

頭脳労働としてのソフトウェア分析設計作業の定量化と単位頭脳作業との相関分析

内藤 有希† 高沢 泰弘† 大木 幹雄†

あらまし

ソフトウェア分析設計作業は頭脳労働なるがゆえにその作業過程を見ることはできない。ソフトウェア分析設計工程を IE(Industrial Engineering)と同様に定量的に計測し、最適に設計するには、まずその出発点となる頭脳作業ごとの仕事量とは何かを定義する必要がある。本稿では大脳皮質の血流量を計測する光トポグラフィ装置を用いて、分析設計作業中の血流量の変化を実時間測定した結果をもとに、頭脳作業の仕事量の定義、および明らかになった実務能力別の単位頭脳労働と分析設計作業との相関関係について紹介し、科学的な見地から方法論の優劣の比較、および最適な分析設計環境構築の可能性について考察する。

Quantitative Measurement and Correlation Analysis of Software Design Tasks as brain labors

Yuki NAITO† Yasuhiro TAKAZAWA† Mikio OHKI†

Abstract

Human's brain works could not be seen from the other people. If we want to optimizing the software analysis and design task or want to comparing the software methodologies, we should make clear how to define the brain works energy from the analogy of the Industrial Engineering, and how the brain works are decomposed to a set of unit brain works. In this paper, the authors describe the brain works energy while a man/woman is doing software analysis and design tasks, and also the correlation between the software tasks and unit brainwork by observing the blood flood of the cerebral cortex which can be measured by using optical topography.

1. はじめに

人間の頭脳労働が主体のソフトウェア分析設計作業において、デザインパターンをはじめとして、思考過程の一つの定常状態である分析設計パターンが出現する理由は、なぜだろうか？あるいは頭脳労働の効率化および高信頼化等の観点から設計方法論の優劣を、なぜ直接的に比較することができないのであろうか？さらには、頭脳労働における作業負荷は、なぜ定義できないのであろうか？その理由は、もちろん直接、分析設計作業中における頭脳活動を「観測」することができないことによる。しかし近年、頭脳の活性化部位の測定を、大脳皮質に限定するものの、従来の fMRI (functional MRI) や PET (Positron Emission Tomography: 陽電子放射線断層撮影法) と比較して、より実作業環境下で直接行える計測機器が普及しはじめている。

本研究は、大脳皮質の血流中の含まれる酸化ヘモグロビン、および脱酸化ヘモグロビンを測定する光トポグラフィ装置を用いて、ソフトウェア分析設計

作業中の頭脳労働に科学的なメスを入れることを目指した研究である。すなわち、インダストリアル・エンジニアリング (IE) の分野では、古くから観測可能な作業工程や作業動作を分析し、最適な工程設計までを行うまでに至っているが、頭脳労働が主体のソフトウェア分析設計作業では、頭脳労働の作業量はおろか、頭脳労働がいかなる基本的な頭脳活動から構成されるかも明らかにされていない。

このような現状認識をもとにして、本論では大脳皮質の活性化計測データから頭脳労働における作業量の定義を提案し、その妥当性を論じるものである。同時に単位作業への分解可能性についても論じる。また頭脳労働に適した思考過程から見て、最適なソフトウェア分析設計方法論の客観的な比較、および最適な分析設計環境の構築を目指す上での課題についても考察する。

本論の構成は次のとおりである。第2章では、光トポグラフィ装置の概要と頭脳労働の定量化に関する考え方を含めた研究の概要を述べる。第3章では実験方法を述べ、第4章では頭脳労働の定量化の観点から分析した結果を示す。第5章では分析結果に対する考察を述べる。

† 日本工業大学工学部情報工学科
Nippon Institute of Technology

2. 研究の概要

2. 1 光トポグラフィ装置の概要

頭脳活動は何らかの刺激あるいは動機によって頭脳神経活動が活性化しエネルギー代謝が活発化すると、頭脳に酸素を供給する血流量が増加する。そのため、酸化ヘモグロビン濃度の変化は脳機能の活性化の重要な指標になる。光トポグラフィ装置は、赤外光より波長が短い近赤外光が頭蓋骨を透過し、大脳皮質の血流中に含まれる酸化ヘモグロビン、あるいは脱酸化ヘモグロビンの濃度変化を光吸収特性を利用して計測する装置であり、それらを頭脳の活性化状態を捉えるものである。



図1 実験に使用した光トポグラフィ装置
(日立メディコ社, <http://www.miyuki-net.co.jp/>より引用)

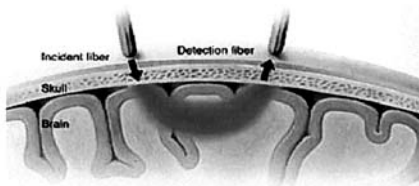


図2 実験に使用した光トポグラフィ装置
(日立メディコ社, <http://www.miyuki-net.co.jp/>より引用)

