

人間特性に基づく EFiC (Environment-Factor-intellectual Concentration) フレームワークの提案

—執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズム導出方法—

伊藤京子*・上東大祐**

石井裕剛**・下田宏**

Proposal of EFiC (Environment-Factor-intellectual Concentration) Framework

Based on Human Characteristics

—Method of Deriving Mechanism of Changes in Intellectual Concentration
by Workplace Environment—

Kyoko ITO*, Daisuke KAMIHIGASHI**,
Hirotake ISHII** and Hiroshi SHIMODA**

In this paper, a framework has been examined for quantitatively analyzing the relation between the workplace environment and intellectual concentration, through “factors” that connect between them, in order to improve intellectual concentration in the office. Specifically, “human characteristics” have been focused on and the factors affecting intellectual concentration was categorized into two groups. They are dynamic factors (arousal, mood, fatigue, stressor assessment) which vary during work and static factors (reference value, environmental sensitivity) which do not change. Using these factors, the measurement method and the quantification method have been examined, and EFiC framework (Environment-Factor-intellectual Concentration) has been proposed for deriving the mechanism of intellectual concentration affected by the workplace environment. In order to confirm the effectiveness of the EFiC framework, it was applied to the measurement data acquired in a past experiment of the intellectual concentration affected by lighting environment. As the result, concrete suggestions to improve the operating environment based on the characteristics of people were obtained. By applying this framework to measurement experiments of various intellectual concentration, it is expected that effective suggestions for improving intellectual concentration will be obtained. In addition, in order to expand this framework in general purpose, it is conceivable to consider more effective measurement method and analysis method.

Key Words: intellectual concentration, human characteristics, factors, EFiC (Environment-Factor-intellectual Concentration) framework, covariance structure analysis

1. はじめに

オフィスにおける執務環境を制御することでオフィス執務者の作業効率や知的生産性を向上させようとする研究が、近

年盛んに行なわれている。オフィスでは、温度、照明、騒音などが執務者の作業効率や知的生産性に影響を与えることが想定される。たとえば、村上らは室温に着目し、オフィスビルにおいて室温を変えた2条件下で社員の業務を模擬した作業を学生被験者を対象に実施している¹⁾。そして、室温を25.0°Cから27.5°Cに変化させた際、校正作業では2.1%、タイピングでは1.3%、加算作業では4.1%それぞれ作業量が低下したと報告している。一方、Tanabeらは、作業効率や知的生産性の向上に向けて、疲労が作業量に影響を与えることに着目し、温熱環境を変化させることにより疲労が変化したと報告している²⁾。この研究では、作業量を直接計測するのではなく、作業量に影響を与える要因として疲労が計測され、温熱

* 大阪大学経営企画オフィス 吹田市山田丘 1-1

** 京都大学大学院エネルギー科学研究科
京都市左京区吉田本町

* Office of Management and Planning, Osaka University,
1-1 Yamadaoka, Suita

** Graduate School of Energy Science, Kyoto University,
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto

(Received March 22, 2018)

(Revised August 4, 2018)

環境変化による作業量変化の可能性が示唆されている。

村上らによれば、執務、つまり知的作業は、無意識的に行なわれることの多い簡単な「情報処理」、意識的に行なわれる必要のある「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ために論理的・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³⁾。また、Bosch-Sijtsemaらによると、執務環境による知的生産性への影響を評価するためには、執務環境と知的生産性を媒介する「要因」を設計する必要があるとされている⁴⁾。

作業効率や知的生産性を定量的に計測するためには、適切なタスクの設定と評価指標の選択が必要となる。本論文では、習熟に依存しない定量的な知的生産性指標として、知的集中を計測する「集中時間比率」⁵⁾を用いる。「集中時間比率」は、著者らの先行研究において提案され、習熟に依存しない指標であることを評価実験により確認している⁵⁾。集中とは、「1つの事柄に注意を向けて物事に取り組むこと」であるが、「集中時間比率」を計測する場合は、認知資源を一定時間対象に割り当てている状態を集中状態と定義する。本論文では、知的生産性を計測する指標として「知的集中」を用いる。

本論文では、執務環境から要因を媒介して知的集中に影響を与えるとするモデルをメカニズムモデルとし、メカニズムの導出方法に着目する。対象とする知的作業を知識処理の作業とし、その単位時間当たりの作業量、すなわち作業効率を知的集中とする⁵⁾。メカニズムとは、個別の執務環境が具体的にどのような要因を媒介して、どの程度、知的集中に影響を与えるかを定量化した関係とする。従来研究において、執務環境と知的集中や知的生産性の間をつなぐ「要因」を定量化し、メカニズムを明らかにした研究やそのための方法を提案した研究は存在しない。本論文では、メカニズムを導出するための方法を、フレームワークと呼ぶこととする。

メカニズムモデルにおいて、執務環境から要因を媒介して知的集中に影響を与える際、「要因」とは個人の特性や個人の状態とする。温度や湿度などの執務環境が、疲労などの個人の状態に影響し、個人の状態が変化して、知的集中に影響する。執務環境から個人の状態への影響は、個人差がある。たとえば、個人ごとに快適と感じる温度や明るさを感じる明るさは異なる。個人差に基づき、集中しやすい、眠気がする、楽しい、苦しいなど、執務中に時間とともに変化する個人の状態があると考えられる。本論文では、個人の状態と個人差を人間特性とする。人間特性に基づくメカニズム導出により、個人差を考慮した知的集中向上のための執務環境選択につながる事が期待される。

以上より、本論文では、知的生産性の向上に向け、人間特性に基づき、執務環境と知的集中の間に「要因」を加えたメカニズムを導出するためのフレームワークを提案することを目的とする。以下、第2章では、関連研究として知的集中や知的生産性の向上に向けた先行研究を述べた後、本論文の位置づけを述べる。第3章では、知的集中に影響を与えるメカ

