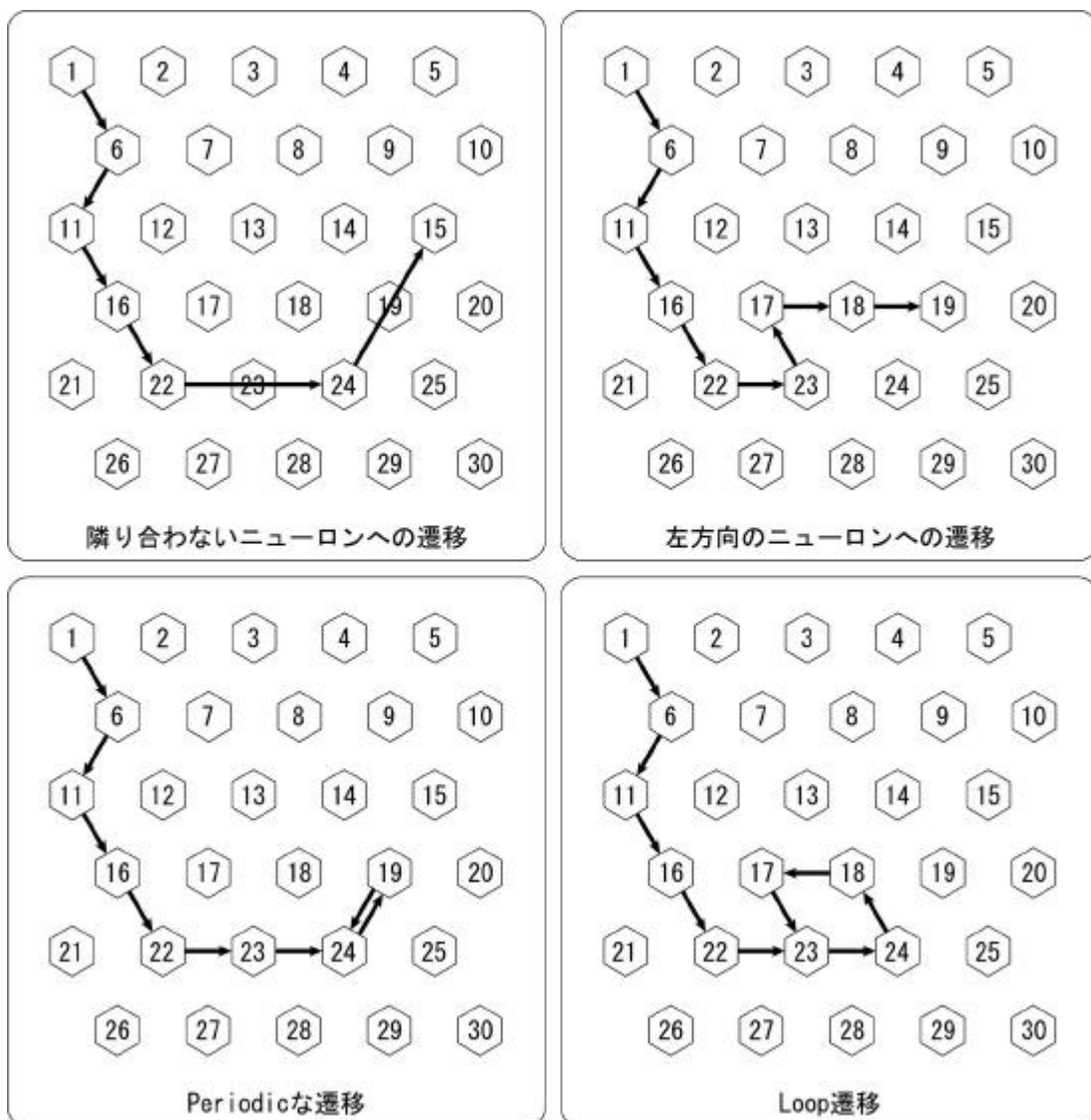


図5.7 特徴的なニューロン遷移

## 5.7 座り心地との対応関係

体圧分布のパターン変動と座り心地との対応関係を調査するため、体圧分布のパターン変動に相当するニューロン遷移を以下のようにカテゴリー化し、多重対応分析である等質性分析を行った。等質性分析とは、カテゴリーの数量化を行い、2次元空間上にまとめるものであり、カテゴリー同士の関係を調べることが可能となる統計手法である。似ているカテゴリー同士は近く、似ていないカテゴリー同士は遠くに配置される。つまり、座り心地の評点に対して近くに配置されたカテゴリーがその評点と似た反応を示しており、対応関係があると言える。

## 5.7.1 カテゴリーデータの作成

表5.2～表5.6に従い、カテゴリーデータを作成した。また、それぞれの項目について、ニューロン遷移とその遷移のあった被験者の人数を図にしたものを付録5として添付する。

表5.2 ニューロン遷移

カテゴリー値	内容
1	隣り合うニューロンへの遷移
2	隣り合わないニューロンへの遷移

表5.3 進行方向

カテゴリー値	内容
1	右方向にのみ遷移
2	左方向への遷移を含む

表5.4 遷移パターン

カテゴリー値	内容
1	特徴的な遷移なし
2	隣り合うニューロン同士のPeriodicな遷移
3	隣り合うニューロン間のLoop遷移
4	隣り合わないニューロン同士のPeriodicな遷移

表5.5 着座安定時直前の進行方向

カテゴリー値	内容
1	右方向への遷移
2	左方向への遷移

表 5.6 着座安定時直前の遷移パターン

カテゴリー値	内容
1	特徴的な遷移なし
2	隣り合うニューロン同士のPeriodicな遷移
3	隣り合わないニューロン同士のPeriodicな遷移
4	隣り合うニューロン間をLoop遷移
5	隣り合わないニューロンを含むLoop遷移
6	隣り合わないニューロンへの遷移

## 5.7.2 心地よい感じとの対応関係

心地よい感じは不快な感じの影響を受けてしまうため、不快な感じのしなかった条件（不快な感じの評点 = 1）のみで心地よい感じとニューロン遷移との間の対応関係を調べた。図 5.8 は等質性分析を行った結果である。また、心地よい感じと着座安定時のニューロンとの対応関係については図 5.9 に示した。

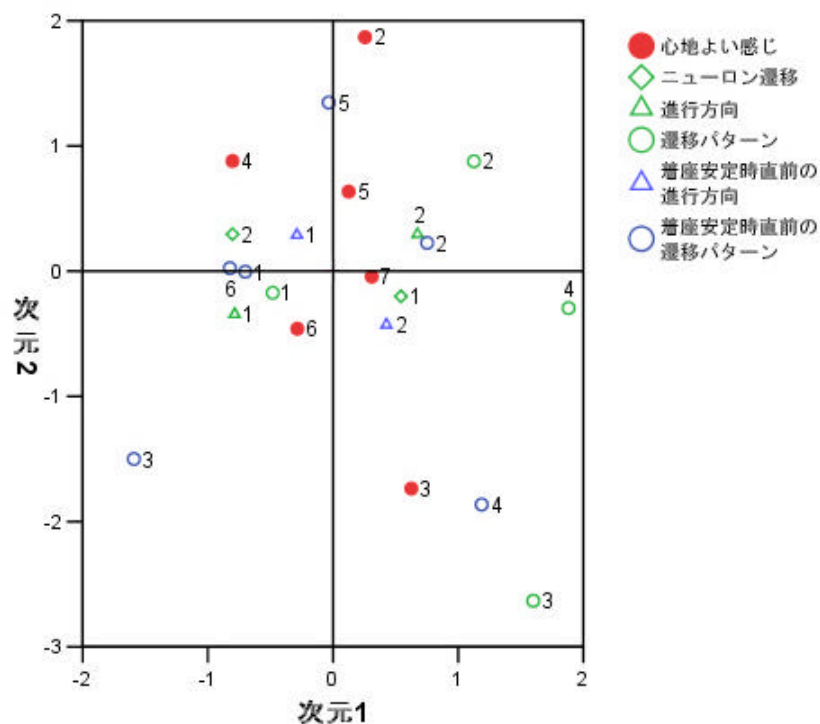


図 5.8 ニューロン遷移と心地よい感じとの対応関係

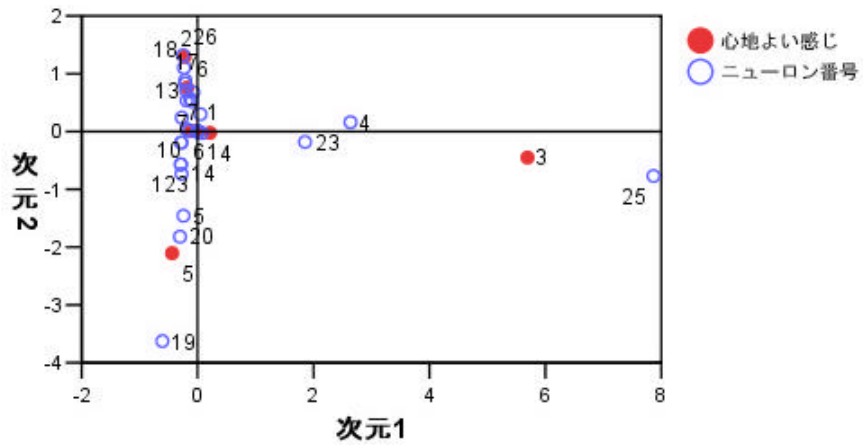


図 5.9 着座安定時のニューロンと心地よい感じとの対応関係

### 5.7.3 不快な感じとの対応関係

不快な感じとニューロン遷移との間の対応関係について等質性分析を行った。結果を図 5.10 に示した。また、不快な感じと着座安定時のニューロンとの対応関係については図 5.11 に示した。

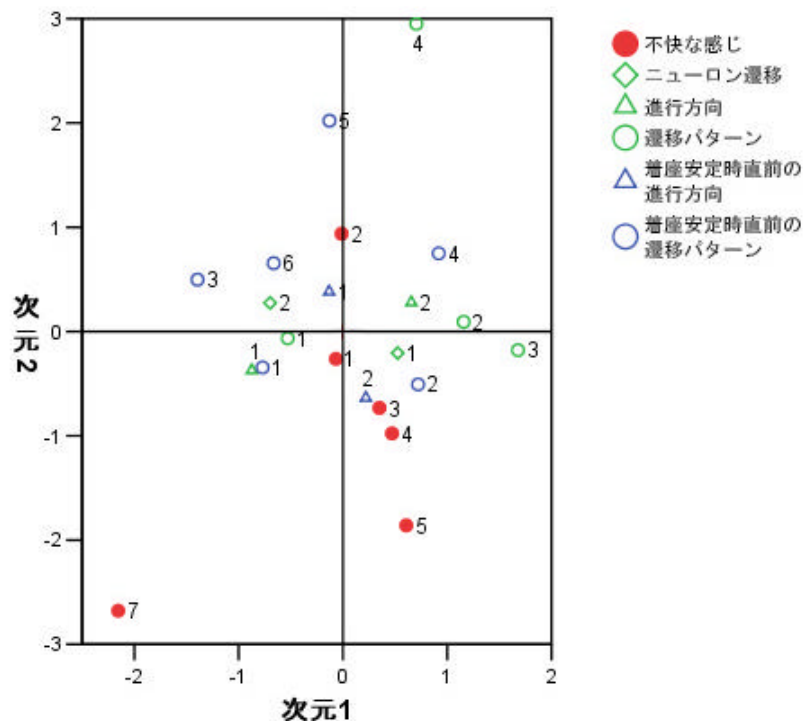


図 5.10 ニューロン遷移と不快な感じとの対応関係

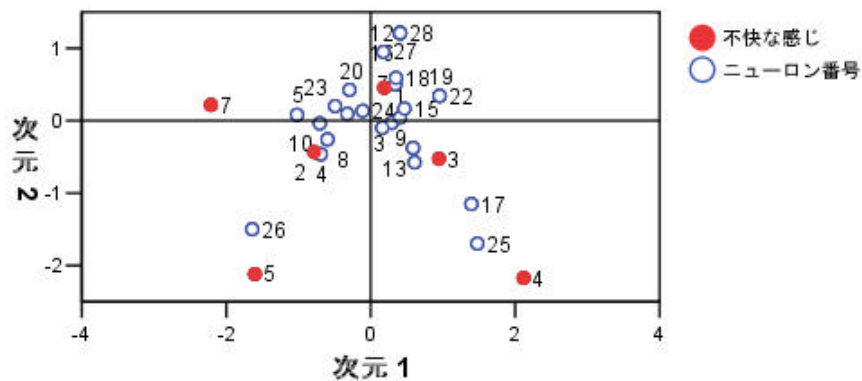


図 5.1.1 着座安定時のニューロンと不快な感じとの対応関係

## 5.8 考察

### 5.8.1 心地よい感じと体圧分布のパターン変動との対応関係

図 5.8 については、原点付近に心地よい感じの評点が高かったものが集中しており、原点付近にプロットされたニューロンの遷移が座り心地における快に影響を与えていることが考察される。特に着座安定時直前のニューロンの遷移パターンは心地よい感じの評点と対応しており、Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）や特徴的な遷移のない条件は評点が高いものと対応しており、Loop 遷移は評点の低いものと対応していることが確認された。検証のため、心地よい感じの評点が高い場合と低い場合で観察された着座安定時直前の遷移パターンを調べた。図 5.12 は心地よい感じの評点が高いとき（評点が 6 または 7）に観察された着座安定時直前の遷移パターンの割合であるが、心地よい感じの評点が高いときには Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）や特徴的な遷移のない条件が 81% を占めた。さらに、Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）と特徴的な遷移のない条件それぞれについてその遷移が観察されたときの評点を比べた結果、Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）については評点が 7 のものが多く、特徴的な遷移のない条件は評点が 6 のものが多かった（図 5.13）。これらことから、心地よい評点の高いものは Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）と特徴的な遷移のない条件と対応していることが示唆され、特に Periodic な遷移（隣り合うニューロン同士）が最も評点が高く、特徴的な遷移のない条件が次いで評点が高い傾向があると考察された。

