

エネルギー科学研究科  
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 執務環境変化による知的生産性変化の  
分析フレームワークの研究

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 上東 大祐

提出年月日： 平成28年2月10日(水)

# 目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.2 執務環境条件変化による知的生産性変化の関連研究	3
2.3 研究の目的	5
第 3 章 提案する分析フレームワークの概要	6
3.1 汎用メカニズムモデル	8
3.1.1 モデル構成要素の定義	9
3.1.2 構成要素間関係の定義	11
3.2 メカニズムモデル定量化	12
3.2.1 モデル構成要素の計測	14
3.2.2 計測データの統計処理	22
第 4 章 本分析フレームワークのケーススタディ	30
4.1 照明環境変化による知的生産性変化のデータ解析	30
4.1.1 解析目的	30
4.1.2 実験の概要	31
4.1.3 解析方法	32
4.1.4 解析結果	34
4.2 気流環境変化による知的生産性変化のデータ解析	47
4.2.1 解析目的	47
4.2.2 実験概要	47
4.2.3 解析方法	48
4.2.4 解析結果	51
4.2.5 夏気流環境グループの解析	59
4.2.6 冬気流環境グループの解析結果	65

4.3	複合環境変化による知的生産性変化のデータ解析 . . . . .	73
4.3.1	解析目的 . . . . .	73
4.3.2	実験概要 . . . . .	73
4.3.3	解析方法 . . . . .	75
4.3.4	解析結果 . . . . .	77
4.4	本分析フレームワークの評価 . . . . .	81
<b>第 5 章</b>	<b>結論</b>	<b>83</b>
	謝 辞	85
	参 考 文 献	86

## 目 次

3.1	本分析フレームワークの DFD の全体図 . . . . .	7
3.2	汎用メカニズムモデル . . . . .	8
3.3	メカニズムモデルの定量化 . . . . .	13
3.4	モデル構成要素の計測 . . . . .	14
3.5	計測手法の設定 . . . . .	15
3.6	計測実験の設計・実施 . . . . .	21
3.7	計測データの統計処理 . . . . .	23
3.8	構成要素の統計的な算出 . . . . .	24
4.1	実験のプロトコル（照明環境変化） . . . . .	31
4.2	照明環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木	41
4.3	照明環境変化での目的変数を CTR 差とした回帰木 . . . . .	43
4.4	照明環境変化での全対象の共分散構造分析結果 . . . . .	44
4.5	照明環境変化での非天井グループの共分散構造分析結果 . . . . .	44
4.6	照明環境変化での CTR 向上グループの共分散構造分析結果 . . . . .	45
4.7	照明環境変化での非 CTR 向上グループの共分散構造分析結果 . . . . .	46
4.8	実験のプロトコル（気流環境変化） . . . . .	48
4.9	気流環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木	54
4.10	気流環境変化での共分散構造分析結果 全対象 . . . . .	58
4.11	気流環境変化での共分散構造分析結果 中間層グループ . . . . .	59
4.12	気流環境変化での共分散構造分析結果 低生産グループ . . . . .	60
4.13	気流環境変化での共分散構造分析結果 高生産グループ . . . . .	60
4.14	夏気流環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木	61
4.15	夏気流環境変化での共分散構造分析結果 全対象 . . . . .	64
4.16	夏気流環境変化での共分散構造分析結果 高生産グループ . . . . .	65
4.17	夏気流環境変化での共分散構造分析結果 低生産グループ . . . . .	66
4.18	冬気流環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木	66
4.19	冬気流環境変化での目的変数を CTR 差とした回帰木 . . . . .	69

4.20 冬気流環境変化での共分散構造分析結果	全対象 . . . . .	70
4.21 冬気流環境変化での共分散構造分析結果	低生産グループ . . . . .	71
4.22 冬気流環境変化での共分散構造分析結果	高生産グループ . . . . .	71
4.23 冬気流環境変化での共分散構造分析結果	CTR 差 [小] : (平均=-3.8) . . . . .	72
4.24 冬気流環境変化での共分散構造分析結果	CTR 差 [大] : (平均=8.7) . . . . .	73
4.25 実験のプロトコル (複合環境変化) . . . . .		74
4.26 複合環境変化での共分散構造分析結果	全対象 . . . . .	79
4.27 複合環境変化での共分散構造分析結果	男性 . . . . .	80
4.28 複合環境変化での共分散構造分析結果	女性 . . . . .	81

# 表 目 次

3.1	構成要素間関係	12
3.2	知的生産性計測手法案リスト	16
3.3	覚醒計測手法案リスト	17
3.4	疲労計測手法案リスト	18
3.5	気分計測手法案リスト	18
3.6	ストレス評価計測手法案リスト	19
3.7	個人特性計測手法案リスト	19
3.8	構成要素の統計的な算出手法案リスト	25
3.9	構成要素間の影響評価	27
3.10	構成要素間の影響評価手法案リスト	28
4.1	照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 1 (集中)	36
4.2	照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 2 (倦怠)	36
4.3	照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 3 (活動的快)	37
4.4	照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 4 (非活動的快)	37
4.5	照明環境変化での自覚症しらの因子負荷量 全因子 (ねむけ感・ぼや け感)	38
4.6	照明環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 1	39
4.7	照明環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 2	39
4.8	照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因 子 1	39
4.9	照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因 子 2	40
4.10	照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因 子 3	40
4.11	照明環境変化でのクラスターセントロイド 非天井グループ	41
4.12	照明環境変化でのクラスターセントロイド 天井グループ	42
4.13	気流環境変化での自覚症しらの因子負荷量	51

4.14	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子1 . . .	52
4.15	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子2 . . .	52
4.16	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子3 . . .	52
4.17	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子4 . . .	53
4.18	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子5 . . .	53
4.19	気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子6 . . .	53
4.20	気流環境変化でのクラスターセントロイド	中間層グループ . . . . .	55
4.21	気流環境変化でのクラスターセントロイド	低生産グループ . . . . .	56
4.22	気流環境変化でのクラスターセントロイド	高生産グループ . . . . .	57
4.23	夏気流環境変化でのクラスターセントロイド	高生産グループ . . . . .	62
4.24	夏気流環境変化でのクラスターセントロイド	低生産グループ . . . . .	63
4.25	冬気流環境変化でのクラスターセントロイド	低生産グループ . . . . .	67
4.26	冬気流環境変化でのクラスターセントロイド	高生産グループ . . . . .	68
4.27	複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子1 . .	78
4.28	複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子2 . .	78
4.29	複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子3 . .	78
4.30	複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子4 . .	78
4.31	複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量	因子5 . .	79

# 第 1 章 序論

近年、企業では環境に配慮した経営の一環として、クールビズ・ウォームビズや照明の間引き等の省エネルギー活動の取り組みが行われているが、それによりオフィス執務者の作業効率が低下し、それをカバーするために労働時間が長くなり、業務時間外のオフィス設備運転が増加して、かえってエネルギー消費が増加してしまうこともある。よって、知的生産性の向上に配慮しつつ、エネルギー消費量を削減するように執務環境を改善することにより、エネルギー消費量の削減と人件費の削減を同時に実現する必要がある。そのためには、執務環境変化による知的生産性の変化だけでなく、そのメカニズムまで明確に分析する必要がある。

これまで、執務環境変化による知的生産性変化を分析した研究は多く行われてきた<sup>[3]~[7]</sup>。これらの研究は、執務者の知的生産性への影響を定量的に分析することで、個々の執務環境要素を総括する際、それぞれの知的生産性への影響の度合いを比較することが可能である。しかし、その知的生産性への影響がどのような要因を経ているかを同時に定量的計測し、知的生産性への影響と合わせて分析しなければ、知的生産性への影響の本質的な因果関係までは比較することはできない。一方、執務環境変化による執務者の知的生産性変化の要因、つまり、知的生産性変化要因に着目した研究も行われている<sup>[8,9]</sup>。これらの研究のように、知的生産性変化要因への影響のみを分析している研究は、個々の執務環境要素を総括する際、それぞれの知的生産性変化要因への影響の度合いを比較することは可能であるが、それにより、どれほど知的生産性が向上するかまでは比較することができない問題がある。以上より、執務環境変化による執務者の知的生産性変化がどのような知的生産性変化要因への影響を経ているかまでの分析、つまり、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムを分析した研究例が少ないという課題がある。

本研究では、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズム解明のため、それぞれ異なる専門知識が必要な手法を体系的に結びつけた手法を、執務環境変化による知的生産性変化の分析フレームワークとして提案し、複数の異なる執務環境要素ごとに適用したケーススタディからその有用性と課題を評価することを目的とする。本分析フレームワークにより、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムを分析した研究がより多くされるようになることが期待される。



以下、2章では研究の背景、3章では提案する分析フレームワークの概要、4章では本分析フレームワークのケーススタディ、5章では結論を述べる。

## 第 2 章 研究の背景と目的

### 2.1 研究の背景

近年、企業では環境に配慮した経営の一環として、クールビズ・ウォームビズや照明の間引き等の省エネルギー活動の取り組みが行われている。しかし、このような取り組みがオフィス執務者の作業効率を低下させ、それをカバーするために労働時間が長くなり、業務時間外のオフィス設備運転が増加してかえってエネルギー消費が増加してしまうこともある。一方、執務環境の改善での数パーセントの知的生産性向上によって人件費削減の効果があるという報告もあるように<sup>[1]</sup>、知的生産性の向上に配慮しつつ、エネルギー消費量を削減するように執務環境を改善することにより、エネルギー消費量の削減と人件費の削減を同時に実現することが可能である。

しかし、これまでは執務環境変化によって知的生産性が変化することはわかっていたものの、その詳しいメカニズムが明確にはわかっていなかった。知的生産性に配慮しつつ、エネルギー消費量を削減させるように執務環境を改善するためには、執務環境変化による知的生産性変化を分析し、そのメカニズムを明らかにする必要がある。

### 2.2 執務環境条件変化による知的生産性変化の関連研究

まず、執務環境変化による知的生産性変化を分析した研究を挙げる。Wargoeki ら<sup>[3]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として換気量による汚染物質濃度、知的生産性変化を計測するための知的作業としてテキストタイピングなど仮想タスクを用いてその関係について研究した。小林ら<sup>[4]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として室温、知的生産性変化の計測としてコールセンターの作業効率を用いてその関係について研究した。Fisk ら<sup>[5]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として換気量と室温を組み合わせた環境、知的生産性変化を計測するための知的作業としてコールセンターの作業効率を用いてその関係について研究した。Kroner ら<sup>[6]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として個人制御環境システム、知的生産性変化を計測するための知的作業として一定期間に作成されたファイル数を用いてその関係について研究した。榎本ら<sup>[7]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として新照明制御方法、知的生産性変化の計測として伝票分類などの認知タ

スク作業成績を用いてその関係について研究した。以上にあげた研究で用いた、テキストタイピングやコールセンター業務、伝票分類などの手順がはっきりとしていて正誤判定も簡単なタスクは、何回その手順が繰り返されたかとその正解率を作業成績として捉えることで作業効率を定量化できる。これらの研究のように、執務者の知的生産性への影響を定量的に分析することで、個々の執務環境要素を総括する際、それぞれの知的生産性への影響の度合いを比較することが可能である。しかし、その知的生産性への影響がどのような要因を経ているかを同時に定量的計測し、知的生産性への影響と合わせて分析しなければ、知的生産性への影響の本質的な因果関係までは比較することができない。例えば、あるオフィスでの知的生産性低下の原因が執務者の疲労であると分かっていたとすると、そのためには、ただ単純に知的生産性向上への影響の度合いが大きい執務環境要素を改善するよりも、疲労の除去を経て知的生産性を向上させる執務環境要素を改善するほうが望ましい。しかし、執務者の知的生産性への影響のみを定量的に分析するだけでは、その要因の一つである可能性をもつ疲労への影響の度合いまでは比較することはできない。

一方、次に、執務環境変化による知的生産性変化の要因に着目した研究を挙げる。田辺ら<sup>[8]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として温熱環境、知的生産性変化の要因として被験者の疲労を取り上げ、その関連を調べた。岩下ら<sup>[9]</sup>は、執務環境構成要素の条件変化として温度条件および報酬、知的生産性変化の要因としてワークモチベーションを取り上げ、その関連を調べた。以上にあげた研究では、疲労やワークモチベーションが知的生産性変化要因として取り上げられており、その他にも、より知的生産性に直接影響を与える要因である覚醒や生理的・心理的ストレスなども知的生産性変化要因として考えられる。

これらの研究のように、執務環境変化による執務者の知的生産性変化の要因、つまり、知的生産性変化要因への影響のみを分析している研究は、前述した研究例とは逆に、個々の執務環境要素を総括する際、それぞれの知的生産性変化要因への影響の度合いを比較することは可能であるが、それにより、どれほど知的生産性が向上するか比較することができない問題がある。

以上より、執務環境変化による知的生産性変化がどのような知的生産性変化要因への影響を経ているかまでの分析、つまり、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムを分析した研究例が少ないという課題がある。

## 2.3 研究の目的

本研究の目的は、執務環境変化による知的生産性変化の分析フレームワークを提案し、複数の異なる執務環境要素ごとに適用したケーススタディからその有用性と課題を評価することである。

提案する分析フレームワークの範囲は、データ分析だけでなくデータ解析を包括する。データ分析とは、数理的、統計学的な分析手法を用いた計算のことを指し、データ解析とは、データ分析のプランニング、データの収集・加工などのデータ分析の前処理、データ分析に用いる手法の適応などのプロセスすべてを指す。メカニズムを解明するためのデータ分析の手法は、多くの統計に関する書籍などで紹介され既に一般的なものである。それにも関わらず執務環境変化が知的生産性変化に与える影響のメカニズムの分析例が少ない理由は、メカニズムモデルの設計方法、知的生産性変化やその要因の計測手法、執務環境変化実験の実験計画法、データ分析と前処理に用いる統計手法など、それぞれ異なる専門知識が必要な手法を体系的に結びつけたデータ解析の手法が提案されていないためだと考えられる。提案する分析フレームワークの範囲をデータ分析だけでなくデータ解析を包括したものにすれば、オフィスの執務環境変化が知的生産性変化に与える影響のメカニズム解析者が、データ分析の手法だけを理解してもどのようにデータ解析すべきかわからないという問題を解決することが可能である。

## 第 3 章 提案する分析フレームワークの概要

本章では、提案する執務環境変化による知的生産性変化の分析フレームワークの DFD (データフローダイアグラム) を示し、その概要を述べる。

まず、本分析フレームワークの DFD の全体図を図 3.1 に示す。図 3.1 には以下の節で説明する各詳細機能に対応する節番号を記載している。本分析フレームワークは解析者が分析したい執務環境要素を入力すると、その定量的メカニズムモデルを返す。定量的メカニズムモデルとは、執務環境条件が知的生産性変化要因を経て知的生産性に与える影響のモデルであるメカニズムモデルの因果関係であるパスの強さを定量的に示したものである。パスの強さは、執務環境条件が知的生産性変化要因に与える影響や知的生産性変化要因が知的生産性に与える影響を数値として算出したものである。

Petra ら<sup>[10]</sup> は、執務環境変化による知的生産性変化の影響を評価するためには、まず、どのような要素が知的生産性に影響するかを示すモデルを設計し、その影響を評価する必要があるとしている。これにならい、本分析フレームワークは、汎用メカニズムモデルとメカニズムモデル定量化機能から構成される。汎用メカニズムモデルとは、執務環境条件から影響を受け、かつ、知的生産性に影響を与えると考えられる可能性のある要素、つまり、知的生産性変化要因を網羅した執務環境変化から知的生産性変化に至る要因間の因果関係のメカニズムモデルであり、これにより、任意の執務環境要素に対し仮説を持たずとも、網羅された要因から総当たりで探索的分析をすることが可能になる。このように、汎用メカニズムモデルは、影響を評価する前の仮説ではあるが、Petra らの提唱するモデルの設計へ汎用的に用いることが可能である。

メカニズムモデル定量化機能とは、分析したい特定の執務環境の環境要素に対し、汎用メカニズムモデルの構成要素間の影響の大きさを定量的に評価する機能である。よって、統計学的な分析だけでなく分析に用いるデータ収集や分析の前処理など、解析プロセスすべてを包括している。このように、メカニズムモデル定量化機能は、汎用メカニズムモデルを定量化するための、解析プロセスを網羅している。

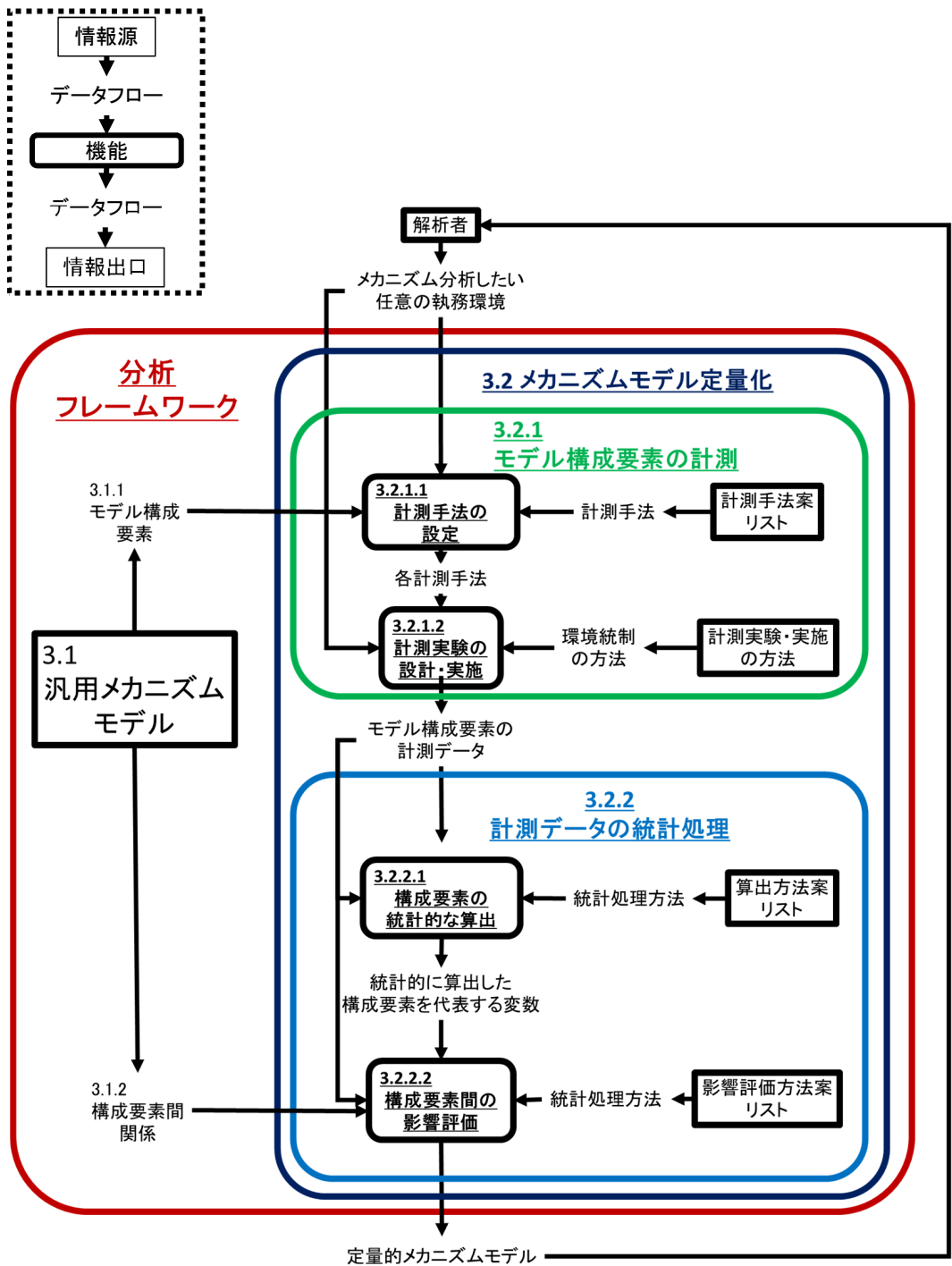


図 3.1: 本分析フレームワークの DFD の全体図

### 3.1 汎用メカニズムモデル

汎用メカニズムモデルの構成要素と、その構成要素間の関係を定義し、それらを統合したモデルを図 3.2 に示す。

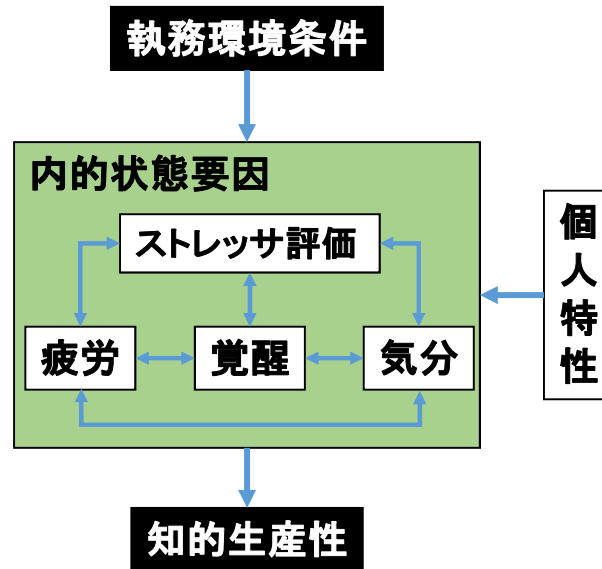


図 3.2: 汎用メカニズムモデル

このモデルは、覚醒、気分、疲労、ストレス評価から成る内的状態要因を経て、執務環境条件が知的生産性に影響を与えることを示している。また、内的状態要因がどのように執務環境から影響を受け、知的生産性に影響を与えるかは個人特性によって異なることも示している。このモデルは、執務環境変化が知的生産性に与える影響のメカニズムモデルの構成要素を提案した。

参考にした既往研究として、以下の知的生産性に影響を与えるメカニズムモデルの研究を挙げる。Woods ら<sup>[11]</sup>によれば、執務環境要素を含む物理的要因は生理・心理的反応を経て知的生産性へ影響を与えるとしている。そして、その生理・心理的反応には主に覚醒、気分、疲労があるとしている。また、Swain ら<sup>[12]</sup>は、生理・心理的反応の元になる生理・心理的ストレスに執務環境の状況や不快感などを挙げている。

