

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540064

研究課題名（和文）実用性知能の脳内基盤に関する研究

研究課題名（英文）Brain mechanism of practical intelligence

研究代表者

熊田 孝恒（Kumada, Takatsune）

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：70221942

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、日常生活中で頻繁に行われる正解のない意思決定や行動の選択に関わる脳の機能（実用性知能）を、脳の一部の機能が損なわれた患者の協力を得て、明らかにすることを目的とした。まず、そのような機能を調べるための認知課題を考案し、また、日常生活における困難に関するチェックリストを作成した。結果、前頭葉の異なる部位が認知機能の異なる側面と関係しており、また、認知機能と日常生活上での困難の間にも関連が見られた。さらに、損傷後の回復過程を調べたところ、受傷後半年以降では、かなりの回復が見られるものの、半数の患者では、依然として認知機能低下や日常生活上での困難が残存することもわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated brain mechanism of practical intelligence, by participation of brain-damaged patients. The practical intelligence serves to solve open-ended problems, which we often encounter in our daily life. First, we developed experimental tasks and a checklist, which is related to difficulties in their daily life. The results showed that different brain regions involved in different cognitive functions, and these deficits in brain and cognitive functions linked to patients' difficulties in their daily life. Follow-up examination up to 12 months after their onsets of damage revealed that their initial deficits mostly recovered until 6 months, but there still remains decline of cognitive functions and difficulties of daily life.

研究分野：実験心理学

キーワード：認知機能 前頭葉 知能 実用性知能 脳損傷

## 1. 研究開始当初の背景

人間が進化の過程で獲得してきた知性（あるいは、知能）については、脳神経科学や心理学の研究が大幅に進んだ昨今であっても、まだ十分な解明がなされているとは言い難い。心理学や認知科学では、知能とは「知能テストで測られたもの」という操作的定義が主に用いられているが、「知能テストで測られた知能」だけでは人間の知的活動の能力を十分に説明できないことはこれまでも様々な議論されてきた。特に、知能検査で測られるいわゆる「アカデミックな」知能に対立する概念として実用性知識 (practical intelligence) という概念が考えられてきた (Sternberg & Hedlund, 2002)。

アカデミックな知能と実用性知識が乖離する最も顕著な例としては、WAIS (Wechsler adult intelligence scale) などの知能検査の成績は正常であるにもかかわらず、日常生活場面での簡単な問題解決（例えば、これから着る服を決めるなど）ができない前頭葉損傷患者の存在が報告されている (e.g., Eslinger & Damasio, 1985)。このような患者では、正解が決まっている (close-ended) 問題に対しては正解を導くことができるが、正解がない (open-ended) 問題や構造化されていない (ill-structured) 問題を解決することができないとされている。

我々の日常生活でも、ほとんどの意思決定は、正解がない状況で行わなくてはならない。このような日常生活における、健常者にとってはいたって「簡単な」問題の解決を可能とする実用性知能に関する脳・認知メカニズムについてはほとんど研究がなされてきていない。また、このような問題解決には「流動性知能」が関わっている可能性も指摘されている (Duncan et al., 1995)、十分な検証は行われていない。

## 2. 研究の目的

実用性知能の認知神経基盤を明らかにするとともに、流動性知能や基本的な認知機能との関係を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、脳損傷患者を対象とした認知神経心理学的研究、ならびに、脳画像に基づく神経科学的研究を行う。加えて、患者を担当した看護師や心理検査者からのインタビューなどを総合し、日常生活上に見られる高次の脳機能が関わるとされる患者の行動や訴えを総合することで、認知機能、脳機能と日常生活上での困難の関係を明らかにすることである。

## 4. 研究成果

### (1) ランダム反応生成課題の作成

実用性知能が反映される日常生活上の状況として、従来より、正解が1つに定まらない、いわゆる open-ended な場面が指摘され

てきた。本研究では、そのような open-ended な場面を実験課題として再現し、客観的な評価を可能とすることを目的として、ランダム反応生成課題を考案した。これは、前頭葉の機能を反映する課題として知られていた、乱数生成課題 (Baddeley, 1966) を、ランダムなキー押し課題に改変したものである。実験参加者には、自由なペース、および、音で指示された一定のペースで5つのキーのうちの1つを押すことが求められた。この際、規則的な押し方はせず、できるだけ「でたらめな順序」で押すように教示した。乱数生成課題ではワーキングメモリの影響が強いと考えられるが、ランダム反応生成では、意思決定の側面が課題成績に反映されることを想定した。

