

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

河野 翔^{*1} 宮城 和音^{*1} 金 宏哲^{*1} 石井 裕剛^{*1} 下田 宏^{*1}

A Fundamental Study on Variation Modeling of Office Work Productivity

Shou Kawano,^{*1} Kazune Miyagi,^{*1} Jin Hong Zhe,^{*1} Hirotake Ishii^{*1} and Hiroshi Shimoda^{*1}

Abstract — In this study, aiming at proposing a model which can explain and simulate the change of productivity, the author has conducted a subject experiment and discussed the details of the model by comparing the results of the computer simulation based on the model with the experimental results. Concretely, the model employs a working state, a non-working state and a value BF which is assumed as a brain fatigue. Office workers are assumed to transit these two states along with the probabilistic functions based on the variation of BF. From the internal parameters of the model to explain the probabilistic functions examined by the experimental results, it was found that the subjects tend to concentrate the task when the remuneration is provided, and they try to keep their attention to the task and take a long break instead when the task workload is high.

Keywords : Productivity, Working State, Non-working State, BF, Probabilistic Functions

1. はじめに

今日、オフィスにおいて執務者が行っている作業は、書類作成や情報管理などの知的作業が大半を占め、その社会的価値も年々高くなっている。したがって、執務者の知的生産性が向上した場合、その経済的利益は非常に大きい。そのため企業は様々な方法で執務者の知的生産性向上を目指しており、その方法の一つとしてオフィス環境の改善が考えられている。

企業は近年、環境への配慮や経費削減の必要性からオフィス環境を見直してきたが、エネルギー消費量の削減に重点を置くあまり、執務環境悪化による執務者の知的生産性低下を引き起こす可能性がある。その結果、労働時間の増加により人件費が増大し、さらに悪環境下での作業による執務者の健康悪化も懸念される。よって、執務者の知的生産性を考慮したオフィス環境改善が必要であり、そのためにはオフィス環境下での執務者の知的生産性を定量的に評価する指標を確立し、環境の変化が知的生産性にどのように影響するのかを明確にする必要がある。

このような背景から、我々は執務者の知的生産性を定量的に評価する指標を開発^{[1][2]}・改良^[3]し、また様々な照明制御による知的生産性改善効果を定量的に示してきた^[4]。一方で、既往研究は環境要因と知的生産性の関係の解明には未だ至っていない。さらに既往研究においては知的生産性に大きく影響すると思われるモチベーション等の執務者の内的要因に対する検討が不十分であり、環境要因と知的生産性の関係の解明のためにはまず、執務者の内的要因がどのように知

的生産性に影響するのかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、環境要因の影響を考慮したオフィス執務者の知的生産性変動モデル作成を目指し、その基礎的検討として、執務者の内的要因に着目した被験者実験を実施する。そしてその実験結果と計算機シミュレーションにより再現したものとの比較・検討によりモデル詳細部分を検討することを目的とする。計算機シミュレーションにより様々な被験者実験結果の再現が可能になれば、ある環境・条件下での知的生産性変化を予測することが可能になり、被験者実験による検証を行うことなくオフィス環境等の評価・改善が可能になる。

2. 知的生産性変動モデルの作成

2.1 モデルの対象とする範囲

対象とする影響要因

本研究では室温、空気質といった環境要因と、疲労、モチベーションといった執務者の内的要因による知的生産性への影響を考慮した、オフィス執務者の知的生産性変動モデル作成を目指す。

モデル作成にあたっては、各要因間の関係も考慮しなければならない。環境要因が内的要因に影響する一例として、極端に暑い環境でモチベーションが低くなり、作業効率が落ちること等が考えられるが、内的要因が環境要因に影響を及ぼすことは考えにくい。したがって内的要因が知的生産性に影響するプロセスを検討せずに環境要因と知的生産性との関係を直接検討するのは難しく、様々な要因と知的生産性との関係を解明するためにはまず、内的要因に着目すべきである。