ニズムを導出するためのフレームワークを提案する。第4章では、実験結果を用いて、提案したフレームワークの妥当性を検証する。第5章では、本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究と本論文の位置づけ

本章では、関連研究として、知的生産性の向上に向けた研究を述べる。大きく2つに分類し、執務環境が知的生産性に与える影響を調べた研究と、知的生産性に影響を与える要因に着目した研究である。これらの研究では、知的生産性の中で知識処理を対象とし、知識処理を行なうタスクが用いられている。加えて、知的生産性の評価法に関して述べる。それらに基づき、本論文の位置づけを述べる。

2.1 執務環境が知的生産性に与える影響を調べた研究

執務環境が知的生産性に与える影響を調べた研究では、執務環境の構成要素を1つ選択し、知的生産性を計測する作業を設定して、構成要素の条件を変化させ、作業量の変化を計測している。

Wargoekiらは、条件変化として換気量による汚染物質質量、作業としてテキストタイピングの仮想タスクを設定し、作業量を計測している⁶⁾。小林らは、条件変化として室温、作業としてコールセンター作業を設定し、その効率を計測している⁷⁾。Fiskらは、条件変化として換気量と室温を組み合わせ、作業としてコールセンター作業を設定し、その効率を計測している⁸⁾。Kronerらは、条件変化として個人制御環境システムを用い、作業として一定期間に作成されたファイル数を設定し、その量を計測している⁹⁾。榎本らは、条件変化として新照明制御方法を用い、作業として伝票分類などの認知タスク作業を設定し、その成績を計測している¹⁰⁾。

これらの研究では、テキストタイピングやコールセンター作業、伝票分類などの手順が明確で正誤判定が簡単な知識処理のタスクが用いられている。それぞれのタスクにおいて、手順が繰り返された回数やその正解率を、作業効率、すなわち知的生産性として計測している。そして、執務環境の条件変化により、知的生産性が変化した量を比較している。

しかし、執務環境の条件変化が人間にどのように影響を及ぼし、その影響が知的生産性の変化にどのように表われたのかは、示されていない。たとえば、執務環境の変化が覚醒度と疲労を同時に上げているために、両者がバランスして知的生産性が変化しない場面があれば、これらの研究では、その要因に基づく改善策を提示することはできない。

2.2 知的生産性に影響を与える要因に着目した研究

知的生産性に影響を与える要因に着目した研究では、執務環境の構成要素と知的生産性に影響を与える要因を選択し、構成要素の条件を変化させ、要因の変化を測定している。

Tanabeらは、条件変化として温熱環境、要因として被験者の疲労を選択し、その関係を調べている²⁾。岩下らは、条件変化として温度条件と報酬、要因としてワークモチベーションを選択し、その関係を調べている¹¹⁾。

これらの研究では、疲労とワークモチベーションが知的生

産性に影響を与える要因として選択されている。しかし、要因に基づく知的生産性の変化を定量化できていない。そして、執務環境の変化が複数の要因に影響を与える場合、知的生産性の変化を適切に見込めない可能性がある。

2.3 知的生産性の評価法

知的生産性を知的作業の効率と捉え、それを計測する方法を大別すると、主観評価による方法¹²⁾、生理指標計測による方法¹³⁾、実作業成果の計測による方法⁸⁾、認知タスク成績による方法^{6), 14), 15)}がある。客観的で定量的な測定法としては認知タスクの成績による方法が用いられている。これは、オフィス作業で用いる認知能力を計測する認知タスクを用いて、あるオフィス環境でのタスクパフォーマンスを計測し、つぎに環境を変化させたときのタスクパフォーマンスを測定する。そして、環境変化前後でのタスクパフォーマンスを比較することで、環境変化に伴う知的作業効率の変化を計測しようとするものである。しかし、認知タスクは繰り返し行なうことで習熟し、後に行なうほどそのパフォーマンスが向上するため、環境変化の前後で測定したパフォーマンスが習熟によるパフォーマンス変化の影響を受け、正確な測定は難しいことが課題であった。

著者らは、先行研究において、認知タスク成績による知的生産性の評価法として、「知的集中」に着目し、知的生産性を定量的に示す指標を提案した⁵⁾。この指標は、従来法で用いられた認知タスクのタスク成績ではなく、タスク実施中に集中してタスクに取り組んでいる時間の割合を「知的集中」として示している。これより、「知的集中」を用いてタスクへの習熟の影響を受けずに定量的に知的生産性を評価することができる。

2.4 本論文の位置づけ

本論文では、対象とする知的作業を知識処理の作業とし、その単位時間あたりの作業量、すなわち作業効率を知的集中とする⁵⁾。本論文で想定する知的集中変化のメカニズムモデルの概要を Fig. 1 に示す。本論文では、知的集中を向上させるメカニズムを探索するために、執務環境と知的集中の間をつなぐ要因の選択と分析方法を設定し、フレームワークを提案する。まず、個人ごとに異なり知的集中に深くかかわると想定される人間特性に着目し、要因を選択する。つぎに、要因を用いたメカニズムモデルを提案し、要因と知的集中の適切な定量化の方法を検討する。そして、知的集中の向上に向け、執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズムの導出方法を検討する。

以上、次章では以下を順に検討し、それらをまとめてフレームワークを提案する。

- (1) 人間特性に基づく要因の選択
- (2) 要因を用いたメカニズムモデル
- (3) 人間特性に基づく計測の方法
- (4) 知的集中変化のメカニズムの導出方法

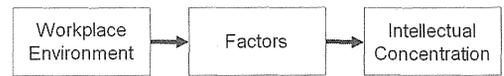


Fig. 1 An outline of a mechanism model for the change of intellectual concentration