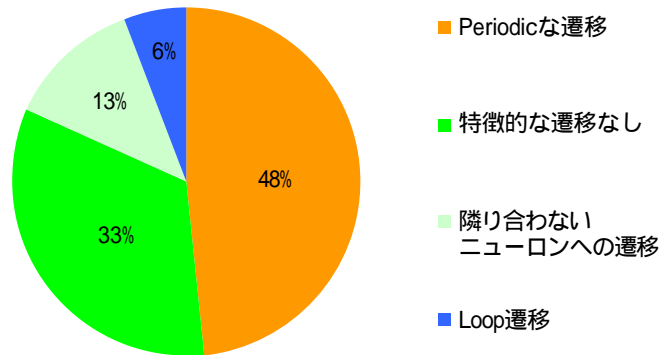


図5.1.2 心地よい感じの評点が高いときの着座安定時直前の遷移パターン

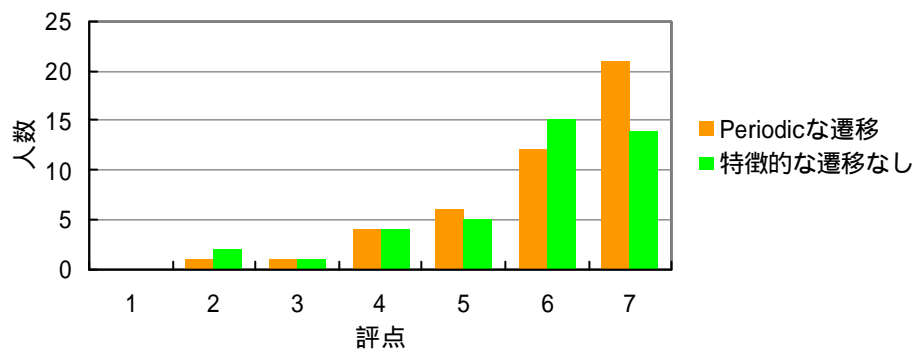


図5.1.3 Periodicな遷移と特徴的な遷移のない条件での心地よい感じの評点

また、図5.1.4は心地よい感じの評点が低いとき（評点が1または2）に観察された着座安定時直前の遷移パターンの割合であるが、Loop 遷移が70%を占めた。このことから、Loop 遷移は評点の低いものと対応していることが示唆された。

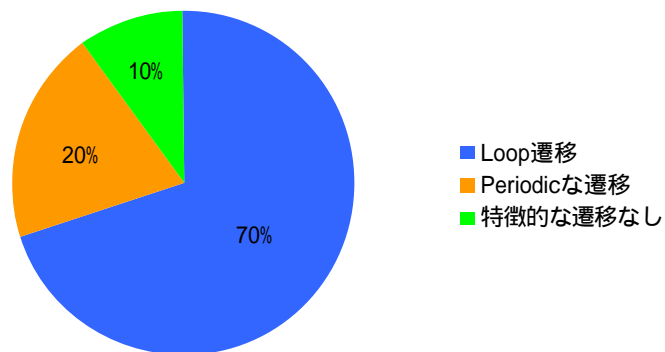


図5.1.4 心地よい感じの評点が低いときの着座安定時直前の遷移パターン



その他にも心地よい感じとニューロン遷移との間に対応関係はみられた。隣り合うニューロンへ遷移したものが、隣り合わないニューロンへ遷移したものに比べ心地よい感じの評点が高いものの近くにプロットされていることから、隣り合うニューロンへ遷移は心地よい感じと対応していると考えられる。また、着座安定時の直前以外での特徴的な遷移は評点の高いものの遠くにプロットされ、特徴的な遷移がなかった条件は近くにプロットされたことから、特徴的な遷移がない条件は評点の高いものと対応しており、特徴的な遷移のある条件は評点の高いものと対応がなく、心地よい感じとあまり対応がないことが考察された。

以上のことをまとめると、隣り合う右方向のニューロンへ遷移し、着座安定時直前に隣り合うニューロン同士の Periodic な遷移をする、もしくは特徴的な遷移がない条件が心地よい感じがすることが確認された。すなわち、体圧分布の重心がスムーズに後方へ移行し、着座安定時直前に、体圧分布の重心が後方へ移行した後に少しだけ前方に重心が戻るもしくはそのまま安定するような変化が心地よいと考えられる。

#### 5.8.2 心地よい感じと着座安定時の体圧分布との対応関係

図5.9については、ほとんどのカテゴリーが一箇所に集中しており、心地よい感じの評点についても評点の高いもの低いものが一点に集中していたことから、心地よい感じと着座安定時のニューロンとの間に特に対応関係がみられなかった。すなわち、着座安定時の体圧分布はあまり心地よい感じに影響を与えないことが考えられた。これは、座り心地における「快」の感覚は、3章で述べた仮説を示唆しており(3.4 着座状態の変化と座り心地)、静的着座状態ではほとんど知覚されない感覚であり、着座状態が変化することで知覚されやすい感覚であることが考えられる。

#### 5.8.3 不快な感じと体圧分布のパターン変動との対応関係

図5.10については、原点付近に不快な感じの評点の低いものがプロットされ、評点の高いものが原点の遠くにプロットされていたが、不快な感じの評点の低いものの近くにほとんどのカテゴリーがプロットされており、不快な感じとニューロン遷移すなわち体圧分布のパターン変動との間には特に対応関係はみられなかった。これは、座り心地における「不快」の感覚は、着座状態が変化する際にはあまり強く知覚されないことを示していると考えられる。

## 5.8.4 不快な感じと着座安定時の体圧分布との対応関係

図5.11については、原点付近に不快な感じの評点の低いものがプロットされ、評点の高いものが原点の遠くにプロットされており、不快な感じの評点の低いものの近くにほとんどのカテゴリーがプロットされていた。しかし、ニューロン番号25,26については不快な感じの評点が高いものの近くにプロットされており、これらのニューロンについては不快な感じとの対応関係がみられた。これらのニューロンに分類された体圧分布であった場合には、「不快」を強く感じる傾向があると考えられる。(図5.15, 図5.16)。また、図5.11の右上の領域にプロットされたニューロン(次元1および次元2の値が両者とも正の値をもつニューロン)は不快な感じの評点の低いものの近くにプロットされ、評点の高いものの遠くにプロットされていることから、不快を感じない条件であることが考えられた。このことから、座り心地における「不快」の感覚は、着座状態が変化する際にはあまり強く知覚されない感覚であり、静的着座時に知覚されやすい感覚であると考えられる。

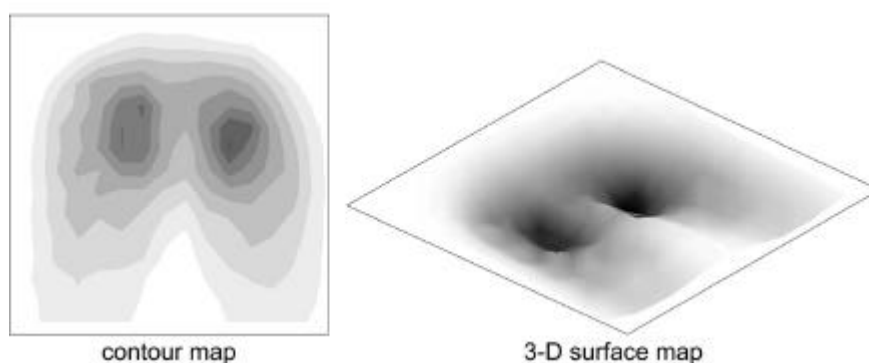


図5.15 ニューロン番号25の重みベクトル

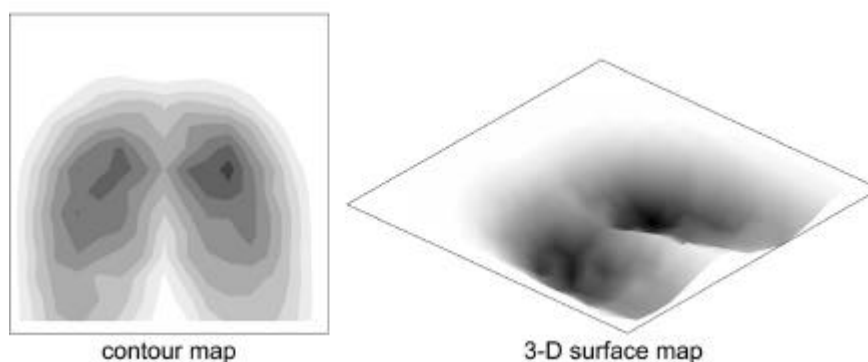


図5.16 ニューロン番号25の重みベクトル

### 5.9 本章のまとめ

座り込み動作時における体圧分布のパターン変動を調査したところ、幾つかの特徴的なパターン変動があることが確認された。また、体圧分布のパターン変動は座り心地の「快」に関係しており、「不快」にはあまり関係がなく、着座安定時における体圧分布は「不快」に関係し、「快」にはあまり関係がないことが結果より考察された。

座り込み動作時の体圧分布のパターン変動については、体圧分布の重心がスムーズに後方へ移行し、着座安定時直前に体圧分布の重心が後方へ移行した後に少しだけ前方に重心が戻るような変化が最も心地がよいと感じ、次に圧分布の重心がスムーズに後方へ移行し、そのまま安定するような変化が心地よいと感じることが考えられた。不快な感じについては着座安定時の体圧分布により決まり、ニューロン番号 25, 26 に示したような体圧分布が不快な感じを与えることが考察された。

不快の発生要因について検討することは最低限の座り心地を保証する上で重要であり、快の発生要因の解明は、より上位の快適性を実現するためには不可欠であると考えられる。本研究では、この両者について体圧分布との対応関係を明らかにすることができた。特に体圧分布のパターン変動が快に与える影響については、従来の研究では得られなかった知見であり、将来において、より快適な椅子やシートを開発するための有用な知見を得ることができたと考えられる。

## 6章 結論

### 6.1 体圧分布の測定結果の取り扱い

体圧分布と座り心地との関連性について、先行研究より得られた知見は体圧分布を相対値として扱ったものが多く、圧力の絶対値と座り心地との間の関連性については、ほとんど確認されなかった。また、体圧分布測定装置のヒステリシス特性を検証した結果、実際の圧力値との相関は非常に高く ( $r=0.993$ ,  $p<0.01$ )、大きな問題は見られなかったものの、最大で 23mmHg の誤差が確認された。圧力センサ間の標準偏差はどの圧力値においても小さく、絶対値として取り扱うには補正が必要となり、相対値としての扱いは問題ないことが確認された。また、先行研究より、座り心地における「快」「不快」の感覚は絶対値のみに規定されず、座骨結節部や大腿部などの圧力比が大きく影響していることが考えられた。

上記のことを考慮した結果、体圧分布の測定結果は相対値として扱うことが望ましいと考えられた。本研究では、体圧分布の測定結果は圧力の最大値が 1 となるように比率に換算し、相対値として扱うこととした。

### 6.2 本研究で使用した分析手法

体圧分布は複雑な情報をもったデータであり、その分布情報の変化を捉えることは非常に困難である。分布情報の変化を捉えるため、各研究者は体圧分布を領域に分割し、各領域における圧力値等や領域間の圧力比の変化を分析しているが、これらの手法では、分割することにより情報量が減ってしまい、各領域内における分布情報や圧力のかかる位置情報などが失われ、さらにはその分割方法にも課題が残される。分布情報を維持した状態での客観的な分析を行うための新たな手法が必要である。

本研究では、新たな手法としてニューラルネットワークの教師なし学習である自己組織化マップに着目した。従来の手法では体圧分布のパターン変化を捉えることが困難であったが、この手法を用いることにより、大量のデータ分析や複雑なデータの二次元への可視化が可能となり、体圧分布のパターン変化を捉えることが可能となった。

学習後のニューロンの重みベクトルは、分類された体圧分布の抽象的な分布パターンを示し、ニューロン遷移は体圧分布のパターン変動を表す。本研究においては、体圧分布のパターン変動を学習後のニューロンの遷移をもとに分析した。

### 6.3 座り心地における「快」「不快」の定義

座り心地における「快」「不快」の定義は、「快」「不快」を同次元の対極の感覚であるか、「快」「不快」を2次元の別の感覚であるかは様々な議論が行われており、明確な定義はされていない。近年では、「快」「不快」を個別に扱う考え方が広く認められてきており、その発生要因についてもモデル化が行われている。本研究では、「快」「不快」を別の発生要因を持つそれぞれ別の感覚であると定義した。