これらの知見に加え、本研究では執務環境から受ける生理・心理的反応は個々の執務者ごとに異なる则认为。一般に、環境の好みには個人差があり、執務環境要素によるストレスは個人特性によって大きく左右されると考えられる。例えば、「寒がり」や「冷え性」という特性を持った人はそうでない人と比べ、室温が低い環境をより強いストレスに感じると考えられる。

### 3.1.1 モデル構成要素の定義

モデル構成要素の定義として(1)「知的生産性」と(2)「執務環境要素」、知的生産性に影響を与え、かつ、執務環境要素から影響を受ける可能性のある(3)「知的生産性変化要因」の3つを定義する。

#### 3.1.1.1 知的生産性の定義

加藤ら<sup>[13]</sup>によれば、生産性はインプットの量とアウトプットの量の比率として捉えられるものとされている。また、知的生産性は既往研究で一般に2つの見方がされており、これらを加藤らの考え方に当てはめると、一つはインプットを執務環境のコスト、アウトプットをそれにより得られた金銭的なりターンとする経済的な見方、もう一つはインプットを知的作業時間、アウトプットを知的作業量とする人間を中心とした見方である。経済的な見方は、背景で述べたような、知的生産性を担保にエネルギーコストを抑えるオフィスの設計に深く関連する面はある。しかし、その経済的な見方の知的生産性を概算するためにも、まずは、人間を中心とした見方の知的生産性を考える必要がある。実際、Woodsら<sup>[11]</sup>によれば、経済的な見方の知的生産性は、建設、保守運用、保険などにかかるコストに加え、作業効率からも影響を受けるとされている。よって、本分析フレームワークでの知的生産性の定義は、インプットを時間、アウトプットを知的作業とした比率、すなわち単位時間当たりの知的作業量とする。

#### 3.1.1.2 執務環境条件の定義

本分析フレームワークでの執務環境条件の定義は、知識処理の作業量に影響を与える執務環境要素の条件とする。なぜなら、執務環境要素が与える影響のメカニズム分析結果を用いてオフィスを設計する際、対象となる執務で最も重要な知的作業は知識処理と考えられるからである。村上ら<sup>[14]</sup>によれば、執務、つまり知的作業は、無意識的に行われることの多い簡単な「情報処理」、意識的に行われる必要のある「知識処理」、意識的にアイデアを出す拡散思考・アイデアを絞る収束思考の、論理的・抽象的な処理が必要とされる「知識創造」の3つの階層があり、それぞれ周辺環境から与えられる影響は異なるとされている。

まず、情報処理の作業に影響を与えると考えられる環境要素は、本分析フレームワークでの分析の対象外とする。情報処理は、オフィス作業に占める時間割合が大きい分、重要な作業であると考えられる。情報処理にあてはまる、外部からの刺激に無意識的



に反応するような、視覚認知・聴覚認知・動作制御は、一般に、文字や図形、音声の認識、判断や操作などの多くの作業で必要とされるからである。しかし、情報処理に関しては、現状の環境維持が推奨されている<sup>[14]</sup>ため、本研究の目標とする執務環境改善に資する分析という観点からはあまり重要ではない。

次に、知識処理の作業に影響を与えると考えられる環境要素は、本分析フレームワークでの分析の対象とする。知識処理もオフィス作業に占める時間割合が大きい分、重要な作業であると考えられる。知識処理にあてはまる、知識情報の調査探索・加工処理・知的価値向上は、一般に記憶や計算などの知識蓄積や知識加工、書類作成や情報管理など多くのオフィス作業で用いられているからである。また加えて、知識処理は、集中できる空間と環境など、現状の環境の質の向上が推奨されている<sup>[14]</sup>ため、2章で述べたような本研究の背景である執務環境改善による知的生産性の向上の観点から非常に重要である。

最後に、知識創造の作業に影響を与えると考えられる環境要素は、本分析フレームワークでの分析の対象外とする。知識創造は近年のオフィスにおいて非常に重要な作業である。知識創造にあてはまる、価値創造やイノベーションなど新しい価値を創造する作業は、一般に、多くの分野で求められる。しかし、知識創造は知識処理よりオフィスで行われる時間が少なく、加えて、必要とされる環境が知的創造を刺激するような空間・環境である<sup>[14]</sup>ため、2章で述べたような基本的なオフィス設計と異なる視点をもつと考えられる。

以上のように、本分析フレームワークでの執務環境条件の定義は、知識処理作業量に影響を与える執務環境要素の条件に限定する。以上の定義を満たしていれば、あらゆる環境要素を、本分析フレームワークでの執務環境条件に適用することは可能である。主な知識処理作業量に影響を与える環境要素は、空気質、温熱環境、音環境、個人的環境制御可能性、光環境などが挙げられ、実際、Mendellら<sup>[15]</sup>によれば、これらの環境要素は、知的作業量に影響するものとして重要であるとしている。また、Wyonら<sup>[16]</sup>も、Healthy Building 2000 Workshopの参加者に対し行った、「どのような環境要素が知的生産性に影響すると思うか」を問うアンケートの結果、同様の環境要素がオフィス設計の専門家の中で重要視されていることを示した。

### 3.1.1.3 知的生産性変化要因の定義

知的生産性変化要因として、内的状態要因である覚醒、気分、疲労、ストレス評価と個人特性を定義する。覚醒は中枢神経系の興奮が増大し注意が喚起された意識の状

態であり、知的生産性に対しては主に「注意」という観点から大きな影響を与えるとされる<sup>[17]</sup>。気分は、認知処理機構との相互作用を通じて知的生産性に影響を与える感情機構であり、しばしば、同じ感情機構である一時的で急激な感情である情動と分けて考えられる<sup>[17]</sup>。本研究の対象である執務環境要素は動的に変化するものではないため、感情機構のなかからは情動ではなく気分が焦点を当てる。疲労とは、肉体疲労として肩のだるさや目の痛みなど局所部位に現れたり、精神疲労として情報処理能力の低下や短い意識の中断として現れたりする現象である。疲労しているとは、知的作業などの活動に伴ってへばり、休息をとることで回復すると予測できる体内変化が起きている状況である<sup>[17]</sup>。本研究では特に知的生産性に関係する疲労を考える。ストレス評価の定義は、個人が執務環境要素に関連するストレスに対する知覚や不快感とする。ストレスとはその人にとって負担になる出来事であり、ストレスはそのストレスに対し反応している状態のことである<sup>[17]</sup>。個人特性の定義は、環境要素の変化などにより影響を受けない恒常的な個人ごとに異なる属性や特性とする。具体的には、年齢、性別、世帯規模、所得、職業、学歴などの人口統計学的属性や、価値観、ライフスタイル、性格、好みなどの心理的特性などの基本的な個人ごとに異なる特性に加え、知的生産性や内的状態要因の、個人ごとの基準となる値である「基準値」や環境条件の変化による変化率などの「環境感度」が挙げられる。基準値は、個人の知的生産性と内的状態要因の計測データを集計したものであり、その個人の基本的な知的生産性と内的状態要因の値である。環境感度は、環境条件ごとに個人の知的生産性と内的状態要因の計測データを集計したものであり、その個人の基本的な知的生産性と内的状態要因の環境条件変化による変化量である。これらの集計には、平均値・最大値・中央値・モードなどの代表値が用いられる。個人特性の影響はメカニズム全体にかかるものであると考えられるため、メカニズムの分析の際には、分析対象の執務者のグループ分けに用いる。

### 3.1.2 構成要素間関係の定義

構成要素間関係として、モデル構成要素が互いに影響を与える可能性のある関係を定義し、それを表3.1に示す。○は相関関係、△は行名の項目から列名の項目への因果関係、×は互いに独立であるとする。その詳細として因果関係と、内的状態要因の相関関係について述べる。

#### 因果関係

表 3.1: 構成要素間関係

	知的生産性	覚醒	気分	疲労	ストレス評価	執務環境条件
覚醒	△	—	—	—	—	—
気分	△	○	—	—	—	—
疲労	△	○	○	—	—	—
ストレス評価	△	○	○	○	—	—
執務環境条件	△	△	△	△	△	—
個人特性	△	△	△	△	△	×

執務環境条件は前述のように、知的生産性と内的状態要因に影響を与えうると考えられる。また、内的状態要因も、前述のように知的生産性に影響を与える可能性があると考えられる。そして、個人特性は、上述したモデル構成要素の因果関係そのものに影響を与える可能性が考えられる。これらの影響を与えうる関係を因果関係と考える。

#### 内的状態要因の相関関係

内的状態要因である覚醒・気分・疲労・ストレス評価は、互いに相関関係にある可能性が考えられる。内的状態要因を構成する要素は複雑に影響を及ぼしあう。例えば、「覚醒している場合は、気分が高揚する。」「気分が良いときは、ストレス評価がより良くなる。」「疲労が大きい場合は、ストレス評価がより悪くなる。」などが挙げられる。

## 3.2 メカニズムモデル定量化

図 3.3 にメカニズムモデルの定量化の機能周辺の DFD を示す。メカニズムモデルの定量化の機能は、メカニズム分析したい執務環境と、汎用メカニズムモデルで定義したモデル構成要素と構成要素間関係の入力から、定量的メカニズムモデルを返す。

メカニズムモデルの定量化は、メカニズムのモデル構成要素の計測と計測データの統計処理から構成される。以下の項でそれぞれを説明する。

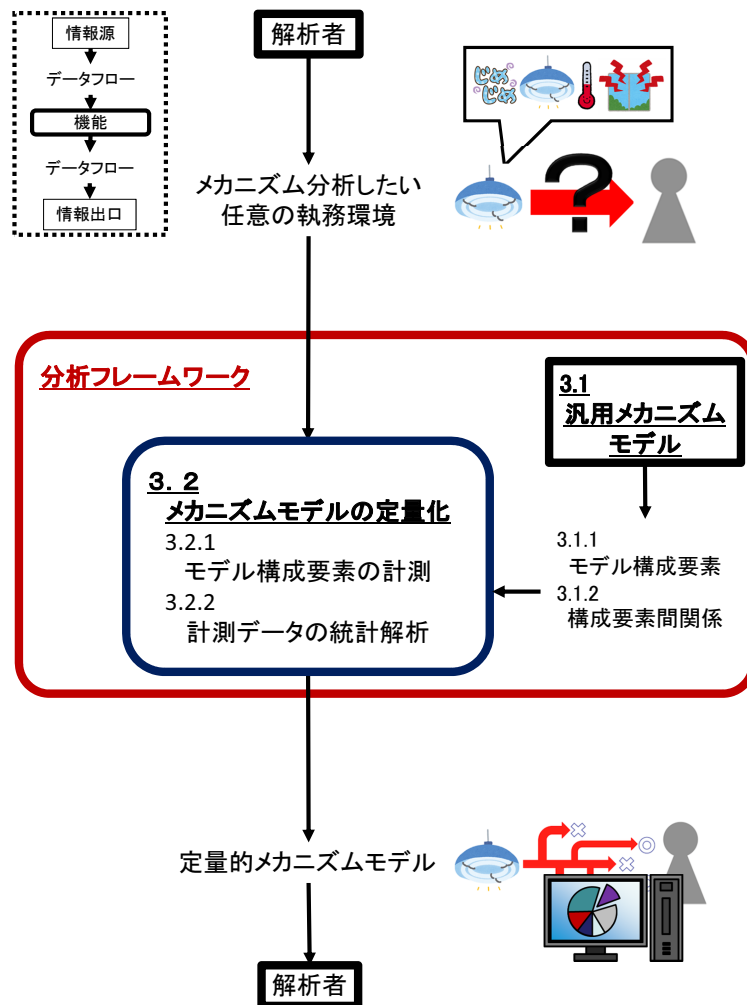


図 3.3: メカニズムモデルの定量化

### 3.2.1 モデル構成要素の計測

モデル構成要素の計測とは、分析したい執務環境のメカニズムモデルを構成する要素を計測することである。図 3.4 にモデル構成要素の計測の機能周辺の DFD を示す。モデル構成要素の計測の機能は、解析者がメカニズム分析したい執務環境の入力と、汎用メカニズムモデルで定義したモデル構成要素の入力から、モデル構成要素の計測データを返す。

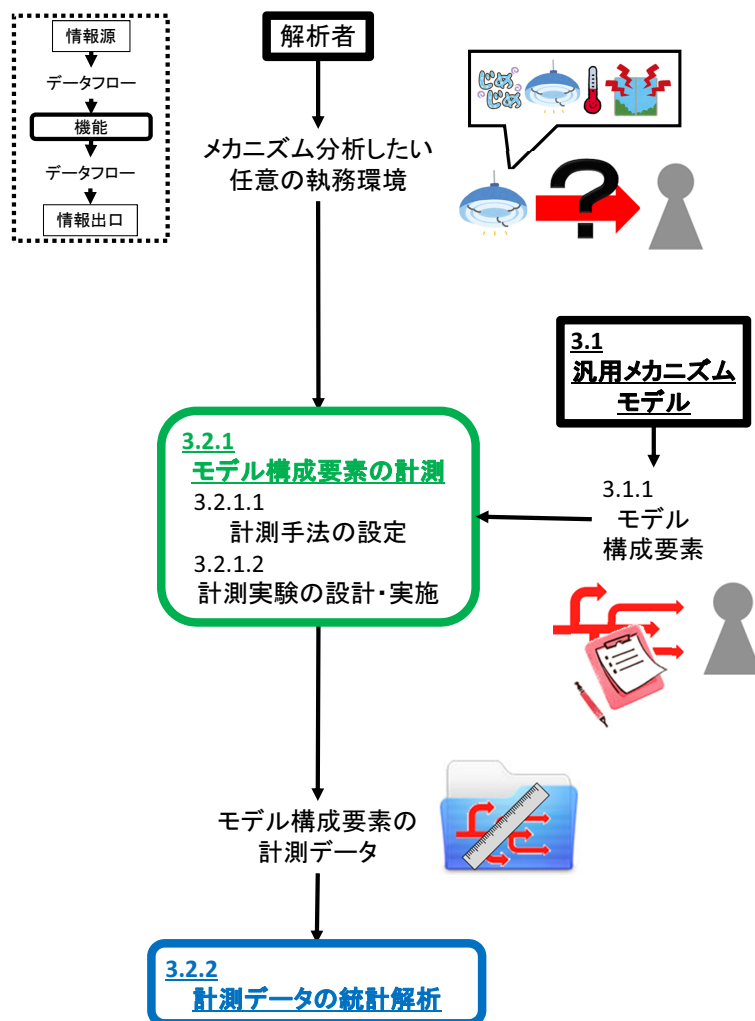


図 3.4: モデル構成要素の計測

モデル構成要素の計測は、計測手法の設定、計測実験の設計・実施から行われるとする。計測手法とは、各モデル構成要素を計測する手法である。計測実験とは、設定した計測手法を実行するために設計された被験者実験であり、実験用に設計した執務空間の執務環境条件を変化させる中で計測が行われる。計測実験は、計測が正しく行

われるように細かく計測条件をコントロールすることが可能であり、モデル構成要素の計測手法の多くは実験の中で行われる必要があるものがほとんどである。以下の条でそれぞれ詳細を説明する。

### 3.2.1.1 計測手法の設定

計測手法の設定とは、メカニズム分析したい執務環境から影響を受ける可能性が考えられるモデル構成要素の計測手法を、以下に挙げる計測手法リストを参考に設定することである。図??に計測手法の設定の機能周辺の DFD を示す。図に示すように、計測手法の設定の機能は、メカニズム分析したい執務環境と、計測手法と、モデル構成要素の入力から、各モデル構成要素の計測手法を返す。

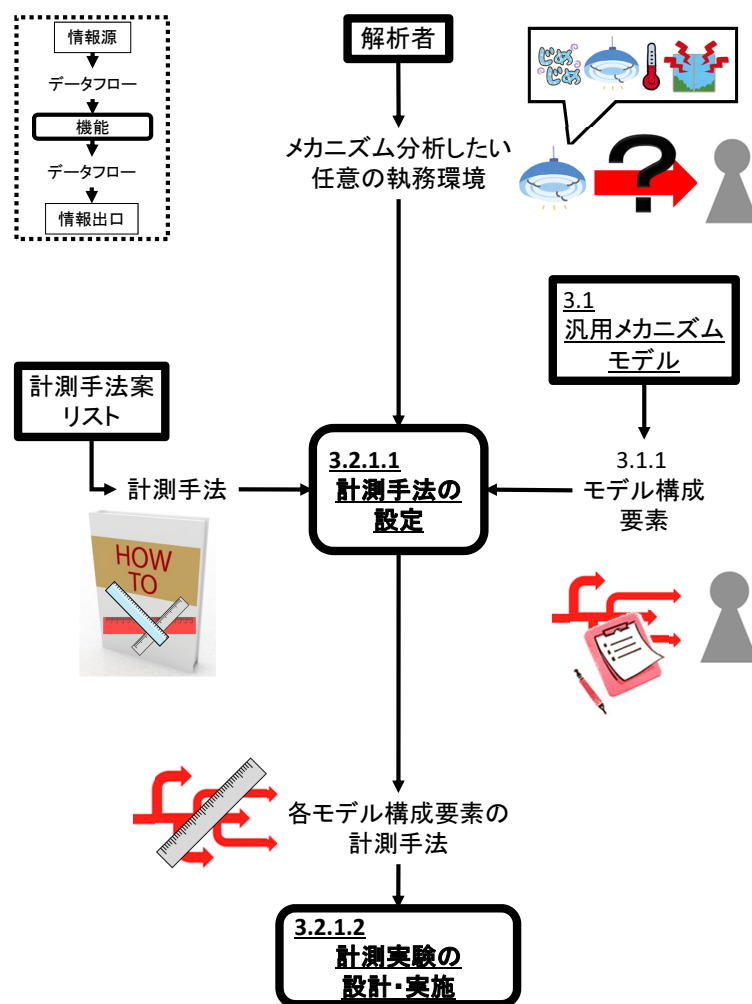


図 3.5: 計測手法の設定

この分析フレームワークでは計測手法の候補として、計測手法案リストを計測対象

ごとに用意している。計測手法案リストには、比較的汎用性、確度、精度が優れている計測手法とその詳細を挙げている。しかし、必ずしもその計測手法案リストの中から用いる手法を選択する必要はなく、より有用な計測手法が提案されれば、状況に応じてその手法を選択すればよい。

以下に示す計測手法案リストは、計測手法名、計測原理、時間分解能、同時計測可能性から構成される。時間分解能とは、その計測手法によりどれくらいの時間分解能で細かく計測できるかを指したものである。同時計測可能性とは、計測手法を用いるための制約のなかで、どれくらい多くの人数を同時に計測可能であるかを指したものである。時間分解能と同時計測可能性は、それぞれ一人当たりには得られるデータの個数と時間あたりに得られるデータの個数というように、データサンプル数をいかに効率よく得られるかを示す指標であり、サンプル数の多さは、統計処理で有意な結果を得るための重要な条件となる。時間分解能と同時計測可能性はトレードオフの関係にある場合が多いので、より細かく時間変化を分析したい場合は時間分解能を優先し、様々な執務者を分析したい場合は同時計測可能性を優先する、というようにデータ計測を計画する。

計測対象は、知的生産性、覚醒、疲労、気分、ストレス評価、個人特性である。これらを計測することで、執務環境条件を除き、汎用メカニズムモデルの各構成要素を計測することになる。

## 知的生産性

表 3.2: 知的生産性計測手法案リスト

知的生産性計測手法名	計測原理	時間分解能	同時計測可能性	備考
認知タスクの作業成績	認知タスクの、一問あたりの解答時間やエラー解答率を指標としたもの。認知タスクは、一問数秒程度で解ける短期記憶・作業記憶に負荷がかかるタスクとする。	分単位	認知タスクの解答時間と正答を判定する機能をもつPC端末 (一台につき一人のみ計測可能)	タスクへの習熟による影響を考慮する必要がある。
CTR (Concentration Time Ratio : 集中時間比率)	作業への集中・休息状態の時間を用いて、認知タスクを行う執務者の集中度を計る指標を用いて評価する。	タスク 1セット単位	認知タスクの解答時間と正答を判定する機能をもつPC端末 (一台につき一人のみ計測可能)	
主観知的生産性評価	執務者ごとの知的生産性を測ることを目的に、直前に行ったタスクに関する質問項目を作成する。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	

表3.2にあるように知的生産性の計測手法として、認知タスクの作業成績、CTR (Concentration Time Ratio : 集中時間比率)、主観知的生産性評価を挙げる。認知タスクの

作業成績、CTRとは、認知タスクへの解答結果を用いた知的生産性の計測手法である。認知タスクとは、作業量の定量評価をするための仮想タスクである。認知タスクの作業成績とCTRは、デザインに制約があるものの用意しやすい認知タスクを用いるので汎用性が高く、また、作業量を定量的に評価しているため、客観的な評価が可能である<sup>[19]</sup>。主観知的生産性評価は、調査票を用いた知的生産性の計測手法であり、知的生産性の自己評価は難しく、客観指標ではないが、あらゆるタスクに適応が可能であり、非常に汎用性が高いと考えられる。

## 覚醒

表 3.3: 覚醒計測手法案リスト

覚醒計測手法名	計測原理	時間分解能	同時計測可能性	備考
UMACL (UWIST Mood Adjective Checklist)	覚醒はポジティブな覚醒とネガティブな覚醒の2種類の覚醒があると考え作成された心理尺度で、「エネルギー覚醒」と「緊張覚醒」を因子分析で抽出するための下位概念が質問項目になっている。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	因子分析が可能なサンプル数が必要
眼計測	覚醒と密接な関係があるとされている瞬目[]を計測したものを指標とする。	分単位	faceLABなどの赤外線カメラと顔認識システムによる計測機器 (一台につき一人のみ計測可能)	タスクセット中の頭部の動きなどから計測エラーが発生しやすい
脳波計測	覚醒状態と関連するβ波と安静状態と関連するα波のパワー比を計測したものを指標とする。	分単位	ポリグラフなど体電位計測器 (一台につき一人のみ計測可能)	