3. 知的集中のメカニズムを導出するフレームワークの提案

3.1 人間特性に基づく要因の選択

本節では、知的集中に影響を与える要因を選択する。知的集中に影響を与える要因には、作業中に時間とともに変化する動的要因と変化しない静的要因がある。

まず、動的要因として、人間の生理・心理的反応を検討する。Sensharma 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、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¹⁶⁾。また、Swain らは、生理・心理的反応の基になる「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¹⁷⁾。

「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、知的集中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¹⁸⁾。「気分」は、認知処理機構との相互作用を通じて知的集中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¹⁹⁾。「疲労」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ることや、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ることがある。疲労しているとは、知的作業などの活動に伴って疲れを感じ、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²⁰⁾。ストレスとはストレスの原因となる刺激を示すので、執務環境に関係するストレスに対する知覚と不快感「ストレス評価」となる。本論文では、先行研究^{16), 17)}を踏まえ、知的集中に深くかかわる動的要因として、「覚醒」、「気分」、「疲労」、「ストレス評価」を選択する。

つぎに、静的要因として、作業中には変化しないが、個人ごとに異なる特性を検討する。個人に伴う人口統計学的属性として、年齢、性別、世帯規模、所得、職業、学歴などがある。また、個人の特徴として、価値観、ライフスタイル、性格、好みなどがある。これらの個人ごとに異なる特性は、動的要因に影響を与えると考えられる。個人ごとに異なる特性に着目し、類似の特性を有する人をグループ化することができ、グループに対応したメカニズムを導出することができる。

3.2 要因を用いたメカニズムモデル

知的集中と要因の関係を示す Fig. 1 に基づいて検討した知的集中変化のメカニズムモデルを Fig. 2 に示し、以下で説明する。まず、執務環境 (Workplace Environment) は要因に影響を与える。要因の中では、静的要因 (Static Factors) は、動的要因 (Dynamic Factors) に影響を与える。動的要因は、覚醒 (Arousal)、気分 (Mood)、疲労 (Fatigue)、ストレス

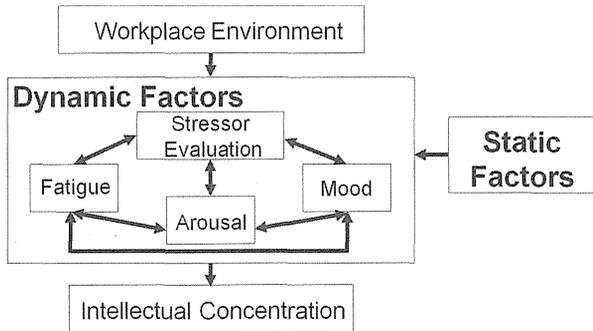


Fig. 2 A mechanism model with dynamic and static factors for changes in intellectual concentration

評価 (Stressor Evaluation) の4つであるが、それらは互いに影響を与えあうことが想定される。そして、要因は全体として、知的集中 (Intellectual Concentration) に影響を与える。

3.3 人間特性に基づく計測の方法

3.3.1 知的集中の計測方法

本論文では、習熟の要素を除去できる知的作業効率の計測方法として、作業への集中と休息状態の時間を用いて、認知タスクを行なう執務者の集中度を計測する指標 (Concentration Time Ratio; CTR)⁵⁾ を利用する。CTR を知的作業効率として用いる際には、個人差に着目した前処理を行なうこととする。CTR (集中時間比率) は、70%を中心に環境変化などの影響を受け上下する人や50%を中心に上下する人など、人により変動の中心となる値が異なる傾向がある。このため、計測対象者ごとに平均値を求め、それを基準値とする正規化を行なう。

3.3.2 計測実験の統制

知的集中を計測する実験において、知的作業に影響を与える執務環境は、空気質、温熱環境、音環境、個人的環境制御可能度、光環境などが挙げられる。Heathらは、これらの環境の要素は知的作業量に影響する重要なものとしている²¹⁾。知的集中に影響を与える要素を考えると、Sensharmaは執務環境以外に多くの要素を挙げている¹⁶⁾。計測実験において執務環境の影響のみを分析するためには、実験を適切に統制する必要がある。主要な統制要素として、実験実施時間帯、実験参加者、順序効果が考えられる。時間帯の統制は、人間は時間帯によって一定の傾向 (蓄積する疲労、昼食後の眠気、サーカディアンリズムなど) を有することを考慮する必要がある。実験参加者の統制は、特有の傾向 (実験への適応性や実験への満足感) を有する可能性を考慮する必要がある。順序効果の統制は、順序に対して状態が一定の傾向を有する可能性 (初頭・終末効果など) があることを考慮する必要がある。

3.3.3 動的要因の計測方法

覚醒、気分、疲労、ストレス評価は、調査票 (心理尺度) を用いて、それぞれ UWIST Mood Adjective Checklist (UMACL)¹⁸⁾、Multiple Mood Scale (MMS)¹⁹⁾、自覚症しらべ²⁰⁾、および執務環境に関する主観評価で計測できる。UMACLでは、覚醒を計測するために、ポジティブ (「エネ

ルギッシュ覚醒) とネガティブ (「緊張覚醒) の2種類の覚醒を因子分析で抽出する。自覚症しらべでは、知的作業に伴う疲労状態を測るために、「ねむけ感」、「不安定感」、「だるさ感」、「ぼやけ感」を因子分析で抽出する。MMSでは、気分を計測するために、「抑うつ」、「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。執務環境に関する主観評価では、執務者ごとにストレスを計測するために、執務環境に関連するストレスに対する質問項目を作成する。