### 6.4 本研究において得られた知見

本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) 着座状態が変化する状況において、座り心地の「快」「不快」はそれぞれ別の発生要因を持ち、個別に知覚が可能である(4章, 5章)。
- 2) 動作性が高く、身体の動きが阻害されない条件は「不快」を軽減させる効果があり、安定性が高く、着座状態の変化が安定している条件や姿勢が安定している条件は「快」を高める効果があることが確認された(4章)。
- 3) 座り込み動作時の体圧分布のパターン変動について、特徴的な変動を抽出することができた。また、特徴的な変動が「快」に影響することが考察された(5章)。
- 4) 体圧分布のパターン変動は「快」に関係しており、「不快」にはあまり関係がなく、着座安定時における体圧分布は「不快」に関係し、「快」にはあまり関係がない(5章)。
- 5) 「快」は座り込み動作時の体圧分布のパターン変動で決まり、体圧分布の重心がスムーズに後方へ移行し、着座安定時直前に、体圧分布の重心が後方へ移行した後に少しかだけ前方に重心が戻るような変化や体圧分布の重心がスムーズに後方へ移行し、そのまま安定するような変化が心地よい感じを与える。着座安定時直前の変化については、最後に体圧分布の重心が少しかだけ前方に戻るような変化がそのまま安定するような変化に比べて、より心地よい感じを与えることが考察された。(5章)。

6)「不快」は着座安定時の体圧分布により決まり，図6.1や図6.2に示されるような体圧分布が不快な感じを与えることが考察された(5章)。

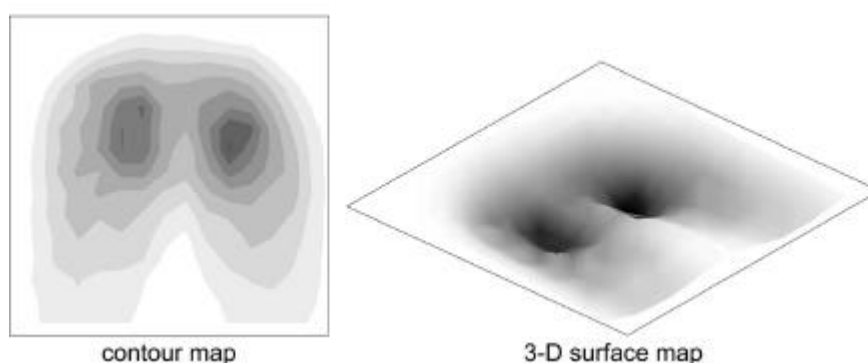


図6.1 ニューロン番号25の重みベクトル

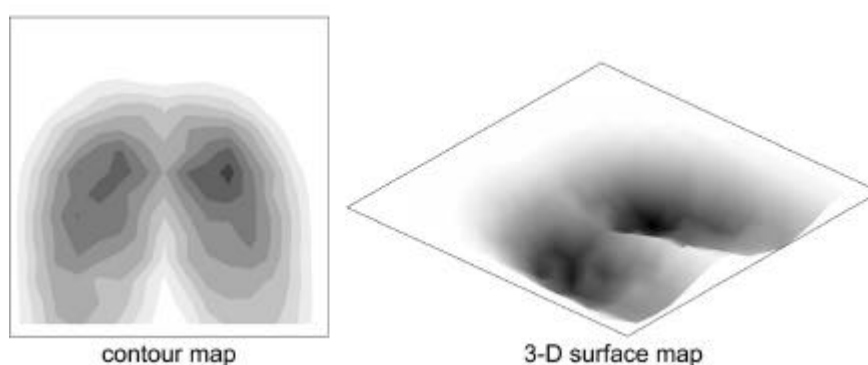


図6.2 ニューロン番号26の重みベクトル

従来の体圧分布に関する研究は小規模なものが多かったが，本研究では，210名の幅広い層の被験者を対象とした大規模な調査であり，得られた知見についても一般解として考えることができると考察される．また，本研究では，体圧分布のパターン変動を分析することで，「快」についての知見を得ることができた．不快の発生要因について検討することは最低限の座り心地を保證する上で重要であり，快の発生要因の解明は，より上位の快適性を実現するためには不可欠であると考えられる．本研究では，この両者について体圧分布との対応関係を明らかにすることができた．特に体圧分布のパターン変動が快に与える影響については，従来の研究では得られなかった知見であり，将来において，より快適な椅子やシートを開発するための有用な知見を得ることができた．

#### 6.4 今後の課題と展望

今後の課題としてはニューラルネットワークの最適化や体圧分布の測定結果の取り扱いが挙げられる。体圧分布測定装置の信頼性や先行研究より得られた知見、自己組織化マップの学習にかかる時間の短縮などを考慮した結果、本研究では体圧分布の測定結果は相対値として扱ったが、測定値の補正や測定装置の改善により測定結果を絶対値として扱うことが可能となり、より定量的な評価を行うことができる。特に不快感については、静的な状態での測定ではあったものの座骨結節部にかかる圧力と不快感との間に負の相関関係がみられたと報告した論文があり[35]、圧力のバランスのみではなく、圧力の絶対値も影響していると考えられることから、今後は測定結果を絶対値として扱うことを検討する必要がある。ニューラルネットワークについては、学習率係数やニューロン数の調整を行い、ネットワークの最適化を行うことで、体圧分布のパターン分類の精度が向上すると考えられる。

また、アンケート調査については改善の余地があり、今後は「快」「不快」感覚の被験者による順応水準の違いや時間経過による順応などについて[36][37]、さらなる考慮を行い、より適切な方法でアンケートを採取することが課題として挙げられる。

近年では、コンピュータ上で体圧分布をシミュレーションする技術も報告されており[38]、この技術を用いることで開発の初期段階で本研究より得られた知見を活用することが可能となる。

本研究では、体圧分布のパターン変動と座り心地との間の対応関係について知見が得られた。今後は、より開発に役立つ知見を得るために、体圧分布のパターン変動と椅子の設計に関わる要因との対応関係を調査することが望まれる。具体的な例としては、体圧分布のパターン変動とクッション構造やクッションのヒステリシス・ロス特性との関連性を検討することが望まれる。また、長時間座位における着座状態の変化も座り心地にとっては非常に重要であり、本研究の手法を用いることで、疲労や不快を感じた際の着座状態の変化やその発生要因の検討、着座状態の変化とその際の疲労・不快の軽減との対応関係や作業性との関係などを調査することが望まれる。これらの研究を通して、今後より快適な着座環境を創造することが望まれる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教員である野呂影勇教授には大変お世話になりました．教授には学部生でゼミに所属した当初から7年間という長い期間に渡り，ご指導頂き，企業との共同研究や国際学会への参加，海外の研究者との交流など，他では得難い多くの経験をさせていただきました．深く感謝申し上げます．

本研究の副査である早稲田大学人間科学部の比企静雄名誉教授，中島義明教授には論文執筆の際に，特にデータ解析や心理測定に関して親身かつ的確なご意見・ご指導を頂きましたことを深く感謝いたします．

Humanics ErgoSystems, Inc. CPE の Rani Lueder 博士にはシーティングに関する情報を数多く提供して頂きました．人体振動ネット研究会の皆様，TNO Work and Employment の Peter Vink 教授，Michiel de Looze 博士には研究について心強いお言葉やご助言を頂きました．また，同研究所の Tim Bosch 博士には体圧分布測定に関する貴重な資料を頂きました．ここに記し，厚く御礼申し上げます．

早稲田大学理工学総合研究センターの三家礼子博士には論文執筆や解析の際に様々なご助言をいただきました．また，早稲田大学大学院人間科学研究科の小山秀紀さん，野崎真奈美さんとは同じ博士学位論文執筆者として相談相手になっていただきました．ここに記し感謝いたします．

岐阜県生活技術研究所の高田秀樹様，堀部哲様，成瀬哲哉様，安藤敏弘様，坂東直行様には調査の際にご協力頂き，膨大な量のデータを収集することができました．タカノ株式会社の柏原様にはFSAの機材の不調や故障の際に親切かつ素早い対応をして頂きました．また，エルゴシーティング株式会社には研究を円滑に進めるにあたり，奨学金や出張費などの援助をして頂きました．ここに記し，厚く御礼申し上げます．

また，本研究における調査の際には，非常に多くの被験者に参加していただきましたことをここに記し，感謝いたします．



## 参考・引用文献

- [1] 三宅晋司, 1994, 快適工学, 泉文堂.
- [2] 大野秀夫ほか, 1993, 快適環境の科学, 朝倉書店.
- [3] Keegan, J., J., 1953, Alterations of the lumbar curve related to posture and seating, *Journal of Bone and Joint Surgery*, 35-A, 3, 588-603.
- [4] Schoberth, Hanns, 1982, *Sitshaltung, Sitsmdel*, Springer Verlag
- [5] Vergara, M., Page, A., 2002, Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture, *Applied Ergonomics*, 33, 1-8.
- [6] Kamijo, K., Tsujimura, H., Obara, H., Katsumata, M., 1982, Evaluation of seating comfort, SAE Technical Paper Series 820761, 1-6.
- [7] Looze, M. P., Kuijt-Evers, L. F. M., Dieen, J. V., 2003, Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, *Ergonomics*, 46, 10, 985-997.
- [8] 鶴岡功, 橋本直朋, 坂本砂季子, 1985, シート座り心地性能の定量化, マツダ技報, 3, 95-103.
- [9] 岩崎信也, 松岡由幸, 山ノ井利美, 1988, シート座り心地の定量化, 自動車技術, 42, 11, 1403-1408.
- [10] Kolich, M., 2004, Predicting automobile seat comfort using a neural network, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33, 285-293.
- [11] 加藤麻樹, 武岡元, 石田敏郎, 1997, 事務用回転椅子の圧力分布の時系列変化に関する研究, 人間工学, 33, 6, 343-347.
- [12] Lu, H., Lin, G., 1996, An investigation of various factors affecting measurement accuracy of the tekscan seat pressure system, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th annual meeting*, 1036-1040.
- [13] Nicholson, G., Ferguson-Pell, M., Lennon, P., Bain, D., Comparative evaluation of pressure mapping systems(1): bench testing results.1-3.
- [14] Lim, S., Chung, M., K., Jung, J., Na, S., H., 2000, The Effect of Lumbar Support

- Prominence on Driver's Comfort and Body Pressure Distribution, Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, 308-311.
- [15] Park, S. J., Kim, C. B., 1997, The evaluation of seating comfort by the objective measures, SAE Technical Paper Series 970595.
- [16] Ng, D., Cisar, T., Gross, C., M., 1995, Evaluation of an intelligent seat system, Applied Ergonomics, 26, 109-116.
- [17] 古郡了, 岡本宜久, 三浦康彦, 畑秀二, 2001, 長時間自動車運転時の体圧変動の解析, 人間工学, 37, 特別号, 268 - 269 .
- [18] 渡辺秀俊, 白石光昭, 1993, 着座時の感覚・姿勢・体圧の動的特性に関する予備考察, 日本インテリア学会, 60-61 .
- [19] 大野秀夫, 1993, 快適環境の科学, 朝倉書店 .
- [20] 中島義明, 大野隆造 編, 1996, 人間行動学講座 3 すまう - 住行動の心理学, 朝倉書店 .
- [21] 鈴木浩明, 1999, 快適さを測る - その心理・行動・生理的影響の評価, 日本出版サービス .
- [22] コホネン, T., 1996, 自己組織化マップ, シュプリンガー・フェアラーク東京.
- [23] 萩原将文, 1994, ニューロ・ファジー・遺伝アルゴリズム, 産業図書.
- [24] Fujimaki, G., Mitsuya, R., 2002, Study of the seated posture for VDT work, Displays, 23, 14-24.
- [25] 山崎信寿, 1988, 椅子の座り心地に対する生体力学的評価, バイオメカニクス, 9, 151-162 .
- [26] Hertzberg, H., T., E., 1958, Seat comfort, Hansen, R., Cnrmog, D., R., Hertzberg, H., T., E., Annotated bibliography of applied physical anathlopology in human engineering, WADC Technical report 56-30.
- [27] Lueder, R. K., 1983, Seat comfort: a review of the construct in the office environment, Human Factors, 25, 6, 701-711.
- [28] Helander, M., G., Zhang, L., 1997, Field studies of comfort and discomfort in sitting, Ergonomics, 40, 9, 895-915.
- [29] Grandjean, E., 1983, VDT Work station Design: Preferred Settings and Their Effects, Human Factors, 25, 2, 161-175.

- [30] 豊田秀樹, 1998, 統計ライブラリー 共分散構造分析 [ 入門編 ] - 構造方程式モデリング, 朝倉書店 .
- [31] 豊田秀樹, 2000, 統計ライブラリー 共分散構造分析 [ 応用編 ] - 構造方程式モデリング, 朝倉書店 .
- [32] 豊田秀樹, 2003, 統計ライブラリー 共分散構造分析 [ 疑問編 ] - 構造方程式モデリング, 朝倉書店 .
- [33] 豊田秀樹, 1998, 共分散構造分析 [ 事例編 ] - 構造方程式モデリング, 北大路書房 .
- [34] 野呂影勇 編, 1992, 生活のための工学, 放送大学教育振興会 ( 日本放送出版協会 ) .
- [35] Ebe, K., Griffin, M.J., 2001, Factors affecting static seat cushion comfort, *Ergonomics* 44, 10, 901-921.
- [36] 増山英太郎, 小林茂雄, 1989, センソリー・エバリュエーション - 官能検査へのいざない - , 垣内出版株式会社 .
- [37] 日科技連官能検査委員会編, 1983, 新版官能検査ハンドブック, 日科技連出版 .
- [38] Verver, M.M., Lange, R., Hoof, J., Wismans, J.S.H.M., 2005, Aspects of seat modelling for seating comfort analysis, *Applied Ergonomics*, 36, 33-42.