健常な大学生を対象として、キー押しの1次の遷移、2次の遷移を指標として、ランダムさの評価を行った。その結果、例えば、同じキーが3回連続で押される確率は全くランダムな場合には 1/25 であるが、実際には、それよりはるかに低い確率であることなどがわかった。そのほかに、自由なペースでのキー押しの場合には、キー押し間隔が変動し、特に、不定期に長い間隔が生じることがわかり、健常者であっても、迷い反応が生じることがわかった。特に、この迷い反応は、課題の後半に増える傾向があることから、注意力の維持と関連する可能性が示唆された。

### (2) 日常生活における課題解決困難チェックリストの作成

主として前頭葉を損傷した患者が日常生活で示す課題解決の困難さを、患者本人、家族、看護師、心理士などから聞き取りを行った。聞き取った内容は、以下の7つのカテゴリに分類できた (カッコ内は、例)。

- ・ 段取りの生成 (例: どのように物事に組み組んだらいいのかわからない)
- ・ タイムリーさ (例: 当意即妙な返事ができない)
- ・ 切り替え (例: 新しいことに対して、すぐに頭を切り替えることができない)
- ・ 保持 (例: 直前のことでも記憶が曖昧な時がある)
- ・ 抑制 (例: 関係ないことがしょっちゅう頭に浮かぶ)
- ・ 持続 (例: 飽きっぽい)
- ・ 疲労性とモチベーション (例: 疲れやすい)

これらは、これまで高機能機能障害、あるいは遂行機能障害の症状として知られているものともある程度、重複するが、一方で「易疲労性とモチベーション」や「タイムリーさ」などは、これまでは高次機能障害の研究の中ではあまり取り上げられてこなかったものである。

最終的に各カテゴリについて3項目ずつを選定し、計21項目からなる「日常生活に

おける課題解決困難チェックリスト」としてまとめた。なお、本チェックリストに関しては、本研究期間中に、内容の妥当性等を検証するのに十分なデータが得られなかったため、引き続き、データの収集をおこなう。最終的には、実用性知能の低下を簡易にスクリーニングできるものとして、公表する予定である。また、それぞれの項目のスコアと脳損傷部位の関係を解析する予定である。

### (3) 知能の一般因子(g)に基づく実用性知能のメカニズムの解明

これまでの研究から、前頭葉を損傷してもWAISなどに代表される言語性知能や非言語性知能は比較的正常であることが様々な研究によって報告されてきている(e.g., Warrington et al., 1986)。一方で、近年、流動性知能、あるいは知能の一般因子(g)と呼ばれる側面は、前頭葉損傷の影響を受けやすいことが明らかになってきている(Duncan et al., 1995)。また、脳機能計測手法を用いた研究では、流動性知能には、左右両半球の前頭葉と頭頂葉のネットワークの活動が関与していることや、これらネットワークは、性質の異なる複数の認知課題に、共通に活動することが知られている(Duncan, 2010)。流動性知能の測定にあたっては、既存の検査を用いる方法と、複数の認知課題を成績から、階層的因子分析により一般因子(g)を算出する方法がある。ここでは、後者の方法を用いた。

本研究では、脳腫瘍切除前後の患者に、8種類の認知課題を実施し、階層的因子分析により一般因子(g)を算出した。

研究分担者所属機関の倫理委員会の承認のもと、実験参加者に対して、口頭及び書面による適切な同意手続きの後に実験を実施した。

#### 右半球損傷患者

実験参加者は、右半球の主として前頭葉から島回領域を含む脳腫瘍を切除した患者 69名(男性 49名、女性 20名)であった。平均年齢は 42.0 歳(20-73 歳)、平均教育年数は、14.7 年であった。全員、聞き手は右利きで、術前の検査により、言語優位半球が左半球であることが確認されている。

**術前の一般因子得点の傾向：**術前(1ヶ月未満)の課題成績を階層的因子分析したところ、8つの課題のうち、長期記憶の側面を調べる遅延再生課題の成績のみが、一般因子への寄与率が低いことがわかった。残り7つの課題成績の一般因子への寄与率は 0.3-0.7 の間であった。

個人の一般因子得点を算出し、年齢との関係を計算したところ、相関係数が  $-.44$  という、比較的高い相関が得られた。年齢に伴って、流動性知能が低下することは、これまでの研究とも一致する(e.g., Li et al., 2004)。