本研究ではモデル作成の基礎的検討として、内的要因の中でも知的生産性に直接的に大きく影響すると考

^{*1}: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

^{*1}: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

えられる、モチベーションと心的負担に着目する。

対象とする知的作業

オフィス執務者が行う作業の内容は様々であるが、その中で知的生産性向上が切望されているのは、書類作成や情報管理といった知的生産性向上による経済的利益が大きい知的作業である。これらの作業は意識的なシンボル処理を必要とし、シングルプロセッサのコンピュータとのアナロジーで考えることができ、作業処理のモデル化が容易である。よって、本研究では意識的なシンボル処理を行う知的作業を対象としたモデル化を目指す。

対象とする作業期間

実際のオフィスにおける作業を考えた場合、執務者は何分、何時間といった単位で一つの作業を処理していると考えられる。一つの作業に対する知的生産性が向上すれば、必然的に何日、何ヶ月といった長期間での知的生産性も向上することが期待される。よって、オフィス執務者の知的生産性変動モデルとしては、何分、何時間といった単位での知的生産性変動を考える。

2.2 過去研究事例の再分析

モデル作成に先立ち、既往研究結果の詳細分析によりモデル作成の手掛かりを得た。過去に本研究室で実施した、単位時間あたりに被験者がどれだけ問題を処理できるかによって知的生産性を評価した実験を対象とし、1問当りの解答時間に着目して時系列解析を行った。課題を始めてからの経過時間(sec.)を横軸に、正誤を問わず1問を解くのに要した時間(sec.)を縦軸としてグラフ化した分析結果の内、特徴的なものを図1に示す。

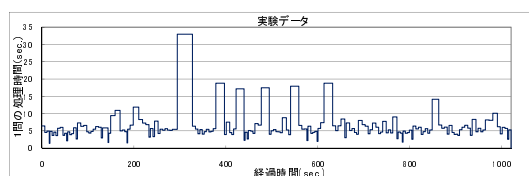


図1 過去実験分析結果の例

Fig. 1 Analysis of past experimental result.

図1を見ると、被験者は多くの問題を5秒前後で解いているが、一部1問を終えるのに長時間を要している問題がある。この実験で用いられた問題は単純で難易度もほぼ均一であるため、1問を解くために必要な時間が数秒以上も変動することは考えにくい。つまり、解き終わるまでに長い時間を要している問題では、その時間全てを作業処理に用いているわけではないと考えられる。この分析結果を参考に本研究では、被験者は作業中、常に作業に集中しているのではなく、作業に集中している状態（作業状態）と作業に集中せず休憩している状態（非作業状態）という2状態間を交互

に遷移しつつ作業を続けていると仮定した。

2.3 モデルの枠組み

環境要因や執務者の内的要因が与える影響を考慮した知的生産性変動モデルとして、本研究では以下のようなモデルを提案し、図2にその概念図を示す。

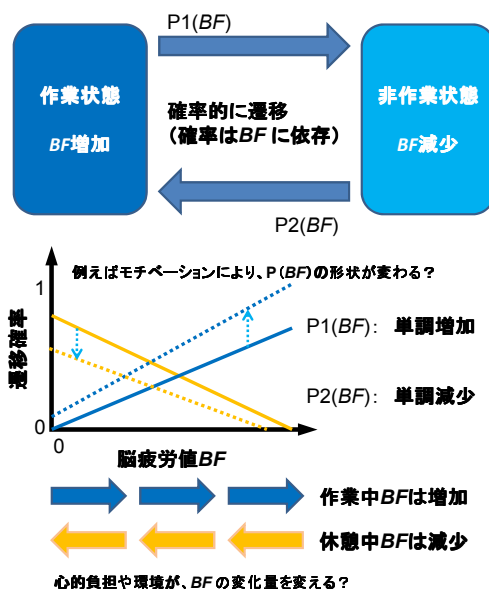


図2 モデルの概念図

Fig. 2 Framework of the model.

a. 作業・非作業状態

人間は知的作業中、作業状態と非作業状態の2状態間を交互に遷移しながら作業を行う。作業・非作業状態は以下のように定義する。

作業状態: 作業に集中しており、作業処理が進む状態

非作業状態: 作業に集中せずに休憩し、作業処理が停止している状態

b. 脳疲労値 BF (Brain Fatigue)