## 付録 1 アンケート用紙

4章で行った座り心地に関する調査の際に使用したアンケート用紙を以下に示す。

記入者 \_\_\_\_\_

アンケート調査

**座面について**

不快な当たり	しない	----- ----- ----- ----- ----- -----	する
心地よい当たり	しない	----- ----- ----- ----- ----- -----	する

**背もたれについて**

不快な当たり	しない	----- ----- ----- ----- ----- -----	する
心地よい当たり	しない	----- ----- ----- ----- ----- -----	する

**全体について**

姿勢の安定は？	しない	----- ----- ----- ----- ----- -----	する
身体の動かしやすさは？	しにくい	----- ----- ----- ----- ----- -----	しやすい
動いたときの身体の支持は？	されない	----- ----- ----- ----- ----- -----	される

図 1 アンケート用紙 1

記入者 \_\_\_\_\_

### 疲労部位調査

以下の身体の各部位における負担の度合いについて、7段階でもっとも当てはまるものを選んでください。ただし、負担とは、痛み、しびれ、こり、圧迫感、違和感などをさします。

頭部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
頸部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
肩	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
上腕部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
肘	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
前腕部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
腹部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
背部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
腰部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
臀部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
大腿部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
膝	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
下腿部	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 
足	非常に小さい    小さい    やや小さい    普通    やや大きい    大きい    非常に大きい 

図 2 アンケート用紙 2

## 付録 2 仮説モデル

4章において，身体の動きに関する因子と座り心地との間の因果関係をモデル化した．分析の際に使用した仮説モデルを以下に示す．また，観測変数は表 1 に従う．

表 1 観測変数

変数名	観測変数の内容
X1	心地よい当たり (座面)
X2	心地よい当たり (背もたれ)
X3	不快な当たり (座面)
X4	不快な当たり (背もたれ)
X5	腰部の負担・疲労感
X6	背部の負担・疲労感
X7	臀部の負担・疲労感
X8	身体の動かしやすさ
X9	動いた時の身体の支持
X10	姿勢の安定