上記のうち、MMS、自覚症しらべ、執務環境に関する主観評価は計測データの項目数が多いため、因子分析により主要因子を抽出する。

3.3.4 静的要因の計測方法

静的要因の計測方法を検討する。人口統計学的属性は調査票を用いて収集する。個人ごとに異なる特性は、動的要因の変動の中心に影響を与えたと考えられる。たとえば、高めの室温を好む人と低めの室温を好む人の場合を考える。ある一定の室温に対して、前者は比較的低めに感じ、一方、後者は比較的高めに感じるものが想定される。そのため、同じ室温に対する評価の基準が人により異なることとなる。そこで、個人の変動の中心を「基準値」とし、動的要因の計測データを用いて平均値を算出する。また、個人ごとに異なる特性は、執務環境の変化により知的集中が変化する割合、すなわち環境に対する感度に影響を与えたと考えられる。これを「環境感度」とする。環境感度は、動的要因の基準値の変化を伴う場合が想定される。環境感度の違いにより、個人ごとに異なる特性が類似の人をグループ化することができる。

3.4 知的集中変化のメカニズムの導出方法

執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズムを要因を介して導出するためには、まず、計測データから要因と知的集中の定量化を行なう。そして、要因間、および知的集中との関係を導出する。また、執務環境の変化に伴い知的集中が変化するグループと変化しないグループに分類することにより、個人ごとに異なる特性に着目した知的集中変化のメカニズムを導出することが可能となる。

Fig. 2に基づき知的集中変化のメカニズムを導出する方法として、本論文では共分散構造分析を用いる。共分散構造分析は、仮説に基づいて変数間の因果を表わすパス図を作り、因果間の関係パス間で重回帰分析を行ない、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。執務環境などの質的データを用いる際は、その執務環境であるときを1、そうでないときを0とし (2値化)、数量化する。共分散構造分析により、知的集中変化のメカニズムを導出できると考えられる。

加えて、知的集中変化のメカニズムが異なる執務者をグループに分類するため、決定木を用いる。目的変数をCTRの差 (CTRの環境感度) とし、説明変数をそのほかすべての要因とすることにより、環境感度を表わす要因の抽出と執務者のグループ分けをすることができる。そして、グループごとの

共分散構造分析により、そのグループを対象とした知的集中変化のメカニズムを導出できる。

3.5 まとめ：EFiC フレームワークの提案

本章では、執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズム導出に向け、以下を検討した。

1. 執務環境、要因、知的集中の間には、Fig.1 に示す因果関係がある
 2. 知的集中に影響を与える要因は、時間とともに変化する要因（動的要因）と恒常的な要因（静的要因）がある
 3. 動的要因は、覚醒、気分、疲労、ストレス評価とする
 4. 静的要因は、基本属性と個人ごとに異なる特性（基準値、環境感度）とする
 5. 動的要因の間には、互いに影響を及ぼす相関関係がある
 6. 静的要因は、動的要因に影響を及ぼす
 7. 上記をまとめたメカニズムモデルを、Fig.2 に示す
 8. Fig.2 に基づき、計測データを用いて共分散構造分析を行ない、執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズムを導出する
 9. 個人ごとに異なる特性を用いてグループ分けをし、グループごとの知的集中変化のメカニズムを導出する
- 以上をまとめ、本論文では、EFiC (Environment-Factor-intellectual Concentration) フレームワークと名づける。

4. EFiC フレームワークの有効性の検証：照明環境を対象としたケーススタディ

本章では、EFiC フレームワークを適用するケーススタディとして、執務環境を変化させたときの知的集中変化を計測する実験で取得された計測データ²²⁾を分析する。

4.1 検証の方法

対象とする計測データは、異なる照明環境で実施された知的集中の計測実験における計測データとする。これらの計測データに EFiC フレームワークを適用し、動的要因と知的集中変化のメカニズムを導出できることを確認する。

対象とする執務環境は、通常天井照明と、執務者周辺と部屋全体の照度と色温度を調整した New Task and Ambient (N-TA) 照明の2つとする。N-TA 照明は、天井照明と比較して高色温度照明を用いている。高色温度照明は低色温度照明より、ねむけを減少させ、緊張感を増加させる²³⁾。このため、N-TA 照明環境は天井照明環境と比較して知的集中の向上が期待できる。これらの仮定により2つの執務環境を用いて計測実験を行なった結果、天井照明と比較して N-TA 照明のほうが知的集中が高くなる結果を得ており²²⁾、本ケーススタディでは、この計測実験で取得された計測データを用いる。

4.2 実験方法

4.2.1 実験室環境

照明環境は、天井照明環境と N-TA 照明環境の2つを用いた。天井照明環境は、アンビエント照明のみである。つまり、部屋全体を照らす天井照明のみで JIS 推奨である机上面照度 750 lux を実現した。これは一般に多くのオフィスで用

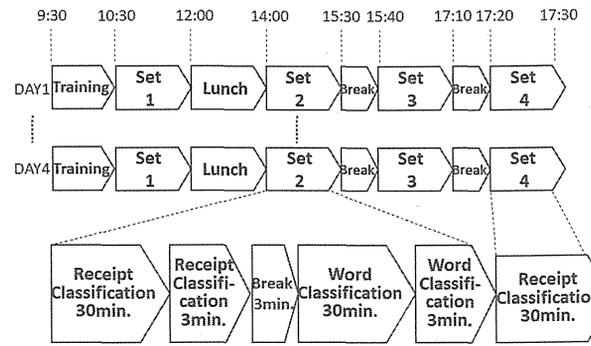


Fig. 3 The experimental protocol

いられている照明環境である。N-TA 照明環境は、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用いた。アンビエント照明のみの執務環境と比べ、机上面の照度 (750 lux) をそのままに、電力消費を比較的少なくおさえることができる。また、タスク照明はアンビエント照明 (5000 K) よりも高い色温度の照明 (6200 K) を用いた。