表3.3にあるように覚醒の計測手法として、UMACL(UWIST Mood Adjective Checklist)<sup>[21]</sup>、眼計測、脳波計測を挙げる。UMACLとは、調査票を用いた覚醒の計測手法である。UMACLは、覚醒を測る多数の心理尺度を総括したうえで作成された心理尺度であり、覚醒に関して多くの研究分野で用いられていること、調査票だけで計測可能なことから、非常に汎用性が高いと考えられる。眼計測、脳波計測とは、生理計測機器を用いた覚醒の計測手法である。眼計測と脳波計測は、比較的よく使われている生理計測機器を用いているため汎用性が高いと考えられる。また、調査票より客観的な計測である。

## 疲労

表3.4にあるように疲労の計測手法として、自覚症しらべ<sup>[20]</sup>、眼計測、心拍変動の計測を挙げる。自覚症しらべとは、調査票を用いた疲労の計測手法である。自覚症しらべは、多くのケースで使用されている調査票で、疲労に関して、近年(2002年改訂)



表 3.4: 疲労計測手法案リスト

疲労計測手法名	計測原理	時間分解能	同時計測可能性	備考
自覚症しらべ	作業に伴う疲労状態を測ることを目的に作成された心理尺度で、「ねむけ感」「不安定感」「不快感」「だるさ感」「ぼやけ感」を因子分析で抽出するための下位概念が質問項目になっている。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	因子分析が可能なサンプル数が必要
眼計測	・精神作業による疲労と関連するとされる瞳孔径により評価する ・瞳孔径計測システムに基づく神経疲労の評価する。	分単位	faceLABなど 赤外線カメラと 顔認識システムによる 計測機器 (一台につき 一人のみ計測可能)	タスクセット中の頭部の動きなどから計測エラーが発生しやすい
心拍変動の計測	自動車の運転によって生じる疲労の指標として有効とされる心拍変動により評価する。	分単位	ポリグラフなど 体電位計測器 (一台につき 一人のみ計測可能)	現在は計測対象者に電極を接触させる必要があり、計測時にタスクの遂行を妨げる可能性がある。

の労働特性に対応可能な項目が用意されていること、調査票だけで計測可能なことから、非常に汎用性が高い。眼計測、心拍変動の計測とは、生理計測機器を用いた疲労の計測手法である。眼計測と心拍変動は、比較的よく使われている生理計測機器を用いているため汎用性が高いと考えられる。また、調査票より客観的な計測である。覚醒の計測手法で生理計測機器を用いる場合は、その計測機器を疲労に使うことも可能である。例えば、瞬目の計測で覚醒を計測する場合は同じ眼計測機器で同時に瞳孔径が、脳波計測で覚醒を計測する場合は同じ計測機器で同時に心拍変動が計測可能である。

## 気分

表 3.5: 気分計測手法案リスト

気分計測手法名	計測原理	時間分解能	同時計測可能性	備考
MMS (Multiple Mood Scale)	できるだけ多く同定できる気分を測ることを目的に作成された心理尺度で、「抑鬱」「不安」「敵意」「倦怠」「活動的快」「非活動的快」「親和」「集中」「驚愕」を因子分析で抽出するための下位概念が質問項目になっている。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	因子分析が可能なサンプル数が必要

表 3.5 にあるように気分の計測手法として、MMS(Multiple Mood Scale)<sup>[22]</sup> を挙げる。MMS とは、調査票を用いた気分の計測手法である。MMS は、気分を計測するための多角的な質問項目が用意されていること、調査票だけで計測可能なことから、非常に汎用性が高いと考えられる。本研究では、気分の計測手法は主観評価法である MMS のみを挙げ、生理計測は用いない。同じ感情機構である情動と関連のある生理反応の報告はされているが、長期の感情状態変動である気分に関連する生理反応は報告されていないからである。

## ストレス評価

表 3.6: ストレス評価計測手法案リスト

ストレス評価計測手法名	計測原理	時間分解能	同時計測可能性	備考
SAP (the Subjective Assessment of workplace Productivity)	執務環境の主観評価に関する既往研究をまとめ、さらに独自に加えた質問項目を持つ。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	執務環境を包括的に評価できるが、分析したい執務環境要素によっては、抽象的な評価項目しか用意されていない可能性もある
評価する環境条件に関する主観評価	執務者ごとにストレスの主観を測ることを目的に作成する心理尺度で、分析したい執務環境条件を構成する執務環境要素に関連するストレスに対する知覚や負担から質問項目を解析ごとに作成する。	タスク 1セット単位	調査票 (人数制限なし)	分析したい執務環境条件を構成する執務環境要素に関連するストレスの仮説が必要

表 3.6 にあるようにストレス評価の計測手法として、SAP(the Subjective Assessment of workplace Productivity)<sup>[24]</sup> と、執務環境に関する主観評価を挙げる。SAP とは、調査票を用いたストレス評価の計測手法である。SAP は、執務環境の主観評価に関する既往研究をまとめ、さらに独自に加えた項目が用意されていること、調査票だけで計測可能なことから、非常に汎用性が高いと考えられる。執務環境に関する主観評価とは、解析ごとに作成する調査票を用いたストレス評価の計測手法である。執務環境に関する主観評価は、分析したい執務環境要素に特化した項目を解析者が用意することから、執務環境要素に関連する項目の仮説さえあれば、任意の解析で用いることが可能な手法である。

## 個人特性

表 3.7: 個人特性計測手法案リスト

個人特性計測手法名	計測原理	同時計測可能性
人口統計学的属性調査	一般に、肉体との関連が考えられる年齢・性別や知的生産性との関連が考えられる職業や出身大学などを計測する。	調査票 (人数制限なし)
執務環境の好み調査	脳波やワーキングメモリ容量、感情機構に影響を与えるとされる「好み」を、分析したい執務環境要素に対し質問項目を新規に作成する。	調査票 (人数制限なし)
朝型-夜型 (Mornings-Eveningness) 質問紙	タスク遂行時の計測対象者の体調と関連するライフスタイルを、計測対象者の生活リズムなどに関する質問項目を用いて計測する。	調査票 (人数制限なし)
知的生産性と 内的状態要因の 代表値	個人差があると考えられる知的生産性と内的状態要因を、個人ごとに代表値を取ることで計測する。	制限なし
知的生産性と 内的状態要因の 環境変化による向上度	個人差があると考えられる知的生産性と内的状態要因の環境変化による向上を、個人ごとに環境条件間で代表値の差を取ることで計測する。	制限なし

表 3.7 に示すように個人特性の計測手法として、人口統計学的属性調査、執務環境の好み調査、朝型-夜型 (Morningness -Eveningness) 質問紙<sup>[26]</sup>、個別基準値、環境感度を挙げる。人口統計学的属性調査、朝型-夜型質問紙とは、調査票を用いた個人特性の計測手法である。執務環境の好み調査とは、解析ごとに作成する調査票を用いた個人特性の計測手法である。人口統計学的属性調査、執務環境の好み調査、朝型-夜型質問紙は、いずれも調査票だけで計測可能なことから汎用性が高いと考えられる。個別基準値とは、個人の知的生産性と内的状態要因の計測データを集計したものであり、その個人の基本的な知的生産性と内的状態要因の値である。環境感度とは、環境条件ごとに個人の知的生産性と内的状態要因の計測データを集計したものであり、その個人の基本的な知的生産性と内的状態要因の環境条件変化による変化量である。これらの集計には、平均値・最大値・中央値・モードなどの代表値が用いられ、知的生産性と内的状態要因をそれぞれ計測していれば、どの解析でも用いることが可能な手法である。

以上の計測項目は、個人特性の影響はメカニズム全体にかかるものであると考えられるため、メカニズムの分析の際には、分析対象の執務者のグループ分けに用いる。

### 3.2.1.2 計測実験の設計・実施

計測実験とは、以下に提案する実験統制方法を参考に実験を統制しつつ、分析したい執務環境要素を変化させるなかで、各モデル構成要素を計測する実験のことである。

図 3.6 に計測実験の設計・実施の機能周辺の DFD を示す。計測実験の設計・実施の機能は、計測手法の設定で得た各モデル構成要素の計測手法のと、実験統制方法のと、メカニズム分析したい執務環境の入力から、モデル構成要素の計測結果データを返す。

実験統制とは、分析したい執務環境要素以外の要素に関する条件の統制である。分析したい執務環境要素以外の要素とは、知的生産性に影響を与えられられる要素であり、Woods ら<sup>[11]</sup> は、執務環境要素の他にも多くの要素を挙げている。実験統制をすれば、分析したい執務環境要素の有無のみの影響を分析することが可能である。

本分析フレームワークでは、当研究室の過去の被験者実験の経験から特に重要と考えられる、時間帯、実験参加者、順序効果を取り上げ、その統制方法について以下に述べる。

#### 時間帯の統制

時間帯を統制することで、時間帯によって一定の傾向で変化する実験参加者の状態を統制することが可能である。状態の変化の例として、起床より一日を通して徐々に蓄

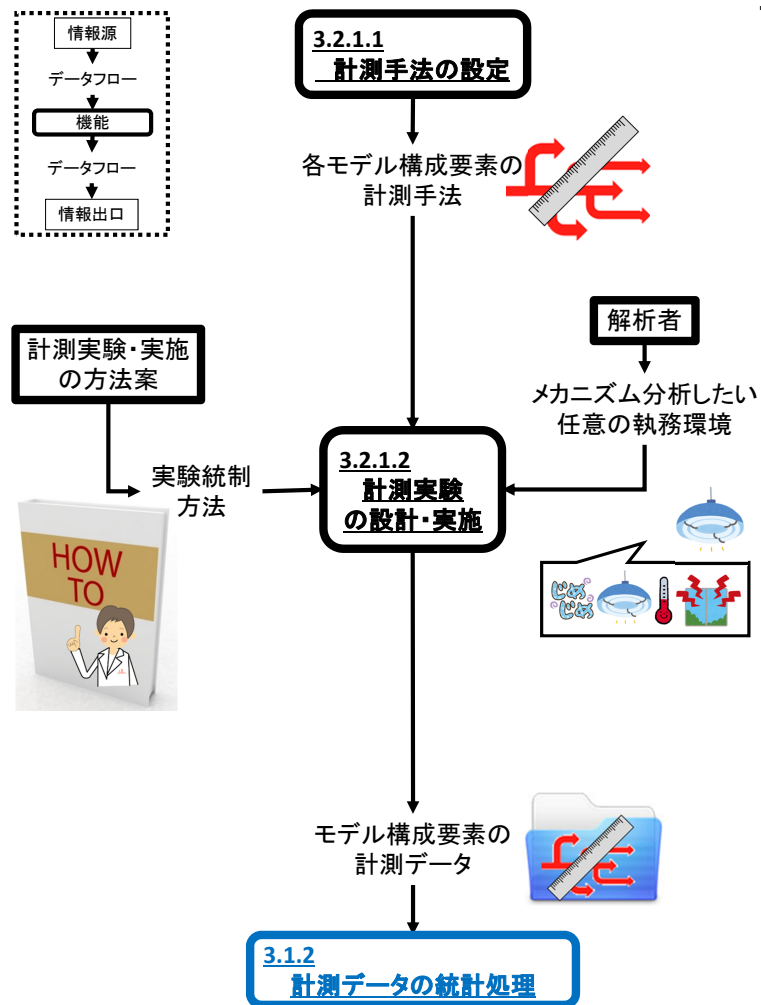


図 3.6: 計測実験の設計・実施

積する疲労、昼食後の時間帯に眠気が増加するポストラランチディップ、24時間周期で変動する生理現象であるサーカディアンリズムがある。時間帯の統制方法として、執務環境条件を日単位で変化させ、一日の計測スケジュールを同じものにする事で、執務環境条件変化間で同じ時間帯に計測する方法が考えられる。

### 実験参加者の統制

実験参加者を統制することで、変化する執務環境条件間で実験参加者の特性や状態に偏りがなくなるように統制することが可能である。特性や状態の偏りの例として、実験への適応性や参加実験の満足感などがあり、これらは表面的に似通った個人特性の実験参加者を集めて実験を行うだけでは十分に統制できないと考えられる。実験参加者の統制方法として、執務環境条件を変化させる間に同じ実験参加者を用いることで、執務環境条件変化間で同じ実験参加者グループを用いる方法が考えられる。

### 順序効果の統制

順序効果を統制することで、順序効果によって一定の傾向で変化する実験参加者の状態を統制することが可能である。状態の変化の例として、実験スケジュールの初頭と終末でタスクへのモチベーションが高くなる初頭・終末効果、タスクの習熟による作業成績の変化などがある。順序効果の統制方法として、実験参加者をグループに分け、それぞれ条件変化の順番を交互に設定することで、以上に挙げた分析の対象と無関係な影響を除去する方法が考えられる。

## 3.2.2 計測データの統計処理

計測データの統計処理とは、モデル構成要素の計測で得られたデータを用いて、表3.1に示した構成要素間関係を考慮したメカニズムモデルの各パスを定量化することである。

図3.7に計測データの統計処理の機能周辺のDFDを示す。計測データの統計処理の機能は、モデル構成要素の計測データのと、構成要素間関係の入力から、定量的メカニズムモデルを返す。

計測データの統計処理は、まず、構成要素の計測データを構成要素間の影響評価で用いる多変量統計処理が可能な変数として算出し、次に、その変数を用いて構成要素間の影響評価を行う。

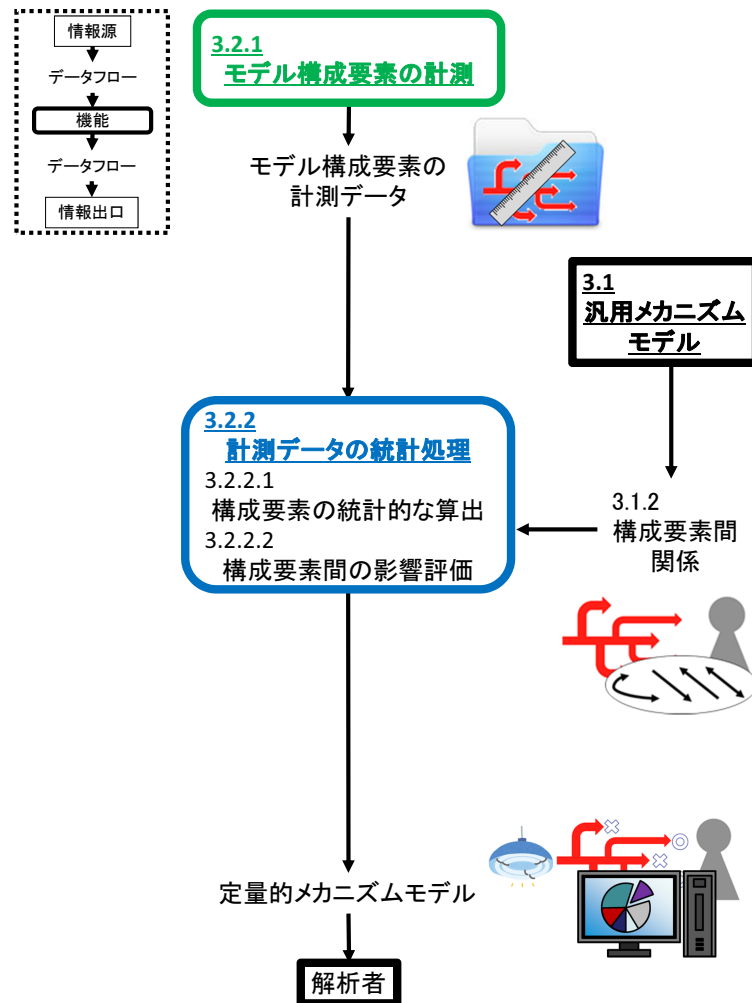


図 3.7: 計測データの統計処理

### 3.2.2.1 構成要素の統計的な算出

構成要素の統計的な算出とは、モデル構成要素の計測データを、以下で提案する算出方法を参考に統計処理方法を用いて加工し適切な変数で代表させ、構成要素間の影響評価に用いやすくすることである。

図 3.8 に構成要素間の影響評価の機能周辺の DFD を示す。構成要素の統計的な算出の機能は、モデル構成要素の計測データのと、後述する算出方法案で挙げる統計処理方法の入力から、統計的に算出した構成要素を代表する変数を返す。

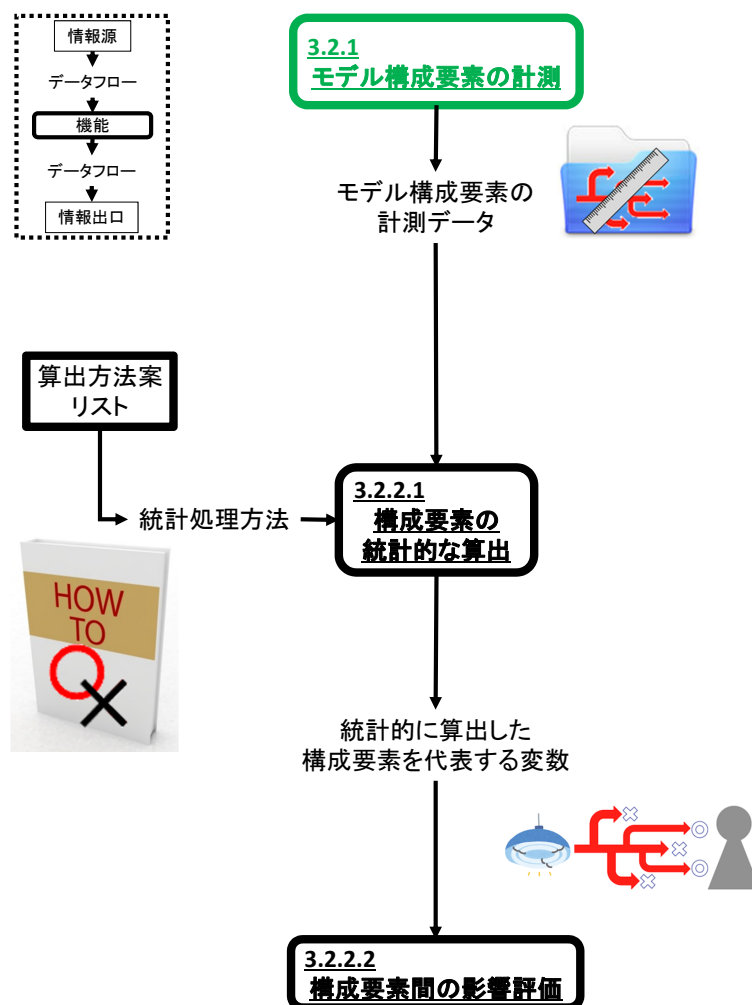


図 3.8: 構成要素の統計的な算出

表 3.8 にあるように構成要素の統計的な算出の手法として、正規化、因子分析、クラスター分析、回帰木を挙げる。これらは、必要でない場合を除いて、ここに挙げた順に実行することが望ましい。必要な場合とは、表 3.8 に示す適用ケースに当てはまるときである。

表 3.8: 構成要素の統計的な算出手法案リスト

構成要素の統計的な算出手法名	算出原理	適用ケース
正規化	数値の相対量の意味が異なると考えられる場合は、対象のデータ群の各値から平均値を引き、データ群の平均を0に揃える。数値の絶対量の意味が異なると考えられる場合は、対象のデータ群の各値から標準偏差を割り、データ群の分散を1に揃える。	同変数列のなかで、サンプルごとにデータの持つ数値の相対量や絶対量の意味が異なると考えられる場合
因子分析	変数群から共通した因子を持つ変数を探り出し、その変数から因子を数値化し変数群に加える。数値化された各因子は変数群を要約したものとして、また、より本質的にデータを説明したものとして捉えられる。	影響評価の分析時に、用いる変数が雑多になることで、探索的に分析することが困難になる場合
クラスタリング	サンプル同士の各個人特性が似通うようにサンプルをグルーピングする。その際の分類の基準は個人特性変数の中から選ばれた変数の値であり、より各個人特性が似通う変数が選ばれる。	影響評価の対象サンプルの設定時に、用いる変数が雑多になることで、スライジングが困難になる場合
決定木 (回帰木)	ある個人特性の変数を指針に対象を分類する。その際、分類の基準となるのが他の個人特性の変数であり、より不純無く目的変数の値が分かれるような変数が選ばれる。	影響評価の対象サンプルの設定時に、より似通った個人特性を持つグループができるようなスライジングをしたい場合

正規化とは、対象のデータ群の各値から平均値を引くことでデータ群の平均を0に揃え、対象のデータ群の各値から標準偏差を割ることでデータ群の分散を1に揃える処理である。前者の処理をセンタリングといい、データ群間の基準値をそろえる場合に行う。また、それに後者の処理を加えることをスケールリングと言い、データ群間のバラツキを揃える場合に行う。例えば、CTR、つまり集中時間比率には、ある人間は70%を中心に環境変化などの影響を受け上下していても、またある人間は50%を中心に上下しているというように個人差がある。よって、あるCTRの値が比較的高いか低いかという意味付けをする際にその個人差を揃える必要がある。その場合、CTRの基準値を揃えるためには、計測対象者ごとのセンタリングが有用であると考えられる。

因子分析とは、変数群から共通した因子を持つ変数を抽出する分析方法である。抽出された因子は変数群を要約したものとして、また、より本質的に計測データを説明したものとして捉えられる。このように、情報量をなるべく損なわぬように変数群を要約して少ない変数でデータを説明することを要素要約といい、構成要素間の影響評価の際、因子分析により数多くの変数を要約することで、探索的な分析を簡略化することが可能である。

クラスター分析と回帰木を説明する前に、決定木を説明する。決定木とは、目的変数を説明する変数の値で、目的変数の値に差ができるように対象サンプルをグループ分けする分析方法である。このように、サンプルの持つ変数の値がグループ間でより差が出るような対象サンプルのグループ分けをすることを対象要約といい、そのグルー



