

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360257

研究課題名(和文) 知的作業の一時中断に着目した知的生産性変化の数理モデル化に関する研究

研究課題名(英文) Study on a Mathematical Model of Intellectual Productivity focusing on Temporary Pause of Intellectual Work

研究代表者

下田 宏 (Shimoda, Hiroshi)

京都大学・エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：60293924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円、(間接経費) 3,690,000円

研究成果の概要(和文)：近年、オフィス環境の改善により執務者の知的生産性を向上させる研究が活発に行われているが、これらの研究では環境改善前後での知的生産性の変化を認知タスク等を利用して実験的に評価しているため、実験参加者のタスクへの習熟から定量的に知的生産性を計測することは難しかった。

本研究課題では、知的作業中に作業に集中している「作業状態」と休憩している「一時中断状態」が交互に現れることに着目し、被験者実験により環境条件と執務者の内的要因の変化により2つの状態の遷移が変化する数理モデルを構築した。また、この数理モデルにより、知的生産性を定量的に計測できる手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Lots of studies have been made to improve the intellectual productivity of office workers by improving office environment these days. Since the variation of intellectual productivity before and after the environmental change has been measured by employing cognitive tasks in these studies, it has been difficult to quantitatively measure the intellectual productivity because of the learning effect for the tasks.

In this study, we focused on the fact that a "working state" and a "temporary pause state" appears alternately during intellectual work, and built a mathematical model as a two-state transition model by the results of subject experiments where environmental conditions and mental conditions were controlled. In addition, a quantitative evaluation method of intellectual productivity was developed based on the model.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：知的生産性 集中時間比率 作業状態推定 生理指標計測

1. 研究開始当初の背景

近年、オフィス環境を改善することによる知的生産性の向上研究が精力的に進められており、大きな成果を挙げている。このように、オフィス環境の改善により知的生産性が向上することはわかってきたが、オフィスのオーナーや会社の経営者がオフィス環境の改善に投資しオフィス環境改善活動を促進させるためには、経営的観点から知的生産性向上による経済効果と投資額とを比較してその効果を定量的に示すことが必要である。そのためにもオフィス環境改善前に知的生産性向上効果を定量的に精度良く計測する手法を確立することが重要である。例えば、オフィスの空調環境を改善することによる知的生産性向上を実験的に評価する研究があるが、そこでは環境改善前後でオフィス作業を模擬した認知タスクを実施し、そのタスク成績を比較することによって定量的に知的生産性向上効果を計測している。しかし、タスク成績は環境改善による影響だけでなく、体調、サーカディアンリズム、タスクへの習熟、疲労等によっても変動し、同じ被計測者でも精度よく定量的に知的生産性を計測するのは難しい。

一方、研究代表者らのこれまでの実験結果を詳細に分析してみると、次のことがわかった。

(A)タスクテスト各問題の解答時間を分析してみると、問題の難易度がほぼ一定であるにもかかわらず解答時間が大きくばらついていること。

(B)環境改善による知的生産性の向上効果は、すべての問題で平均的に解答時間が短縮されるのではなく、解答時間が通常より特に長くなる問題、すなわち解答中に認知活動が停止して休憩している問題が少なくなっていること。

これらは、タスク実施時に解答に集中している「作業状態」と、精神的な疲労等により数秒から数十秒の「一時中断状態」が交互に現れることを示唆しており、これらの状態の出現割合や出現時間の変化により知的生産性が変化すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究課題では、下記の2つを研究目的とする。

(1)知的作業に集中している「作業状態」と休憩している「一時中断状態」の判別方法の開発

作業に集中している状態(作業状態)と休憩している状態(一時中断状態)では、自律神経系の活動状態が異なると考えられるため、主に交感神経と副交感神経の活動を反映する循環器系の指標である心拍数の変化、および執務者の動作の変化を用いて、知的作業中の作業状態と非作業状態を判別する方法を開発する。

(2)作業 - 一時中断状態遷移モデルの構築

外的要因や内的要因を変化させたときの被験者実験の結果により、作業 - 一時中断状態遷移の数理モデルを構築する。さらに、そのモデルに基づいて知的生産性の定量評価指標を開発する。

ここでは、紙面の都合上、主な成果である(2)について報告する。

3. 研究の方法

難易度が均一で同程度の解答時間が期待される認知タスクの問題を連続して解答した際の解答時間の頻度分布は、研究代表者らが行った被験者実験の結果から、例えば Fig.1 のようになる。Fig.1 は、横軸が解答時間の対数、縦軸はその解答時間区間に該当する解答の頻度である。作業状態と短期中断状態は互いに一定の遷移確率と仮定すると、その頻度分布は式(1)で表される対数正規分布の山として表される。また、解答時に長期休息状態に遷移した場合には、長い解答時間の区間に別の山が生じる。