光トポグラフィ装置の最大の特徴は、その無侵襲性にある。すなわち、従来の脳機能測定装置のfMRIやPET等と比較して、行動が束縛されない点や課題の遂行中の騒音によるストレス等で被験者の注意力が途切れる恐れも少なく、集中力を必要とする作業の頭脳活動を測定する上で適している。しかし、近赤外光は図2に示すとおり、頭皮表面から約20mmまでしか届かないため、脳深部の計測ができない。また照射光用ファイバと検出光用ファイバを30mm間隔で交互に正方格子状に配置するため空間分解能が低い(間隔内の計測値は補完表示する)。

2. 2 分析設計に関連する前頭前野の機能

我々はソフトウェア分析設計作業における頭脳の活性化状況を計測する領域として、前頭葉最前部の前頭前野を計測の主たる対象とした。その理由は次のとおりである。

前頭前野は外界の情報を整理し、行動計画に必要な情報を抽出し、複雑な行動計画を組み立て、その

実行の判断を行う。また側頭連合野や頭頂連合野から入力される情報から作業の再統合を図り、問題解決に必要な計画を組み立てる。前頭前野を破壊すると、IQテストや人とのコミュニケーション、物の記憶など一見すると正常な人間と変わらないが、計画性がなくなり、些細な問題を解決するための行動が取れなくなり、目的に従った行動の組み立てができなくなることで、あるいは注意すべき事柄に集中できず、そのときどきの刺激に注意を奪われてしまうこと等が脳生理学の研究から確認されている。

これらの研究成果を踏まえて、我々は前頭前野をソフトウェア分析設計作業中の頭脳の活性化状態と関連付ける最も重要な部位と考え、主たる計測領域とした。図3は光トポグラフィ装置による前頭前野の計測データ例である。

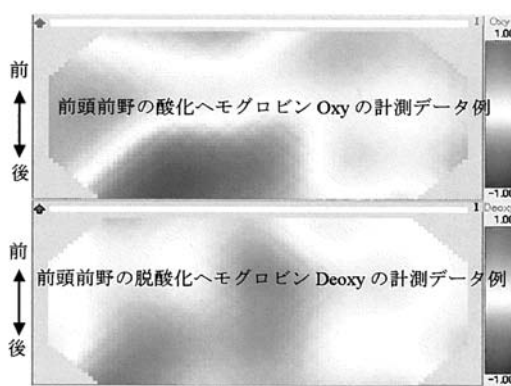


図3 光トポグラフィ装置による前頭前野の計測例

2. 3 頭脳労働の定量化の考え方

前頭前野を中心とした血流中の酸素消費量から頭脳労働を定量化するに当たって、次の2つの考え方を前提としている。

(1) 活性化した部位の範囲は、副次的な現象ある。

活性化部位の範囲と大きさは、頭脳が活発に酸素を消費していることの現れであり、頭脳労働の定量化の基礎的な指標になる。しかしながら、大脳皮質の活性化は図4に示すとおり、頭脳の階層構造全体にわたって関連する部位が相互に影響を及ぼした結果の現れであり、大脳皮質の活性化状況のみをもって頭脳労働の全体を捉えることはできない。

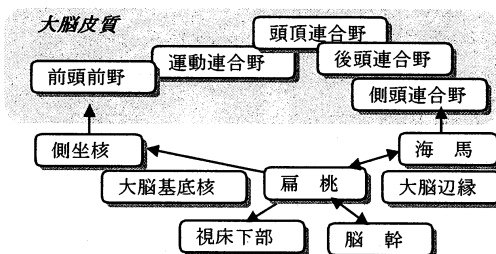


図4 大脳皮質の活性化につながる頭脳階層構造

そのため、活性化の部位を特定し、その意味を論じるより、むしろ活性化した部位全体の状態をもって一つの状態として捉える考え方をとった。

(2) 活性化部位ごとの活性化の大きさは、酸素消費量に反映される。

頭脳が活性化すると血流中の酸素消費量は増大することから、活性化の大きさと酸素消費量は比例関係にある。光トポグラフィ装置で計測するデータは酸化ヘモグロビン (Oxy) と脱酸化ヘモグロビン (Deoxy) の2つの血流量のみである。そのため、(式1)で示すとおり、両者の差異が酸素消費量 ϕ_i に比例すると考え、活性化の大きさの尺度とした。

$$\phi_i = \text{Oxy血流量} - \text{Deoxy血流量} \cdots \cdots (\text{式1})$$

(3) 頭脳の活性化を引き起こす原因となる何らかの刺激、あるいは動機の強さと継続時間が頭脳労働の負荷を構成する。

思考の急激な切り替えを頻繁に繰り返す頭脳活動には疲労を覚え、長時間同一の緩慢とした思考に疲労を覚えることは少ない。これらの内観的な経験をもとに、活性化を引き起こし血流量（すなわち消費酸素量）の増大を招くことになった原因・動機の強さをもって、頭脳労働の負荷の大きさと定義した。