ブ間でより違ったメカニズムが確認できると考えられる。

クラスター分析とは、全変数値が似通うサンプル同士をクラスターとしてとらえ、対象要約する分析方法である。そのクラスターの特徴を調べるためには、クラスターが目的変数の決定木を行い、グルーピングをよく説明する変数を特定し、そこからクラスターを特徴付ける名付けを行う。また、クラスターの全変数の重心であるセントロイドからもクラスターの特徴を詳細に見ることができる。

回帰木とは、量的データの値を持つ目的変数で決定木を行う分析方法である。決定木同様、グルーピングの基準として選ばれるのが目的変数と強く関連する他の変数である。よって、グループ分けはサンプルの目的変数以外の変数の値にも差が出やすくなる。この要素要約の意義は、カテゴリーデータのように既に明確に分けられているデータではない量的データを持つ変数をグループ分けの基準にできることと、その変数に大きくかかわる変数の値にも差が出るように対象要約されることである。

後者の意義は決定木にも当てはまるが、そのグループ間でより違ったメカニズムが確認できると仮説ができるのであれば、カテゴリーデータを持つ一つの変数だけを基準に対象サンプルのグループ分けを行う（スライシング）ことも推奨する。

### 3.2.2.2 構成要素間の影響評価

構成要素間の影響評価とは、統計的に算出した構成要素を代表する変数から、以下で構成要素間の影響評価手法案リストに挙げる統計手法を用いて構成要素間のそれぞれの因果関係の影響を定量的に評価することである。

図 3.9 に構成要素間の影響評価の機能周辺の DFD を示す。構成要素間の影響評価の機能は、統計的に算出した構成要素を代表する変数と、構成要素間関係と、構成要素間の影響評価手法の入力から、定量的メカニズムモデルを返す。

表 3.10 に示すように構成要素間の影響評価手法として、共分散構造分析、ベイジアンネットワーク、相関分析を挙げ、それぞれの手法で必要なサンプル数やその他の特徴を述べる。

必要なサンプル数は、統計処理を選択する際の重要な判断基準である。より詳細に分析するためにサンプルをグループに分けて統計処理を行う場合は、その分サンプル数が少なくことまで考慮する必要がある。

共分散構造分析は、仮説に基づいて変数間の因果をあらわすパス図を作り、因果間の関係パス間で重回帰分析を行い、変数間のつながりの強さを標準偏回帰係数で評価する分析方法である。共分散構造分析を行うためには、結果が有意であるというため

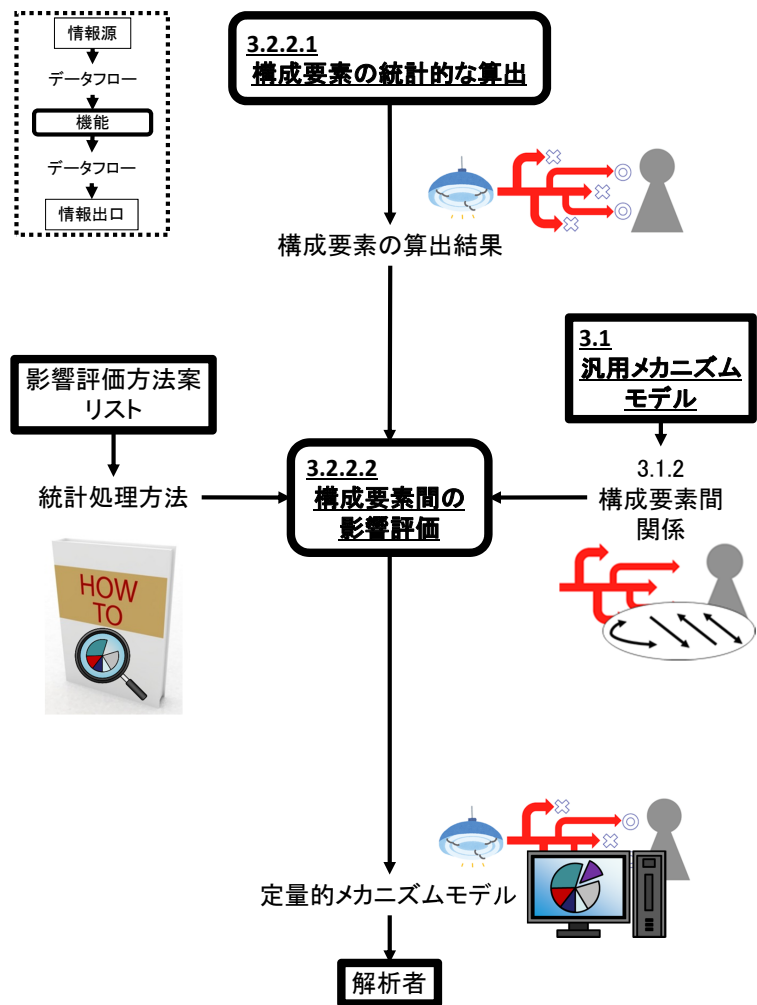


表 3.9: 構成要素間の影響評価

表 3.10: 構成要素間の影響評価手法案リスト

構成要素間の影響評価手法名	影響評価原理	サンプル数	備考
共分散構造分析	仮説に基づいて、変数間の因果をあらわすパス図を作り、因果間の関係パス間で重回帰分析を行い、変数間のつながりの強さを標準偏回帰係数で評価する。	統計学的有意水準の評価にサンプル数が必要	
ベイジアンネットワーク	ベイズの定理により算出した、事象Aが発生したとき事象Bが発生する確率を、その事象Aと事象Bの因果関係の強さの指標とし、これを複数の変数による複雑な因果関係に応用し評価する。	用いる変数が多いほど、確率計算の精度が下がる。確率計算の精度を上げたいほど、サンプル数が必要	変数データを、発生確率または質的データの形式に加工する必要があるため、変数が量的データの場合はやや不向き
相関分析	散布図の直線性を測る相関係数を、散布図に用いた2変数の関係の強さの指標とし、評価する。	サンプル数が少なくても相関係数と散布図から関連の有無を議論することは可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 散布図と組み合わせることでより具体的な変数間の関係を視覚的に議論することが可能</li> <li>・ 2変数を疑似的に関連付ける第3の変数を除去することができない</li> </ul>

の統計学的有意水準の評価にある程度のサンプル数が必要である。また、執務環境条件などの質的データを用いる際は、その執務環境条件であるときを1とそうでないときを0とし（2値化）、数量として捉える必要がある。

ベイジアンネットワークとは、ベイズの定理により算出した、事象Aが発生したとき事象Bが発生する確率を、その事象Aと事象Bの因果関係の強さの指標とし、これを複数の変数による複雑な因果関係に応用した分析方法である。ベイジアンネットワークは、変数データを、発生確率または質的データの形式に加工する必要があり、変数が量的データの場合はやや不向きであるが、探索的分析に適しており、メカニズムモデルの因果の仮定を指定しなくても、変数の数値を用いるだけで発見的にモデルを作成することが可能である。ただし、用いる変数が多いほど確率推定の精度が下がるので、確率推定の精度を保ちつつ変数を多くするためには、その分だけ多くのサンプル数が必要である。

相関分析とは、散布図の直線性を測る相関係数を、散布図に用いた2変数の関係の強さの指標として算出する処理である。相関分析は、散布図と組み合わせることでより具体的な変数間の関係を視覚的に得ることができ、サンプル数が少なくても相関係数とその散布図から関連の有無を議論することが可能である。ただし、評価できるのは2変数の相関の強さのみであり、統計的に有意である因果関係を確認することはで

きないので、因果関係を確かめるためには十分な議論が必要である。

## 第 4 章 本分析フレームワークのケーススタディ

本章では、提案した分析フレームワークのケーススタディとして試行した3つの執務環境要素の分析とその結果について述べる。具体的には、(1) 照明環境変化による知的生産性変化のデータ解析、(2) 気流環境変化による知的生産性変化のデータ解析、(3) 複合環境変化による知的生産性変化のデータ解析である。(1) 照明環境変化は、執務者周辺や部屋全体の照度や色温度などを調整した N-TA(New Task and Ambient 照明) 環境と通常天井環境を比較するものである。(2) 気流環境変化は、弱い風で室内の空気を循環させるとともに、執務者に断続的に強風が当たる条件の有無を比較するものである。(3) 複合環境変化は、温度、湿度、照明などの執務環境要素を既往研究より最適に調整した環境と調整しない環境とを比較したものである。これらの環境変化による知的生産性変化のデータ解析は、本分析フレームワークを最初から適用したものではなく、過去に行われた環境評価実験を本分析フレームに当てはめたものである。そのため、本分析フレームワークの全処理が実行されたわけではなく、これらの実験で計測された項目は提案する汎用メカニズムモデル構成要素の全概念を十全に説明するものではないが、少なからずモデル構成要素を計測した項目もあったことから本分析フレームワークのケーススタディとして妥当であると考えた。

### 4.1 照明環境変化による知的生産性変化のデータ解析

照明環境変化による知的生産性変化を本分析フレームワークによりデータ解析したケーススタディについて述べる。

#### 4.1.1 解析目的

本解析では、天井照明環境から N-TA 照明環境への環境条件変化による知的生産性変化のメカニズムを解明することを目的としている。

N-TA 照明環境とは、部屋全体を照らすアンビエント照明と手元を照らすタスク照明を合わせたものである。アンビエント照明のみの環境条件と比べ、手元の照度 (750lux) をそのままに、電力消費を比較的少なくおさえることが可能である。また、タスク照明はアンビエント照明 (5000K) よりも高い色温度の照明 (6200K) を用いている。低色

温度照明は高色温度照明よりもねむけを増加させ、高色温度照明は低色温度照明よりも緊張感を増加させることから<sup>[29]</sup>、天井照明環境より高い覚醒による知的生産性の向上が期待できる。

天井照明環境とは、アンビエント照明のみの環境である。つまり、部屋全体を照らす照明のみで JIS 推奨である 750lux の照度を執務者の手元に与える環境である。一般に多くのオフィスで用いられているとされる環境であり、N-TA 照明環境と比べ、従来の照明環境と位置づけることができる。

## 4.1.2 実験の概要

### 4.1.2.1 その他の実験室環境条件

計測対象者前方の壁面に、実際のオフィスにある視覚ノイズを模擬するポスターを貼り付けた。ポスターは、タスクに関係のない視覚情報を与えることで集中を阻害することを目的としており、手元のみ明るくする N-TA 環境ではその阻害が抑えられると期待できる。

### 4.1.2.2 実験スケジュール

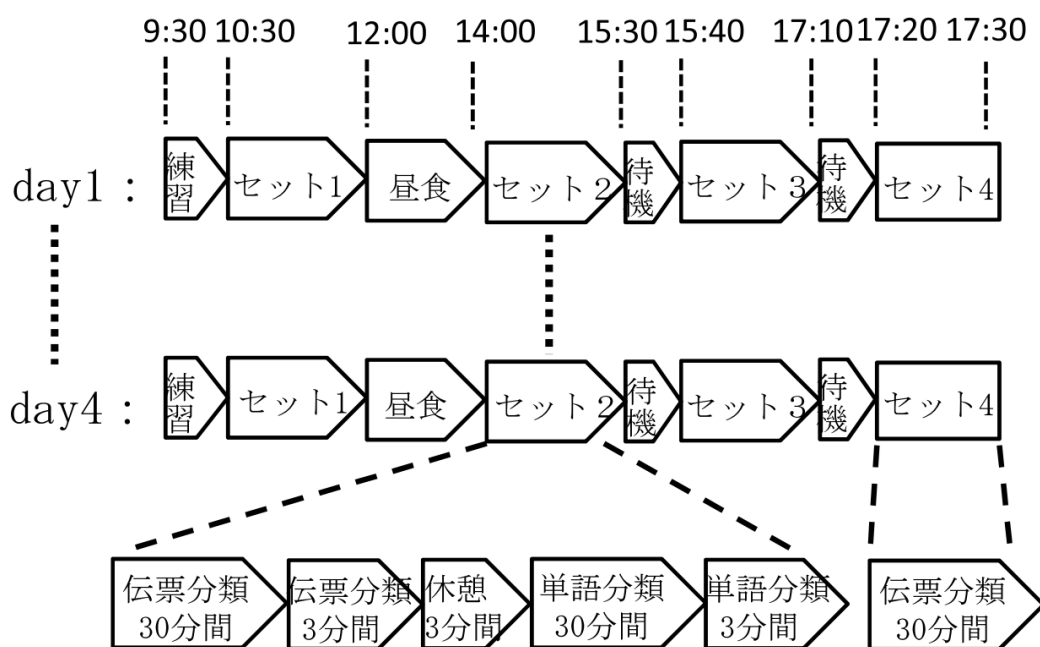


図 4.1: 実験のプロトコル（照明環境変化）

実験期間は2013年7月29日から9月5日、実験場所は京都大学工学部1号館233号室であった。図4.1に示すように、day1は実験参加者を実験環境へ適応させるための練習日、day2からday4は計測日であった。また、day2からday4のセット1～3で「この作業を9時から17時まで実施すると考え、自分のペースで作業してください。できる限り正確に作業してください」と実験参加者に教示してタスクを行い、同時にモデル構成要素が計測された。セット4は、一日のスケジュールの最後で作業意欲が向上する影響を抑えるために行われたものであり計測の対象外である。

#### 4.1.2.3 実験参加者とサンプル数

実験参加者は、30代～50代の派遣社員24人（男女12名ずつ）であった。各照明条件の実施日数は、それぞれ1日であり、各日に計測対象となるタスクを3回実施した。合計すると、一人当たりの計測回数は6回、タスクの総サンプル数は24人×6回=144である。

#### 4.1.3 解析方法

本解析で用いた、各モデル構成要素の計測手法、実験統制方法、構成要素の統計的な算出手法、構成要素間の影響評価手法を述べる。

##### 4.1.3.1 各モデル構成要素の計測手法

本解析で目的とした環境条件変化は2条件の変化であり、各条件は実験日ごとに固定されている。すなわち、1日のうちで環境条件が変化することはない。よって、基本的な計測手法選択の判断基準に、より細かく時間変化を分析できる時間分解能を考慮する必要はなく、それよりも、様々な執務者を分析できる同時計測可能性を用いている。

##### 知的生産性の計測手法

知的生産性の計測手法はCTRを用いた。一般に調査票を用いた手法より同時計測可能性は小さいが、本解析では、客観性を重視しCTRを用いた。

##### 覚醒の計測手法

覚醒の計測は、行われなかった。もし、覚醒の計測を行うならUMACLなど、同時計測可能性の大きい調査票を用いた計測が行われることが望まれる。

##### 疲労の計測手法

疲労の計測手法は、自覚症しらべを用いた。

#### 気分の計測手法

気分の計測手法は、MMSを用いた。

#### ストレッサ評価の計測手法

ストレッサ評価の計測は、執務環境に関する主観評価を行った。

#### 個人特性の計測手法

人口統計学的属性調査を、性別、年齢を問う調査票を用いて行った。また、個別基準値には、個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。環境感度には、環境条件ごとの個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。

### 4.1.3.2 実験統制方法

#### 時間帯の統制方法

実験では、執務環境条件を日単位で変化させ一日の計測スケジュールを同じにし、執務環境変化間で同じ時間帯に計測した項目を比較することで、時間帯による変動を統制しており、妥当な方法であると言える。

#### 実験参加者の統制方法

実験では、実験参加者の統制には、執務環境条件を変化させる間に同じ実験参加者を用い、執務環境変化間で同じ実験参加者グループを用いた方法を取っており、統制方法として妥当であると言える。

#### 順序効果の統制方法

実験では、順序効果の統制には、実験参加者をグループに分け、それぞれの条件変化の順番を交互に設定し、カウンターバランスを考慮した日程を設定しており、統制方法として妥当であると言える。



#### 4.1.3.3 構成要素の統計的な算出手法

##### 正規化

知的生産性の計測指標である CTR については、分析の前処理として正規化を行った。用いた方法は、計測対象者ごとのセンタリングである。CTR、つまり集中時間比率には、ある人間は 70% を中心に環境変化などの影響を受け上下し、またある人間は 50% を中心に上下する、というような個人差がある。よって、ある CTR の値が比較的高いか低いかという意味付けをする際にその個人差を揃える必要がある。その場合、CTR の基準値を揃えるためには、計測対象者ごとのセンタリングが有用であると考えた。

##### 因子分析

MMS、自覚症しらべ、執務環境に関する主観評価については、計測データの種類が多いため、それを要約する因子分析を実施した。

##### クラスター分析

個人特性によるメカニズムの違いを見るため、似た個人特性をもつ実験参加者どうしでグループ分けをするため、個人特性の各計測手法で得られる変数すべてを用いて行った。

##### 決定木（回帰木）

本解析の条件変化により知的生産性が向上するかしないかによるメカニズムの違いを見るため、目的変数を CTR 差（CTR の環境感度）に設定し、説明変数に残りの個人特性の各計測手法で得られる変数すべてを用いて行った。

#### 4.1.3.4 構成要素間の影響評価手法

構成要素間の影響評価手法には共分散構造分析を用いた。本解析で用いた計測データは基本的に量的データで構成され、また、2,3 グループに分割したとしても統計処理が可能だと考えられるサンプル数であったためである。サンプル数の詳細は後述の解析結果で述べる。

### 4.1.4 解析結果

#### 4.1.4.1 データクレンジング

実験参加者の体調不良、指示の無視、計測の不備、解析不能等でいくつかの計測データは解析対象外とした。CTR は 38 個、自覚症しらべ調査票の各項目は 24 個、執務環

境に関する主観評価調査票の各項目は27個のデータ欠損とした。データ欠損への対処は、CTRは欠損データを除外し、その他の計測項目は全サンプルの平均値を欠損の代替データとした。CTRのデータ欠損原因の多くは、算出ができなかったためである。算出ができないときは、計測対象者がタスク中に寝てしまっていたり、極端にタスクへの集中が低かったりと、著しく知的生産性が低い場合が多い。そのため、全サンプルの平均値を当てはめるデータ補完方法は妥当ではないと考えた。

#### 4.1.4.2 計測データの要約結果

##### 要素要約

検証的因子分析は、MMS、自覚症しらべに対して行った。これらの調査票は、因子分析がされることが前提とされており、調査票の計測項目に対応した下位概念が決定づけられているからである。以下にその結果として因子負荷量を示し、因子が対応する下位概念から抽出できているか検討する。因子負荷量とは、下位概念を説明する項目（下位項目）から、因子を説明する項目（上位項目）を算出する際にどれだけ影響を与えるかを示す数値であり、数値が大きいほど影響を与えているとされる。因子が対応する下位概念から抽出できているかは、その下位項目がどれだけ因子負荷量を持つかで検討する。また、以下で示す表に因子負荷量の値が記入されておらず空欄になっているところがあるが、極端に負荷量の小さい下位項目は負荷がないとしているため空欄にしている。

表4.1～4.4にMMSの因子分析結果として因子負荷量を示す。非活動的快項目の因子負荷量がやや小さいが、計測した4因子とも対応する下位概念から抽出できたと考えられる。その場合、因子負荷量の大きさから、因子1～因子4はそれぞれ、集中、倦怠、活動的快、非活動的快を示していることが分かる。

表4.5に自覚症しらべの因子分析結果として因子負荷量を示す。上から5項目が自覚症しらべで設定されているねむけ感の下位項目で、下から5項目がぼやけ感の下位項目である。計測した2因子は、対応する概ねの下位概念から抽出できたと考えられる。ただし、ぼやけ感の下位項目である「ものがぼやける」の上位項目への負荷量が著しく小さく、むしろ、ねむけ感への負荷量の方が大きい。これは、ぼやけ感はやや眼疲労感としての意味合いが大きいものと解釈できる。

探索的因子分析は、執務環境に関する主観評価と3調査票（執務環境に関する主観評価・MMS・自覚症しらべ）の上位項目に対して行った。3調査票の上位項目とは、検証的因子分析で定量的に要約した結果である「MMS」「自覚症しらべ」の上位項目、探

表 4.1: 照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 1 (集中)

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
ていねいな	0.672		0.133	0.301
鋭敏な	0.544		0.344	-0.434
緊張した	0.609	0.301	0.153	-0.144
賢明な	0.713	-0.102	0.421	
思慮深い	0.687	0.370	0.240	0.186
慎重な	0.710		0.116	
真剣な	0.896		0.220	
注意深い	0.838	0.168	0.229	-0.117
丁寧な	0.731	0.151		0.149
用心深い	0.673	0.307	0.143	-0.212

表 4.2: 照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 2 (倦怠)

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
だるい	0.160	0.639		-0.186
つまらない	-0.190	0.711	-0.270	
ばからしい	0.239	0.754	0.124	
ぼやぼやした	0.227	0.658		
ぼんやりした	0.150	0.533	-0.191	0.185
退屈な		0.785	-0.242	-0.178
疲れた		0.267	-0.197	-0.517
不機嫌な		0.660	0.113	
無関心な	0.276	0.677		
無気力な	0.174	0.715		

表 4.3: 照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 3 (活動的快)

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
さわやかな	0.172		0.713	0.186
はつらつとした	0.216		0.722	-0.161
快調な	0.356	-0.160	0.644	0.298
快適な	0.281	-0.124	0.785	0.228
活気のある	0.266	-0.425	0.592	0.297
機嫌の良い	0.576		0.345	0.243
気持ちの良い	0.411	-0.341	0.604	0.293
気力に満ちた	0.459	-0.334	0.625	
元気いっぱい	0.143		0.793	-0.245
陽気な	0.114	0.399	0.571	0.198

表 4.4: 照明環境変化での MMS の因子負荷量 因子 4 (非活動的快)

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
おっとりした	0.106	0.486	-0.129	0.433
のどかな	0.162	0.384	0.297	0.592
のんきな	0.340	0.710		0.397
のんびりした		0.403		0.423
やわらいだ	0.328		0.442	0.531
ゆっくりした	-0.154	0.513		0.323
ゆったりした	0.403	0.317	0.304	0.233
ゆるんだ	0.222	0.471		0.241
気長な	0.509	0.284	0.208	0.267
平静な	0.551	0.289	0.274	0.194

表 4.5: 照明環境変化での自覚症しらべの因子負荷量 全因子 (ねむけ感・ぼやけ感)