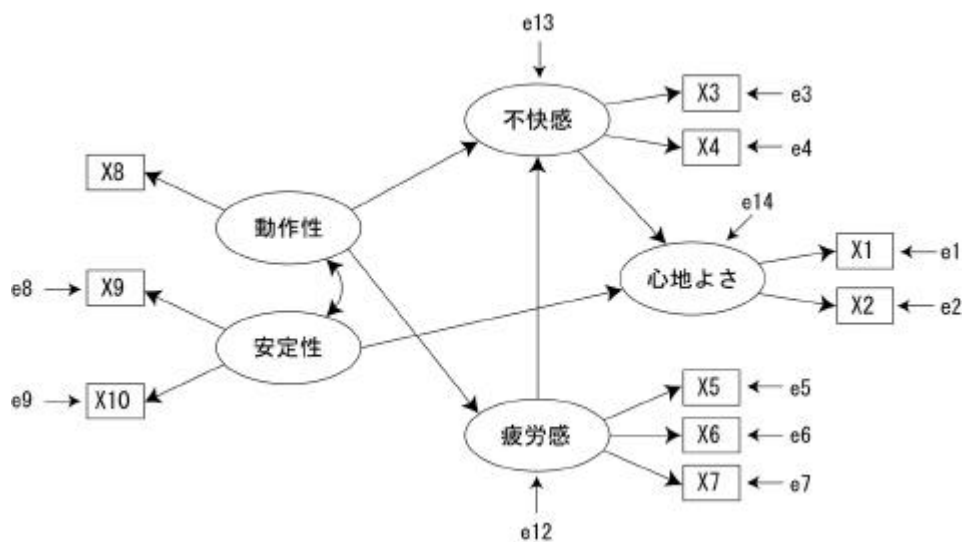


図 3 仮説モデル 1

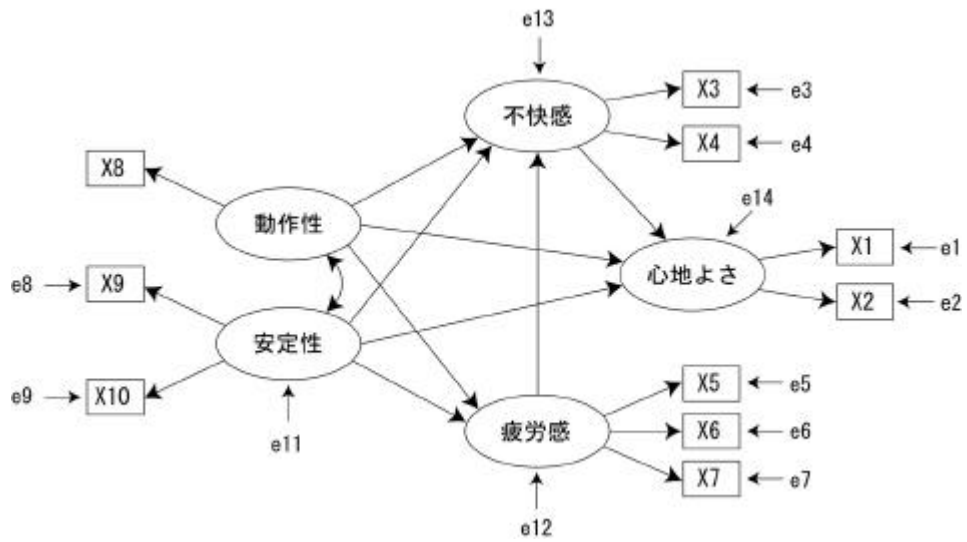


図 4 仮説モデル 2

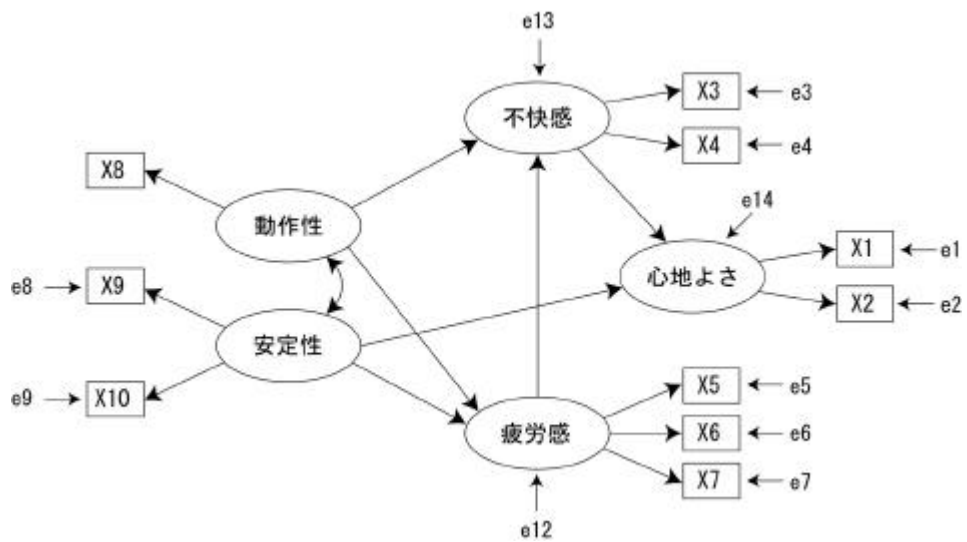


図 5 仮説モデル 3

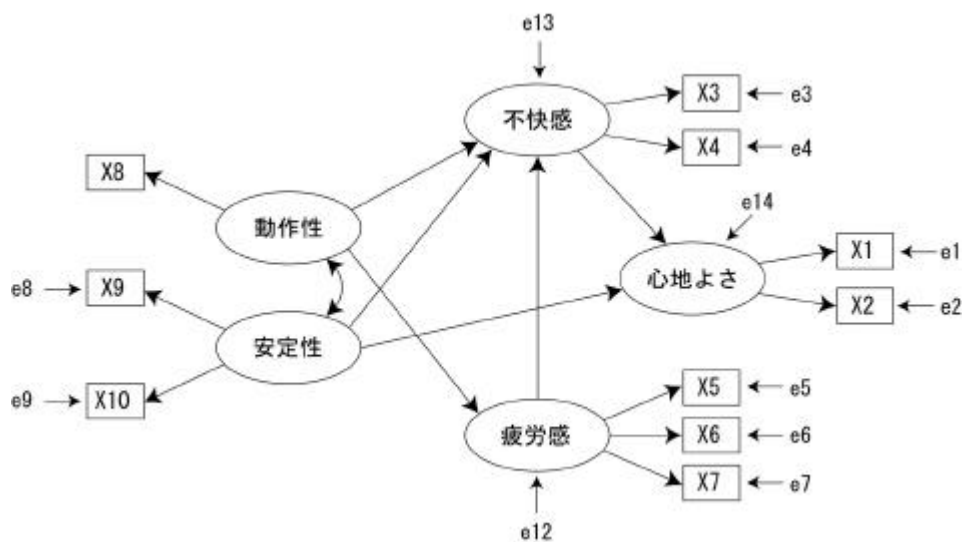


図 6 仮説モデル 4

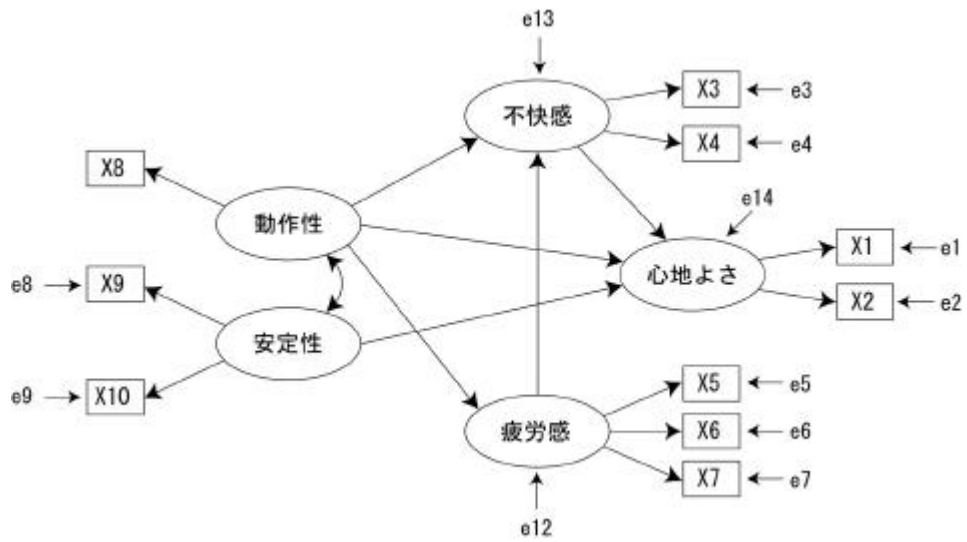


図 7 仮説モデル 5

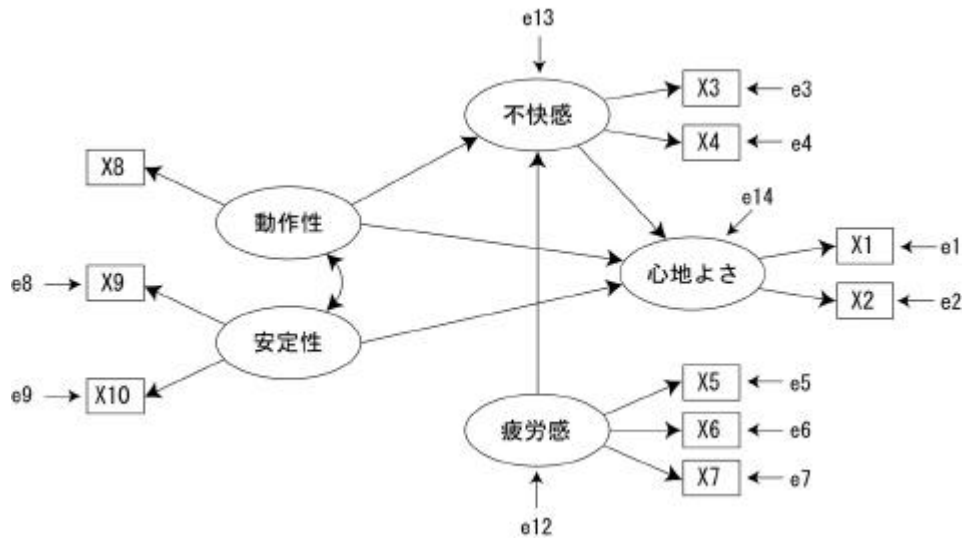


図 8 仮説モデル 6

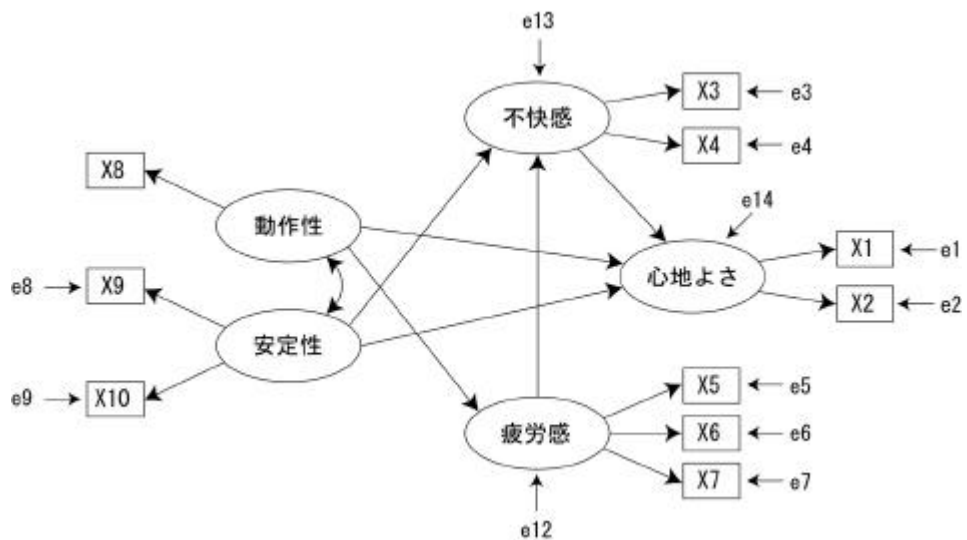


図 9 仮説モデル 7



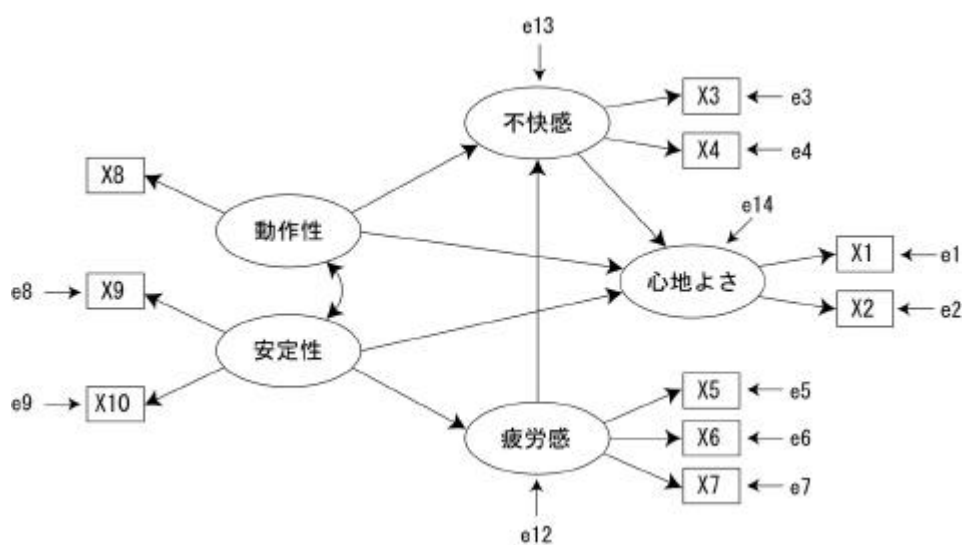


図 1 0 仮説モデル 8

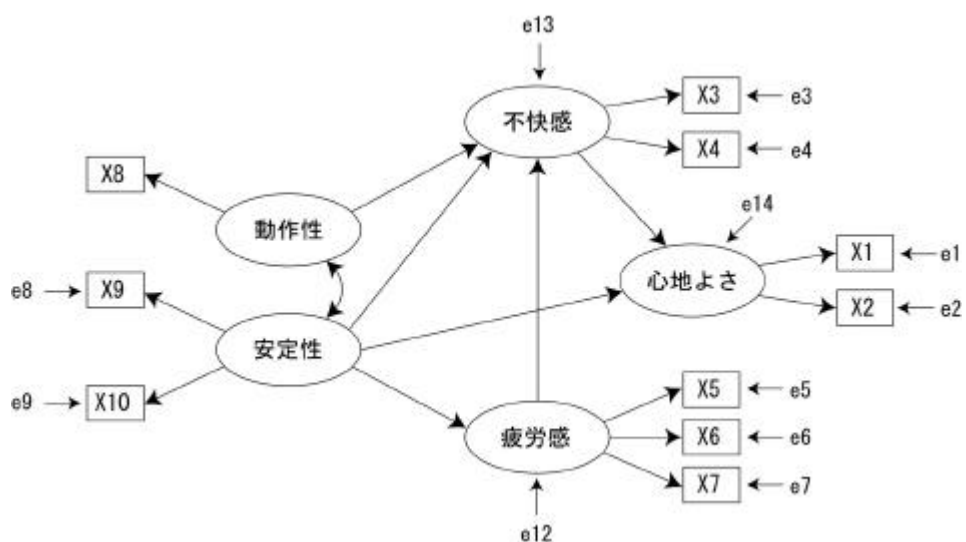


図 1 1 仮説モデル 9

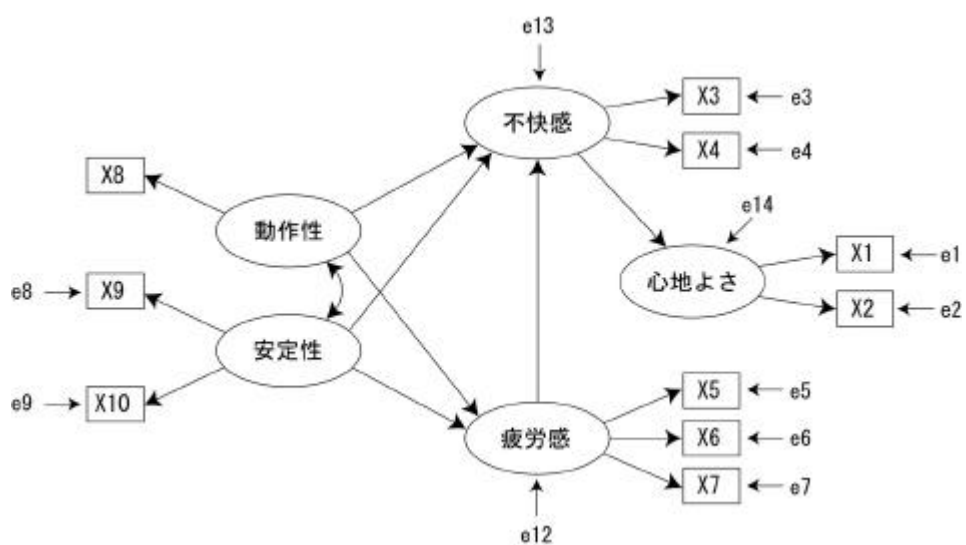


図 1 2 仮説モデル 1 0

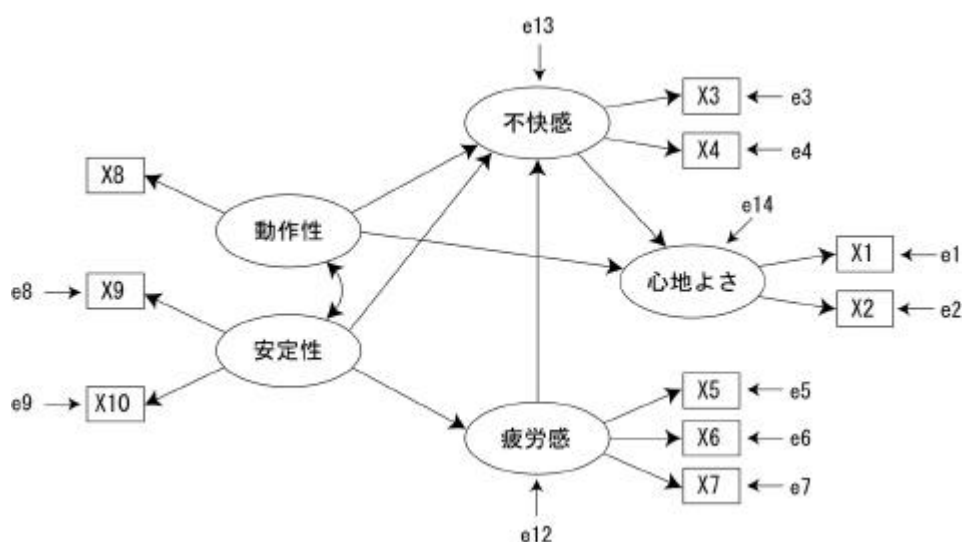


図 1.3 仮説モデル 1.1

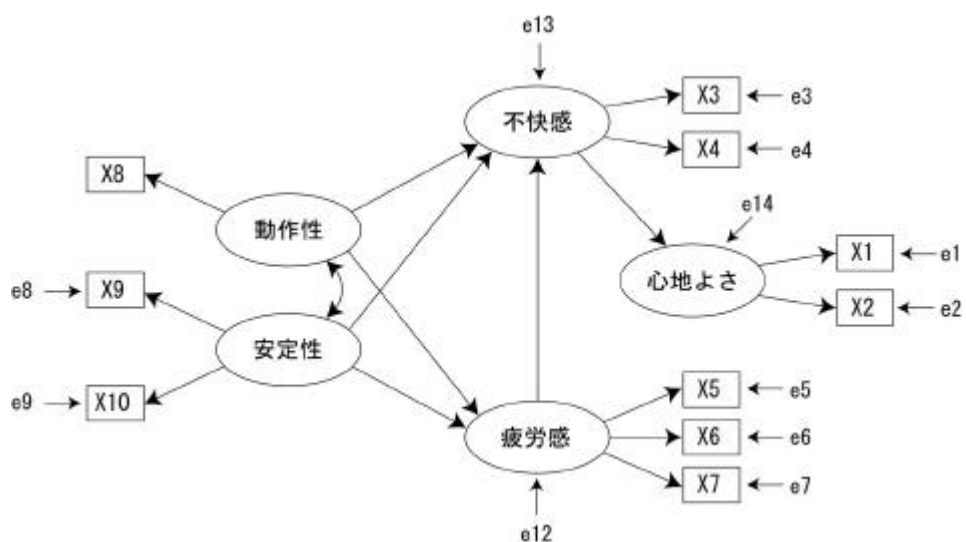


図 1.4 仮説モデル 1.2

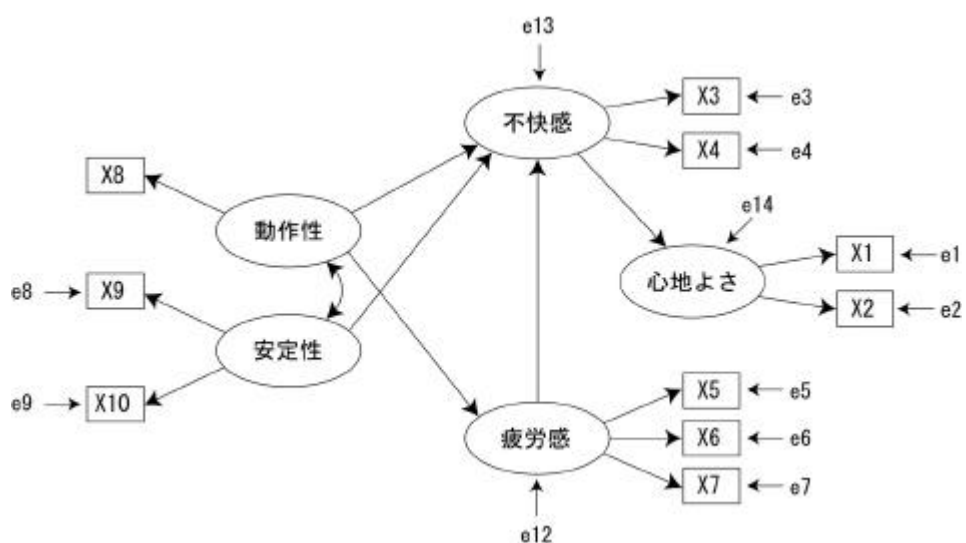


図 1.5 仮説モデル 1.3

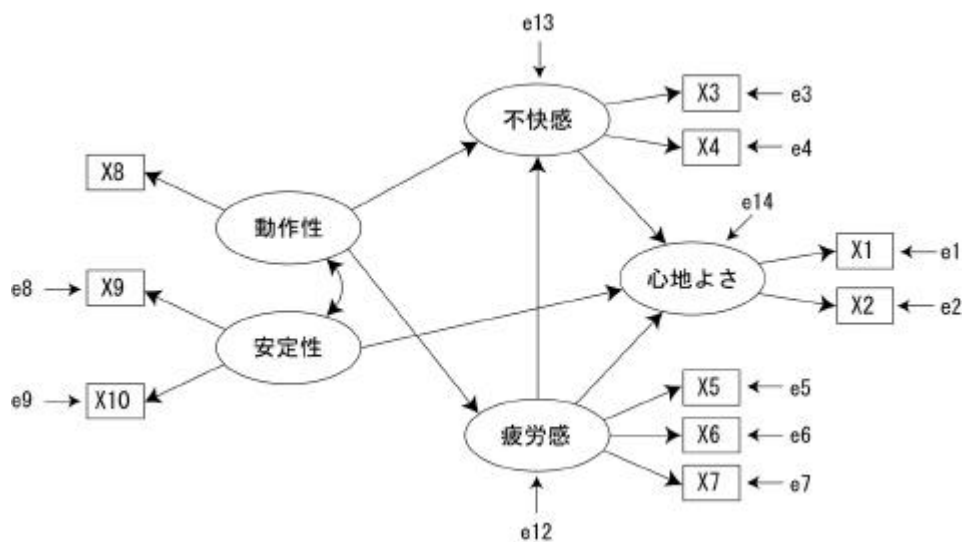


図 1 6 仮説モデル 1 4

## 付録3 アンケート用紙

5章で行った座り心地に関する調査の際に使用したアンケート用紙を以下に示す。

**座面クッションの座り心地に関するアンケート調査**

下記の項目について、あまり考えずに感覚でお答えください。  
アンケートに答えていただく際は人とあまり相談せずにお答えください。また、ポケットに何か入っている場合は取り出してください。

硬い感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
深く沈み込む感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
跳ね返る感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
圧迫される感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
底板にあたる感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
不快な感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>
心地よい感じ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="margin-right: 5px;">しない</span> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 20%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 40%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 60%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 80%; top: -5px; bottom: -5px;"> </div> </div> <span style="margin-left: 5px;">する</span> </div>