2. 4 頭脳仕事量の定義

物理の世界では、物質の運動がもつ仕事量は、物質に働く力 F と力によって動かされた距離 s の積和として (式2) で定義される。

$$E = \int F \, ds \cdots \cdots (\text{式2})$$

頭脳労働における仕事量も同様に、血流量の増大を招く原因となる力が頭脳労働の仕事量の中心となるものとする。そこで頭脳労働の仕事量 E_b を (式3) で示すとおり、原因となる力 F_b と血流の移動距離の積和によって定義する。ただし、血流の移動距離は直接計測できないため、距離に代わって単位計測時間 dt を用いる。

$$E_b = \int F_b \, dt \cdots \cdots (\text{式3})$$

(式3)の F_b は、光トポグラフィ装置で計測されたデータから計算される酸素消費量 ϕ_i の変化加速度 $\Delta^2 \phi_i / \Delta t^2$ である。光トポグラフィ装置の計測時間間隔は離散的であることから (式4) として表される。ここで ϕ_i は計測した酸素消費量を意味し、 c_t は光トポグラフィ装置固有のあらかじめ設定された計測時間間隔である。

$$E_b = c_t \sum (\Delta^2 \phi_i / \Delta t^2) \cdots \cdots (\text{式4})$$

図5は、一つの計測部位 (以後、チャンネルと呼ぶ)

の計測データから算出した酸素消費量をノイズ除去のために平滑化後、計測時間を横軸としてプロットした変化加速度のグラフの一例である。時間経過にしたがって、酸素消費量の増大、あるいは減少を引き起こす変化加速度が、たびたび変化しており、負になる場合もあることがわかる。ただし仕事量は、正の値として定義されなければならないことから、(式4)に変更を加え、あらためて(式5)で示すチャンネル k の仕事量 T^k をもって、「仕事量」を定義する。計測時間間隔 c_t はすべての計測データで共通することから省略した。

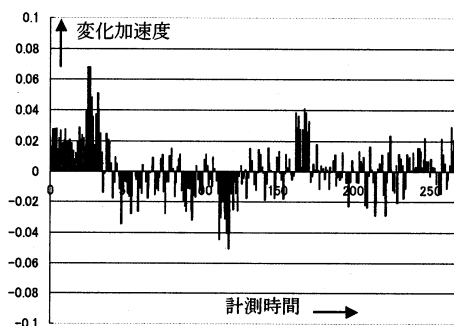


図5 一つのチャンネルの酸素消費量変化加速度図

$$T^k = \sum (\Delta^2 \phi_i^k / \Delta t^2)^2 \cdots \cdots (\text{式5})$$

(式5)を用いて、さらに頭脳全体の総仕事量 W を (式6) で示すとおり、計測対象となったチャンネル k の総和で定義する。すなわち、これは図6で示すとおり、チャンネルごとの仕事量を総和したものを総仕事量として定義するものである。

$$W = \sum T^k \cdots \cdots (\text{式6})$$

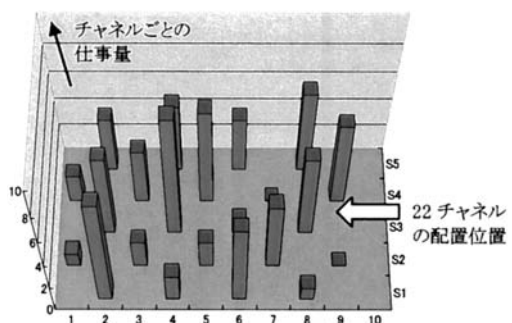


図6 チャンネルごとの仕事量の総和としての総仕事量

2. 5 単位頭脳労働の種類

頭脳労働の総仕事量の定義に次いで、ソフトウェア分析設計作業が如何なる単位頭脳労働から構成さ

れるべきであろうか？インダストリアル・エンジニアリングの作業分析では、作業を構成する単位作業に関する分析が行われるが、頭脳労働においても同様に考え、頭脳労働の最適化を検討する上で基本とする。そこで代表的な頭脳労働の中から、次の作業カテゴリごとに単位頭脳労働の候補を選択した。

- (1) 戦略に基づく試行錯誤中心の作業カテゴリ
 - 知恵の輪（４種類）
 - 立体パズル（１種類）
- (2) 記憶とその再生が中心の作業カテゴリ
 - トランプ神経衰弱（１種類）
 - 数字の記憶（３種類）
 - 図形の記憶（３種類）
- (3) 仮説生成が中心の作業カテゴリ
 - レゴブロックの組立て
- (4) 単純計算
 - 計算問題