実際のオフィスを模擬するために、計測対象者前方の壁面にオフィスの壁面収納を模したポスターを貼り付け、視覚ノイズを与えた。

4.2.2 実験スケジュール

実験期間は 2013 年 7 月 29 日～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。Fig. 3 に、実験プロトコルを示す。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、2～4 日目は計測日である。実験参加者への教示は、「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」とし、2～4 日目のセット 1～3 でタスクを実施させ、必要なデータを計測した。セット 4 は、1 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なわれたものであり計測の対象外とした。最終日には、セット 4 の時間帯にインタビューを実施した。なお、本実験では 3 つの照明条件を練習日以外の 3 日間でそれぞれ用いたが、本分析ではそのうちの 2 つの照明 (天井照明と N-TA 照明) のみを分析対象とする。

4.2.3 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) である。各照明環境の実施日数はそれぞれ 1 日とし、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 144 (24 人 × 6 回) となる。

4.2.4 実験統制

時間帯、実験参加者、および順序効果を統制した。時間帯は、執務環境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した。実験参加者は、執務環境間で同じ実験参加者グループを用いた。順序効果は、実験参加者をグループに分け、それぞれ照明環境変化の順番を交互に設定した。

4.2.5 取得されたデータ

この実験では、知的集中、気分、疲労、ストレス評価、静的要因が計測された。それぞれ、CTR、MMS、自覚症しらべ、執務環境に関する主観評価、属性調査・基準値・環境感度が用いられ、取得されたデータを計測データとして用いる。基準値は個人の計測データの平均値から算出し、環境感度は執務環境ごとの知的集中と動的要因の計測データから平均値を用いて算出する。なお、覚醒については、本実験では計測されていなかったため、以下の分析では用いていない。

4.3 EFiC フレームワークの適用

4.3.1 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、解析不能などで複数の計測データを分析対象外とした。データ欠損数は、CTR はのべ38個、MMS は2個、自覚症しらべ調査票の各項目は25個、執務環境に関する主観評価調査票の各項目は27個となった。CTR のデータ欠損は、タスク中に寝た、極端にタスクへの集中が低いなどの理由のため、適切に知的集中を計測できていないと想定されるデータを除外した。そのほかの項目は、全サンプルの平均値を欠損データの代替データとして用いた。

4.3.2 因子の抽出

MMS と自覚症しらべに対して、因子分析を行なう。MMS と自覚症しらべの調査票は、因子に対応して調査票の質問項目が設定されているため、検証的に行なった。

Table 1 に MMS の因子分析結果として因子負荷量と寄与率・累積寄与率を示す。Table 1 より、4 因子が抽出され、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と考えられる。なお、ここでの「集中」は、感情の主観的状态を示す MMS の項目をまとめた因子につけるラベル¹⁹⁾のことである。一方、本論文では「知的集中」を知的生産性の定量的な評価指標として用いており、このラベルとは異なる。

Table 2 に自覚症しらべの因子分析結果として因子負荷量と寄与率・累積寄与率を示す。Table 2 の上半分の5項目が自覚症しらべで設定されている「ねむけ感」の質問項目、下半分の5項目が「ぼやけ感」の質問項目である。計測した2因子は、対応する質問項目から抽出されたと考えられる。ここで、「目がしょぼつく」の「ぼやけ感」への因子負荷量は0.295であり、「ねむけ感」への因子負荷量(0.450)より小さい。この理由として、「ぼやけ感」は目が疲れる、目が乾く、などの眼疲労感として捉えられており、一方で、「目がしょぼつく」は「ねむけ感」に関連づいていると考えられる。

つぎに、執務環境に関する主観評価に対して、因子分析を行なう。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²⁴⁾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なった結果、因子への意味づけが可能な因子を抽出する。**Table 3** にそれぞれの因子負荷量を示し、各因子を名づける。まず、因子1は、「眼がさえる」、「眼が疲れない」、「仕事がかどる」、「集中しやすい」の因子負荷量が大いいた

め、「シャッキリ環境 (Refreshed Environment)」と名づける。つぎに、因子2は、「快適な」、「好きな」、「明るい」の因子負荷量が大いため、「明良快適環境 (Bright-Good-Pleasant Environment)」と名づける。

Fig. 2 で示したメカニズムに基づき、特定の仮説をもたずに探索的に共分散構造分析を行なうために、因子数を6個以下とすることとする。このため、3つの調査票 (MMS・自覚症しらべ・執務環境に関する主観評価) より得られた上位の項目を対象として因子分析を行なう。ここで、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なった結果、その中で因子への意味づけが可能な因子とする。

Table 4 にそれぞれの因子負荷量と寄与率・累積寄与率を示す。まず、因子1は、「集中」、「活動的快」、「非活動的快」の因子負荷量が大いため、「快集中 (Enjoyment Concentration)」と名づける。このラベルは、「集中」のラベルと同様に主観評価を示すものであり、「知的集中」とは異なる。つぎに、因子2は、「倦怠」、「ねむけ感」、「ぼやけ感」の因子負荷量が大いため、符号を反転させ「リフレッシュ (Refreshing)」と名づける。最後に、因子3は、「シャッキリ環境」、「明良快適環境」の因子負荷量が大いが、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つの因子をまとめることにより、執務環境に関する主観評価の情報量が大きく減少するため、これら2つの因子はまとめないこととする。

以上より、「快集中」、「リフレッシュ」、「シャッキリ環境」、「明良快適環境」の4つを抽出された因子として用いる。

4.3.3 メカニズムの導出：共分散構造分析

全対象

分析対象となる計測データを用いて、前項で求めた4つの因子に基づく共分散構造分析の結果を、**Fig. 4** に示す (CFI = 0.92)。ここで、天井照明環境から N-TA 照明環境への変化をみるため、N-TA 照明環境を「1」、天井照明環境を「0」と数量化している。照明環境から知的集中につながるメカニズムを、前項で求めた4つの因子を介して示している。矢印をパスと呼び、両矢印は相関関係、片方矢印は因果関係を示す。パス上に表記された数値は-1~1の値をとり、符号は正負の関係、絶対値は関係の強さを示す。数値の隣にある星のマークは、パスの統計的有意性を示す。有意水準が、それぞれ、「***」が0.001未満、「**」が0.01未満、「*」が0.05未満を示す。