このモデルでは、脳疲労値 BF を仮定する。 BF は生理学的な疲労を指すものではなく、疲労を想定した仮想的な値である。

作業状態時には BF が増加していき、 BF が増加するに従い非作業状態に遷移する確率が高くなる。非作業状態時には BF は減少し、 BF が減少するに従い作業状態に遷移する確率が高くなる。また BF の増加・減少速度は、環境要因や執務者の内的要因の影響により変化する。

c. 状態遷移確率

作業・非作業状態間遷移は状態遷移確率 p_1 (作業状態→非作業状態)、 p_2 (非作業状態→作業状態) に従って確率的に起こる。 p_1 、 p_2 は BF の関数であり、その関数形は環境要因や執務者の内的要因の影響により変化する。

2.4 モデルに基づいた計算機シミュレーション

以上の3点を前提とした枠組みのもとでモデルを作成し、計算機シミュレーションにより執務者の知的生産性変動を表現する。その際、*BF*の時間変化と状態遷移確率に関しては具体的な数式を定め、その係数をモデルの内部パラメータとした。内部パラメータを調整し、シミュレーションにより得られる時系列グラフの例を、図3に示す。

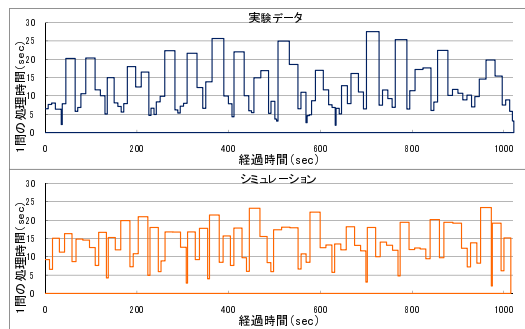


図3 シミュレーション結果の例

Fig. 3 An example of simulation result.

図3を見ると、実験データと同様に、シミュレーション結果でも問題処理に長時間を要している部分が散見される。したがって、計算機シミュレーションによって、図1に示した実験結果と同様の特徴を持つグラフがこのモデルにより得られることが確認された。次の課題は、様々な実験データを計算機シミュレーションによってどこまで再現できるか、という検討になる。

3. 知的生産性変動モデルの基礎的検討

3.1 被験者の内的要因に着目した被験者実験

前章で再分析した実験は環境要因と被験者の内的要因の個別検証ができていない等の問題があったため、環境条件を一定とし、被験者の内的要因の中で、知的生産性に直接的に大きく影響すると考えられ、かつ制御が容易で、定量化しやすいモチベーションと心的負担に着目した被験者実験を実施し、モデルの基礎的検討のためのデータを得た。

実験の目的

環境条件を一定として環境要因による知的生産性への影響を取り除き、被験者のモチベーションや心的負担が知的生産性に与える影響を調べる。また、図1に見られたような、問題処理に長時間を要する箇所が存在するという特徴が被験者によらず現れるかどうかを確認するとともに、計算機シミュレーションによるモデル検討に用いるデータを得る。また、同じ被験者に同様の実験を再度行い、データに再現性があるかどうかを確認する。

実験環境

実験は京都大学工学部1号館233号室で行った。実験室の俯瞰図を図4に示す。また実験中一定とした環境条件を表1に示す。

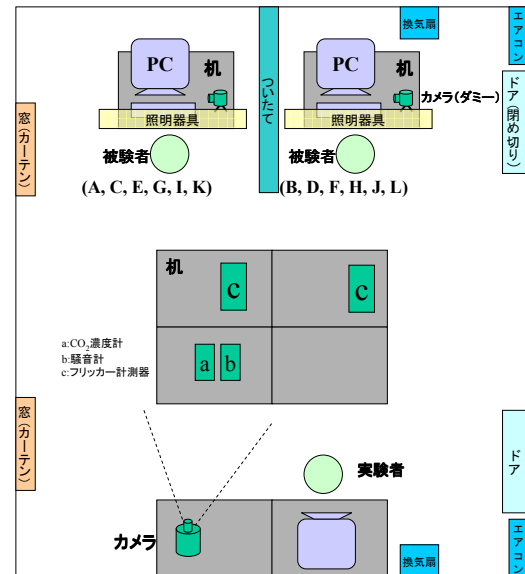


図4 実験室の俯瞰図

Fig. 4 Topview of experimental room.