一般因子得点を教育年数の相関を算出し

たところ、相関係数は  $.32$  となった。教育年数と一般因子が相関するが、中には、教育年数のわりに一般因子得点が低い患者が数名いることがわかった。特に、4年制大学の学部卒業の学歴であるにもかかわらず、一般因子得点が低い3名のうち、1名は術前から上肢の麻痺の傾向が見られるにもかかわらず、その病識が欠如していた。また、もう1名も抑制機能の低下が観察された。このように、これらの患者は、術前から一般因子に関わる脳機能が低下している可能性が示唆された。

**術後の経過について：**術後1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月の段階で、再度、同じ8つの課題を患者に実施した。ただし、患者から中断の意志が表示されたケース、あるいは、転院等で継続的な参加が難しくなったケース、さらには、スケジュールの都合等で、本実験に参加できなかったケースなどがあり、最終的に術前に加えて、1ヶ月、3ヶ月、および、6ヶ月または12ヶ月の少なくとも4つの時点で、同じ課題の結果が得られている患者は24名となった。この24名について、一般因子得点の時間的な経過を検討した。

まず、術前の得点を0として、全体の相対的な平均得点の推移を見ると、1ヶ月後では  $-0.18$ 、3ヶ月後では  $-0.46$  と低下し、6または12ヶ月後では  $0.47$  と大幅に回復していた(Figure 1)。この結果から、全般的には、術後の数ヶ月は術前に比べて一般因子に関わる脳の機能低下が見られるものの、術後半年以降では、術前以上の水準に回復することがわかった。言い換えると、術前には顕著な日常生活上の問題点などが見られないとしても、一般因子に関わる脳の機能低下がすでに現れている可能性が示された。

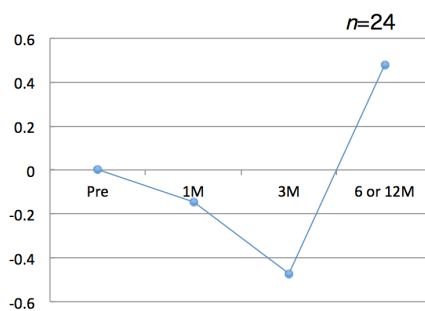


Figure 1. 一般因子得点の術前、および術後の変化

しかしながら、患者の個別の一般因子得点を術前と術後で比較すると、約半数の患者では、術前よりも機能が低下していることもわかった。つまり、比較的回復の著しい患者のデータに影響されて、平均値では回復しているように見えるが、約半数の患者では、むしろ、術後の機能低下が依然として残存していることが示された。

特に、機能の低下の程度が大きい患者では、

「入院中、部屋を間違えて、違うベッドで寝ていた」「退院後、新しい仕事の手順が覚えられない」「家の間取りが全くイメージできない」「病識がない」などの訴えが見られた。

**一次因子の分析：**階層的因子分析では、一般因子の下位因子を同定することができる。この研究では、3つの一次因子が得られた。これらは、各因子に大きく負荷する課題の性質から、「更新(update)」「移動(shift)」「抑制(inhibition)」と命名した。この3つの因子は、健常者を対象に、前頭葉の機能を反映すると考えられる課題を実施し、その結果を潜在構造分析した先行研究(Miyake et al., 2000)とも、ほぼ同様の結果であった。つまり、ここで選んだ課題が、ほぼ、前頭葉の機能をカバーする、妥当なものであったことを示している。それぞれの因子得点の術前、術後の推移は、一般因子得点の推移と類似していた。つまり、1ヶ月後、3ヶ月後で低下し、6または12ヶ月後には回復していた。

各因子のごとの時間経過ともなう得点の推移を詳細に見ると、「更新」因子が、術直後の低下率が最も小さく、半年後の回復率は最も大きかった。このことは、おそらく、この機能が術前から低下していることを示している。この因子は、おもにワーキングメモリにおける情報の保持と操作に関わる機能を反映していると考えられることから、

#### 左半球損傷患者

実験参加者は、右半球の主として前頭葉から島回領域、側頭葉、頭頂葉を含む脳腫瘍を切除した患者100名(男性61名、女性31名)であった。平均年齢は41.0歳(23-69歳)、平均教育年数は、14.5年であった。全員、聞き手は右利きで、術前の検査により、言語優位半球が左半球であることが確認されている。

**術前の一般因子得点と脳部位との関係：**右半球損傷患者の場合と同様に、術前(1ヶ月未満)の課題成績を階層的因子分析したところ、8つ全て課題成績が、一般因子に寄与した(寄与率は0.2-0.6)。個人の一般因子得点を算出し、年齢との関係を計算したところ、相関係数が-.07という、比較的低い相関が得られた。