Fig. 4 より、N-TA 照明環境は、天井照明環境と比較して、「明良快適環境」と「シャッキリ環境」を低下させる。「明良快適環境」と「シャッキリ環境」は互いに正の相関関係である。そして、「明良快適環境」の向上により CTR は低下する。また、「シャッキリ環境」は「リフレッシュ」を低下させ、「リフレッシュ」は「快集中」を向上させ、「快集中」は CTR を向上させる。CTR の向上に、2種類のパスが照明環境から示されている。

Table 1 Factor loadings in MMS

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
[Concentration]				
Attentive	0.566	-0.253	0.276	0.431
Sensitive	0.580		0.405	
Nervous	0.607	0.178	0.163	
Smart	0.695		0.432	
Discreet	0.713		0.199	0.364
Careful	0.722	-0.156	0.210	0.302
Serious	0.684	-0.177	0.250	0.264
Observant	0.827		0.104	0.152
Polite	0.580		0.259	0.366
Cautious	0.730		0.107	
[Boredom]				
Weary		0.588	-0.440	
Unexciting	-0.110	0.804	-0.237	
Silly	0.127	0.725		-0.140
Absentminded		0.775	-0.169	
Dopey	-0.158	0.609	-0.331	
Dull		0.836	-0.291	
Tired		0.494	-0.469	-0.141
Unpleasant	-0.155	0.825		-0.115
Uninteresting		0.737		-0.125
Listless		0.816	-0.101	
[Liveliness]				
Fresh	0.227	-0.145	0.757	0.109
Lively	0.289	-0.155	0.751	
Smooth	0.283	-0.261	0.657	0.227
Comfortable	0.242	-0.239	0.664	0.333
Active	0.225	-0.304	0.662	
Cheery	0.426	-0.212	0.466	0.314
Pleasant	0.264	-0.286	0.687	0.223
Vital	0.354	-0.297	0.713	
Cheerful	0.221	-0.172	0.804	
Amusing	0.138		0.728	0.276
[Well-being]				
Placid				0.726
Peaceful	0.191		0.336	0.739
Easy	0.191		0.132	0.809
Calmly	0.233			0.809
Softened	0.216	-0.176	0.550	0.567
Slow				0.782
Loose	0.259	-0.104	0.241	0.737
Relaxed		0.124	0.101	0.688
Slowgoing	0.429	-0.223	0.291	0.421
Serene	0.462	-0.159	0.302	0.547
Contribution ratio	0.152	0.154	0.173	0.149
Cumulative contribution ratio	0.152	0.307	0.480	0.628

グループ分類

環境感度を分析するために、決定木を用いる。目的変数はCTRの環境感度、すなわち、照明環境によるCTRの変化とする。決定木の結果をFig.5に示す。Fig.5より、「リフレッシュ」差が0.61より小さいグループがCTR差の平均0.3となり、「リフレッシュ」差が0.61より大きいグループがCTR差の平均10.5となった。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」と名づける。

Table 2 Factor loadings in assessment tool for fatigue

	Factor1	Factor2
[Sleepy feeling]		
Yarning	0.918	
Sleepy	0.941	0.151
Unmotivated	0.833	0.137
Desire to lie	0.764	0.333
Languid	0.619	0.536
[Blurred feeling]		
Blurred	0.382	0.227
Bleary eye	0.295	0.450
Dry eye		0.535
Sore eye		0.593
Tired eye	0.438	0.746
Contribution ratio	0.382	0.189
Cumulative contribution ratio	0.382	0.571

Table 3 Factor loadings in subjective evaluation for office environment

	Factor1	Factor2
[Refreshed Environment]		
Wakeful	0.719	0.465
Tired eye	0.570	0.308
Efficient	0.830	0.460
Easy to concentrate	0.860	0.449
[Bright-Good-Pleasant]		
Comfortable	0.504	0.824
Favorite	0.494	0.787
Bright	0.320	0.531
Contribution ratio	0.410	0.329
Cumulative contribution ratio	0.410	0.739

Table 4 Factor loadings in three questionnaires

	Factor1	Factor2	Factor3
[Enjoyment concentration]			
Concentration	0.861	-0.108	
Liveliness	0.642	-0.464	-0.167
Well-being	0.595		-0.192
[Refreshing (*inversed)]			
Boredom	-0.128	0.807	
Sleepy	-0.130	0.778	0.203
Blurred	-0.183	0.378	0.277
Refreshed Environment	-0.150	0.270	0.875
Bright-Good-Pleasant Environment		0.109	0.885
Contribution ratio	0.166	0.242	0.217
Cumulative contribution ratio	0.166	0.408	0.624

i. CTR 向上グループ

CTR 向上グループに対する共分散構造分析の結果を、Fig.6に示す(CFI = 0.97)。CTRの向上に影響を与えるのは、「シャッキリ環境」、「明良快適環境」と「リフレッシュ」である。照明環境から「シャッキリ環境」に影響を与え、そこから「明良快適環境」を介してCTRに影響を与えるパスがある。また、照明環境から「リフレッシュ」を介して「シャッキリ環境」に影響を与えるパスがある。そして、照明環境から「明良快適環境」につながり、CTRに影響を与えるパスがある。