表1 実験中の環境条件

Table 1 Environmental condition in the experiment

机上面照度	室温	湿度	CO ₂ 濃度	騒音
750lx	25	45%RH	800ppm 以下	50dB 以下

内的要因を変化させるための実験条件

被験者のモチベーションを変化させるため、表2に示す2種類の教示を各セット毎に被験者に指示した。教示は被験者のモチベーションを制御するためのもので、実際には被験者全員に追加報酬を無条件に支払い、手元のカメラ撮影は行っていない。これらの事実は実験終了後、被験者に説明された。また被験者の心的負担を変化させるため、被験者に与えるタスクの難易度を2種類用意した。

表2 2種類の教示

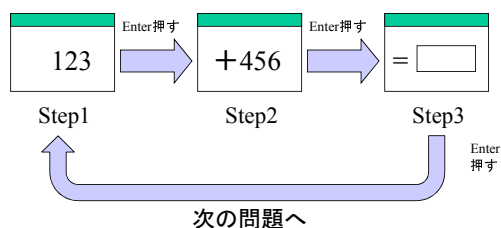
Table 2 Two patterns of instructions

教示 A	この試行は参考データです。 次の試行に備えて楽に実施して下さい。 手元の様子のカメラ撮影も行いません。 ただし、できるかぎり正確に実施してください。
教示 B	この実験における重要な試行です。 成績優秀者には追加報酬が与えられます。 また、手元のカメラ撮影を行います。 できる限り速く、正確に問題を解いてください。

作業内容

タスクとする作業は、モデルの対象とする知的作業

であり、難易度調整が容易であるものとして、図5に示す暗算加算問題とした。また、心的負担を変化させるための2種類の難易度は、表3のように設定した。



※タスクはPC画面上に表示され、数字、Enterはテンキーで入力する

Step1: 画面上に表示された数字を記憶する
Step2: 記憶した数字と次の画面上に表示された数字を足す
Step3: 計算結果を入力する

図5 暗算加算問題
Fig.5 Mental addition task.

表3 問題の難易度2種類
Table 3 Two kinds of task difficulty

難易度	暗算加算問題
易しい	繰り上がりのない3桁同士の加算
難しい	繰り上がりが1箇所発生する4桁同士の加算

実験手順

実験は2009年11月24日～29日(期間I・本実験)、12月5日～6日(期間II・追加実験)に実施した。その際のタイムスケジュールを図6に示す。実験は各日被験者2名で実施した。

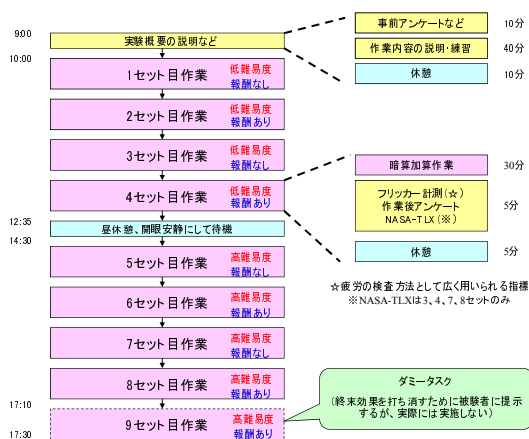


図6 実験時のタイムスケジュール
Fig.6 Time schedule of the experiment.