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left(-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$h(t)$ : ある解答時間内の問題の頻度

$t$ : 解答時間

$\mu$ : 対数正規分布の最頻値

$\sigma$ : 対数正規分布の分散

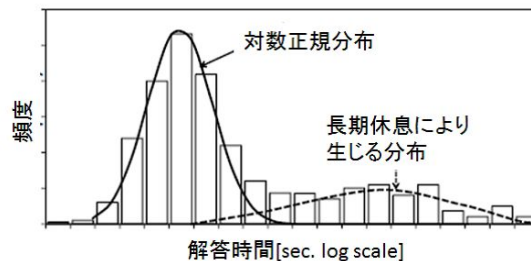


Fig.1 認知タスクの解答時間分布の例

知的作業時の認知状態を上記の状態遷移モデルで仮定すると、Fig.2 に示すように解答時間分布と各認知状態が対応する。このとき、作業状態と短期中断状態では注意を作業対象に向けているので「集中状態」と考える。

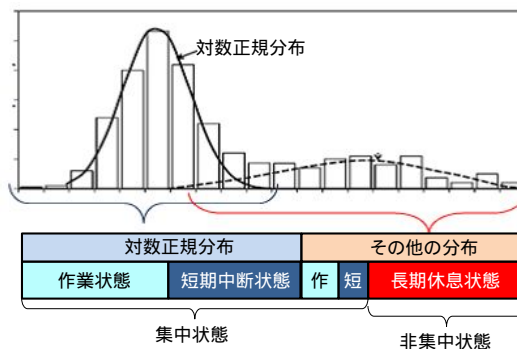


Fig.2 解答時間分布と認知状態の対応

ここで、集中時間比率(Concentration Time Ratio; 以下 CTR)を全解答時間の合計に対して作業状態と短期中断状態の合計時間、すなわち集中状態が占める割合と考え、難易度が一定の認知タスクを連続して  $T_{total}$  秒間実施しているときの総解答数が  $N$  問であった場合、集中状態での 1 問あたりの解答時間の平均値  $\overline{CT}$  が明らかになれば CTR は式(2)で求めることができる。

$$CTR = \frac{\overline{CT} \cdot N}{T_{total}} \quad (2)$$

CTR: 集中時間比率  
 $\overline{CT}$ : 集中状態での解答時間の平均値  
 $N$ : 総解答数  
 $T_{total}$ : 総作業時間

集中状態での 1 問あたりの解答時間の平均値  $\overline{CT}$  は、解答 1 問あたりの作業状態と短期中断状態の合計時間の平均値、すなわち式(1)で表される対数正規分布の期待値として、式(3)で求めることができる。

$$\overline{CT} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (3)$$

したがって、解答時間の頻度分布に対して、もっとも適切な対数正規分布による近似曲線を導出し、そのパラメータ  $\mu, \sigma$ 、および全解答時間の合計  $T_{total}$  と総解答数  $N$  から CTR を求めることができる。ここで対数正規分布への近似の際には、対数正規分布の右側すなわち長い解答時間の区間では、長期休息状態が生じた場合の頻度分布が重畳されているため、短い解答時間の区間での分布のみを利用して近似曲線を求めればよい。

前述のように、CTR は執務時間中にどれぐらいの時間を対象作業に集中しているのかを表す指標である。この集中は、オフィスの物理的環境、作業内容、組織のルールや文化、締め切りまでの時間、報酬等の外部要因が原因となって、執務者の肉体的・精神的疲労、覚醒、作業へのモチベーション等の執務者の内的な要因に影響を与え、それによって変化すると考えられる。また、知的生産性を単位時間当たりの作業量と考えると、それは執務者の能力や作業への慣れにも影響されるが、それらを排除して執務環境変化が知的生産性に与える影響を調べたい場合は、作業時間中に集中している時間比率を求めればよい。すなわち、提案した CTR は、執務者の能力や作業への習熟を排除し、執務環境変化が与える内的要因の変化から受ける知的生産性の影響を定量的に求めることができる指標であることがわかる。

#### 4. 研究成果

上記で提案した集中時間比率がオフィス環境変化に伴う知的生産性の変化を定量的に評価可能かどうかについて、照明環境を一例として被験者実験を実施した。

照明条件は、オフィス天井照明(以下、標準照明)、集中度向上タスク・アンビエント照明(以下、新 TA 照明)、従来タスク・アンビエント照明(以下、従来 TA 照明)の 3 条件を設定した。Table 1 に各照明条件の設定を示す。新 TA 照明と従来 TA 照明はタスクライトの色温度のみを変えており、高色温度照明による覚醒の影響を調べるために設定した。机上面の合計照度は 750lux に統一し、タスクライトは Fig.3 のように設置した。この新 TA 照明は、机上面照度を適正に保ちながら約 40% の省エネが可能であるとともに、高色温度照明による作業への集中向上効果も期待されているものである。