左半球損傷患者においても、3つの一次因子が得られた。これらは、各因子に大きく負荷する課題の性質から、「更新(update)」「移動(shift)」「言語調節(verbal modulation)」と命名した。

**術前の一般因子得点に關与する脳損傷部位：**左半球損傷患者の一部について、脳損傷部位と一般因子の得点との関係を検討するため、VLSM(Voxel-based lesion symptom mapping)の手法を用いた。まず、ここでは、25名の各患者について、術前、術後のMRI画像をもとに、脳神経外科専門医が摘出脳部位を、解剖学的なランドマークに従って、標準脳のテンプレート上にトレースした。つづい

て、もう1名の専門医がトレースされた部位と、もとなったMRI画像を比較し、摘出部位の確認、修正を行った。最終的に、この2名の専門家によって合意された部位を、損傷部位とした。

まず、術前の一般因子得点を被説明変数として、VLSMを実施したところ、広範な側頭葉部位と前頭葉のごく一部(弁蓋部)の損傷が、一般因子得点の低下に統計的に有意に關与していることが明らかとなった(Figure 2)。このことは、術前の機能低下には、前頭葉はほとんど關与せず、側頭葉が強く關与することを示している。言い換えれば、側頭葉の脳腫瘍では、術前から顕著な症状が現れるのに対して、前頭葉の脳腫瘍の場合には、術前には顕著な課題成績の低下が見られないことを示していると言える。



Figure 2.  
術前の一般因子得点に關与する脳部位

**術前の一般因子得点並びに一次因子と脳部位との関係：**術後の一般因子得点には頭頂葉と前頭葉の内側が關与することが明らかとなった(Figure 3)。また、一次因子についても、得点と脳損傷部位との間に顕著な関係が見られた。まず、「言語調節」因子に関しては、島回の損傷との関係が明らかとなった。また「移動」因子は、前頭葉の内側面から極(pole)に広がる部位との関係が顕著であった。さらに、「維持」因子は頭頂葉付近との関係が示された。



Figure 3.  
術後の一般因子得点に關与する脳部位



これらの結果は、一般因子を支える脳神経基盤が、前頭葉から頭頂葉に広がっていることを示している。また、これらの部位は、健康者を対象とした脳機能計測研究で報告されている、流動性知能に関わる脳部位とも、ほぼ一致する。また、各一次因子に関わる脳部位に関しては、さらなる検討が必要ではあるが、現時点で、本研究のような系統的な解析を行った研究は存在しない。

#### (4) まとめと今後の課題

本研究では、複数の課題の結果を階層的因子分析によって解析し、一般因子や一次因子を抽出することで、これら知能の一般因子と脳機能の関係を明らかにした。特に、脳部位と認知機能との関係については、従来の研究では報告されていないような、機能的な乖離が見られた。また、これらの機能が術後半年程度の間に、かなり回復することも明らかになった。このような結果は、脳の可塑性の観点からも非常に興味深いものである。今後、脳画像のデータベースを拡充することで、より多数の患者データをまとめ、論文化する予定である。

一方、これらの機能が日常生活における困難さとどのような関係にあるかに関しては、定性的な検討にとどまっている。今後、チェックリストと脳損傷部位との関係の解析を進める予定である。また、本研究では、最長12カ月までしか分析できなかったが、引き続き、データの収集を進めており、今後、より長期の脳機能の変化や、生活への適応などの側面から、さらなる考察を進める予定である。

#### (5) 引用文献

- Baddeley, A. D. (1966). The capacity for generating information by randomization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18, 119–129.
- Duncan, J., Burgess, P., & Emslie, H. (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 33, 261–268.
- Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 172–179.
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation Patient EVR. *Neurology*, 35, 1731–1731.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes

across the life span. *Psychological Science*, 15, 155–163.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41, 49–100.
- Sternberg, R. J., & Hedlund, J. (2002). Practical Intelligence, g, and Work Psychology. *Human Performance*, 15, 143–160.

#### 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計0件)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

<http://www.genome.ist.i.kyoto-u.ac.jp/>

#### 6 . 研究組織

##### (1)研究代表者

熊田 孝恒 (KUMADA, Takatsune)  
京都大学・大学院情報学研究科・教授  
研究者番号： 70221942

##### (2)研究分担者

丸山 隆志 (MARUYAMA, Takashi)  
東京女子医科大学・医学部・講師  
研究者番号： 40301543

田村 学 (TAMURA, Manabu)  
東京女子医科大学・医学部・講師  
研究者番号： 80453174