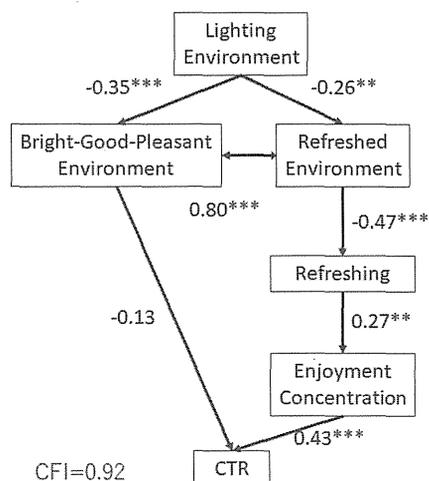


Fig. 4 Covariance structure analysis for all participants

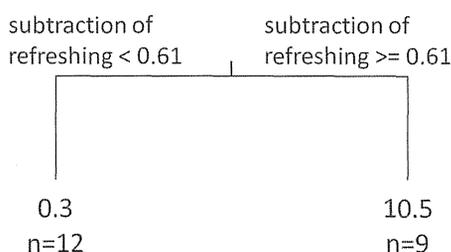


Fig. 5 Decision tree with difference of CTR as objective variable

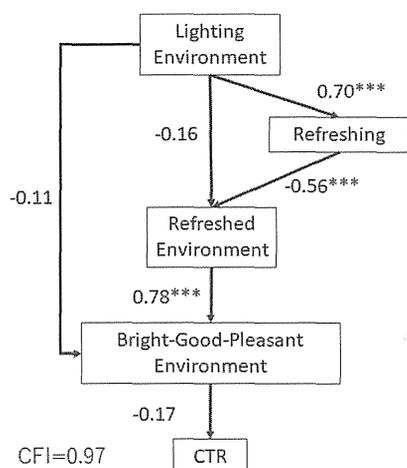


Fig. 6 Covariance structure analysis for the group with improvement of CTR

ii. 非 CTR 向上グループ

非 CTR 向上グループに対する共分散構造分析の結果を、Fig. 7 に示す (CFI = 1.00). 照明環境の変化からのパスが各要因に対してないため、照明環境から CTR 向上が影響を受けないグループだと考えられる。また、「快集中」から「CTR」へのパスはあるが小さい値となっている。「シャッキリ環境」と「明良快適環境」からのパスも値が小さく、負の値となっている。

これは、照明環境への評価の個人差から引き起こされてい

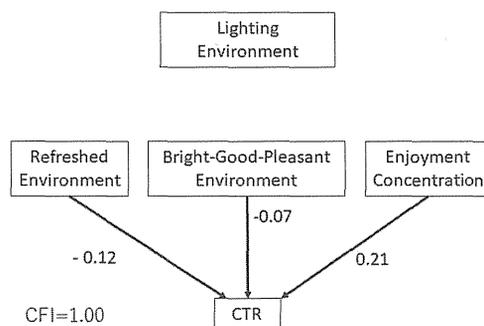


Fig. 7 Covariance structure analysis for the group without improvement of CTR

ることが原因として考えられる。N-TA 照明は、色温度が高く手元を照らすため、作業への集中が期待されるが、部屋全体を一定に明るくする天井照明を好む人もいる。このグループは、N-TA 照明よりも、天井照明を快適と感じ、それにより CTR の向上につながる可能性がある。このため、自身が快適と感じることにより CTR は向上するが、それは照明環境の変化からは引き起こされないこととなる。このグループに対して、より適切な照明環境を提供するためには、「あなた自身が快適と感じる照明環境」を尋ねることが考えられる。この質問により、自身にとってよりよいと感じられる照明環境が選択され、天井照明を選択して知的生産性の向上が期待できる。

4.4 まとめ

EFiC フレームワークを用いることにより、全対象の共分散構造分析から、照明環境変化に伴う知的集中変化のメカニズムが示された。具体的には、「明良快適環境」を介した CTR への影響と「シャッキリ環境」、「リフレッシュ」を介した CTR への影響のメカニズムが導出された。ここで、人間特性の観点から検討すると、CTR が向上しないグループは、全体としては知的集中が向上することが期待される N-TA の照明環境を快適と感じない可能性が示され、N-TA 照明環境が CTR の向上に影響しないことが示された。このグループに対する具体的な照明環境の提案として、天井照明環境を選択することが考えられる。

照明環境は、個人に対してカスタマイズすることが比較的容易な執務環境であるため、本分析の結果に基づき、個人に対応した適切な照明環境の選択が可能となる。

以上より、本論文で提案した人間特性に基づく EFiC フレームワークを用いて、要因を介した知的集中変化のメカニズムが示された。そして、どちらの照明を快適と感じるかにより、知的集中変化のメカニズムが異なることと、そのための照明環境の選択に対する指針が得られることが示された。これらの結果より、人間特性に基づく分析が、個人の環境感度の違いによる知的集中変化のメカニズムの違いを示し、その結果から個人に適した環境選択につなげられる可能性を示した。

5. おわりに

本論文では、執務環境と知的集中の関係を、これらの間をつなぐ「要因」を媒介して定量的に分析するためのフレームワークを検討した。具体的には、「人間特性」に着目し、知的集中に影響を与える要因を2つに分類した。そして、作業中に変化しうる動的要因（覚醒、気分、疲労、ストレス評価）と変化しない静的要因（基準値、環境感度）を設定した。設定した要因を用いて、計測方法と定量化方法を検討し、執務環境の変化に伴う知的集中変化のメカニズム導出に向け、EFiC フレームワーク（Environment-Factor-intellectual Concentration）を提案した。EFiC フレームワークの有効性を検証するために、照明環境による知的集中の計測実験で取得された計測データを対象に、本フレームワークを適用した。結果として、人の特徴に応じた執務環境を提供するための具体的な指針が得られた。

本論文で用いた検証は、1つの実験の計測データを対象としたケーススタディであり、実験参加者数は24名であった。また、複数のデータ欠損があり、「覚醒」はデータが計測されていない。このため、これらのデータの範囲内で統計的に分析したメカニズムが示されている。さらに大規模な計測実験や異なる属性を有する参加者を対象とした計測実験から取得された計測データを用いる場合、新たなメカニズムが導出される可能性がある。また、たとえば、空気質、温熱環境、音環境などの執務環境を変化させる計測実験から取得されるデータを用いることができれば、新たな知的集中変化のメカニズムを導出することができる。本論文で対象としたケーススタディは、照明の環境変化を対象としたが、たとえば、空調環境の変化を対象としてEFiC フレームワークを適用することにより、照明環境変化で得られたメカニズムとの類似点や相違点を導出することが可能となる。それらの結果に基づき、知的集中への影響を、詳細に分析することができる。そして、EFiC フレームワークを用いた分析により、適切な環境要素の組み合わせに対する指針を提供することが期待される。