実験は 2013 年 7 月 29 日から 9 月 5 日にかけて、京都大学工学部 1 号館 233 号室で行った。実験参加者は 30 代~50 代のオフィス勤務経験のある男女 12 名ずつ計 24 名であり、全員が色覚異常を持たない健常者であった。被験者を均等に 6 グループに分け、照明条件間のカウンターバランスをとった。各グループでの実験は月曜日から木曜日までの 4 日間連続で行い、1 日目は説明・順応等を行い、2 日目から 4 日目で 1 日 1 照明条件をあて、各日は 9 時半から 17 時半とした。各日は 1 日 3 セット(午前 1 セット、午後 2 セット)知的作業時の集中度計測を行った。各セットは伝票分類タスク 30 分、ダミータスク 30 分、アンケート、フリッカー計測などで 90 分としている。照明による影響のみを抽出するため、窓を遮光し、室温を  $26 \pm 1$ 、湿度を  $70 \pm 10\%$ 、二酸化炭素濃度を 800ppm 以下に統制した。

実験結果として、各照明条件での集中度指標 CTR の比較を Fig.4 に示す。照明条件の違いが CTR に与える影響を評価するため、各照明条件における CTR をそれぞれ対のある片側  $t$  検定を用いて比較したところ、新 TA 照明は標準照明に比べて有意に高く ( $p < 0.01$ )、従来 TA 照明も標準照明に比べて有意に高い傾向があった ( $p < 0.05$ )。

Table 1 照明条件の設定

	天井照明		タスクライト	
	照度	色温度	照度	色温度
新TA照明	300lux	5000K	450lux	6200K
従来TA照明	300lux	5000K	450lux	5000K
標準照明	750lux	5000K	0lux	



Fig.3 新 TA 照明の机上面の様子

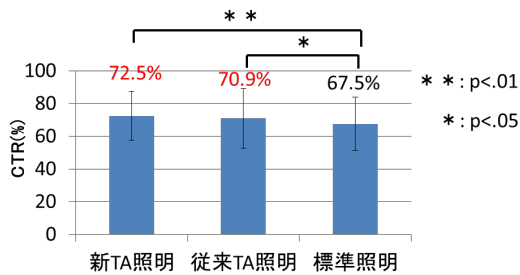


Fig.4 照明条件間の知的作業時の CTR 比較

この結果より、新 TA 照明は従来型の天井照明に比べて集中時間比率が 5.0%パーセント高くなり、すなわち知的生産性が 7.4%向上していることがわかる。

一方、照明条件間でのフリッカー値測定の比較を Fig.4 に示す。各照明条件における、各セット前後のデータをそれぞれ対のある両側 t 検定で比較した。また、一日を通した変化を調べるため、セット 1 前とセット 3 後の値を対のある両側 t 検定で比較した。その結果、標準照明(p < 0.01)、従来 TA 照明(p < 0.05)においてセット 1 前後に有意差が見られ、ともにセット後で値が低下していた。一日を通しての有意差が見られたのは標準照明のみであり、一日の後半で値が低下していた(p < 0.001)。

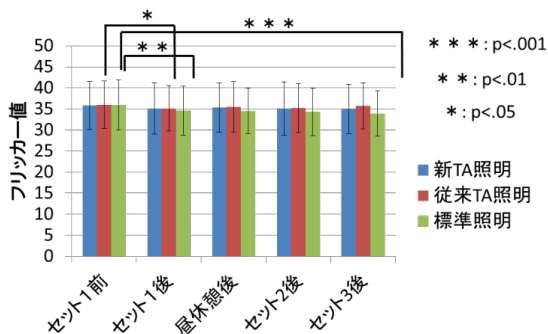


Fig.4 フリッカーテストの結果

フリッカーテストの結果より、新 TA 照明環境下で知的生産性が向上するのは、一日の後半で疲労の影響が小さくなるためであることが示唆された。

以上のように、本課題での成果は、

- (1) 知的生産性を精度よく定量的に計測する指標として、集中時間比率(Concentration Time Ratio; CTR)を開発したこと。
  - (2) 開発した CTR を用いて、照明環境を変化させたときの知的生産性変化の計測を示したこと。
  - (3) 生理指標を用いた作業状態推定手法を開発したこと。
- また、本報告書では記載できなかったが、
- も重要な成果である。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

宮城 和音, 河野 翔, 石井 裕剛, 下田 宏: 断続的な休息を仮定した知的生産性変動モデルの提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 16-1, 7-18, 2014. 査読有

宮城 和音, 内山 皓介, 大林 史明, 岩川 幹生, 石井 裕剛, 下田 宏: 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. 査読有