被験者

被験者は健康な大学生で、男性7名、女性5名の計12名である。8名(被験者A,B,D～H,J、男性5名、女性3名、20歳～27歳、平均年齢22.1歳)は本実験のみ参加し、4名(被験者C,I,K,L、男性2名、女性2名、

19歳～22歳、平均年齢20.8歳)は本実験・追加実験ともに参加した。

計測項目

計測項目として、1問毎の処理時間及び各問終了時の経過時間を記録した。正誤を考慮しない解答数を知的生産性の定量評価として用いた。また以下に示す質問に対し、モチベーションの主観評価を被験者に回答してもらった。

「自分の能力を十分に発揮し、自分にとっての全力で作業を行ったときの、作業への力の注ぎ具合を100とすると、今終わった作業への力の注ぎ具合は、どのくらいの値になるか、数値でお答えください。」

また、心的負担の計測には日本語版NASA-TLXを用いた。

実験結果及び考察

実験では8セットのタスクを行ったが、その内1,2,5,6セット目は、被験者にとって各教示・難易度に対する理解や習熟が十分でないと考え、3,4,7,8セット目の結果のみを解析対象とした。また、被験者Eは算盤経験者であり、作業成績が他の被験者に比べ著しく高く、報酬がある時に作業成績が低下するなど他の被験者とは違う傾向を示した。また、被験者Lに関しては作業中に眠るなどのトラブルから正確なデータが取得できなかった。そのため被験者E、Lの実験結果を解析対象外とした。

以上のようにして得られた実験結果を図7に示す。まず解答数の被験者全体の平均を見ると、難易度2条件共に報酬が無い時に比べて報酬がある時の方が解答数が増加した。また、モチベーションの主観評価及びNASA-TLXの値に対し、一対比較のt検定(片側)を実施した結果、モチベーションの主観評価は報酬がある時に有意に増加した($p < 0.001$)。このことから、教示及び報酬の有無によるモチベーションの制御は成功していると考えられる。一方、NASA-TLXの値は報酬あり条件において、難易度が上がると有意に増加した($p < 0.05$)。また、解答数が難易度が上がると有意に減少した($p < 0.001$)。よって、2種類の難易度による被験者の心的負担の制御は、報酬あり条件では成功したと考えられる。また、問題の難易度が難しくなることによりパフォーマンスが低下することを確認した。

次に、解析対象となる時系列グラフの例を図8に示す。問題処理に長時間を要する箇所が存在するという特徴は、被験者によらず確認できた。図8は報酬による解答数の増加が大きかった被験者Hのものである。図8を見ると、報酬がある時に明らかに作業処理に要する時間が短くなっている。

また実験の再現性を調べるため、同一被験者の本実

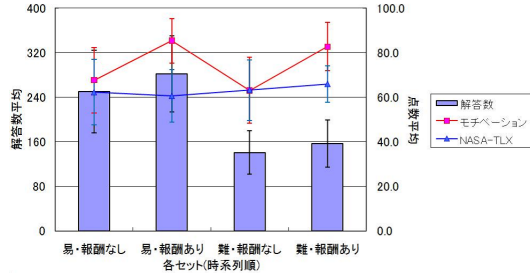


図 7 実験結果

Fig. 7 Experimental results.

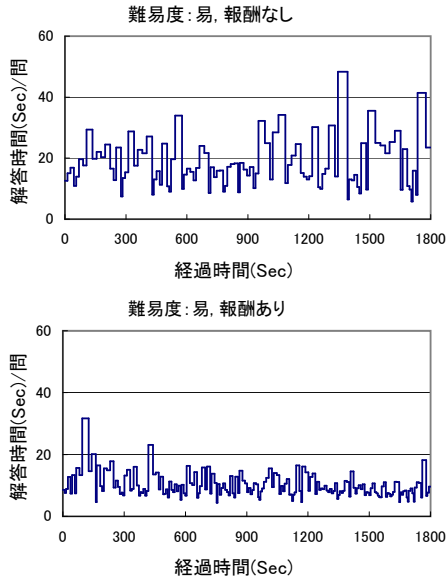


図 8 時系列グラフの例

Fig. 8 Examples of time series graphs.