	因子 1	因子 2
あくびがでる	0.903	
ねむい	0.919	0.140
やる気が乏しい	0.811	0.110
横になりたい	0.761	0.343
全身がだるい	0.635	0.512
ものがぼやける	0.405	0.285
目がしょぼつく	0.258	0.500
目が乾く		0.587
目が痛い		0.582
目が疲れる	0.433	0.743

探索的因子分析で定量的に要約した結果である「執務環境に関する主観評価」の上位項目を合わせたものである。すなわち更に、その3調査票の上位項目を探索的因子分析で定量的に要約し、上位項目の上位項目を算出したということである。3調査票を更に要約する理由は、各調査票を要約してもなお、項目数が多いからである。本解析の対象とする環境条件変化のメカニズムにたいして仮説が無いため、探索的に共分散構造分析を行うために、本解析では項目数を多くても6個以下に要約することにする。

執務環境に関する主観評価の探索的因子分析の因子数は平行分析法によりいくつか候補を推定し、それぞれの因子数で分析を行った結果、因子への意味づけが容易なものを採用した。

表 4.6, 4.7にそれぞれの因子負荷量を示し、各因子に名付けを行った。まず、因子1は、「眼がさえる環境」「眼が疲れない環境」「仕事がかどる環境」「集中しやすい環境」といった下位概念をもつことから、「シャッキリ環境」と名付けた。次に、因子2は、「快適な環境」「好きな環境」「明るい環境」といった下位概念をもつことから、「明良快適環境」と名付けた。

3調査票（執務環境に関する主観評価・MMS・自覚症しらべ）の上位項目をまとめた因子分析においても、探索的因子分析の因子数は平行分析法によりいくつか候補を推定し、それぞれの因子数で分析を行った結果、その中で因子への意味づけが容易なものを採用した。表 4.8～4.10にそれぞれの因子負荷量を示し、まず、因子1は、「倦

表 4.6: 照明環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 1

	因子 1	因子 2
眼がさえる (眠くなる)	0.613	0.291
眼が疲れない (眼が疲れる)	0.504	0.110
仕事がかどる (仕事がかどらない)	0.819	0.154
集中しやすい (集中しにくい)	0.939	

表 4.7: 照明環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 2

	因子 1	因子 2
快適な (不快な)		0.897
好き (嫌い)	0.141	0.810
明るい (暗い)		0.745

表 4.8: 照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因子 1

	因子 1	因子 2	因子 3
倦怠	0.810	0.106	
集中	0.739	-0.198	
非活動的快	0.878		

怠」「集中」「非活動的快」といった下位概念をもつことから、「静的集中」と名付けた。次に、因子 2 は、「ねむけ感」「ぼやけ感」「活動的快」といった下位概念をもつことから、符号を反転させ「エネルギーシユ」と名付けた。最後に、因子 3 は、「シャッキリ環境」「明良快適環境」といった下位概念をもつが、その両項目とも執務環境に関する主観評価の因子である。この 2 因子は平行分析法によって情報量を担保に要約できるとされたものである。これをまた要約した場合、1 因子のみで要約したことになり、その調査票の情報量を著しく減らしてしまう。よって、因子 3 に関しては要約を実行せず従来の「シャッキリ環境」「明良快適環境」のまま扱う。

#### 対象要約

対象要約には前述のようにクラスター分析、回帰木を用いた。

クラスターリング手法には、階層的クラスターリングのウォード法を用いた。ウォード法は、その分類感度の高さから多く用いられている手法の一つである。クラスターを目

表 4.9: 照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因子 2

	因子 1	因子 2	因子 3
ねむけ感		0.858	
ぼやけ感		0.672	
活動的快	0.317	-0.610	

表 4.10: 照明環境変化での 3 調査票上位項目の更に上位項目への因子負荷量 因子 3

	因子 1	因子 2	因子 3
「シャッキリ環境」		0.161	0.764
「明良快適環境」			1.024

的変数とした決定木の結果を図 4.2 に示し、そこからクラスターを特徴付ける名前を考察する。図より、CTR 平均値 71.3 未満の 11 人と、CTR 平均値 71.3 以上かつ CTR 差 10.5 以上の 2 人がクラスター 1 に属すること、CTR 平均値 71.3 以上かつ CTR 差 10.5 未満の 8 人がクラスター 2 に属することがわかる。解釈の都合上先に人数の少ないクラスターから名前を考察する。クラスター 2 を特徴づけるために「天井グループ」と名前を付けた。このグループの特性は、CTR の個別基準値が高い点、また、環境により CTR が上昇していない点から、心理実験データの天井効果のように常に CTR を高く維持している特性が考えられる。クラスター 1 をクラスター 2 と対比づけるために「非天井グループ」と名前を付けた。このグループは、CTR 平均値、つまり CTR の個別基準値が高くない点、また、CTR の個別基準値が高くも、環境により CTR が上昇している点から、まだ CTR 上昇の余地があるという特性が考えられる。また、各クラスターセントロイドの個人特性を表 4.11、4.12 に示す。各構成要素の環境感度と個別基準値の項目名をそれぞれ「～差」や、「～平均」のように示す。また、因子分析で算出した上位項目の値は因子得点といい全サンプルで平均値=0、標準偏差=1 となるよう算出しており、例えば表 4.12 の「エネルギーシユ」平均は 0.88 とサンプル中で比較的高い値をとっていると見ることができる。

次に、回帰木による対象要約の結果を述べる。目的変数は CTR の環境感度、つまり、照明環境による CTR の変化とした。CTR が照明環境の変化により向上した集団とそうでない集団とで、似通った個人特性、すなわち同様のメカニズムを持つのではないかと仮定したからである。また、CTR 変化の程度でそれぞれ違うメカニズムが確認で

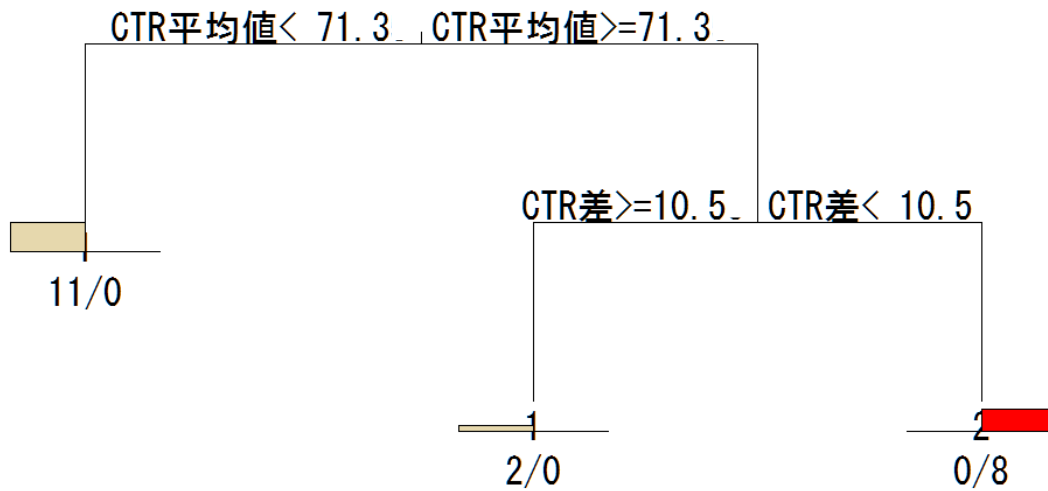


図 4.2: 照明環境変化でのワード法によるクラスターを目的変数とした決定木

表 4.11: 照明環境変化でのクラスターセントロイド 非天井グループ

「シャッキリ環境」差	0.95
「シャッキリ環境」平均	-0.10
「明良快適環境」差	1.0
「明良快適環境」平均	-0.10
CTR 差	8.2
CTR 平均値	61
「エネルギッシュ」差	0.77
「エネルギッシュ」平均	-0.092
性別	0.46
「静的集中」差	-0.098
「静的集中」平均	-0.10
年齢	39



表 4.12: 照明環境変化でのクラスターセントロイド 天井グループ

「シャッキリ環境」差	-0.25
「シャッキリ環境」平均	0.26
「明良快適環境」差	0.22
「明良快適環境」平均	0.25
CTR 差	-4.2
CTR 平均値	84
「エネルギーシユ」差	-0.29
「エネルギーシユ」平均	0.88
性別	0.50
「静的集中」差	-0.23
「静的集中」平均	0.43
年齢	45

できれば、それが環境改善への切り口になることも期待できる。回帰木の結果を図 4.3 に示す。図より、「エネルギーシユ」差が 0 より小さいグループが CTR 差の平均-4.19 であること、「エネルギーシユ」差が 0 より大きいグループが CTR 差の平均 10.5 であることがわかる。前者のグループを非 CTR 向上グループ、後者のグループを CTR 向上グループと名付けた。N-TA 照明の有る環境条件によって「エネルギーシユ」が上昇する計測対象者グループは、CTR も上昇すると考えられる。

#### 4.1.4.3 構成要素間の影響評価結果

構成要素間の影響評価を、全対象と、対象要約でグループ分けした対象に実施した結果について述べる。

##### 全対象

全対象に対して行った共分散構造分析の結果を図 4.4 に示す。長方形で示したものがメカニズムモデルの構成要素であり、そこに計測、算出された構成要素名が表記されている。基本的に一番上に位置する長方形が執務環境条件変化、一番下に位置する長方形が知的生産性の計測値（ここでは CTR）を示している。長方形をつなぐ矢印は構成要素間の因果関係を表しており、以降これをパスと呼ぶ。パスの片側のみが矢尻の場合、その方向が原因→結果の因果関係を示し、両方が矢尻の場合は、互いに共変関係にあ

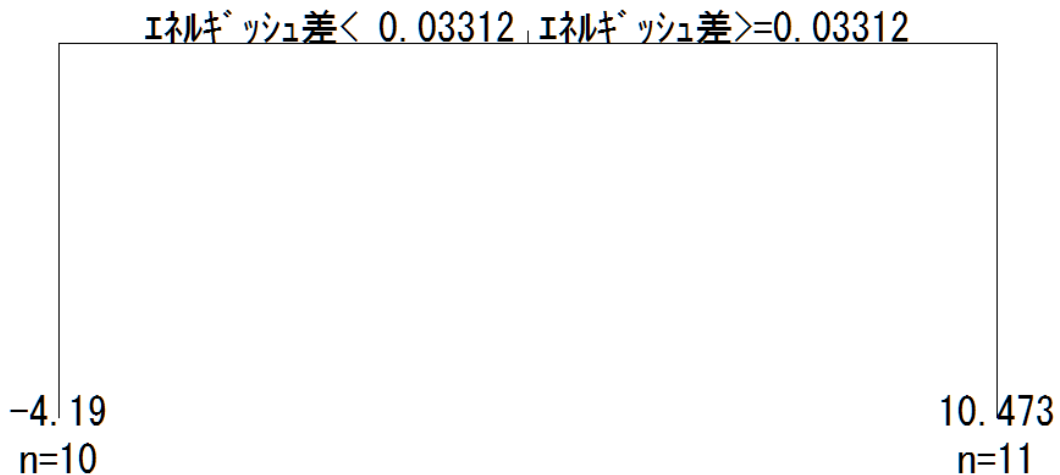


図 4.3: 照明環境変化での目的変数を CTR 差とした回帰木

ることを示す。パス上に表記された数値は因果関係の強さであり、-1~1の値をとり、0は因果関係が無いことを示す。この値が1の場合は、原因となる構成要素が結果となる構成要素を完全に説明していることを示している。その数値の隣にある星のマークは、パスがどれだけ統計的に有意なものであるかを示しており、それぞれ、「\*\*\*」が0.001未満、「\*\*」が0.01未満、「\*」が0.05未満、「・」が0.1未満の確率で因果関係が成り立たないとしている。図4.4より、N-TA照明環境（天井照明環境と比べるために、天井照明環境から条件変化したN-TA照明環境）は、「明良快適環境」感と「シャッキリ環境」感を向上させ、「明良快適環境」感と「シャッキリ環境」感は互いを向上させることが分かる。そして、「明良快適環境」感の向上によりCTRを向上させることが分かる。また、「シャッキリ環境」感は「エネルギー差」を向上させ、「エネルギー差」は「静的集中」を向上させ、「静的集中」はCTRを向上させることが分かる。このように、CTRの向上へ、環境の快適性や環境の集中しやすさを経て、2種類のパスがN-TA照明環境から伸びていることが分かる。

#### 非天井グループ

非天井グループに対して行った共分散構造分析の結果を図4.5に示す。CTRの向上に影響を与えるのは、最終的に、「シャッキリ環境」「明良快適環境」とストレス評価に関連する項目のみであると分かる。しかし、その項目も、疲労、気分に関連した項目である「エネルギー差」を経て向上するメカニズムも確認できる。

#### 天井グループ

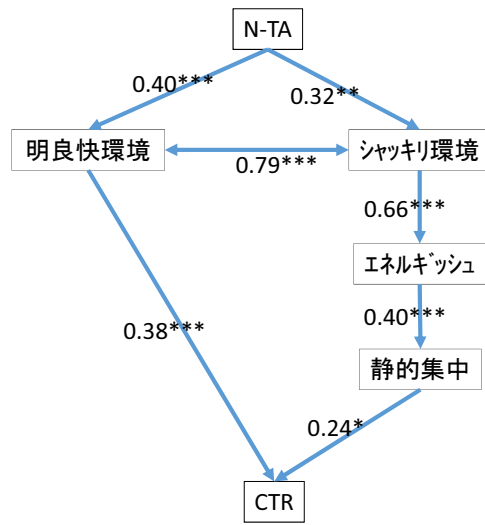


図 4.4: 照明環境変化での全対象の共分散構造分析結果

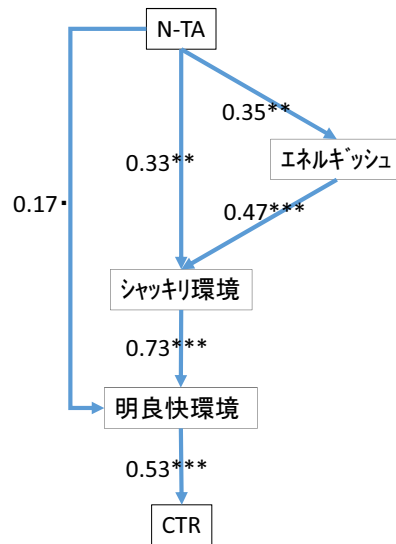


図 4.5: 照明環境変化での非天井グループの共分散構造分析結果

天井グループに対して行った共分散構造分析は、環境条件から知的生産性変化要因へ伸びるパスも、知的生産性変化要因から CTR へ伸びるパスも、有意なものはいなかった。CTR にパスが伸びていないのは CTR が常に高い値をとって環境条件による差が見られないからであると考えられる。そして、CTR の常に高い値をとっている原因は、セントロイドから見ても分かるように、知的生産性変化要因自体がすでに比較的高い値をとっているからだと考えられる。これは同様に、環境条件から知的生産性変化要因へのパスが伸びていないことの原因でもあると考えられる。

### CTR 向上グループ

CTR 向上グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.6 に示す。前述した、非天井グループとほぼ同じメカニズムを持つと分かる。このことから、天井グループのようなもともと高い生産性をもつグループ以外は、概ねの執務者が照明環境に対し CTR 向上のメカニズムを持つと考えられる。

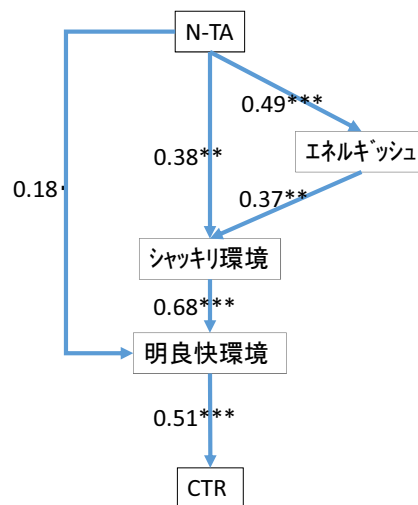


図 4.6: 照明環境変化での CTR 向上グループの共分散構造分析結果

### 非 CTR 向上グループ

非 CTR 向上グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.7 に示す。前述した天井グループと異なり、知的生産性変化要因から知的生産性変化へのパスが確認できたことから、照明環境から影響を受けないグループだと考えられる。CTR が「シャッキリ環境」から負の影響を受けているパスの解釈だが、「シャッキリ」が減少ぐらいに

集中した結果 CTR が向上したのではないかと解釈できる。この解釈は、「静的集中」による CTR 向上のパスが非常に強いことから、集中は倦怠や非活動的快と同時に発生すると考えられることとも矛盾はないと考えられる。また、このグループは「エネルギーギッシュ」が照明環境により上昇しないグループでもあることから、そのグループでも「エネルギーギッシュ」が向上できるように照明環境を改善することで、CTR 向上グループのように、「エネルギーギッシュ」から「シャッキリ環境」、「明良快適環境」へと、CTR を向上させるメカニズムをより強くすることができると考えられる。

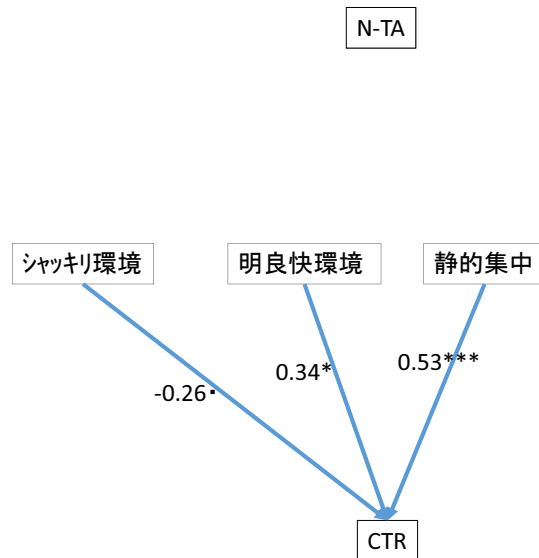


図 4.7: 照明環境変化での非 CTR 向上グループの共分散構造分析結果

## まとめ

以上より、照明環境変化は、天井グループのような環境変化によらず CTR が高いグループを除けば、非天井グループのような、疲労や気分に関する項目である「エネルギーギッシュ」も向上させるが、最終的にストレス評価に関する項目が向上することで CTR が向上する。このメカニズムは CTR 向上グループとほぼ同じであることから、元から CTR が高い場合以外は、多くの人間が CTR 向上のメカニズムをもつと考えられる。しかし、非 CTR 向上グループのようにストレス評価を向上させるようなパスが無いメカニズムも確認できる。今後、より照明環境を改善していくのならばストレス評価の向上からだけでなく、回帰木の結果からも分かるように「エネルギーギッシュ」を向上させるような付加価値が必要になると考えられる。

また、手元のみ明るくする N-TA 環境がポスターの視覚ノイズを抑えられると期待

していたが、それを議論することが可能なメカニズムは得られなかった。これを説明する変数として「シャッキリ環境」がやや適しているとも考えられるが、下位概念の目がさえる環境は色温度変化に関連するとも考えられ、視覚ノイズのみから影響を受け変数だとは考えられない。視覚ノイズそのものを計るストレス評価の計測項目があればよりデータに基づいた議論が可能になると考えられる。

## 4.2 気流環境変化による知的生産性変化のデータ解析

気流環境変化による知的生産性変化を本分析フレームワークによりデータ解析したケーススタディについて述べる。

### 4.2.1 解析目的

本解析では、無風環境と後述する気流環境との環境条件変化による知的生産性変化のメカニズムを解明することを目的としている。

気流環境は強気流と弱気流からなる。強気流は、10分毎に20秒程度1.2~1.6m/sの強い風が執務者後方に送風される気流であり、弱気流は常時0.3m/s前後を最大風速とした弱い風が風速を揺らがせながら執務者後方に送風される気流である。

### 4.2.2 実験概要

#### 4.2.2.1 その他の実験室環境条件

気流環境以外の空気の流れは、換気扇や空調による感知できない程度のごくわずかな対流のみに統制した。また、室温と湿度はそれぞれ、夏季は $26 \pm 0.5$  °C、 $70 \pm 5$  % RH、冬季は $23 \pm 0.5$  °C、 $45 \pm 5$  % RHであった。

#### 4.2.2.2 実験スケジュール

実験期間は2014年8月4日から9月6日（夏季）、12月20日から1月22日（冬季）、実験場所は京都大学工学部1号館233号室であった。実験のプロトコルを図4.8に示す。1日目は実験参加者を実験環境へ適応させるための練習日、2、3日目は計測日であった。また、2、3日目でSET1~3で「この作業を9時から17時まで実施すると考え、自分のペースで作業してください。できる限り正確に作業してください」と実験参加者に教示してタスクを行い、モデル構成要素が計測された。SET4は、一日のスケ

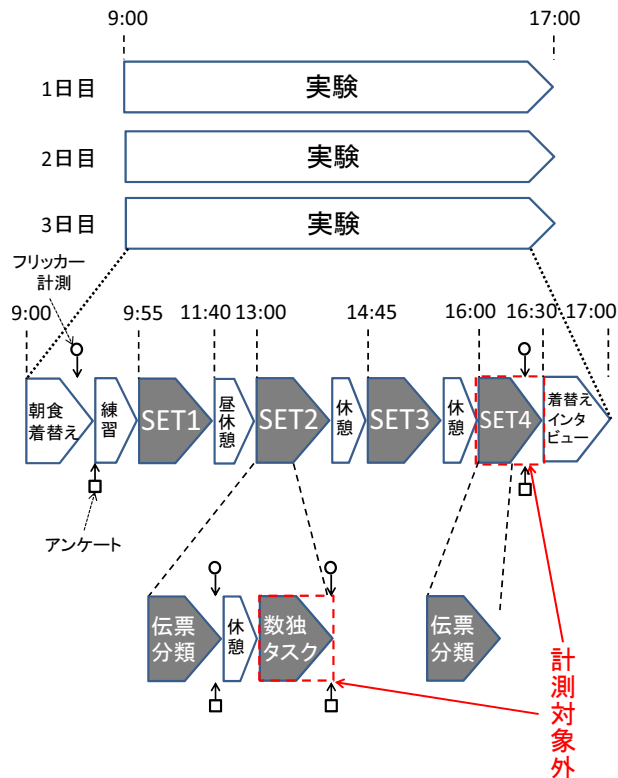


図 4.8: 実験のプロトコル (気流環境変化)