内山 皓介, 宮城 和音, 石井 裕剛, 下田 宏, 大林 史明, 岩川 幹生: 知的生産性評価のための集中指標算出ツールの開発, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 16-1, 29-40, 2014. 査読有

國政 秀太郎, 宮城 和音, 下田 宏, 石井 裕剛: 生理指標計測による知的作業時の一時休息状態の検出, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 16-1, 41-50, 2014. 査読有

[学会発表](計 15 件)

Hiroshi Shimoda, Koutarou Ooishi, Kazune Miyagi, Kosuke Uchiyama, Hirotake Ishii, Fumiaki Obayashi, Mikio Iwakawa: An Intellectual Productivity Evaluation Tool Based on Work Concentration, Proc. of HCII2015, 16, 364-372, 2013. 査読有

Shutaro Kunimasa, Kazune Miyagi, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii: A Detection Method of Temporary Rest State While Performing Mental Works by Measuring Physiological Indices, Proc. of HCII2015, 16, 142-150, 2013. 査読有

Kosuke Uchiyama, Koutarou Ooishi, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Process of Evaluation Index of Intellectual Productivity Based on Work Concentration, Proc. of ICSTE 2013, 2013. 査読有

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.193-200. 査読無

國政 秀太郎, 瀬尾 恭一, 下田 宏, 石井 裕剛: パフォーマンス-認知負荷モデルを用いた精神負荷作業中の複数の認知状態推定手法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013, pp.177-184. 査読無

宮城 和音, 内山 皓介, 岩川 幹生, 大林 史明, 石井 裕剛, 下田 宏: 作業への集中に着目した知的生産性評価指標法の提案と検証, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013, pp.185-192. 査読無

下田 宏, 宮城 和音, 内山 皓介, 大石 晃太郎, 石井 裕剛, 大林 史明, 岩川 幹生: 作業への集中に着目した知的生産性の定量評価法, 第 5 回横幹連合コンファレンス, 2A-1-3, 371-378, 2013. 査読無

Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model based on Work State Transition, The 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1491-1496, 2012. 査読有

大石 晃太郎, 宮城 和音, 國政 秀太郎, 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提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012. 査読無

國政 秀太郎, 宮城 和音, 下田 宏, 石井 裕剛: 生理指標計測による知的作業時の一時休息状態の検出, 第 27 回 生体・生理工学シンポジウム, 2012. 査読無

國政 秀太郎, 宮城 和音, 大石 晃太郎, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明, 岩川 幹生: NIRS を用いた知的生産性評価タスク実施中の脳活動計測, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012. 査読無

宮城 和音, 河野 翔, 國政 秀太郎, 大石 晃太郎, 石井 裕剛, 下田 宏: 意識的な休息に着目した知的生産性変動モデルの提案と評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012. 査読無

Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Proposal of an office work productivity model based on short pauses in mental tasks, HCI I2011. 査読有

Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Analysis of Short Time Pauses in Office Work, The 3rd International Symposium of Kyoto University G-COE of Energy Science Zero-Carbon Energy Kyoto 2011. 査読無

河野 翔, 宮城 和音, 大石 晃太郎, 石井 裕剛, 下田 宏: オフィス執務者の知的生産性変動モデルに関する基礎的検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011. 査読無

宮城 和音, 河野 翔, 石井 裕剛, 下田 宏: 短時間の作業中断に着目した知的生産性変動の分析, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011. 査読無

#### 〔図書〕(計 2 件)

下田 宏, 石井 裕剛: ヒューマンエラー対策 事例集 - 独自性のある仕組みづくり, 効果のある教育法 -, 第 7 章, 作業環境, 労務管理面からみたヒューマンエラー対策(7 節 照明環境が作業性に及ぼす影響), ISBN-978-4861044694, 技術情報協会, 2013.

下田 宏: 日本シミュレーション学会編 シミュレーション辞典(「認知特性」), ISBN-978-4-339-02458-6, コロナ社, 2012.

#### 〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称: 知的生産性分析装置、プログラム

発明者: 下田 宏, 石井 裕剛他

権利者: パナソニック株式会社

種類: 特許

番号: PCT/JP2013/004217

出願年月日: 2013 年 7 月 8 日

国内外の別: 国内

名称: 集中度計測装置、プログラム

発明者: 下田 宏, 石井 裕剛他

権利者: パナソニック株式会社

種類: 特許

番号: PCT/JP2013/004284

出願年月日: 2013 年 7 月 11 日

国内外の別: 国内

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

下田 宏 (SHIMODA, Hiroshi)

京都大学・大学院エネルギー科学研究科・教授

研究者番号: 60293924

##### (2)研究分担者

石井 裕剛 (ISHII, Hirotake)

京都大学・大学院エネルギー科学研究科・助教

研究者番号: 00324674