(1)～(3)の頭脳活動は、過去の脳生理学的な研究から、前頭前野が関連していると確認されている。また単純計算は側頭連合野下部に関連するとされている。そこで光トポグラフィ装置による前頭前野の計測データは、(1)～(3)を中心に分析するものとし、(4)の単純計算の頭脳活動については参考程度とした。

2. 6 対象とするソフトウェア分析設計作業

ソフトウェア分析設計作業には多くの種類がある。そのすべての作業を取り上げて、如何なる単位頭脳労働から構成されるのか、あるいは負荷の程度を比較することは困難であることから、次の３つの分析設計図式を記述する作業に限定した。なお、図式を記述する作業に伴って、前運動連合野も活性化すること、図式の種類や意味操作の差異が分析設計図式の記述作業に影響を与えること等も考えられるが、本研究ではそれらの影響は、今後の研究に待つことにし、除外して考えている。

- ①データフロー分析（DFDの記述）
- ②ER分析（ER図の記述）
- ③クラス分析設計（クラス図の記述）

3. 実験方法

3. 1 計測の対象作業と計測方法

光トポグラフィ装置を用いた酸化ヘモグロビン、および脱酸化ヘモグロビンのデータ計測は、前頭前野を中心に配置した22箇所部位（チャンネル）から、次の２つの作業を行わせることによって行った。

- (1) ４種類の単位頭脳労働作業
- (2) ３種類の分析設計作業

データの計測は、頭脳活動のベースとなる状況を30秒間継続させて、頭脳の安定状態を形成させ、その後作業を行わせ作業の計測データとした。計測に用いた分析設計問題とその事例は以下のとおりである。

- ①データフロー分析（２問）
- ②ER分析（２問）
- ③クラス分析設計（１問）

【データフロー分析：問1】

以下の業務内容から、学食での作業やデータの流れをデータフロー図によって記述せよ。

- (a) 券売機は学生から代金と料理の情報を受取り、引換券と残金を返す。
- (b) 券売機は引換券売上金額を引換券売上ファイルに記録する。
- (c) 学食カウンターは、学生から引換券を受取り、料理を渡す。
- (d) 学食カウンターは、料理の売上を売上ファイルに記録する。
- (e) 学食カウンターは、販売する料理とその残数を製造料理ファイルから受取る。また、販売した数を製造料理ファイルから減算する。
- (f) 学食カウンターは、料理が売切れた際、不足情報を調理係に伝え、調理係は製造を行う。
- (g) 調理係は、使用した材料のデータを在庫ファイルに記録する。
- (h) 調理係は、製造した料理のデータを製造料理ファイルに記録する。

【データフロー分析：問2】

商品の注文受付から出荷までのDFDを記述せよ。条件は以下のとおりとする。

- (a) 会員から注文データが届くことによって受注処理が開始される。
- (b) 会員と商品が正しいかチェックを行う。
- (c) 在庫を調べて注文伝票を作成する。在庫がない場合は発注処理データが流れるがここでは発注処理は対象外とする。
- (d) 出荷処理時に在庫を更新する。
- (e) 出荷伝票を作成する。

【ER分析：問1】

社員情報を管理するためのER図を以下のような条件で記述しなさい。

- (a) A社は全国に支店をもっており、それぞれの店は、店コード、住所、代表電話番号で管理する。
- (b) 全ての従業員は、採用時に従業員番号が割り振られるほか、氏名・住所・緊急連絡先電話番号・採用年月日をもつ。
- (c) 従業員の採用形態は正社員・パートタイマー・アルバイトがある。
- (d) 従業員は役職として、代表取締役・取締役・本部長・店長・副店長・コーナーチーフなどをもつ（一般職には特に役職は設定しない）。
- (e) 従業員は本店支店に必ず配属され、その辞令公布日も管理の対象とする。

【ER分析：問2】

レンタカーのレンタル業務システムのデータベースについて、ER図を以下のような条件で記述しなさい。

- (a) 顧客が初めてレンタルを受けるとき、顧客登録を行う必要がある。
- (b) 顧客がレンタルを受けるとき、レンタル履歴を記録する。

- (c) 顧客が車を返却するとき、返却履歴を記録する。
- (d) 車には一台ずつに管理番号が割り当てられている。
- (e) 車の車種には、乗用車・ミニバン・トラックなどがある。

属性として次のようなものがあると考え。

{顧客番号, 顧客氏名, 顧客住所, 顧客電話番号, レンタル番号, レンタル日付, 返却予定日, 返却日付, 車管理番号, 車名, 車種番号, 車種名称}

【クラス分析設計:問1】

要素として Picture, 三角, 四角, 丸, Text があり, 全ての要素は Picture の中に入れ子状に存在することができる。この関係をクラス図で記述しなさい。