ジュールの最後で作業意欲が向上する影響を抑えるために行われたものであり計測の対象外である。

#### 4.2.2.3 実験参加者とサンプル数

実験参加者は、BMI 値が 18.5~25.0 の健康な大学生・大学院生 56 人 (男性 26 名、女性 30 名) であった。条件ごとの実施日数は、それぞれ 1 日であり、各日に計測対象となるタスクを 3 回実施した。合計すると、一人当たりの計測回数は 6 回、タスクの総サンプル数は  $56 \text{ 人} \times 6 = 336$  である。

#### 4.2.3 解析方法

本解析で用いた、各モデル構成要素の計測手法、実験統制方法、構成要素の統計的な算出手法、構成要素間の影響評価手法を述べる。

#### 4.2.3.1 各モデル構成要素の計測手法

本解析も、照明環境の解析と基本的に共通しており、特に理由のない限り照明環境と同様の解析方法をとった。

##### 知的生産性の計測手法

知的生産性の計測手法は CTR を用いた。

##### 覚醒の計測手法

覚醒の計測は、行われなかった。

##### 疲労の計測手法

疲労の計測は、自覚症しらべを用いた。

##### 気分の計測手法

気分の計測は、行われなかった。

##### ストレス評価の計測手法

ストレス評価の計測手法は、執務環境に関する主観評価を用いた。

##### 個人特性の計測手法

人口統計学的属性調査には、性別、年齢を問う調査票を用いた。執務環境の好み調査を、環境耐性を項目に持った本解析者が独自に作成した質問紙で行った。朝型-夜型 (Morningness-Eveningness) 質問紙を、項目をそのまま用いて行った。また、個別基準値には、個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。環境感度には、環境条件ごとの個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。

#### 4.2.3.2 実験統制方法

##### 時間帯の統制方法

実験では、実験では、執務環境条件を日単位で変化させ一日の計測スケジュールを同じにし、執務環境変化間で同じ時間帯に計測した項目を比較することで、時間帯による変動を統制しており、妥当な方法であると言える。

##### 実験参加者の統制方法



実験では、実験参加者の統制には、執務環境条件を変化させる間に同じ実験参加者を用い、執務環境変化間で同じ実験参加者グループを用いた方法を取っており、統制方法として妥当であると言える。

#### 順序効果の統制方法

実験では、順序効果の統制には、実験参加者をグループに分け、それぞれの条件変化の順番を交互に設定し、カウンターバランスを考慮した日程を設定しており、統制方法として妥当であると言える。

#### 4.2.3.3 構成要素の統計的な算出手法

##### 正規化

知的生産性の計測指標である CTR については、分析の前処理として正規化を行った。用いた方法は、計測対象者ごとのセンタリングである。

##### 因子分析

自覚症しらべ、執務環境に関する主観評価については、計測データの種類が多いため、それを要約する因子分析を実施した。

##### クラスター分析

個人特性によるメカニズムの違いを見るため、似た個人特性をもつ実験参加者どうしでグループ分けをするため、個人特性の各計測手法で得られる変数すべてを用いて行った。

##### 決定木（回帰木）

本解析の条件変化により知的生産性が向上するかしないかによるメカニズムの違いを見るため、目的変数を CTR 差（CTR の環境感度）に設定し、説明変数に残りの個人特性の各計測手法で得られる変数すべてを用いて行った。

#### 4.2.3.4 構成要素間の影響評価手法

構成要素間の影響評価手法には共分散構造分析を用いた。本解析で用いた計測データは基本的に量的データで構成され、また、4、5グループに分割したとしても統計処理が行えると考えられるサンプル数だからである。

表 4.13: 気流環境変化での自覚症しらべの因子負荷量

	因子 1	因子 2
あくびがでる	0.635	0.122
ねむい	0.551	0.232
やる気が乏しい	0.703	0.211
横になりたい	0.725	0.261
全身がだるい	0.640	0.308
ものがぼやける	0.559	0.485
目がしょぼつく	0.522	0.607
目が乾く	0.137	0.877
目が痛い	0.220	0.649
目が疲れる	0.390	0.705

## 4.2.4 解析結果

### 4.2.4.1 データクレンジング

実験参加者の体調不良、指示の無視、計測の不備、解析不能等でいくつかの計測データは解析対象外とした。CTR は 122 個、自覚症しらべは 45 個、執務環境に関する主観評価は 10 個のデータ欠損とした。CTR は欠損データを除外し、その他の計測項目は全サンプルの平均値を欠損の代替データとした。理由は先に挙げた照明環境変化の解析と同様である。

### 4.2.4.2 計測データの要約結果

#### 要素要約

自覚症しらべの計測結果について検証的因子分析を実施した。表 4.13 に自覚症しらべの因子分析結果として因子負荷量を示す。計測した 2 因子とも対応する下位概念から抽出できたと考えられる。照明環境の解析と同様に、「ものがぼやける」の因子への負荷が著しく低く、ぼやけ感は眼疲労感としての意味合いが大きいものだと考えられる。

執務環境に関する主観評価の計測結果について探索的因子分析を実施した。

探索的因子分析の因子数は平行分析法によりいくつか候補を推定し、それぞれの因子数で分析を行った結果、因子への意味づけが容易なものを採用した。表 4.14～4.19 に

表 4.14: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 1

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
室温が快適・不快	0.678		-0.101			-0.153
気流快適・不快	0.577				0.385	-0.295
湿度快適・不快	0.480	-0.133	-0.101		0.284	-0.384
集中しやすい・しにくい	0.674			0.209		
部屋環境好き・嫌い	0.833	-0.172				
部屋全体快適・不快	0.819			0.188		

表 4.15: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 2

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
全身が暑い・寒い	-0.172	0.817			-0.151	0.146
顔付近が暑い・寒い		0.767			-0.175	
足元が暑い・寒い		0.719	0.186		-0.234	

表 4.16: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 3

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
においするしない		0.104	0.902	-0.113		0.194
音 2 室外音うるさい静か			0.687			

それぞれの因子負荷量を示し、各因子に名付けを行った。まず、因子 1 は下位概念に室温、気流、空気の流れなどの快適性評価項目があることから、IAQ(indoor air quality) にちなんで「IAQ 快適」と名付けた。次に、因子 2 は下位概念に 3 つの温度系の知覚評価項目があることから「知覚温熱」と名付けた。因子 3 は臭気の知覚評価項目、騒音の知覚評価項目と全く互いに関連性のない下位概念を持つが、共に環境刺激系のストレス項目でもあることから、ストレスを知覚しやすくする潜在的な要素であると考えられる。よって、「刺激系ストレス感度」と名付けた。因子 4 は下位概念に照明系の項目を持つことから、「照明評価」と名付けた。因子 5 は下位概念に気流系の知覚評価項目をもつことから「気流知覚」と名付けた。因子 6 は下位概念に埃の知覚評価項目や空気の澱みの知覚評価項目をもつことから、符号を反転させ「空気綺麗感」と名付けた。

表 4.17: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 4

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
照明 2 快適. 不快	0.31			0.60	-0.13	
照明明るい暗い			-0.12	0.98		

表 4.18: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 5

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
気流 1 循環停滞	0.34	-0.17		-0.15	0.68	-0.37
気流 2 風圧感じる感じない		-0.12	0.16	0.62		

表 4.19: 気流環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 6

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
ほこり感じる感じない	-0.11		0.26		0.11	0.62
空気澱んだ澄んだ	-0.29	0.18				0.68

## 対象要約

対象要約は、クラスター分析、回帰木、スライシングを用いた。

クラスターリング手法には、階層的クラスターリングのウォード法を用いた。クラスターを目的変数とした決定木の結果を図 4.9 に示し、そこからクラスターを特徴付ける名前を考察する。図より、CTR 平均が 71.25 以上の 9 人がクラスター 3、CTR 平均が 51.8 未満の 8 人がクラスター 2、CTR 平均が 51.8 以上かつ朝方夜型スコア 44.5 未満（やや夜型～夜型）の 1 人と 4 人がそれぞれクラスター 1 とクラスター 2、CTR 平均が 51.8 以上かつ朝方夜型スコア 44.5 以上（朝型～中間型）の 1 3 人と 1 人がそれぞれクラスター 1 とクラスター 3 に分類されるとわかる。このことから、個人特性は、CTR の個別基準値により大別できると解釈できる。最初の枝分かれで特に CTR の個別基準値が高いグループとそうでないグループに分かれ、後者は更にその中でも CTR の個別基準値の低いグループとそうでないグループに分けられる。また、夜型のライフスタイルでは、朝 9 時始まりの実験に参加するにあたり不調であった可能性があることから、CTR の個別基準値が高くも低くもない場合も夜型のライフスタイルをもつ場合は CTR の個別基準値の低いグループと同じメカニズムをもつのではないかと考えられる。よって、クラスター 1 を特徴づけるために、中間層グループと、クラスター 2 を特徴づけるた

めに、低生産グループと、クラスター3を特徴づけるために、高生産グループと名前を付けた。また、各クラスターセントロイドの個人特性を表4.20～4.22に示す。

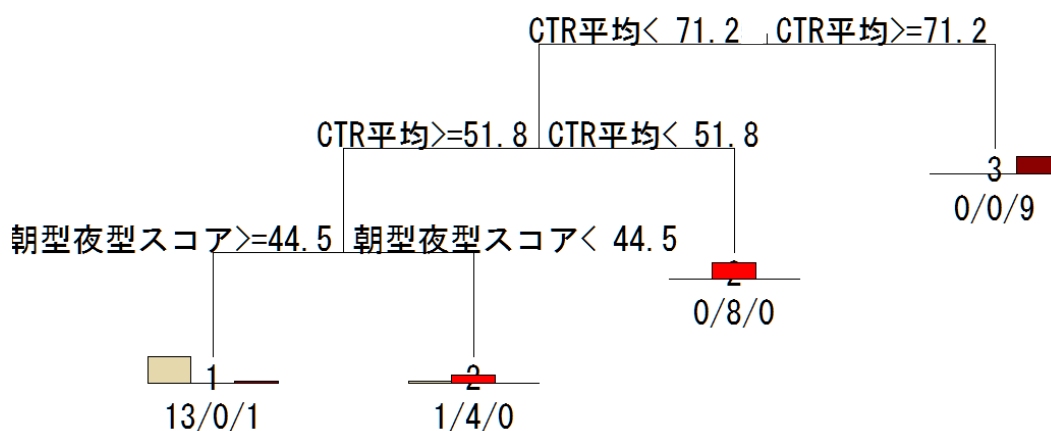


図 4.9: 気流環境変化でのワード法によるクラスターを目的変数とした決定木

次に、回帰木による対象要約の結果を述べる。目的変数は CTR の環境感度、つまり、気流環境による CTR の変化とした。理由は先に挙げた照明環境の解析と同様である。しかし、結果として分類を実行することができなかった。交差検証法を用いて分類性能のよい枝数を評価したところ、2 個以上に分類性能の良い枝数が無かったことから、CTR の環境感度をあてはまりよく分類できる個人特性がなかったからだと考えられる。よって、回帰木でのグループ分けは行わない。

スライシングには、季節による計測対象者のバイオリズムなどが異なる可能性を考え、実験時期を用いた。特に、気流環境は温熱に与える影響も重要であると考えられるからである。よって、気流環境を、夏気流環境と冬気流環境のように実験時期で分け、対象要約から新たに解析を行う。その解析結果は次項で改めて取り上げる。

#### 4.2.4.3 構成要素間の影響評価結果

構成要素間の影響評価を、全対象と、対象要約でグループ分けした対象に実施した結果について述べる。

##### 全対象

全対象に対して行った共分散構造分析の結果を図4.10に示す。気流環境により「知覚温熱」が下がり、「知覚温熱」が下がることでぼやけ感を通しねむけ感が減少し、CTRを向上させることが分かる。

表 4.20: 気流環境変化でのクラスターセントロイド 中間層グループ

CTR 平均	62
CTR 平均差	10
「IAQ 快適感」 平均	-0.17
「IAQ 快適感」 平均差	0.43
「刺激系ストレスサ感度」 平均	0.22
「刺激系ストレスサ感度」 平均差	-0.11
ねむけ感平均	0.0093
ねむけ感平均差	0.12
ぼやけ感平均	-0.34
ぼやけ感平均差	-0.073
「気流知覚感」 平均	0.26
「気流知覚感」 平均差	1.3
「空気綺麗感」 平均	0.0035
「空気綺麗感」 平均差	0.21
「照明系評価」 平均	0.14
「照明系評価」 平均差	-0.018
「知覚温熱」 平均	-0.079
「知覚温熱」 平均差	-0.016
悪臭耐性	-0.93
乾燥耐性	0.0
寒さ耐性	-0.36
刺激臭耐性	-1.2
湿気耐性	-0.64
実験の種類. 夏	0.79
暑さ耐性	-0.21
振動耐性	-0.14
塵. 埃耐性	-0.93
性別. 男	0.71
騒音耐性	-0.79
朝型夜型スコア	52
年齢	21
風圧耐性	0.57

表 4.21: 気流環境変化でのクラスターセントロイド 低生産グループ

CTR 平均	48
CTR 平均差	1.2
「IAQ 快適感」 平均	0.060
「IAQ 快適感」 平均差	0.0014
「刺激系ストレス感度」 平均	0.082
「刺激系ストレス感度」 平均差	-0.10
ねむけ感平均	0.30
ねむけ感平均差	-0.36
ぼやけ感平均	0.30
ぼやけ感平均差	0.050
「気流知覚感」 平均	0.098
「気流知覚感」 平均差	0.83
「空気綺麗感」 平均	0.13
「空気綺麗感」 平均差	0.11
「照明系評価」 平均	-0.20
「照明系評価」 平均差	-0.088
「知覚温熱」 平均	0.32
「知覚温熱」 平均差	-0.45
悪臭耐性	-1.2
乾燥耐性	-0.58
寒さ耐性	-0.83
刺激臭耐性	-1.1
湿気耐性	-0.67
実験の種類. 夏	0.50
暑さ耐性	-1.5
振動耐性	0.083
塵. 埃耐性	-1.2
性別. 男	0.42
騒音耐性	0.083
朝型夜型スコア	42
年齢	21
風圧耐性	0.25

表 4.22: 気流環境変化でのクラスターセントロイド 高生産グループ

CTR 平均	78
CTR 平均差	-2.0
「IAQ 快適感」 平均	0.18
「IAQ 快適感」 平均差	-0.0067
「刺激系ストレスサ感度」 平均	-0.31
「刺激系ストレスサ感度」 平均差	0.062
ねむけ感平均	-0.33
ねむけ感平均差	0.33
ぼやけ感平均	0.060
ぼやけ感平均差	0.12
「気流知覚感」 平均	0.044
「気流知覚感」 平均差	0.66
「空気綺麗感」 平均	0.16
「空気綺麗感」 平均差	-0.062
「照明系評価」 平均	0.072
「照明系評価」 平均差	0.14
「知覚温熱」 平均	-0.20
「知覚温熱」 平均差	-0.64
悪臭耐性	-1.7
乾燥耐性	-0.60
寒さ耐性	-1.2
刺激臭耐性	-1.8
湿気耐性	-0.10
実験の種類. 夏	0.20
暑さ耐性	-0.50
振動耐性	-0.40
塵. 埃耐性	-1.2
性別. 男	0.20
騒音耐性	-0.70
朝型夜型スコア	48
年齢	21
風圧耐性	-0.20



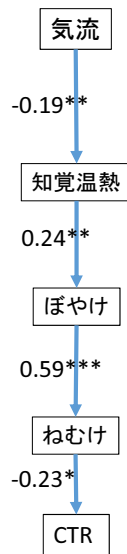


図 4.10: 気流環境変化での共分散構造分析結果 全対象

#### 中間層グループ

中間層グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.11 に示す。気流環境が気流を知覚させ、気流知覚により直接 CTR が向上するパスと、「知覚温熱」を上げることで、CTR を低下させるパスが確認できる。セントロイドから中間層グループの多くは夏季の実験で見られる。また、「知覚温熱」の個別基準値が高くも低くもないことが分かる。また、「知覚温熱」へのパスが気流環境から直接伸びているのではなく、気流知覚を通してパスが伸びている。以上より、強気流により瞬間的に涼しくなったことで、室温の暑さが際立って認識されたのではないかと考えられる。

#### 低生産グループ

低生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.12 に示す。気流環境が「知覚温熱」を下げ、それによりぼやけ感を通してねむけ感を減少させることで CTR を向上させている。ぼやけ感がねむけ感を通さずに CTR に作用するとき CTR 向上のパスになっているのは、眼疲労を増長させるほどタスクに集中した結果に高い CTR が出ていると考えられる。また、他方からのねむけ感へ影響するパスに気流環境から直接的なパスと、気流知覚を通しての間接的なパスが確認できる。気流環境が直接的にはねむけ感を下げていることが分かるが、一方で、気流知覚からはねむけ感を増加させていることも分かる。解釈としては、前者は気流環境により無意識的にねむけ感を減少させていると、後者は気流知覚による覚醒、つまり、強気流による覚醒を意識す

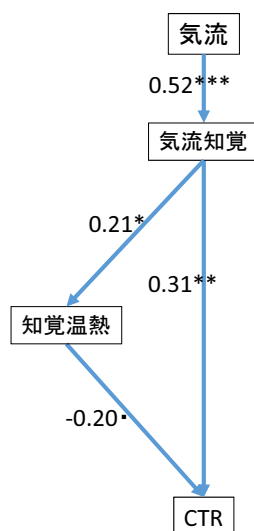


図 4.11: 気流環境変化での共分散構造分析結果 中間層グループ

ることで、強気流が吹いていない大部分のタスク時間中に非覚醒状態であったことまで自覚してしまい、結果的に自己のねむけ感をより大きく知覚したと考えられる。

#### 高生産グループ

高生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.13 に示す。気流環境により気流を知覚し、気流知覚により CTR が低下することが分かる。高生産グループはすでに高い集中状態であるだけに、気流の知覚は、その集中を乱してしまっていると考えられる。

#### まとめ

気流環境による CTR 向上のパスは、「知覚温熱」の低下によるぼやけ感やねむけ感の減少からのパスと、気流知覚からのパスに大きく分けられる。気流知覚からのパスは主に強気流による覚醒効果や非集中状態からの回復が考えられるが、強気流発生時にすでに高い集中状態である場合は、逆に集中を妨げる可能性もある。

#### 4.2.5 夏気流環境グループの解析

以降では、夏気流環境での実験参加者の計測データを対象に行った解析について説明する。よって、先に述べた気流環境の結果は、季節に依らない、より一般的な気流のメカニズムであるとする、夏気流環境グループの解析は夏季に特化した気流のメカニズムであると考えられる。

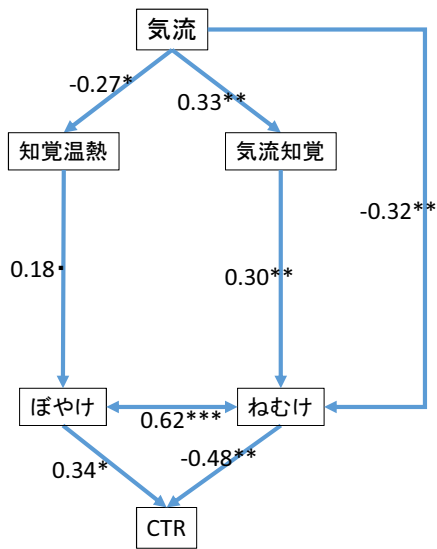


図 4.12: 気流環境変化での共分散構造分析結果 低生産グループ



図 4.13: 気流環境変化での共分散構造分析結果 高生産グループ

#### 4.2.5.1 計測データの要約結果

##### 対象要約

クラスタリング手法には、階層的クラスタリングのウォード法を用いた。クラスターを目的変数とした決定木の結果を図 4.14 に示し、そこからクラスターを特徴付ける名前を考察する。CTR の個別基準値の大きさによって、個人特性を大まかに分けることができる。よって、クラスター 1 を特徴づけるために高生産グループと、クラスター 2 を特徴づけるために低生産グループと名前を付けた。また、各クラスターセントロイドの個人特性を表 4.23、4.24 に示す。

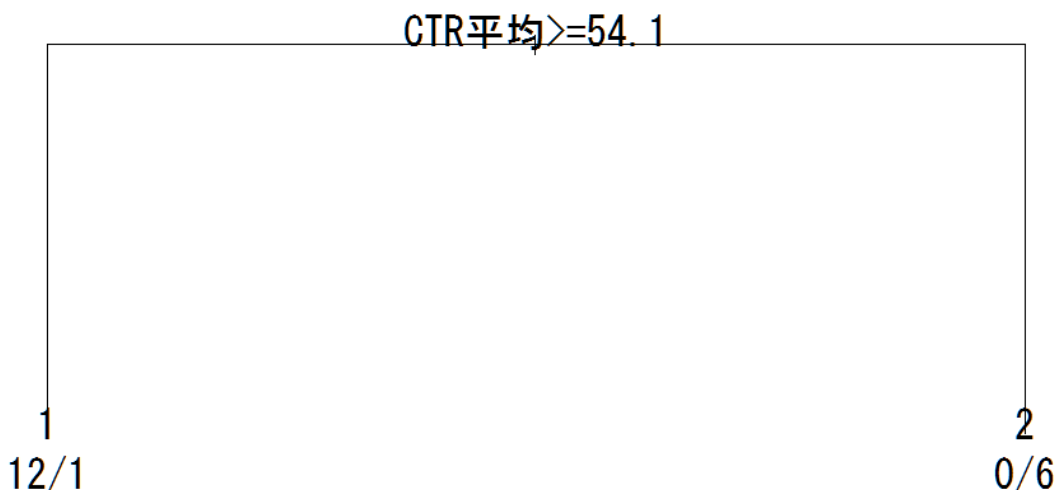


図 4.14: 夏気流環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木

次に、回帰木による対象要約の結果を述べる。目的変数は CTR の環境感度、つまり、夏気流環境による CTR の変化とした。理由は先に挙げた照明環境の解析と同様である。しかし、結果として分類を実行することができなかった。交差検証法を用いて分類性能のよい枝数を評価したところ、2 個以上に分類性能の高い枝数が無かったことから、CTR の環境感度をあてはまりよく分類できる個人特性がないと考えられる。よって、回帰木でのグループ分けは行わない。