験と追加実験の結果を比較した。解答数は追加実験時の方が本実験時に比べ若干増加した。これはタスクに対する習熟や、その日の体調による影響と考えられる。

3.2 計算機シミュレーションによるモデルの検討

被験者実験の結果を計算機シミュレーションによりできる限り忠実に再現し、提案したモデルによって表現できる範囲の検討を行った。その際には実験結果を最もよく再現するモデル内部のパラメータを取得し、その傾向からオフィス執務者の知的生産性変動についての見解を得た。

被験者実験結果をシミュレーションで再現する際には、解答時間のヒストグラムに着目し、実験結果とシミュレーション結果のヒストグラムの誤差 E を定量的再現度とし、 E が最小になるように最急降下法によりモデルの内部パラメータを求めた。

ここで、モデル内部式は以下のように定めた。

$$\frac{d(BF)}{dt} = \begin{cases} 1 & (\text{作業時}) \\ -1 & (\text{非作業時}) \end{cases} \quad (1)$$

$$p = \begin{cases} \frac{p_3 - p_1}{1 + \exp(-0.1(BF - b_1))} + p_1 & \text{作業} \rightarrow \text{非作業} \\ \frac{p_2 - p_4}{1 + \exp(-0.1(b_2 - BF))} + p_4 & \text{非作業} \rightarrow \text{作業} \end{cases} \quad (2)$$

図 9 に式 (2) による $BF - p$ グラフの一例を示す。

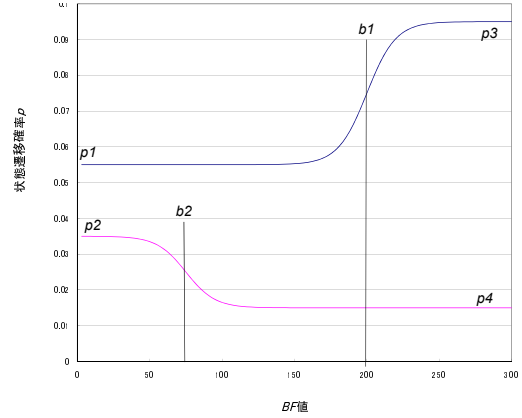


図 9 式 (2) によるグラフの例

Fig. 9 A example of graph of Eq.(2).

パラメータ p_1 、 p_3 は作業状態から非作業状態に移行する確率であり、値が大きいほど休憩しやすいということになる。 p_2 、 p_4 は非作業状態から作業状態に移行する確率であり、値が大きいほど休憩から作業に復帰しやすいということになる。 b_1 、 b_2 は確率が切り替わる BF の値を示し、値が大きいほど遷移確率が p_1 または p_2 である BF の区間が長くなる。

なお、式 (1)、(2) を用いた最適化では、 E を十分に小さくするパラメータの組み合わせが複数存在することが判明したため、制約条件として、 b_2 は 0 とした。

最適化された p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 b_1 について、以下の 3 点を検証した。

- ・難易度条件が同じ時の、報酬の有無によるパラメータへの影響
- ・報酬条件が同じ時の、問題の難易度によるパラメータへの影響
- ・難易度、報酬共に同条件で再度実験した場合の、パラメータへの影響

各パラメータに対する一対比較の t 検定 (両側) の結果を表 4 に示す。

まず p_1 、 p_2 、 p_3 は、難易度が上がると有意に減少した (p_1 、 p_2 : $p < 0.001$ 、 p_3 : $p < 0.01$)。 p_4 は報酬があると有意に増加 ($p < 0.05$) し、期間 I に比べ期間 II の方が有意に増加した ($p < 0.05$)。一方、 b_1 はどの条件でも有意差が見られなかった。またモチベーションの主観評価、NASA-TLX の値とパラメータの関係も調べたが、有意差は見られなかった。

よって、 p_1 、 p_3 は難易度の上昇に対して作業時間が長くなるように動き、 p_2 は休憩時間が長くなるように動いたことになる。また、 p_4 は報酬がある時には休

憩時間が短くなるように動いたということになる。したがって、情報処理システムとして捉えた執務者は、報酬が提示されたり、頑張るように教示を受けた時には休憩時間を短くして作業に集中するようになり、作業負荷が高い時には作業への注意を持続するように努め、その分休憩時間を長くとするようになる傾向があることがわかった。

また、 p_4 に期間 I と期間 II の間で有意差が見られたが、その他のパラメータには期間による有意差は見られなかった。したがって、習熟や体調といったその日に応じて異なる内的要因の影響は、報酬や作業負荷といった要因よりもその影響が小さいと考えられる。

表 4 パラメータに対する有意差検定結果
Table 4 Significance test for the internal parameters of the model