3. 2 被験者およびデータ計測環境

被験者は、日本工業大学情報工学科でソフトウェア分析設計手法、およびER分析手法を学習した3年、4年男子学生4名を対象とした。被験者の分析設計におけるモデリング能力を推し量る意味で、それぞれの被験者が作成したモデルの正しさを評価した成績と、実際の分析設計経験（情報工学総合実験におけるアプリケーション開発で実際に分析設計の経験をしたかの有無）から（式7）で定義した実務能力の評価状況を図7に示しておく。なお、モデルの正しさの成績評価は、教科の教員が評価した値を用いた。

$$\text{実務能力} = \text{成績} \times \text{分析経験の有無} \cdots (\text{式7})$$

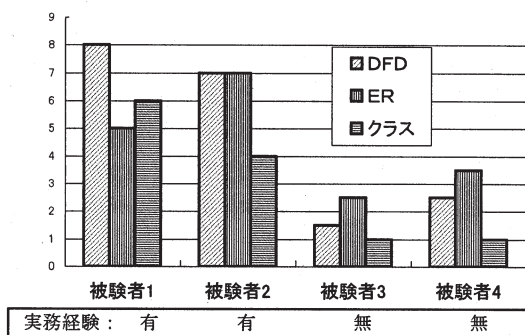


図7 被験者の一特性としての実務能力評価図

データ計測は筆者らのうちの2名（内藤，高沢）が必ず立ち会い，防音設備の整った部屋で被験者を隔離し行った。計測期間は，20日を費やした。

4. 分析結果

4. 1 分析手順

計測した酸化ヘモグロビンおよび脱酸化ヘモグロビンデータをもとに行った分析手順は，図8で示すとおりである。図8中の作業ごと・チャンネルごとの仕事量の計算，および作業ごとの総仕事量の計算方法については前章で述べたとおりである。

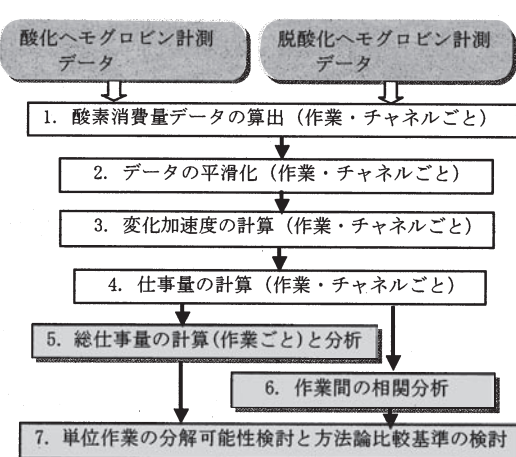


図8 分析作業の手順図

4. 2 仕事量の分析

分析手順にしたがって被験者ごとに算出した作業ごとの総仕事量を，図9～図12に示す。総仕事量から見て，各被験者の作業カテゴリ間にあきらかに個人差があることがわかる。