表 4.23: 夏気流環境変化でのクラスターセントロイド 高生産グループ

CTR 差	8.4
CTR 平均	65
「IAQ 快適感」 差	0.081
「IAQ 快適感」 平均	-0.24
「刺激系ストレスサ感度」 差	-0.13
「刺激系ストレスサ感度」 平均	0.41
ねむけ感差	0.24
ねむけ感平均	0.30
ぼやけ感差	-0.038
ぼやけ感平均	0.048
「気流知覚感」 差	1.1
「気流知覚感」 平均	0.26
「空気綺麗感」 差	0.19
「空気綺麗感」 平均	-0.049
「照明系評価」 差	0.011
「照明系評価」 平均	0.36
「知覚温熱」 差	0.10
「知覚温熱」 平均	0.076
悪臭耐性	-0.75
乾燥耐性	0.0
寒さ耐性	-0.17
刺激臭耐性	-1.2
湿気耐性	-0.92
暑さ耐性	-0.50
振動耐性	0.0
塵. 埃耐性	-0.92
性別. 男	0.67
騒音耐性	-0.83
朝型夜型スコア	50
年齢	20
風圧耐性	0.58

表 4.24: 夏気流環境変化でのクラスターセントロイド 低生産グループ

CTR 差	3.5
CTR 平均	46
「IAQ 快適感」 差	-0.087
「IAQ 快適感」 平均	-0.12
「刺激系ストレス感度」 差	-0.0055
「刺激系ストレス感度」 平均	0.99
ねむけ感差	-0.52
ねむけ感平均	0.79
ぼやけ感差	-0.0089
ぼやけ感平均	0.69
「気流知覚感」 差	0.86
「気流知覚感」 平均	0.34
「空気綺麗感」 差	-0.13
「空気綺麗感」 平均	0.37
「照明系評価」 差	0.024
「照明系評価」 平均	-0.15
「知覚温熱」 差	-0.95
「知覚温熱」 平均	0.36
悪臭耐性	-0.86
乾燥耐性	-0.14
寒さ耐性	-0.57
刺激臭耐性	-0.57
湿気耐性	-0.43
暑さ耐性	-1.3
振動耐性	-0.14
塵. 埃耐性	-0.86
性別. 男	0.29
騒音耐性	-0.14
朝型夜型スコア	43
年齢	20
風圧耐性	0.43

#### 4.2.5.2 構成要素間の影響評価結果

構成要素間の影響評価を、全対象と、対象要約でグループ分けした対象に実施した結果について述べる。

##### 全対象

全対象に対して行った共分散構造分析の結果を図 4.15 に示す。最終的にねむけ感へのパスとして、温熱が下がることによりぼやけ感が下がり結果的にねむけ感を下げるパスと、気流知覚により IAQ 快適が向上しねむけ感を下げるパスの 2 つが確認できる。しかし、最初は確認できたねむけ感から CTR へのパスが、モデルの当てはまりを大きくするにつれ消えてしまった。よって、この対象では有意なメカニズムを解明することができなかった。ねむけ感から CTR への有意なパスを引くことのできるように環境条件を改良できれば、先に述べた 2 つのパスが有効になると考えられる。

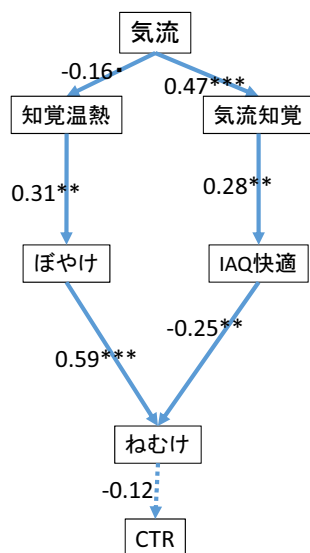


図 4.15: 夏気流環境変化での共分散構造分析結果 全対象

##### 高生産グループ

高生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.16 に示す。CTR 基準値が高い対象者は、気流知覚をしていながらもそれが CTR 向上にまで至っていないことが分かる。セントロイドはねむけ感やぼやけ感が比較的低いことから、覚醒や疲労の向上余地が少ないことが原因の一つだと考えられる。しかし、セントロイドは気流環境によって CTR が向上をしていることから、他にメカニズムが潜在していると考えら

れる。本解析で計測しなかったモデル構成要素に関連するメカニズムが潜在している可能性がある。



図 4.16: 夏気流環境変化での共分散構造分析結果 高生産グループ

#### 低生産グループ

低生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.17 に示す。気流知覚からのパスはなく、「知覚温熱」の低下からのパスがぼやけ感、ねむけ感を通し、有意に CTR 向上まで至っている。気流環境が直接ねむけ感に与える影響に関しては強気流による刺激の覚醒効果が考えられる。セントロイドの「知覚温熱」の基準値が比較的高いことから、強気流が涼しく感じたことが原因の一つだと考えられる。

#### まとめ

全体的に気流環境の CTR への作用としては、ねむけ感の減少に集約される。ねむけ感へのパスは、「知覚温熱」からぼやけ感を通して、気流知覚から「IAQ 快適感」を通して、あるいは直接的に影響を与えるが、いずれも CTR が向上する影響を与えるものである。

### 4.2.6 冬気流環境グループの解析結果

#### 4.2.6.1 計測データの要約結果

##### 対象要約



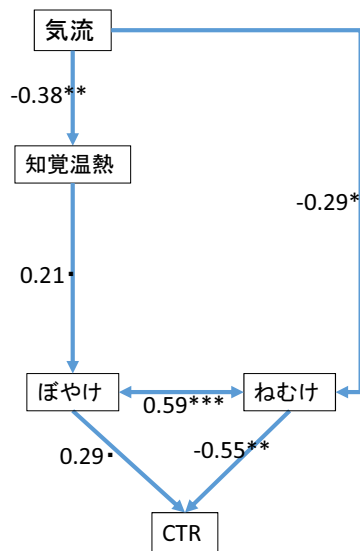


図 4.17: 夏気流環境変化での共分散構造分析結果 低生産グループ

クラスタリング手法には、階層的クラスタリングのウォード法を用いた。ウォード法は、その分類感度の高さから多く用いられている手法の一つである。クラスターを目的変数とした決定木の結果を図 4.18 に示し、そこからクラスターを特徴付ける名前を考察する。CTR の個別基準値の大きさに、個人特性を大まかに分けることができるとわかる。よって、クラスター 1 を特徴づけるために低生産グループと、クラスター 2 を特徴づけるために高生産グループと名前を付けた。また、各クラスターセントロイドの個人特性を表 4.25、4.26 に示す。

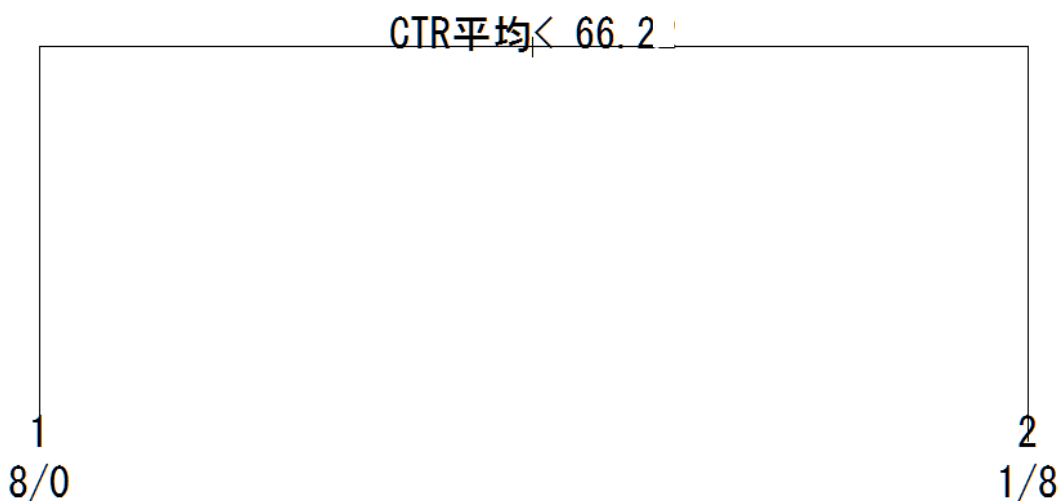


図 4.18: 冬気流環境変化でのウォード法によるクラスターを目的変数とした決定木

表 4.25: 冬気流環境変化でのクラスターセントロイド 低生産グループ

CTR 差	3.2
CTR 平均	56
「IAQ 快適感」 差	0.62
「IAQ 快適感」 平均	0.22
「刺激系ストレスサ感度」 差	-0.15
「刺激系ストレスサ感度」 平均	-0.77
ねむけ感差	-0.15
ねむけ感平均	-0.49
ぼやけ感差	0.010
ぼやけ感平均	-0.48
「気流知覚感」 差	1.1
「気流知覚感」 平均	-0.16
「空気綺麗感」 差	0.33
「空気綺麗感」 平均	0.19
「照明系評価」 差	-0.19
「照明系評価」 平均	-0.42
「知覚温熱」 差	0.088
「知覚温熱」 平均	-0.042
悪臭耐性	-1.6
乾燥耐性	-0.89
寒さ耐性	-1.2
刺激臭耐性	-1.7
湿気耐性	-0.44
暑さ耐性	-0.89
振動耐性	0.0
塵. 埃耐性	-1.6
性別. 男	0.56
騒音耐性	-0.11
朝型夜型スコア	47
年齢	21
風圧耐性	0.11

表 4.26: 冬気流環境変化でのクラスターセントロイド 高生産グループ

CTR 差	-2.4
CTR 平均	78
「IAQ 快適感」差	0.00020
「IAQ 快適感」平均	0.23
「刺激系ストレス感度」差	0.090
「刺激系ストレス感度」平均	-0.50
ねむけ感差	0.35
ねむけ感平均	-0.53
ぼやけ感差	0.15
ぼやけ感平均	-0.20
「気流知覚感」差	0.69
「気流知覚感」平均	0.15
「空気綺麗感」差	-0.091
「空気綺麗感」平均	-0.058
「照明系評価」差	0.19
「照明系評価」平均	0.11
「知覚温熱」差	-0.94
「知覚温熱」平均	-0.29
悪臭耐性	-1.9
乾燥耐性	-0.50
寒さ耐性	-1.3
刺激臭耐性	-1.9
湿気耐性	0.0
暑さ耐性	-0.38
振動耐性	-0.50
塵. 埃耐性	-1.0
性別. 男	0.25
騒音耐性	-0.63
朝型夜型スコア	47
年齢	22
風圧耐性	-0.25

次に、回帰木による対象要約の結果を述べる。目的変数は CTR の環境感度、つまり、冬気流環境による CTR の変化とした。理由は先に挙げた照明環境の解析と同様である。図??を以下に示す。回帰木の結果から、「IAQ 快適感」の環境感度によって、CTR の向上したグループと向上しなかったグループに分けられるといえる。冬気流環境により「IAQ 快適感」の向上する計測対象者グループは、CTR も向上すると考えられ、この 2 グループを「CTR 向上グループ」「非 CTR 向上グループ」と名付けた。

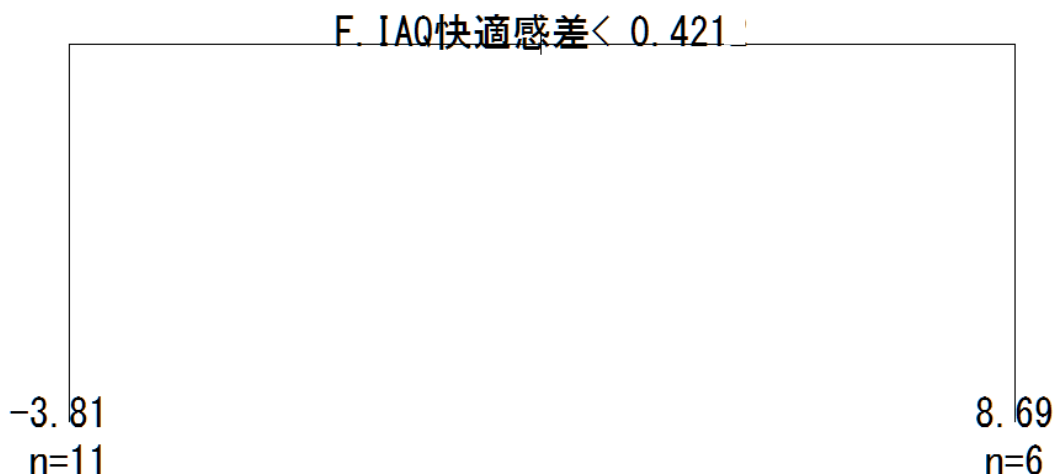


図 4.19: 冬気流環境変化での目的変数を CTR 差とした回帰木

#### 4.2.6.2 構成要素間の影響評価結果

構成要素間の影響評価を、全対象と対象要約でグループ分けした対象に実施した結果について述べる。

##### 全対象

全対象に対して行った共分散構造分析の結果を図 4.20 に示す。気流環境が寒さを強く感じさせ、それにより不快に感じてねむけ感を増加させることで CTR を低下させることが分かる。また、気流環境が気流を知覚させ、知覚が大きい方がぼやけ感とねむけ感を抑えることで、CTR を向上させることが分かる。しかし、気流の知覚が大きい方がねむけ感を増加させるパスも表れている。解釈としては、気流の知覚が無意識的には、ぼやけ感を通じてねむけ感を減少させているが、意識的には、気流の知覚による覚醒を自覚することで、ねむけ感を際立たせたのだと考えられる。

##### 低生産グループ

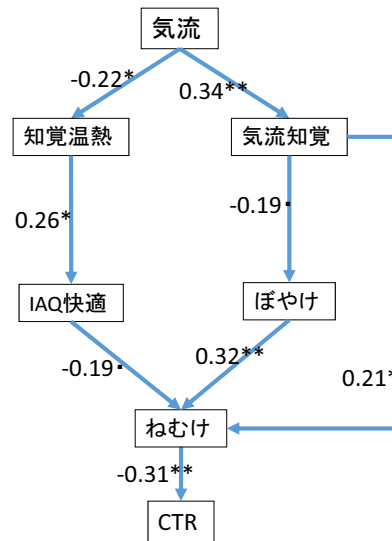


図 4.20: 冬気流環境変化での共分散構造分析結果 全対象

低生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.21 に示す。気流環境が「IAQ 快適感」を向上させ、それによりねむけ感を低下させ、CTR を向上させる強いパスが確認できる。また、気流環境が気流を知覚させることで直接 CTR を向上させるパスと、ぼやけ感を通し CTR に作用するパスも確認できる。気流をより知覚するほど CTR が向上しているのは、強気流により低かった覚醒が高くなったのではなく、タスクから気がそれていた状態から強気流により再びタスクへに取り組む状態へ戻されたのだと解釈できる。このことより、内的状態要因の覚醒よりも気分に関連したパスがあると考えられるが、本解析では気分が計測されていないため、その検証のしようがない。

#### 高生産グループ

高生産グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.22 に示す。気流知覚が CTR を低下させていることが分かる。高生産グループはすでに高い集中状態であるため、ここでの気流の知覚は、その集中を乱してしまっているのではないかと考えられる。また、気流により「知覚温熱」を低く感じ、それにより不快を感じるほど、気流知覚が増加していることも分かる。よって、高生産グループに配慮した気流環境の改善は、「知覚温熱」を高めるアプローチにより、少なくとも気流が不快感を与えないようにする方針などが有用だと考えられる。

#### 非 CTR 向上グループ

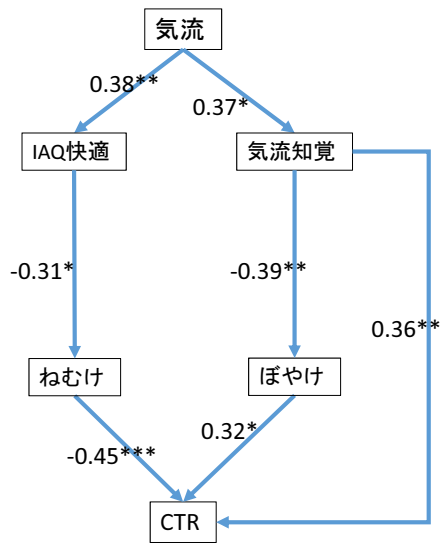


図 4.21: 冬気流環境変化での共分散構造分析結果 低生産グループ

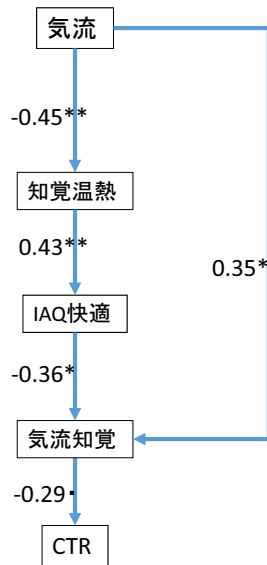


図 4.22: 冬気流環境変化での共分散構造分析結果 高生産グループ

非 CTR 向上グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.23 に示す。気流環境により気流を知覚し、気流知覚によりねむけ感が増加し、それが CTR を低下させていると分かる。高生産性グループと同様に、気流環境により知覚温度を低く感じ、それにより気流をより知覚することが分かるため、同様の改善方針が考えられる。

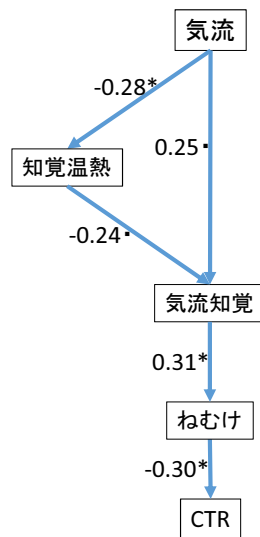


図 4.23: 冬気流環境変化での共分散構造分析結果 CTR 差 [小] : (平均=-3.8)

### CTR 向上グループ

CTR 向上グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.24 に示す。気流環境により気流を知覚することで CTR が向上する強いパスが確認できる。気流知覚から直接正のパスが CTR に向けられていることから、低生産性グループと同様、気流をより知覚するほど CTR が向上しているのは、タスクから気がそれていた状態から強気流により再びタスクに取り組む状態へ戻されたと解釈できる。

### まとめ

気流により CTR が向上するパスは、強気流による非集中状態からの回復などが確認できた。また、気流により CTR が低下するパスは、寒さにより不快感やねむけ感が増大する点と、気流を知覚することによりねむけ感の増大や高集中状態の阻害が起こる点の 2 点を確認できた。その共通の改善策として「知覚温熱」を下げる方法を提案した。



図 4.24: 冬気流環境変化での共分散構造分析結果 CTR 差 [大] : (平均=8.7)

## 4.3 複合環境変化による知的生産性変化のデータ解析

### 4.3.1 解析目的

本解析では、温度、湿度、照明などの執務環境要素を既往研究より最適に調整した複合環境へ調整しない環境から変化させた際の、知的生産性変化のメカニズムを解明することを目的としている。

### 4.3.2 実験概要

#### 4.3.2.1 計測時の執務環境変化

複合環境の条件として、複合良環境条件と対比する環境条件の2条件について述べる。

複合良環境条件とは、HEMS(Home Energy Management System)を用いて室温、湿度、輝度などを一括に調節し、涼しく、「カラッとした」空気で、机上が明るい条件を同時に実現した条件である。対比する環境条件とは、環境がある条件との比較のため、室温、湿度、輝度などを一括に調節し、暑く、「じめっとした」空気で、机上が暗い条件を同時に実現した条件である。



#### 4.3.2.2 その他の実験室環境条件

執務環境条件の変化を正確に制御するために、同じレイアウトの部屋を2部屋用意し、片方は分析したい執務環境条件、もう片方は相対する標準環境条件に固定し、その2部屋間で計測対象者を入れ替えることで執務環境条件の変化とした。

#### 4.3.2.3 実験スケジュール

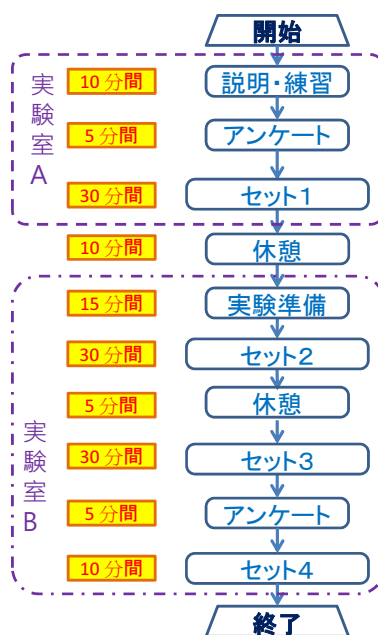


図 4.25: 実験のプロトコル（複合環境変化）

図 4.25 に示すような1日を2日間行った。また、セット1~3で「この作業を9時から17時まで実施すると考え、自分のペースで作業してください。できる限り正確に作業してください」と実験参加者に教示してタスクを行い、各モデル構成要素が計測された。各日のセット1は同じ環境条件が設定され、日ごとの知的生産性に大きく差がある実験参加者を除外するために行われた。セット2、3で計測された各モデル構成要素を本解析のサンプルとした。

#### 4.3.2.4 実験参加者とサンプル数

実験参加者は、社会人20人であった。うち、5人のデータに致命的な欠損があり、その5人のデータをサンプルからすべて除去したので、実質15人である。条件変化ごとの日数は、分析したい執務環境条件の日数は1日、相対する標準環境条件の日数は1