図17 アンケート用紙3

## 付録4 ニューロンの重みベクトル

5章において、自己組織化マップを用いて体圧分布の分類を行った。学習の際は5×6のニューロンを用意した。1000回学習後のニューロンの重みベクトルを以下に示す。図中の向かって左側が重みベクトルの等高線グラフ，右側が3次元等高線グラフである。

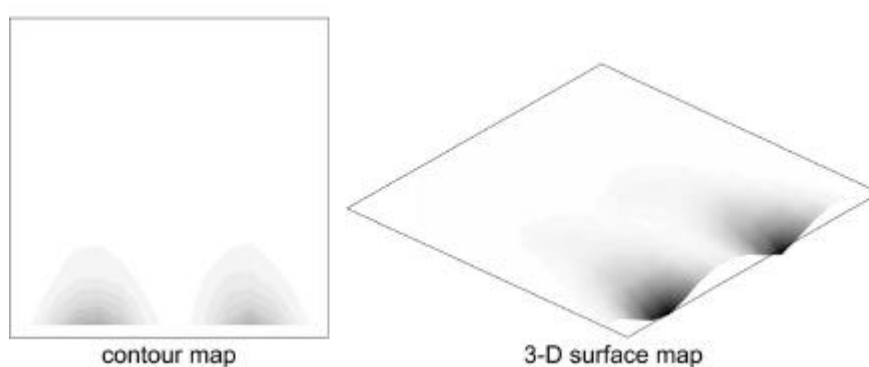


図18 ニューロン番号1の重みベクトル

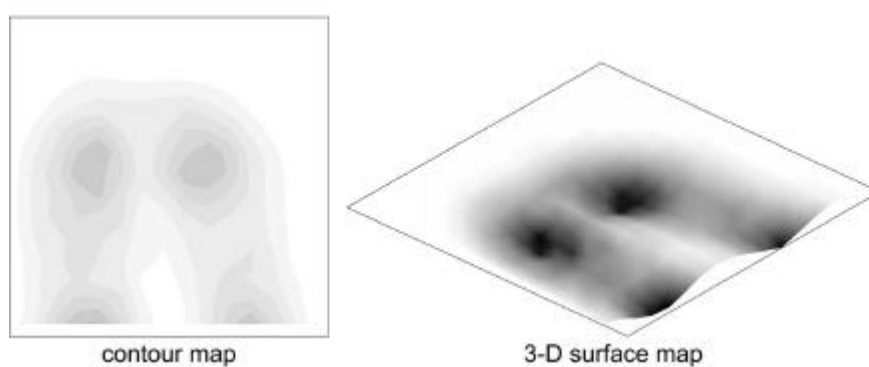
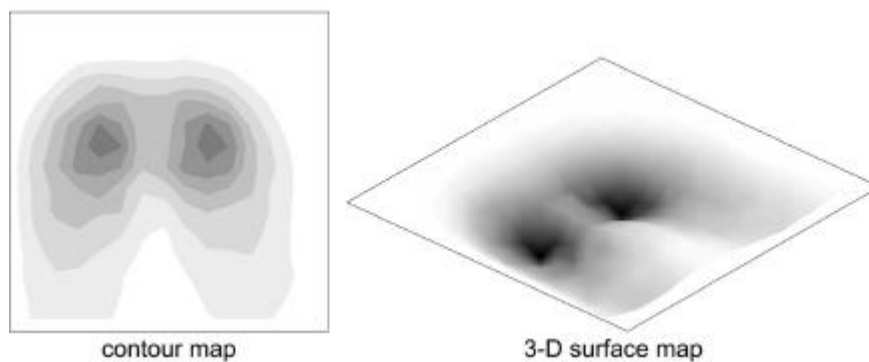