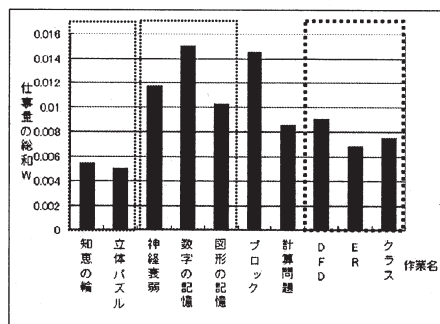


図9 被験者1の作業ごとの総仕事量

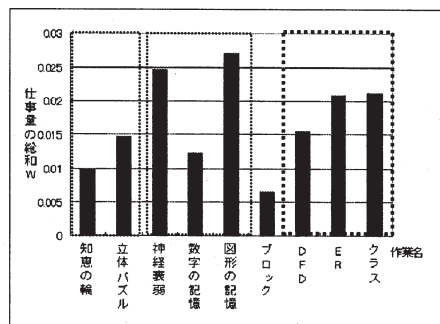


図10 被験者2の作業ごとの総仕事量

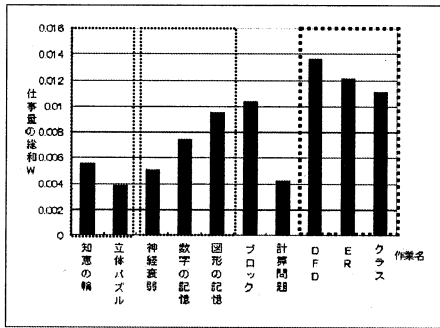


図 11 被験者 3 の作業ごとの総仕事量

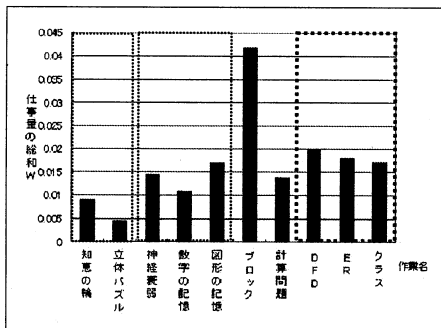


図 12 被験者 4 の作業ごとの総仕事量

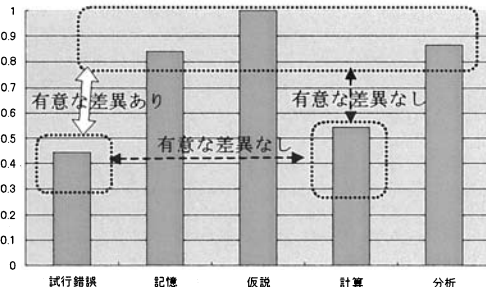


図 13 作業ごとの総仕事量総括図

作業カテゴリごとに各被験者の総仕事量を合計し、最大仕事量の仮説生成作業カテゴリを基準として正規化すると図 13 で示すとおりになる。「レゴブロック」作業が最も頭脳の仕事量が大きく、「知恵の輪」や「立俵パズル」のような試行錯誤作業は、頭脳の仕事量は少ない。

各作業カテゴリ間の総仕事量の差異を見るため、t 検定を行った結果、試行錯誤と記憶および分析作業の間で、危険率 1% で有意な差異があることが、また試行錯誤と仮説生成作業では危険率 5% で有意な差があることが判明した。なお、試行錯誤と仮説生成が図 13 では大きな差異があるように見えるが、これは仮説生成の作業種類がレゴブロックの 1 作業で

あるのに対して、記憶および分析は、それぞれ作業が 3 種類あり、計測データ数が異なることによる。

4. 3 単位頭脳労働との相関分析

ソフトウェア分析設計作業が、如何なる単位頭脳作業から構成されるかを確認する一つの方法として、単位頭脳作業と分析設計手法との間の相関分析がある。ただし、単位頭脳作業にもカテゴリごとに複数の作業があり、分析設計作業にも複数の設問がある。そのため、光トポグラフィ装置を用いたデータ計測は、同一被験者に対して、単位頭脳作業と分析設計手法の組み合わせを変えて、複数回、データ計測を行った。その結果を用いて、作業ごと、チャンネルごとの血流中の酸素消費量を算出し、(式 8) (式 9) にしたがって作業間でのピアソンの相関係数と有意性の検定を行った。ここで X_i 、 Y_i は作業 X と作業 Y のチャンネル i の仕事量であり、n は総チャンネル数 (=22)、 $\bar{X}$ と $\bar{Y}$ は作業 X、Y の全チャンネルの加算平均を表している。

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \dots (式 8)$$

$$t = \frac{|r| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad \dots (式 9)$$

単位頭脳作業と分析設計作業の組み合わせごとに多くの有意な相関 (有意水準 0.5% 以下) が認められた。そこで作業カテゴリ内の具体的な作業の組み合わせすべての相関関係を、有意な相関関係が出現する頻度によって、被験者ごとにまとめたものが、表 1 から表 4 である。以後これらを相関状況表と呼ぶ。

表中の○印がついた作業関係は、0.5% の危険率で有意な相関関係が認められる頻度が 75% 以上であったものを示し、△印は相関が認められたが、出現頻度が 75% 以下を示している。無印は相関が認められなかったことを示している。

表 1 被験者 1 の相関状況表

	知恵の輪	立俵パズル	神経衰弱	数字の記憶	図形の記憶	ブロック組立て	計算問題	DFD	ER	クラス
知恵の輪		○	○		△	○	△	○	○	○
立俵パズル	○				○	○	△	△	△	○
神経衰弱				△	○	○	○	○	○	○
数字の記憶			△		△					
図形の記憶	△	○	△			○	○	○	○	○
ブロック組立て	○	○			△		○	○	○	○
計算問題		○	○	○	○	○		○	○	○
DFD	△	△	○		○	△	○		○	○
ER	○	△	△		○	○	○	○		○
クラス	○	○	○		○	○	○	○	○	

表2 被験者2の相関状況表

	知恵の輪	立体パズル	神経衰弱	数字の記憶	図形の記憶	ブロック組立て	DFD	ER	クラス
知恵の輪	○	△	○	○	○	○	○	○	○
立体パズル	△	○	○	○	○	○	○	○	○
神経衰弱	○	○	○	○	○	○	○	○	○
数字の記憶	○	△	△	○	○	○	○	△	○
図形の記憶	○	○	○	○	○	○	○	△	○
ブロック組立て	○	○	○	○	○	○	○	○	○
DFD	○	○	○	○	○	○	○	△	○
ER	○	○	○	△	△	○	△	○	○
クラス	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表3 被験者3の相関状況表