日であった。日数ごとのタスク回数は2回であり、一人当たりの計測回数は4回であった。合計でタスクの総サンプル数は実質60であった。

### 4.3.3 解析方法

本解析で用いた、各モデル構成要素の計測手法、実験統制方法、構成要素の統計的な算出手法、構成要素間の影響評価手法を述べる。

#### 4.3.3.1 各モデル構成要素の計測手法

##### 知的生産性の計測手法

知的生産性の計測手法はCTRを用いた。

##### 覚醒の計測手法

覚醒の計測は、行われなかった。

##### 疲労の計測手法

疲労の計測は、行われなかった。

##### 気分の計測手法

気分の計測は、行われなかった。

##### ストレス評価の計測手法

ストレス評価の計測は、執務環境に関する主観評価を行った。

##### 個人特性の計測手法

人口統計学的属性調査を、性別、年齢を問う調査票を用いて行った。また、個別基準値には、個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。環境感度には、環境条件ごとの個人の知的生産性と内的状態要因の計測データから平均値を算出して用いた。

#### 4.3.3.2 実験統制方法

##### 時間帯の統制方法

時間帯の統制は、実験では、執務環境条件を日単位で変化させ、一日の計測スケジュールを同じにし、執務環境変化間で同じ時間帯に計測する方法を用いて行った。

##### 実験参加者の統制方法

実験参加者の統制は、執務環境条件を変化させる間に同じ実験参加者を用い、執務環境変化間で同じ実験参加者グループを用いた方法を用いて行った。

##### 順序効果の統制方法

順序効果の統制は、実験参加者をグループに分け、それぞれの条件変化の順番を交互に設定し、カウンターバランスを考慮した日程を設定する方法を用いて行った。

#### 4.3.3.3 構成要素の統計的な算出手法

##### 正規化

知的生産性の計測指標である CTR については、分析の前処理として正規化を行った。用いた方法は、計測対象者ごとのセンタリングである。

##### 因子分析

執務環境に関する主観評価については、計測データの種類が多いため、それを要約する因子分析を実施した。

##### クラスター分析

個人特性のサンプル数は 15 と少なく、統計処理に掛けるべきでないと判断した。

##### 決定木（回帰木）

同様に、個人特性のサンプル数は 15 と少なく、統計処理に掛けるべきでないと判断した。

#### 4.3.3.4 構成要素間の影響評価手法

構成要素間の影響評価手法には共分散構造分析を用いた。よって、本解析で用いた計測データは基本的に量的データで構成され、2 グループに分割したとしても統計処理が可能だと考えられる。

## 4.3.4 解析結果

### 4.3.4.1 データクレンジング

実験参加者の体調不良、指示の無視、計測の不備、解析不能等でいくつかの計測データは解析対象外とした。5人のデータに致命的な欠損があり、その5人ともデータサンプルからすべて除去した後、CTRは4個、年齢は1個、性別は1個のデータ欠損とした。CTRは欠損データを除外し、その他の計測項目は全サンプルの平均値を欠損の代替データとした。理由は先に挙げた照明環境の解析と同様である。

### 4.3.4.2 計測データの要約結果

#### 要素要約

探索的因子分析の因子数は平行分析法によりいくつか候補を推定し、それぞれの因子数で分析を行った結果、因子への意味づけが容易なものを採用した。表4.27～4.31にそれぞれの因子負荷量を示し、各因子に名付けを行った。まず、因子1は下位概念に各環境要素の不快感や室内への嫌悪感などの項目をもつことから、符号を反転させ「好感環境」とした。次に、因子2は下位概念に「知覚温熱」の各項目をもち、また、対象環境による覚醒しやすさの項目をもつこともあわせて「ねむけ誘発温熱感」とした。因子3は下位概念に照明環境の評価項目をもち、また、対象環境での集中のしやすさの項目をもつこともあわせて、符号を反転させ「集中誘発照明感」とした。因子4は下位概念に騒音の各項目をもつことから、符号を反転させ「騒音環境」とした。最後に、因子5は下位概念に空気の綺麗さや空気の流れの不快感の項目をもつことから、符号を反転させ「さわやか環境」とした。

#### 対象要約

対象要約はスライシングを用いた。

スライシングには性別を用いた。一般に、男性と女性では肉体的に異なる特性をもつと考えられるのに加え、実験者から「女性は真面目にタスクに取り組んでいた」と実験実施時における報告を受けたからである。よって、男性と女性でタスクへの取り組み方に違いがあり、ひいては執務環境から受ける影響のメカニズムが異なると考えられる。

表 4.27: 複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 1

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
空気が不快	0.52	0.13	0.16		0.60
室温が不快	0.88			0.20	0.17
湿度が不快	0.40		0.37		0.12
部屋全体が嫌い	1.0		-0.11		
部屋全体が不快	0.81				
ほこりっぽくない	-0.41	0.37	0.53		-0.26
湿度高い	0.45		0.15		-0.53

表 4.28: 複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 2

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
足元が寒い・暑い	0.13	0.98	0.15		
顔が寒い・暑い		0.83		0.14	
全身が寒い・暑い		0.79	-0.30	-0.15	
環境による覚醒のしやすさ	0.11	0.40	-0.11	0.23	

表 4.29: 複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 3

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
照明が不快	0.37		0.54		-0.14
暗い環境		-0.19	0.93		-0.16
ほこりっぽくない	-0.41	0.37	0.53		-0.26
環境による集中のしやすさ		0.20	0.83		0.37

表 4.30: 複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 4

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
屋外が静か				0.75	
屋内が静か	0.12			1.0	

表 4.31: 複合環境変化での執務環境に関する主観評価の因子負荷量 因子 5

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
空気がきれい	-0.11				-0.67
空気が不快	0.52	0.13	0.16		0.60
湿度高い	0.45		0.15		-0.53

#### 4.3.4.3 構成要素間の影響評価結果

構成要素間の影響評価を、全対象と、対象要約でグループ分けした対象に実施した結果について述べる。

##### 全対象

全対象に対して行った共分散構造分析の結果を図 4.26 に示す。複合環境から、好感環境、ねむけ誘発温熱感、集中誘発照明環境、さわやか環境へとパスが確認できる。また、複合環境で変化した環境条件が有意にストレスを軽減させていることが分かる。騒音環境へのパスが無いのは、執務環境変化条件として統制したものの中に音環境が含まれなかったからだと考えられる。しかし、その中で CTR 向上に直接影響したものは集中誘発照明環境のみであった。

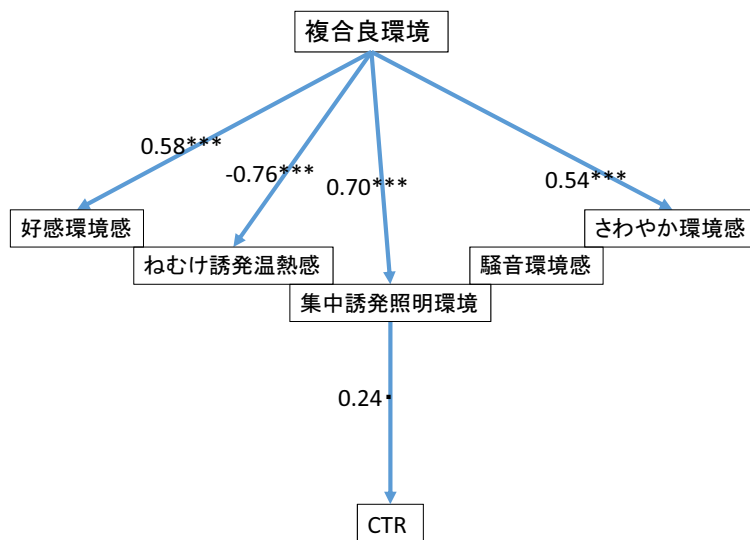


図 4.26: 複合環境変化での共分散構造分析結果 全対象

##### 男性グループ

男性グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.27 に示す。集中誘発照明環境の増加により、CTR が向上したことが分かる。これは全対象メカニズムよりも強いパスが得られている。また、ねむけ誘発温熱感の減少により、CTR が向上したことが分かる。よって、男性は、複合良環境の室温と照明の変化両方から良い影響を受ける特性を持つと考えられる

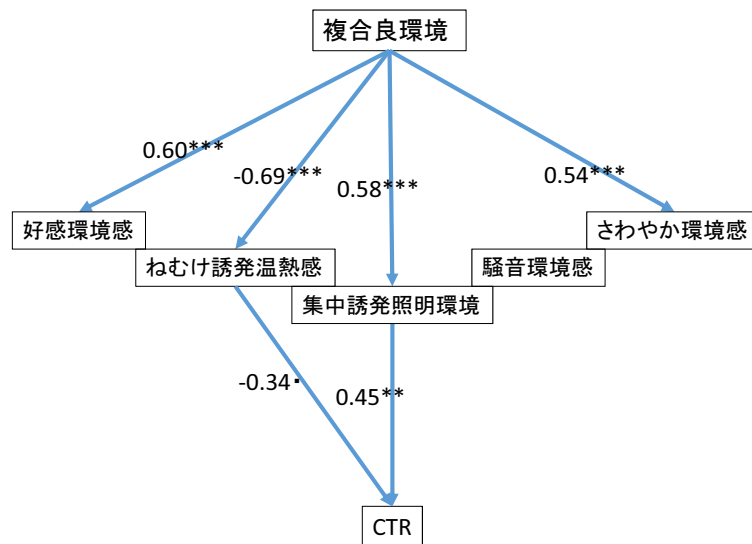


図 4.27: 複合環境変化での共分散構造分析結果 男性

### 女性グループ

女性グループに対して行った共分散構造分析の結果を図 4.28 に示す。ねむけ誘発温熱感の減少から、CTR が低下していることが確認できる。これは男性とは逆で、複合良環境の室温から悪影響を受けていると分かる。女性に多くみられる冷え性や寒がりなどの特性が、温熱感の減少からストレスを増加させたと考えられる。また、この計測実験を実施した実験者からは、女性が男性と比べ真面目に取り組んでいたと報告を受けている。そのため、ねむけ誘発の減少が CTR の向上に結びつかないもう一つの原因はその緊張感にあった可能性も考えられる。一方、さわやか環境の増加からは CTR が向上していることが分かる。女性は複合良環境の湿度から良い影響を受ける特性を持つと考えられる。また、全対象と男性で確認できた、集中誘発照明環境の増加から CTR 向上へのパスは、女性では有意なパスとして現れなかった。前述した、女性の方が真面目にタスクに取り組んでいたという報告と合わせて、女性はすでに照明で誘発できるレベルの集中はどちらの環境でも維持できていたと考えられる。

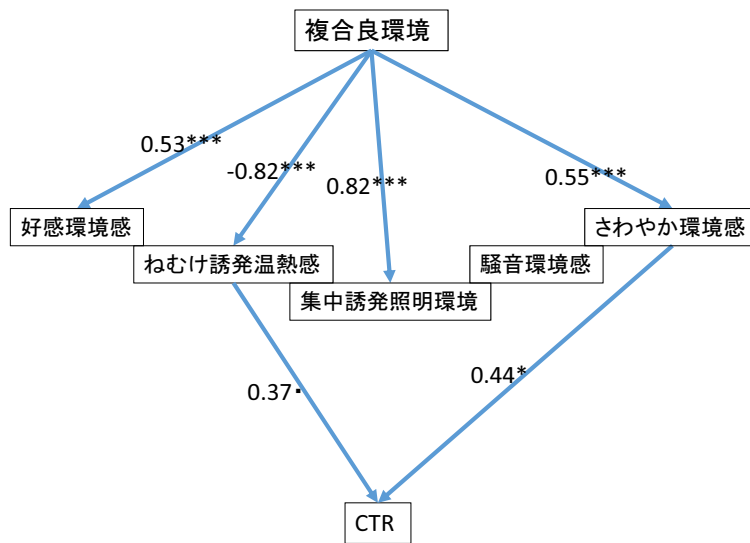


図 4.28: 複合環境変化での共分散構造分析結果 女性

#### まとめ

性別で CTR に影響するストレスに大きな違いがあることが分かった。オフィス設計する際は、執務者の性別が配慮すべき知的生産変化要因の一つであると考えられる。特に、室温に関しては、女性と男性への影響が逆になる結果になったことからより一層の注意が必要であるといえる。そのため、先に挙げた気流環境などのような、個別に温熱感を調整できる環境を設定する必要があると考えられる。集中誘発照明環境は少なくとも女性に悪影響までは与えなかったこと、また、省電力を実現できることから、比較的安全にオフィスに導入できると考えられる。また、総じて執務環境への好感・快適感が CTR に作用しないことから、執務環境の好感・快適感は重要な知的生産性変化要因ではない可能性が考えられる。しかし、本解析での標準環境を更に嫌悪感・不快感を覚えやすい執務環境にすることで、また、違うメカニズムが得られる可能性も考えられる。

## 4.4 本分析フレームワークの評価

ケーススタディより、メカニズムを概ね矛盾なく解釈できることができたと考えられ、それにより、分析した執務環境条件の改善案をいくつか提案することができた。CTR が環境変化によって低下するグループは、低下を説明するパスを持つメカニズムを解釈できることができ、向上するグループは、向上を説明するパスを持つメカニズム



ムを解釈できることができた。また、常に高いCTR 基準値をもつグループからは、有意なパスが得られなかったが、メカニズムが解明できなかつたのではなく、元よりこのグループにはメカニズムが無いと解釈できることが妥当であると考えられる。

一方で、本解析で得られたメカニズムの他に、まだ潜在するメカニズムがあるとも考えられ、その理由として、計測項目が汎用メカニズムモデルを説明するに十分でないことが考えられる。そのため、より詳細なメカニズムを解明するためには各モデル構成要素が計測される必要があると考えられる。

## 第 5 章 結論

近年、企業で行われている省エネルギー活動の取り組みが、オフィス執務者の作業効率を低下させ、かえってエネルギー消費を増加させてしまう問題がある。よって、執務環境変化による知的生産性の変化だけでなく、そのメカニズムまで明確に分析し、知的生産性の向上に配慮しつつ、エネルギー消費量を削減するように執務環境を改善する必要がある。しかし、これまで行われてきた、執務環境変化による知的生産性変化を分析した研究<sup>[3-7]</sup>と、知的生産性変化要因に着目した研究<sup>[8,9]</sup>のように、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムまで分析されていない研究例が、既往研究の多くを占めている。

そこで本研究では、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムまで分析するにあたって必要となるプロセスの、それぞれ異なる専門知識が必要な手法を体系的に結びつけ、それを、執務環境変化による知的生産性変化の分析フレームワークとして提案し、複数の異なる執務環境要素ごとに適用したケーススタディからその有用性と課題を評価した。

第 2 章では研究の背景および執務環境変化による知的生産性変化を分析した研究を述べ、本研究の目的と本分析フレームワークの範囲、意義を述べた。

第 3 章では、分析フレームワークとして、知的生産性変化要因を網羅した構成要素を持つ汎用メカニズムモデルと、その評価方法であるメカニズム定量化の方法を提案した。メカニズム定量化は、モデル構成要素の計測と計測データの統計処理から構成した。さらに、モデル構成要素の計測は、計測手法の設定と計測実験の設計・実施から構成し、計測データの統計処理は、構成要素の統計的な算出と構成要素間の影響評価から構成した。そして、それぞれのプロセスで有用であると考えられる手法を挙げ、手法案リストなどにまとめた。

第 4 章では、ケーススタディとして、(1) 照明環境変化による知的生産性変化のデータ解析、(2) 気流環境変化による知的生産性変化のデータ解析、(3) 複合環境変化による知的生産性変化のデータ解析を行った。

以上のデータ解析結果から、執務環境変化による知的生産性変化のメカニズムを概ね矛盾なく解釈することができたと考えられ、また、知的生産性を向上させるための執務環境条件の改善案をそのメカニズムからいくつか提案することができた。一方で、

得られたメカニズムの他に、まだ潜在するメカニズムがあるとも考えられる。その原因として、ケーススタディで用いた計測項目が汎用メカニズムモデルを説明するに十分でなかったことが考えられる。そのため、より詳細なメカニズムを解明するためには各モデル構成要素を十全に計測する必要があると考えられる。

今後は、本研究で行えなかった、各モデル構成要素が十全に計測された解析のケーススタディを行うことで、さらなる分析フレームワークの課題を発見し改善につなげていく必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた下田宏先生と石井裕剛先生に深く感謝いたします。先生方には、研究に関する沢山の助言をいただき、また、発表や議論の仕方を熱心に指導していただきました。ここで学んだことは、社会に出てからも活かしていきたいと思っております。また、プロダクティビティチームの皆様とは気流実験で何度も試行錯誤していく中で掛け替えのない時間を過ごすことができました。特に、パナソニック株式会社の大林 史明博士には、知的生産性の研究に関する沢山のノウハウを教えて頂きました。パナソニックエコシステムズ株式会社の谷口 和宏 様には、気流実験の計測室作成で多大なるご助力とアドバイスを頂きました。心より感謝申し上げます。修士論文執筆のサポーターの修士1回生の下中尚忠さんと浦山大輝くんにも深く感謝いたします。たくさん助けていただき精神的にも励みになりました。研究室生活をおくる上で、日頃からお世話していただきました普照郁美 さんに心より感謝いたします。学生部屋でいっしょに笑ったり話し合ったり仲良くしてくださったエネルギー情報学分野研究室の皆様感謝いたします。最後に、修論作成に専念できるように沢山の支援をしてくださった家族と、研究中お世話になったすべての方々に深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] G.Lomonaco, D.Miller: Environmental Satisfaction, Personal Control and the Positive Correlation to Increased Productivity, Johnson Controls, Inc.(1997).
- [2] 長野: 複合影響研究における環境の総合快適性評価の視点, 日本生気象学会雑誌 Vol. 41 (2004) No. 3 P 87-93
- [3] P.Wargocki, D.P.Wyon, P.O.Fanger: Productivity is Aected by the AirQuality in Oces, Healthy Building 2000, pp.635-640(2000).
- [4] 小林, 北村, 清田, 岡, 西原, 田辺: 執務空間の温熱環境が知的生産性に与える影響—コールセンターの長期間実測—, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.451-454(2006).
- [5] W.J. Fisk, P.N. Price, D.Faulkner, D.P. Sullivan, D.L. Dibartolomeo, C.C. Federspiel, G. Liu, and M. Lahi: Worker Performance and Ventilation, Part1, 2, Proceedings of Indoor Air 2002, pp.784-795(2002).
- [6] W.M. Kroner, J.A. Stark-Martin: Environmentally Responsive Workstation and Worker Productivity, ASHARE Transaction, Vol.100, pp.750-755(1994).
- [7] 榎本, 近藤, 下田, 石井, 大林, 岩川, 寺野: プロダクティビティ改善のための照明制御に関する実験研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007, No.3431, pp.1163-1168(2007).
- [8] S. Tanabe, N. Nishihara: Productivity and fatigue, Indoor Air 2004, pp.126-133(2004).
- [9] 岩下, 合原, 田辺: 被験者のワークモチベーションが異なる温熱環境における作業パフォーマンスへ及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号, pp.71-77, (2006).
- [10] Petra M. Bosch-Sijtsema, Virpi Ruohomaki, Matti Vartiainen: Knowledge workproductivity in distributed teams, Journal of Knowledge Management, Vol.13No.6, pp.533-546 (2009).

- [11] N.P.Sensharma, J.E.Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and Productivity, Healthy Building2000, Workshop 9(2000).
- [12] D. Swain : “ Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications ” , U.S.NRC, 1983, pp. 51-76.
- [13] 加藤: 高齢化は脅威か?-鍵握る向こう 10 年の生産性向上-, 総合研究開発機構 (NIRA)2009 年 11 月研究報告書, pp.9-10 (2009).
- [14] 村上: 知的生産性研究の目的と枠組み, 2008.3.17 第 2 回知的生産性研究委員会, 資料 No.5 (2008).
- [15] G.A. Heath, M.J. Mendell: Do Indoor Environment in schools Inuence Student Performance A Review of the Literature, Indoor Air 2002, pp.802-807(2002).
- [16] D.P.Wyon, W.J.Fisk: Research Needs and Approaches Pertaining to the Indoor Climate and Productivity, Healthy Building 2000 Workshop Summaries (2000).
- [17] 斎田, 赤松, 犬飼, 口ノ町, 中村, 永村, 吉岡: 人間計測ハンドブック. 朝倉書店 (2003).
- [18] 瀬尾:知的作業中の生理指標計測による作業成績推定手法の検討,2014 修論
- [19] 内山皓介, 宮城和音, 石井裕剛, 下田宏, 大林史明, 岩川幹生:作業への集中に着目した知的生産性評価ツールの開発. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013,pp. 371-378.
- [20] 日本産業衛生学会, 産業疲労研究会編集委員会 (編) : 産業疲労ハンドブック, 労働基準調査会 (1988).
- [21] Gerald Matthews, Dylan M. Jones: Refining the measurement of mood:The UWIST Mood Adjective Checklist, British journal of Psychology, 81, pp.17-42(1990).
- [22] 寺崎, 岸本, 古賀, 多面的感情状態尺度の作成, 心理学研究,Vol. 62 (1991-1992) No. 6 P 350-356
- [23] 西村, 森本: 精神疲労推定のための CFF の測定方法と条件の検討 -VDT 作業による疲労を対象として-, 人間工学, Vol.22 No.4, pp.203-210, (1986).

- [24] 橋本, 寺野, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究第 5~6 報, 平成 16 年度空気調和・衛生工学学術講演論文集 (2004).
- [25] 川崎, 山口, 主観的な好みに影響されたワーキングメモリの神経機構 (バイオサイバネティクス, ニューロコンピューティング), 電子情報通信学会論文誌 (2011)
- [26] 日本語朝型-夜型 (Mornings-Eveningness) 質問紙による調査結果: The Japanese Journal of Psychology, Vol.57, No.2, pp.87-91(1986).
- [27] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会 (編): 産業疲労ハンドブック, 労働基準調査会 (1988).
- [28] Friedman M, Rosenman RH, et al: Association of specific overt behavior pattern with blood and cardiovascular findings, JAMA 169, pp.1286-1296(1959).
- [29] 金井, 勝浦, 岩永, 下村: 室内照明の色温度が作業中の覚醒度に与える影響、日本生理人類学会誌第 44 回大会要旨集、Vol.5、pp.14-15(2000).