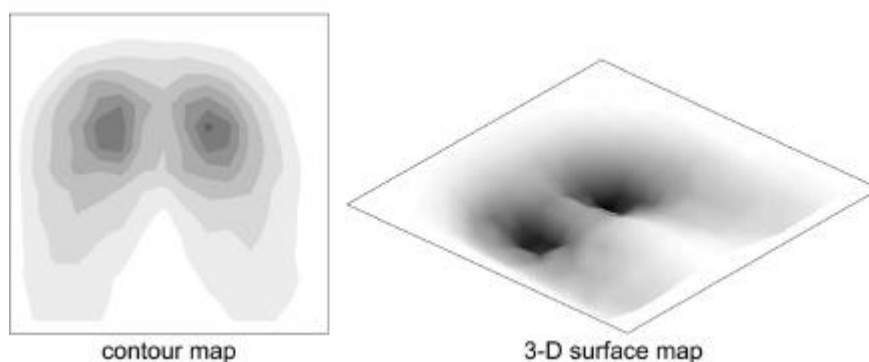
図19 ニューロン番号2の重みベクトル



contour map

3-D surface map

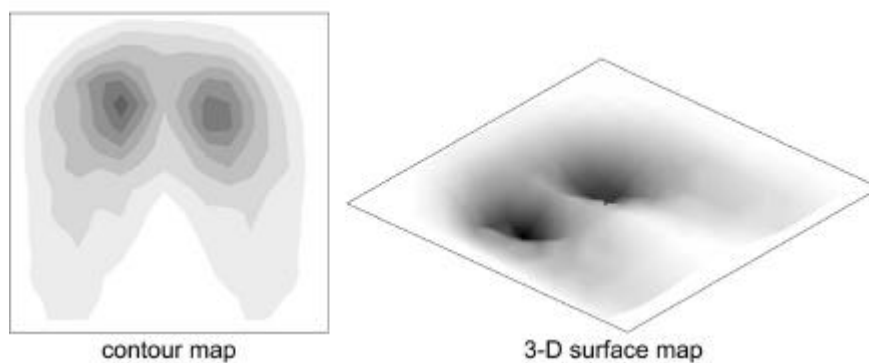
図 2 0 ニューロン番号 3 の重みベクトル



contour map

3-D surface map

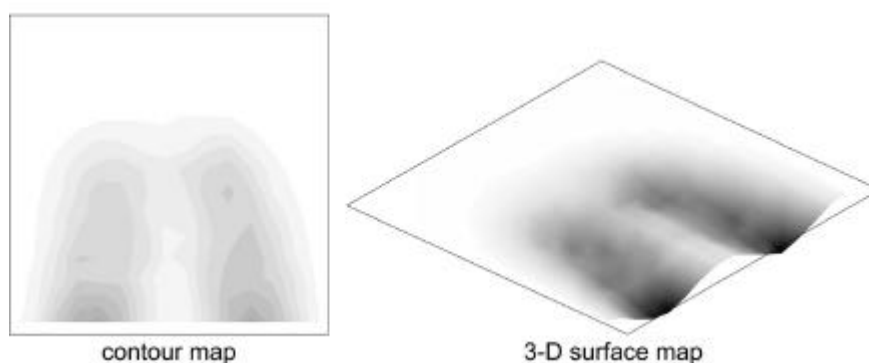
図 2 1 ニューロン番号 4 の重みベクトル



contour map

3-D surface map

図 2 2 ニューロン番号 5 の重みベクトル



contour map

3-D surface map

図 2 3 ニューロン番号 6 の重みベクトル

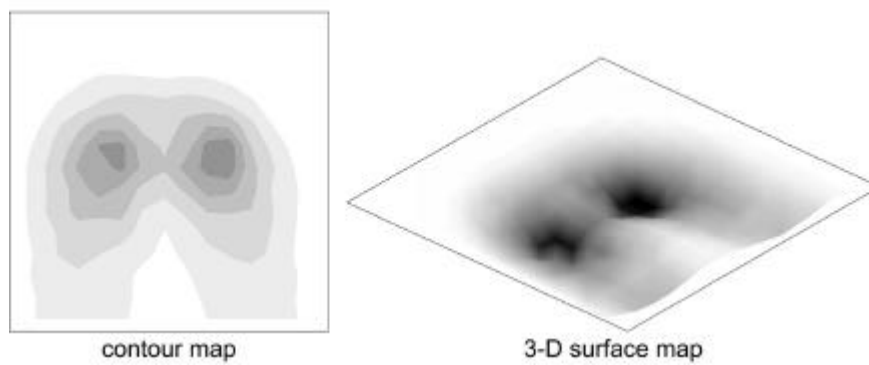


図2.4 ニューロン番号7の重みベクトル

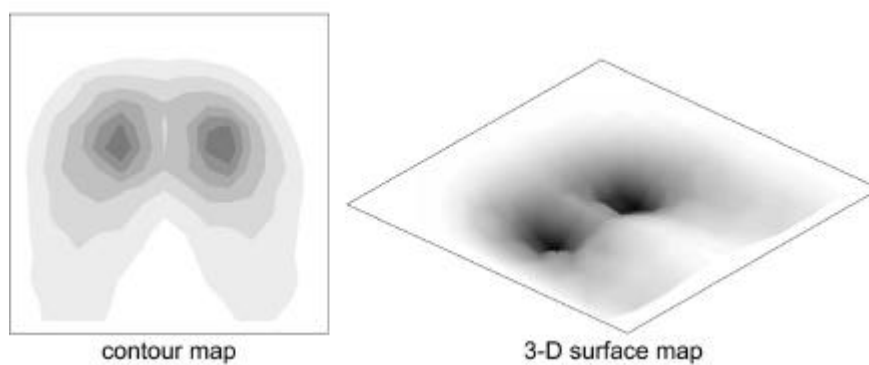


図2.5 ニューロン番号8の重みベクトル

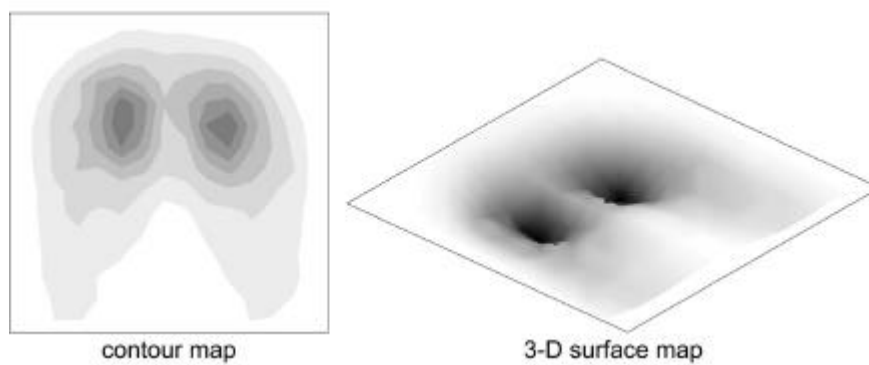


図2.6 ニューロン番号9の重みベクトル

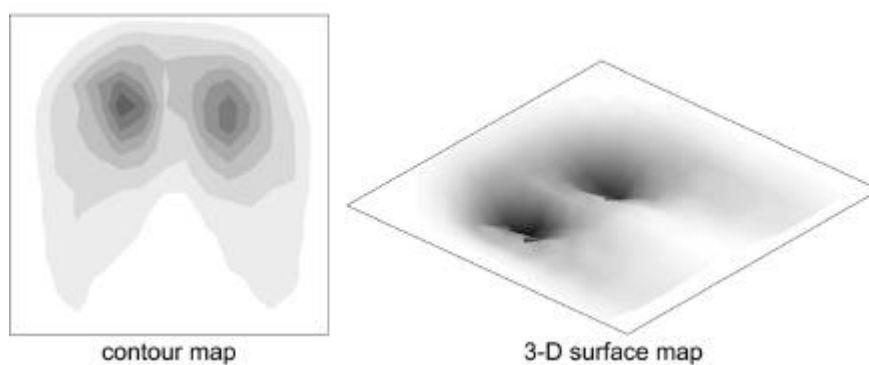


図2.7 ニューロン番号10の重みベクトル

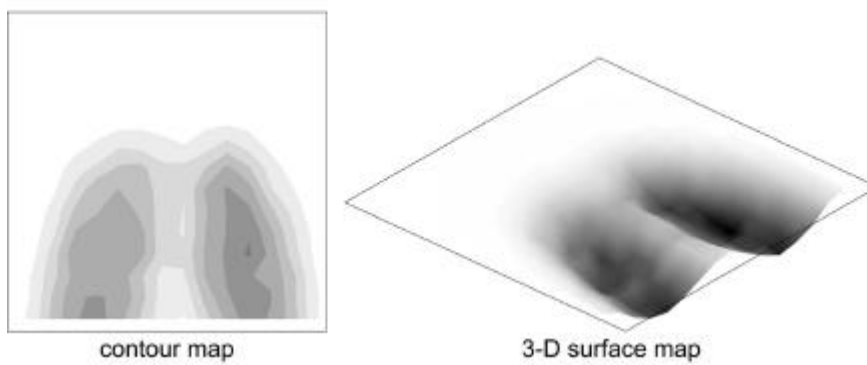


図28 ニューロン番号11の重みベクトル

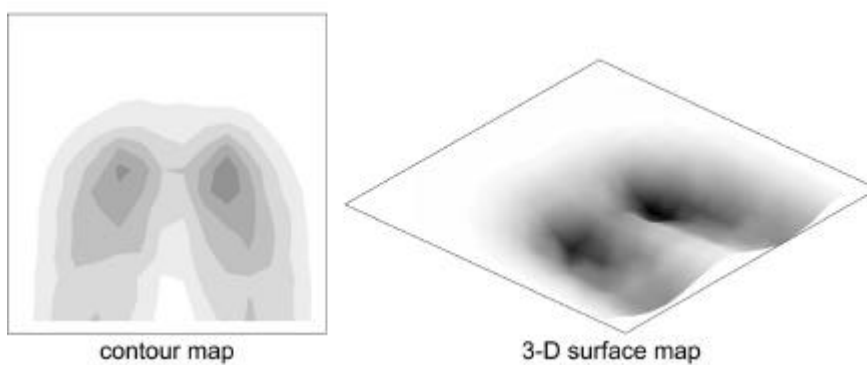


図29 ニューロン番号12の重みベクトル

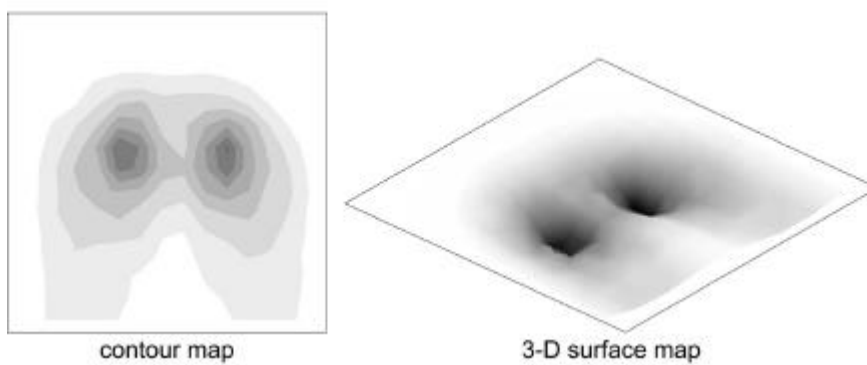


図30 ニューロン番号13の重みベクトル

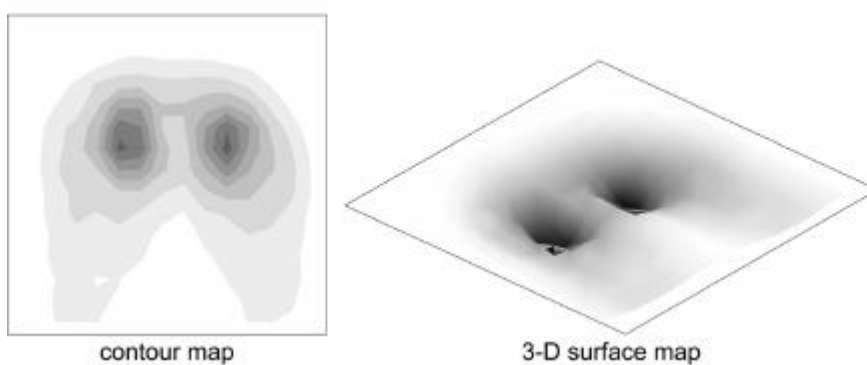


図31 ニューロン番号14の重みベクトル



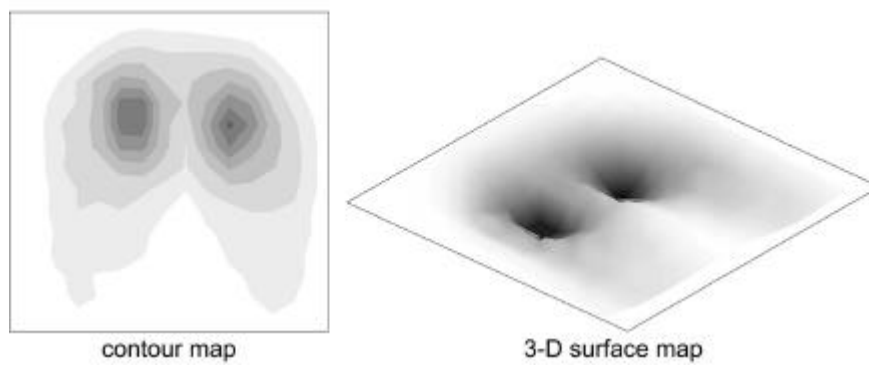


図3 2 ニューロン番号15の重みベクトル

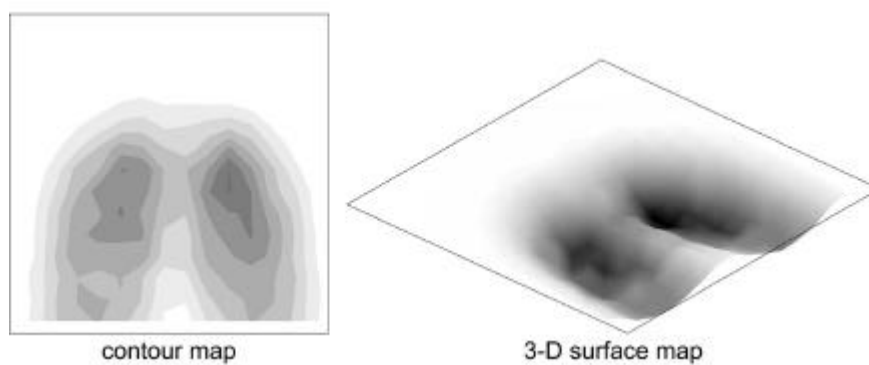


図3 3 ニューロン番号16の重みベクトル

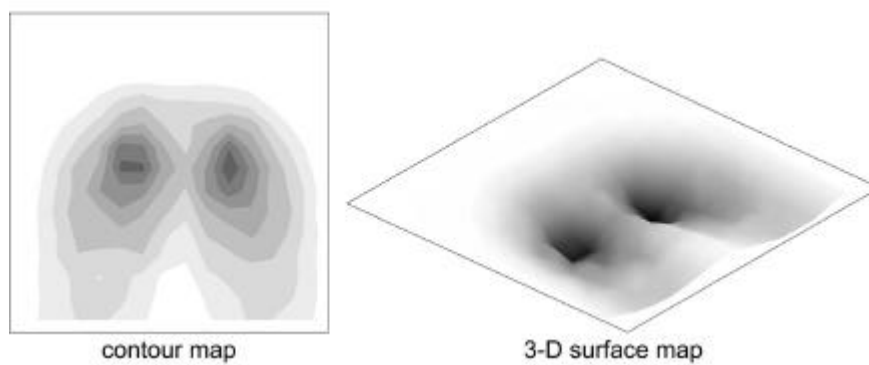


図3 4 ニューロン番号17の重みベクトル

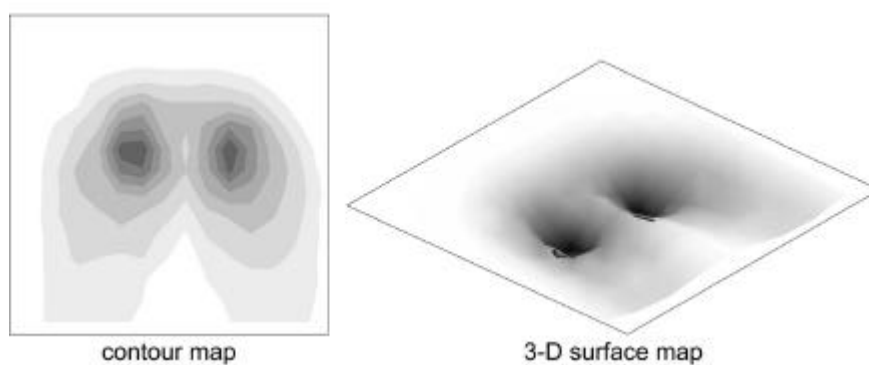


図3 5 ニューロン番号18の重みベクトル

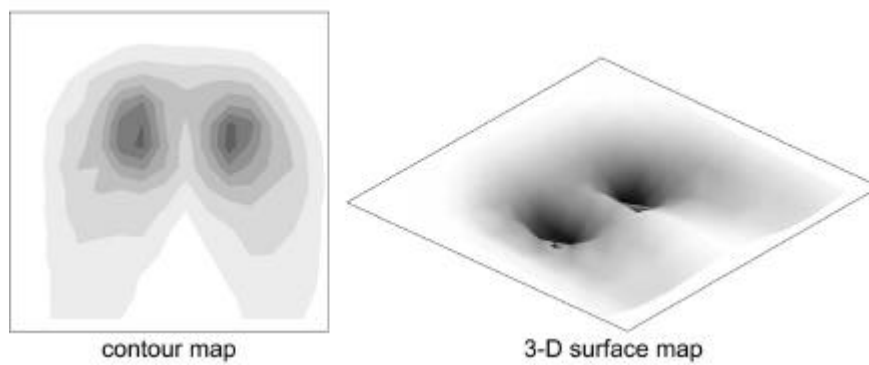