	知恵の輪	立体パズル	神経衰弱	数字の記憶	図形の記憶	ブロック組立て	計算問題	DFD	ER	クラス
知恵の輪	○				△					
立体パズル		○				○		○	○	○
神経衰弱			○	△	△		△			
数字の記憶			△	△	△					
図形の記憶	△		△	△	△					
ブロック組立て		○				○				
計算問題			△				○			
DFD		○						○	○	
ER		○						○	○	
クラス		○						○	○	

表4 被験者4の相関状況表

	知恵の輪	立体パズル	神経衰弱	数字の記憶	図形の記憶	ブロック組立て	計算問題	DFD	ER	クラス
知恵の輪	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
立体パズル	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
神経衰弱	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
数字の記憶	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
図形の記憶	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
ブロック組立て	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
計算問題	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
DFD								○	○	○
ER	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○
クラス								○	○	○

5. 考察

前章で述べた分析結果から以下で述べる結論を導くことができる。

(1) 総仕事量

図13で示した作業ごとの総仕事量において、仮説生成作業(=レゴブロックの組立作業)が総仕事量で大きくなる事実は、前頭前野が仮説生成に重要な働きをするとの過去の研究と比較して妥当なものである。一方、記憶を活用する記憶作業は、主に海馬と側頭連合野にあることから、前頭前野における総仕事量は小さいことは妥当な結果であると言える。

分析作業の総仕事量は、記憶作業と仮説生成作業

の中間の総作業量を持ち、両者の作業を混合した作業と考えることができる。また、試行錯誤作業としての知恵の輪や立体パズルは、前頭前野の活性化には、さほど寄与していないことがわかる。いずれも内観から得られる頭脳の疲労度と大筋では合致しており、総仕事量の定義が妥当であったことを示している。

(2) 分析設計の正しさと総作業量の関係

図7で示した分析設計の実務能力と図9～図12で示した頭脳作業の総仕事量との相関を求めた結果、統計的に有意な相関関係を見出せなかった。すなわち、実務能力がある被験者が必ずしも頭脳の総仕事量が大きいとは限らないし、逆に総仕事量が大きい被験者が、実務能力があるとは限らない。

(3) 単位頭脳労働の仕事量と分析設計能力との相関

本研究の分析作業中に見いたした重要な知見の一つに「頭脳労働における個人差の大きさ」がある。実際、表1～表4で示したとおり、単位頭脳作業とデータフロー分析、ER分析、クラス分析設計の分析作業との相関状況表を見てみると、被験者によってその相関状況が大きく異なる。

実務能力を基準にすると4人の被験者は被験者1、被験者2のグループ(Aグループと呼ぶ)と被験者3、被験者4のグループ(Bグループ)の2つのグループに分類される。この2グループを比較すると、Aグループは単位頭脳作業との相関状況において、Bグループと著しい差異が生じる。たとえば、実務能力が最下位の被験者3は、分析設計作業とは、「立体パズル」作業と「ブロック組立て」作業の一部としか相関状況にない。しかし分析設計作業と「立体パズル」とが高い相関関係にある。すなわち、分析設計作業を立体パズルかのように考えていることがわかる。さらに次の特徴を読み取ることができる。

① DFDと単位頭脳労働候補との相関

実務能力のある被験者は、数字の記憶を分析設計作業では用いない。実務能力の高い被験者は、「立体パズル」とDFDとの相関が低い。

② ER図と単位頭脳労働候補との相関

どの被験者とも「ブロックの組み立て」とER分析とは相関がある。実務能力のある被験者は、試行錯誤的な単位頭脳労働「知恵の輪」とER分析とが相関があり、記憶を用いる単位作業(ここで、トランプ神経衰弱は位置と数字の記憶と捕らえる)と弱い相関状況にある。実務能力の低い被験者では、逆に試行錯誤的な単位頭脳労働「知恵の輪」とER分析との相関は低い。すなわち実務能力の低い被験者は、ER分析に関して、すべての単位頭脳労働を動員して分析を行っていると考えられる。

③ クラス図と単位頭脳労働候補との相関

実務経験のない被験者は、クラス分析設計に関して単位頭脳作業との相関はない。「立体パズル」のような試行錯誤的な感覚で捉えているものと考えられる。

(4) 単位作業への分解可能性

分析設計作業において、単位頭脳労働と相関が高いものと低いものが存在する。これはそれぞれの分析設計作業がすべての単位頭脳労働を駆使して行われるわけではなく、幾つかの単位頭脳労働のグループから構成されることの可能性を現象的に表しているものと考えられる。今回の計測データ収集では、どのような単位作業があるか事前の予想が困難であったため、十分な実験計画の立てることが出来なかったが、今後はこの点をさらに分析して、それぞれの分析設計作業が如何なる単位頭脳労働と関連するかを明らかにして行きたい。

将来的には、これらの分析によって、ソフトウェア分析設計能力を高めるための、訓練プログラム(たとえば、DFDの分析の能力を高めるには、レゴブロックによる訓練が効果的である等)に役立てることが期待できる。