報酬: なし→あり				
	平均値			両側 p 値
	報酬なし	報酬あり	差	
p_1	0.070	0.073	0.003	p=0.634
p_2	0.099	0.102	0.003	p=0.686
p_3	0.097	0.105	0.008	p=0.191
p_4	0.079	0.095	0.016	p=0.014*
b_1	103	115	12	p=0.648

難易度: 易－難				
	平均値			両側 p 値
	難易度: 易	難易度: 難	差	
p_1	0.104	0.039	-0.065	$p < 0.001^{***}$
p_2	0.111	0.090	-0.021	$p < 0.001^{***}$
p_3	0.115	0.087	-0.028	$p=0.001^{**}$
p_4	0.094	0.080	-0.014	$p=0.078$
b_1	78	140	62	$p=0.078$

期間 I → II				
	平均値			両側 p 値
	期間 I	期間 II	差	
p_1	0.077	0.089	0.012	p=0.198
p_2	0.101	0.113	0.012	p=0.085
p_3	0.099	0.114	0.015	p=0.232
p_4	0.099	0.126	0.027	p=0.019*
b_1	98	82	-16	p=0.695

(*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$ ***: $p < 0.001$)

4. まとめ

本研究ではオフィス執務者の知的生産性変動モデル作成を目指し、被験者の内的要因に着目した被験者実験を行い、計算機シミュレーションによるその再現結果と実験結果の比較・検討によりモデル詳細部分の検討を行うことを目的とした。具体的には作業・非作業の 2 状態と脳疲労値 BF を仮定し、執務者は知的作業中、 BF の増減により状態遷移確率が増減し、確率的に状態遷移をしながら作業を続けるものとした。被験者の内的要因に着目した被験者実験の結果、モチベーションの主観評価が報酬がある時に有意に増加

($p < 0.001$) し、また作業成績が向上したことから、教示と報酬により知的生産性が向上する可能性が示された。またモデル内部パラメータを検証した結果、執務者は報酬の提示等により作業に集中するようになり、作業負荷が高い時には作業への注意を持続するように努め、その分休憩を長くとするようになる傾向があることがわかった。

本研究ではオフィス執務者の知的生産性変動モデル作成のための基礎的検討として、モチベーションや心的負担といった執務者の内的要因に着目し、それらと知的生産性との関係を明確にすることもまた目的であったが、そこまでには至らなかった。原因として、難易度がモチベーションに及ぼす影響や、教示と報酬が心的負担に及ぼす影響を考慮していなかったことが考えられる。被験者実験においてモチベーションの主観評価や NASA-TLX の値が想定していた条件間以外でも変動したことからそれが伺える。つまりモチベーションと心的負担は互いに影響していると考えられる。しかし、教示と報酬及び作業負荷と知的生産性との関係を把握することには成功したため、実験手法の検討及びモデルの改良により内的要因と知的生産性との関係を解明できる可能性はある。

今後は脳賦活計測等により生理学的側面から作業・非作業状態の仮定等のモデルの妥当性を確認する必要がある。その上でデータの新たな定量再現度指標やより確実な最適化手法等を検討し、より実用的な知的生産性変動モデルを作成する必要がある。また、他の内的要因や環境要因の影響を考慮できるようにモデルを拡張する必要がある。そして、モデルが完成し、様々な要因と知的生産性間との関係が解明されれば、計算機シミュレーションによる知的生産性変動の予測が可能になり、容易に知的生産性向上のためのオフィス環境改善が実現するであろう。

参考文献

- [1] 服部, 河内, 大林, 寺野, 福島, 伊藤, 下田, 吉川: オフィスワーカーのプロダクティビティ評価手法に関する基礎実験研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005,(2005).
- [2] 下田, 服部, 富田, 河内, 石井, 大林, 寺野, 吉川: オフィスワーカーのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - プロダクティビティ評価法 CP-TOP の開発 -, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006,(2006).
- [3] 宮城, 榎本, 下田, 石井, 岩川, 寺野: オフィス環境評価のための知的パフォーマンステストの実用化に向けた改良と検証, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.11, No.1, pp.25-30,(2009).
- [4] 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,(2007).