今後、本フレームワークをさまざまな知的集中の計測実験に適用することにより、知的集中の向上に向けた有効な指針が得られることが期待される。また、本フレームワークを汎用的に拡張するために、さらに効果的な計測手法や分析方法を検討することが考えられる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 17H01777 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 多和田, 村上, 伊香賀, 亀田, 内田, 三枝, 小倉: 室内環境と知的生産性・空調負荷の評価: (その1) 実オフィスにおける温熱環境と作業効率の被験者属性別の検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, I (78), 601/604 (2008)
- 2) S. Tanabe and N. Nishihara: Productivity and fatigue, *Indoor Air* 2004, 126/133 (2004)
- 3) 村上周三: 知的生産性研究の目的と枠組み, 第2回知的生産性研究委員会, 資料 No.5 (2008)
- 4) P.M. Bosch-Sijtsema, V. Ruohomaki and M. Vartiainen:

- Knowledge work productivity in distributed teams, *Journal of Knowledge Management*, 13-6, 533/546 (2009)
- 5) 宮城, 内山, 大林, 岩川, 石井, 下田: 知的生産性評価のための集中指標の提案, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 16-1, 19/28 (2014)
- 6) P. Wargocki, D.P. Wyon and P.O. Fanger: Productivity is Affected by the Air Quality in Offices, *Proc. Healthy Buildings 2000*, 635/640 (2000)
- 7) 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, 451/454 (2006)
- 8) W.J. Fisk, P.N. Price, D. Faulkner, D.P. Sullivan, D.L. Dibartolomeo, C.C. Federspiel, G. Liu and M. Lahiff: Worker Performance and Ventilation: Analyses of Time-series Data for a Group of Call-center workers, *Indoor Air* 2002, 784/795 (2002)
- 9) W.M. Kroner and J.A. Stark-Martin: Environmentally Responsive Workstation and Worker Productivity, *ASHARE Transactions*, 100, 750/755 (1994)
- 10) 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, 1163/1168 (2007)
- 11) 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*, 609, 71/77 (2006)
- 12) 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・衛生工科学術講演論文集, 67/76 (2004)
- 13) N. Nishihara and S. Tanabe: Monitoring Cerebral Blood Flow for Objective Evaluation of Relationship Productivity and Thermal Environment, *Proc. IAQVEC 2007*, 655/662 (2007)
- 14) D.R. Throne, S.G. Genser, H.C. Sing and F.W. Hegge: The Walter Reed Performance Assessment Battery, *Neurobehavioral Toxicology and Teratology*, 7-4, 415/418 (1985)
- 15) K. Enomoto, Y. Kondo, F. Obayashi, M. Iwakawa, H. Ishii, H. Shimoda and M. Terano: An Experimental Study on Improvement of Office Work Productivity by Circadian Rhythm Light, *Proc. WMSCI 2008*, VI, 121/126 (2008)
- 16) N.P. Sensharma and J.E. Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, *Occupant Performance, and Productivity, Healthy Buildings 2000, Workshop 9* (2000)
- 17) A.D. Swain and H.E. Guttman: *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, 51/76, U.S. NRC (1983)
- 18) G. Matthews and D.M. Jones: Refining the measurement of mood: The UWIST Mood Adjective Checklist, *British Journal of Psychology*, 81-1, 17/42 (1990)
- 19) 寺崎, 岸本, 古賀: 多面的感情状態尺度の作成, *心理学研究*, 62-6, 350/356 (1991-1992)
- 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) G.A. Heath and M.J. Mendell: Do Indoor Environments in Schools Influence Student Performance?: A Review of the Literature, *Indoor Air* 2002, 802/807 (2002)
- 22) H. Ishii, H. Kanagawa, Y. Shimamura, K. Uchiyama, K. Miyagi, F. Obayashi and H. Shimoda: Intellectual Productivity under Task Ambient Lighting, *Lighting Research & Technology*, 1/16 (2016)
- 23) 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*, 5, 14/15 (2000)
- 24) 豊田秀樹: 数理統計学ハンドブック, 朝倉書店 (2006)

[著者紹介]

伊藤京子



1999年京都大学工学部電気電子工学科卒業, 2004年同大学大学院エネルギー科学研究科博士課程修了. 2004年大阪大学大学院基礎工学研究科助手などを経て, 現在, 大阪大学経営企画オフィス特任准教授. コミュニケーション支援, 人間の情報行動計測などに関する研究に従事. 博士(エネルギー科学).

上東大祐



2016年京都大学大学院エネルギー科学研究科修士課程修了. 知的生産性にかかわる研究に従事. 2016年データ・フォアビジョン(株)入社, 現在に至る.

石井裕剛



1996年京都大学工学部電気工学第二学科卒業, 2000年同大学大学院エネルギー科学研究科博士課程修了(期間短縮). 2000年同大学大学院エネルギー科学研究科助手, 現在同准教授. 複合現実感, 知的生産性, 環境配慮行動などの教育・研究に従事. 京都大学博士(エネルギー科学).

下田 宏(正会員)



1987年京都大学工学部電気工学第二学科卒業, 89年大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程修了. 89~96年(株)島津製作所にてMRIの開発に従事. 96年京都大学大学院エネルギー科学研究科助手, 同助教授を経て, 現在, 同教授. 室内環境制御と知的生産性, 拡張現実感, 生理指標計測などの研究に従事. 京都大学博士(工学).