図 3 6 ニューロン番号 1 9 の重みベクトル

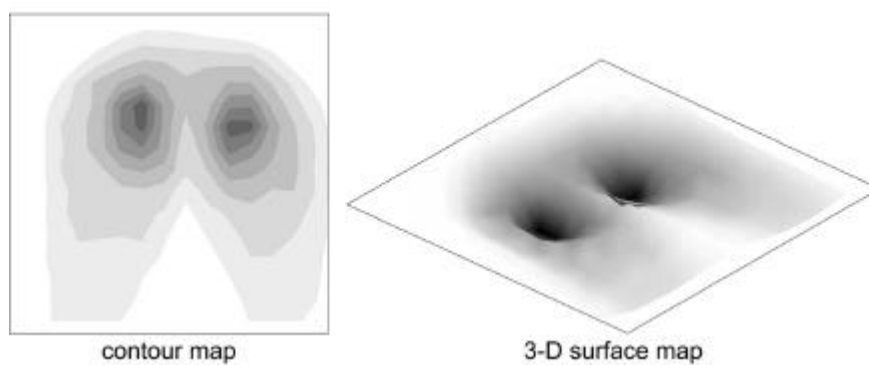


図 3 7 ニューロン番号 2 0 の重みベクトル

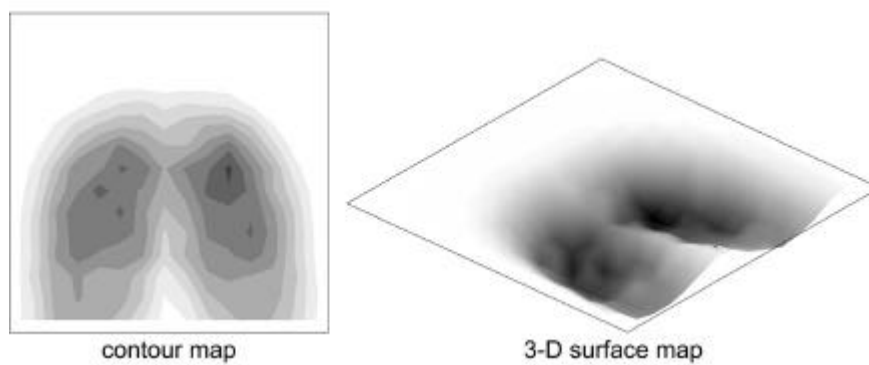


図 3 8 ニューロン番号 2 1 の重みベクトル

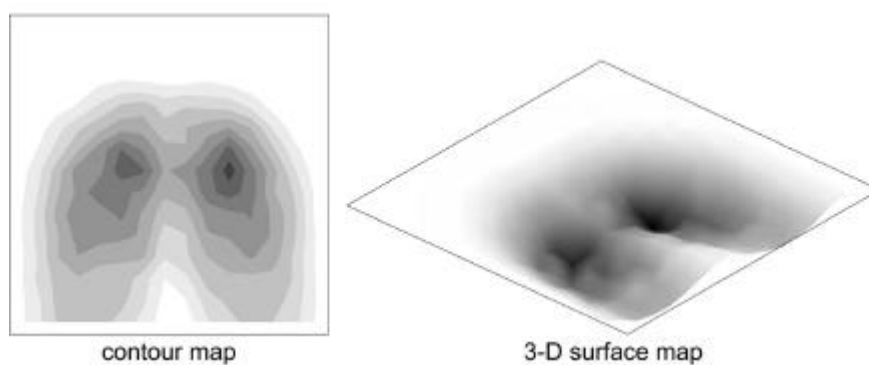


図 3 9 ニューロン番号 2 2 の重みベクトル

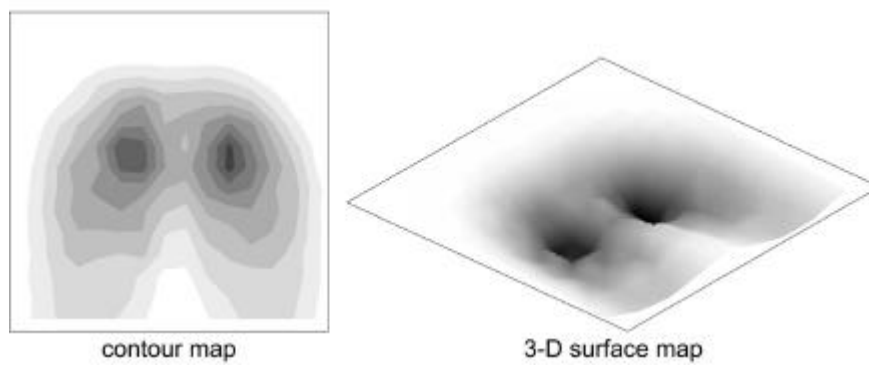


図4.0 ニューロン番号23の重みベクトル

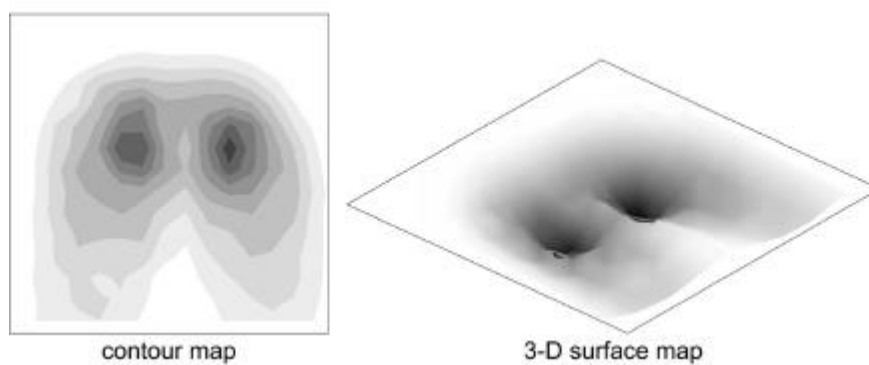


図4.1 ニューロン番号24の重みベクトル

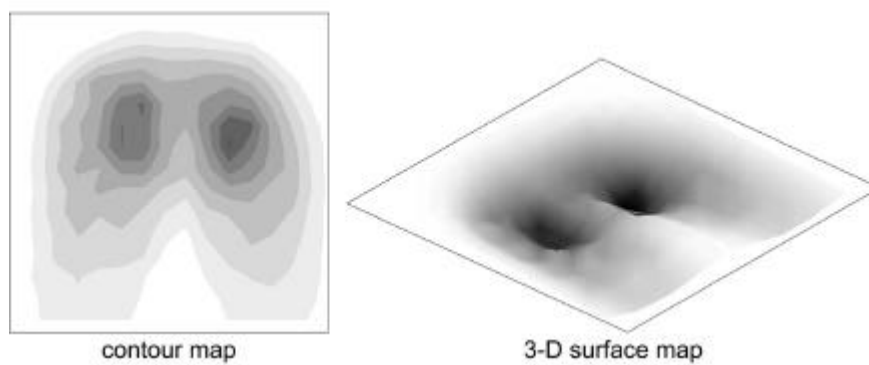


図4.2 ニューロン番号25の重みベクトル

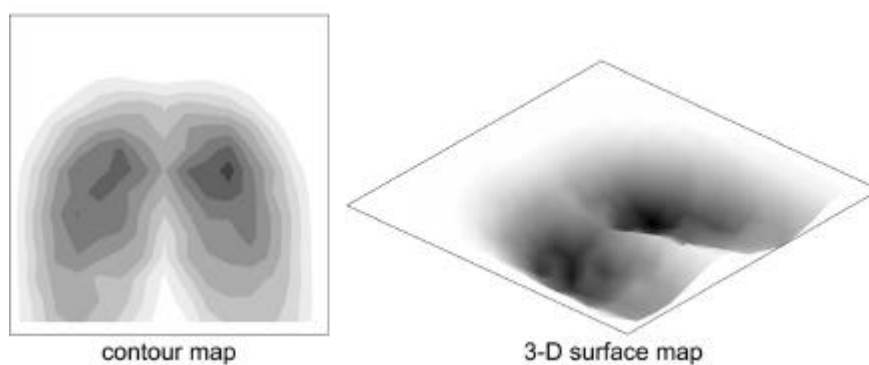


図4.3 ニューロン番号26の重みベクトル

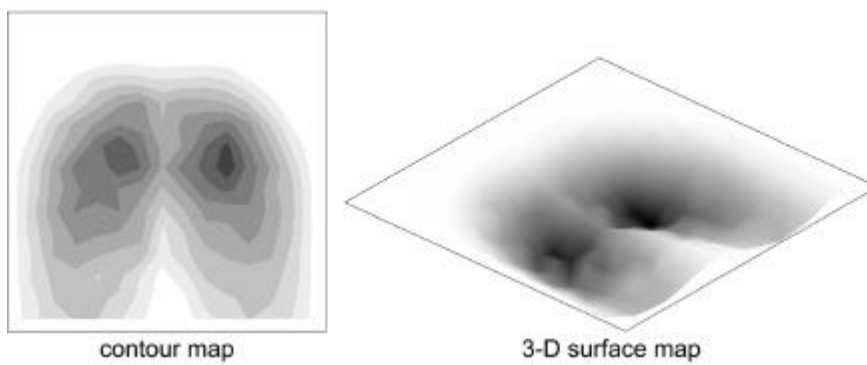


図4.4 ニューロン番号27の重みベクトル

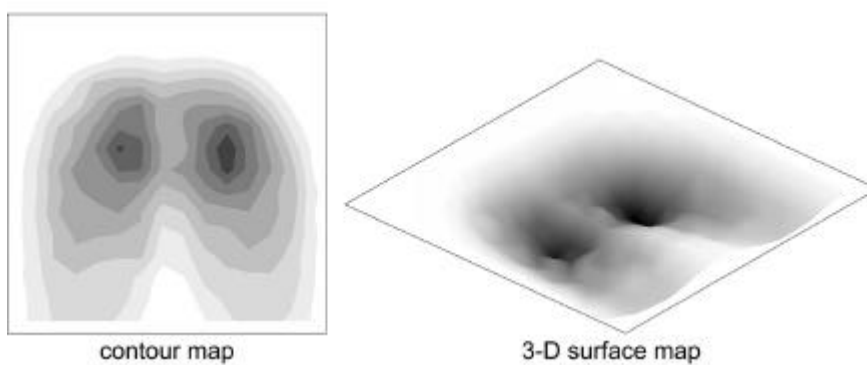


図4.5 ニューロン番号28の重みベクトル

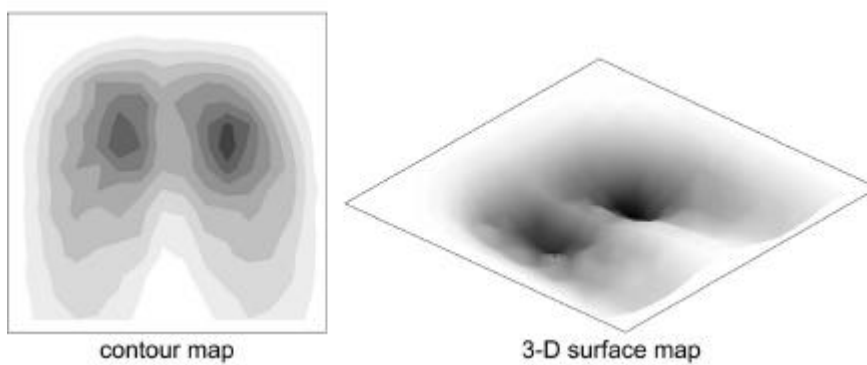


図4.6 ニューロン番号29の重みベクトル

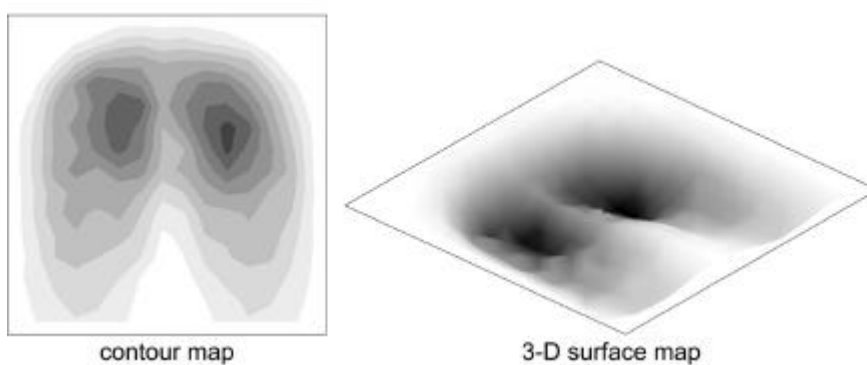


図4.7 ニューロン番号30の重みベクトル

## 付録5 ニューロン遷移

5章において、ニューロン遷移を分析した結果、いくつかの特徴的なニューロン遷移がみられた。以下にそれらの特徴的なニューロン遷移とその遷移をした被験者の人数を示す。

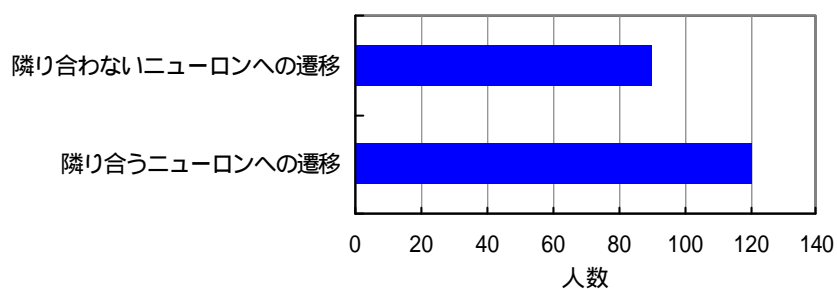


図 ニューロン遷移

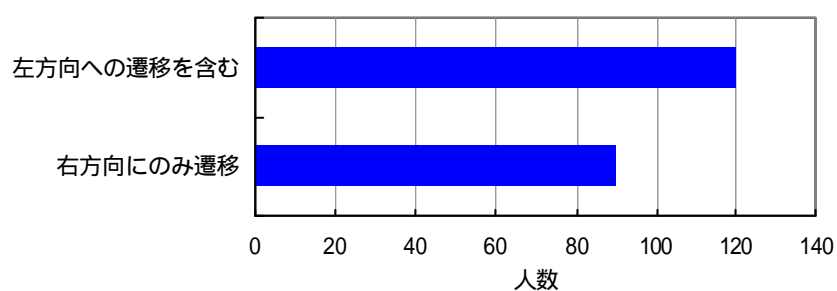


図 ニューロン遷移の進行方向

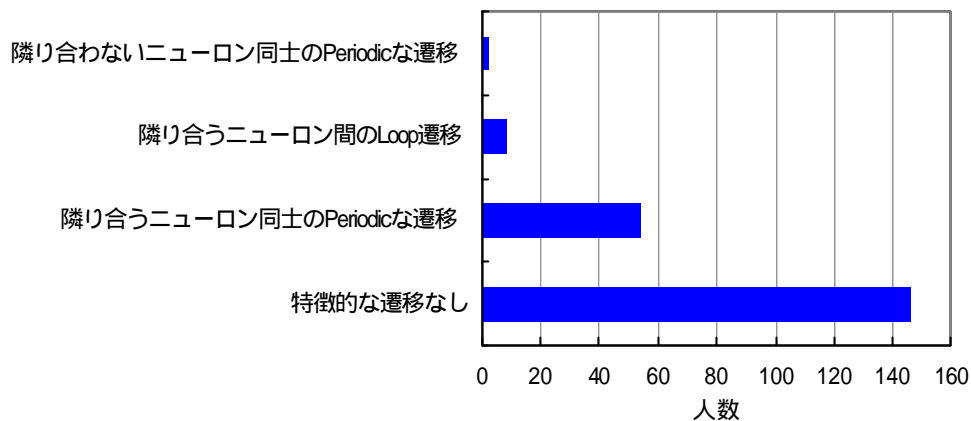


図 ニューロンの遷移パターン

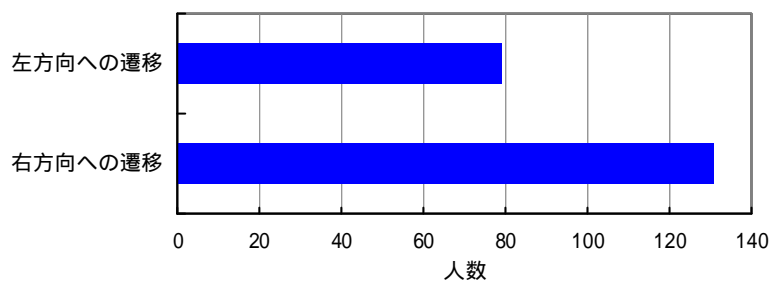


図 着座安定時直前のニューロン遷移の進行方向

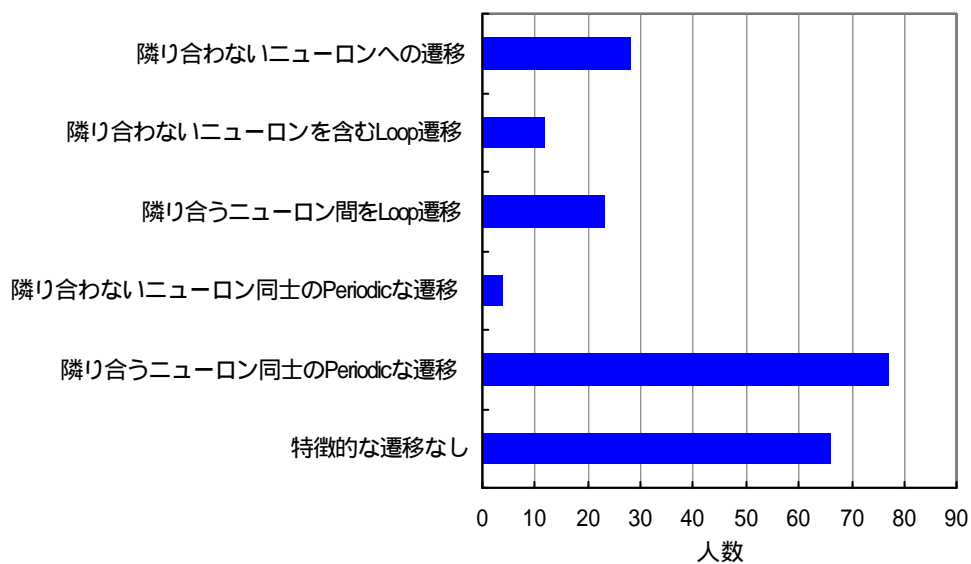


図 着座安定時直前のニューロンの遷移パターン