(5) 頭脳労働から見た方法論の比較判断基準

実務能力の高低にかかわらず、被験者と分析設計方法論の相関を見てみると、仮説生成を要する「レゴブロック組み立て」作業と分析設計作業が高い相関状況にある。したがって、方法論の比較の基準は、いかに「仮説生成作業を容易にする思考手順になっているか」で判断できるとの仮説を立てることができる。この仮説の検証は今後の研究の課題である。

6. 類似研究

何らかの能力と血流量の関係を考察した類似研究として、大石晴美と木下徹の「英語学習におけるメタ認知ストラテジーの脳科学的効果」の研究¹⁾がある。大石らは、光トポグラフィを使用し、英語能力と脳内血流量との関係についての実験と考察を行っている。それぞれ、英語能力の異なる被験者 15 名を TOEFL の得点によって、初級学習者 5 名、中級学習者 5 名、上級学習者 5 名に分類し、リスニング問題を提示した後、内容理解度テストを実施した。その結果、図 14 に示すとおり、脳内血流量は、初級学習者から中級、上級学習者へと移行する段階で、初級から中級へと移行するころは増加していき、上級学習者になるにつれ、再度減少することを確認した。本研究においても、このような効果を配慮する必要がある。

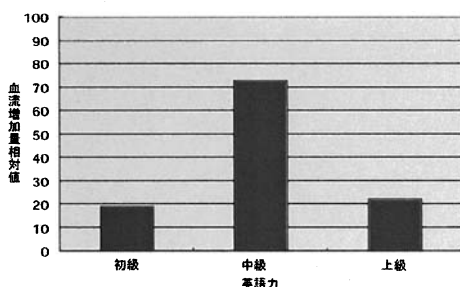


図 14 英語力と平均血流量増加量の関係

7. おわりに

本研究の一部は文部科学省大学院整備重点化特別経費の支援のもとに行われた。研究で使った光トポグラフィ装置は株式会社日立メディコより貸出を受けた。協力に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 大石晴美, 木下徹, “英語学習におけるメタ認知ストラテジーの脳科学的効果”, ことばの科学, 第 17 号, pp.273-285, 2004.
- 2) 大石晴美, “インプットからインテイクへの言語情報処理過程-言語の脳科学的視点より英語教育への応用-”, ことばの科学, 第 14 号, pp.321-340, 2001.
- 3) Floyd E. Bloom, “新・脳の探検 上・下 脳から「心」と「行動」をみる”, 中村克樹(監訳), 久保田競(監訳), 株式会社講談社, 東京, 2004.
- 4) 渥美義賢, 平沢秀人, 緒方茂樹, 山本隆正, 高橋和巳, 牧敦, 塩塚慎一, 山下優一, 井川真理子, 山本剛, 小川恵子, 小泉英明, “REM睡眠時脳機能の近赤外線分光法による計測”, MEDIX, vol.33, Sept 2000.
- 5) 森本兼義, 長我部信行, “光トポグラフィを用いてアルコール摂取後の脳活動の画像化に成功 アルコール代謝に関わる遺伝子型によって視覚刺激に対する脳血流量の変化に違い”, 大阪大学大学院医学系研究科, 株式会社日立製作所, July 2005.
- 6) 兒玉徹, 垣添直也, 壇一平太, 岡本雅子, 壇はるか, 神山かおる, 松波万理, 木幡知子, 金井二三子, 兵頭竹美, “味を覚えるにも大脳の前頭前野-他の感覚入力と共通の情報処理メカニズム-”, 独立行政法人食品総合研究所, 日本水産株式会社, March 2006.
- 7) 牧敦, 桂卓成, 川口英夫, “光トポグラフィとマイクロバスキュラーの接点”, TED Newsletter, No.45, pp.6-9, March 2005.
- 8) 渡辺英寿, 山下優一, 牧敦, 小泉英明, 川口文男, 真柳佳昭, “光トポグラフィの臨床応用”, MEDIX, vol.30, March 1999.
- 9) 江田英雄, “光による脳活動計測”, 関西先端研究センター特集, vol.50, no.3/4, 2004.
- 10) 大畑崇, 阿部由直, 三浦富智, 佐藤達資, “ラット実験腫瘍におけるインドシアニングリーンと近赤外光トポグラフィを用いた癌診断法の基礎的研究”, 日本医学放射線学会雑誌, 第 62 巻, 第 6 号, pp.284-286, 2002.
- 11) 船橋新太郎, “前頭葉の謎を解く”, 京都大学学術出版会, 京都, 2005.
- 12) 山下優一, 渡辺英寿, 川口文男, 牧敦, 小泉英明, “無侵襲脳機能画像計測システムとしての光トポグラフィ開発”, MEDIX, vol.29, August 1998.
- 13) 日立メディコ, <http://www.hitachi-medical.co.jp/>