

原 著

注意切替課題実施時の前頭前野領域における脳賦活に対して、 年齢・課題遂行・課題特性が及ぼす影響

—NIRS による検討—

山口 典子*, 大崎 聡美**, 二木 淑子*

The Activation in a Prefrontal Area at the Time of Alternating Tasks
Enforcement Related to the Age, Performance and Task
—A Study in the Used of Near-Infrared Spectroscopy—

Noriko YAMAGUCHI*, Satomi OSAKI** and Toshiko FUTAKI*

Abstract: This study examined using near-infrared spectroscopy (NIRS) imaging the activation of DorsoLateral PreFrontal Cortex (DLPFC) while accomplishing tasks requiring alternating attention. We used three tasks with different signal salience; Control Task, Visual Cue Task and Verbal Cue Task. The subjects were twenty-five healthy young age people (average age of 23.5 ± 3.00 , 16 female) and twenty healthy middle age people (average age of 53.6 ± 3.62 , 11 female) who were right handed. Also, they were labeled high-score subjects and low-score subjects according to the experimental task. The subjects sat on a comfortable chair, and were instructed to write answers with right hand while Counting or Hundred Square Calculations and to move left hand on the cue according to the order. Tasks were employed for NIRS measurement. Just after NIRS measurement, the subjective feeling of task strategies was assessed by the interview. The high-score subjects and young age people showed higher levels of DLPFC activity during Control Task than Verbal Cue Task. There was a difference in task strategies between young age and middle age people in Visual Cue Task. These results suggest that the activation pattern of DLPFC is affected by performance, age and signal salience, and that task strategies vary with age and signal salience.

Key words: Alternating attention, Strategy, Working memory, DLPFC, NIRS

はじめに

在宅高齢者において遂行機能低下は著しく日常生活活動能力を低下させる予後不良因子であり¹⁾、認知症の初期段階でその低下を認める場合もある²⁾。遂行機能とは「目的をもった一連の活動を有効に行うために必要な機能」と定義され³⁾、障害されると決断を下すことや行動を開始したり組み立てたりすることができなくなる⁴⁾。社会的に遂行機能低下に対するリハビリテーションニーズは高い。認知症に対する認知リハビリテーションでは、脳活性化パラダイムによる学習療法が提案されており、これは認知症患者の前頭前野を

活性化しその機能を向上させることでさまざまな能力の向上を期待しているものである⁵⁾。これらの介入効果を検証する必要がある。

今回は基礎的研究として、健康者を対象に近赤外線スペクトロスコピー（以下 NIRS）を用いて遂行機能に関連する前頭前野背外側（以下 DLPFC）を賦活させやすい課題特性を明らかにすることとした。

ワーキングメモリは遂行機能に不可欠である⁶⁾。また、目標に向かって一時的に必要な情報を保持しながら同時に情報を処理するワーキングメモリは、注意の切替を要する状況では重要な働きをするため脳賦活が引き起こされやすいと考えた。予備研究から年齢、神経心理学的検査成績および課題遂行時の方略の影響による多様な脳賦活パターンが予測された。本研究では注意切替課題を用いて、注意切替の手がかり（以下 Cue）の異なる課題における Cue 条件による DLPFC の賦活状態について検証し、課題方略の利用と脳賦活への影響についても探索的検討を加えた。また、DLPFC の賦活は加齢によるワーキングメモリの脆弱

* 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻
〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町53
Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University

** 訪問看護ステーションユニネット・まちかど
〒601-8437 京都市南区西九条比永城町11番-5
Visiting Care Station Uninet Machikado

受理日 2011年11月11日

受稿日 2012年2月1日

表1 対象者概要

	全体 (n=45) 平均 (SD)	若年群 (n=25) 平均 (SD)	中年群 (n=20) 平均 (SD)	p 値	高成績群 (n=21) 平均 (SD)	低成績群 (n=24) 平均 (SD)	p 値
性 別	男性/女性 18/27	9/16	9/11	—	6/15	12/12	—
年 齢	36.8 (15.46)	23.5 (3.00)	53.6 (3.62)	*	32.2 (13.61)	40.9 (16.11)	ns
教育歴	15.7 (1.97)	16.1 (1.96)	15.3 (1.92)	ns	16.6 (1.80)	15.0 (1.81)	*
MMSE	29.4 (0.86)	29.6 (0.81)	29.1 (0.83)	*	29.5 (0.68)	29.3 (0.99)	ns
FAB	16.7 (1.38)	17.1 (0.83)	16.2 (1.74)	*	17.1 (1.24)	16.4 (1.44)	ns
TMT	11.4 (16.19)	6.4 (10.82)	17.6(19.64)	*	10.6 (15.37)	12.1 (17.17)	ns

*: $p < 0.05$ (T検定), 若年群: 20~35歳, 中年群: 48歳~60歳. 高成績群: コントロール課題の正答数100個以上, 低成績群: コントロール課題の正答数100個未満

化や遂行成績による差に影響される⁷⁾。このため年齢と課題成績による群比較を行うこととした。

方 法

1. 対象者

参加の同意が得られた, 地域生活をしている健常者45名で, 全例右利き (Edinburgh⁸⁾ の評価による) の者を対象者とした。平均年齢は36.8 (SD=15.46) 歳, 性別は男性18名, 女性27名であった。脳血管障害の既往歴や自覚症状, その他の中枢神経学的症状が認められない者で, 日常生活および家事動作などが単独で実施可能である者とした。除外基準は本研究の評価や課題が実施困難な運動・視力障害を持つ者, 認知機能低下 (MMSE でカットオフ値26点以下) が認められる者とした。神経心理学的検査として, MMSE, FAB, TMT を実施した。また, TMT の指標には TMT PartB-PartA を用いた。対象者概要は表1に示した。

2. 測定姿勢・環境設定

NIRS 測定時の姿勢は, 足底接地での椅子座位とした (図1)。測定に際して上半身, 頭部の体動抑制するため, 机上に設置された書見台で筆記作業を実施す

るとともに, 左手は机上の所定の位置に置かせた。加えて, 検査中の体動 (検査課題に必要な運動は除く) や発声を制約する口頭指示を与えた。安静時は両手を肘掛けにかけて机上に楽に置かせた。

3. NIRS 測定方法

脳賦活状況は NIRS で測定する脳内血行動態変化を用いた。NIRS には島津製作所光脳機能イメージング装置 FOIRE-3000を用いた。プローブは脳波計測時に用いられる国際10-20法における [Fpz] を基準として最下列の中心チャンネルを合わせ, 最下列を [Fp1]-[Fp2] ラインに平行に配置した。プローブ間は 3 cm 間隔であり, 縦 3 列×横 6 列の合計18プローブ, 27チャンネルを設置した (図1)。

予備研究で課題実施時にDLPFC領域で脳内血行動態変化に特徴的な反応がみられたことより, DLPFC 領域の中で標的とする部位は, 遂行機能の関与が考えられているブロードマン46野とした。Okamoto ら⁹⁾の研究からブロードマン46野に最も近接するとされている F3~F5 部 (左 DLPFC 領域) と F4~F6 部 (右 DLPFC 領域) を解析候補にした。また, 各領域には類似する波形を示す隣接するチャンネルがあるため, この中のチャンネル間の比較においてアーチファクト

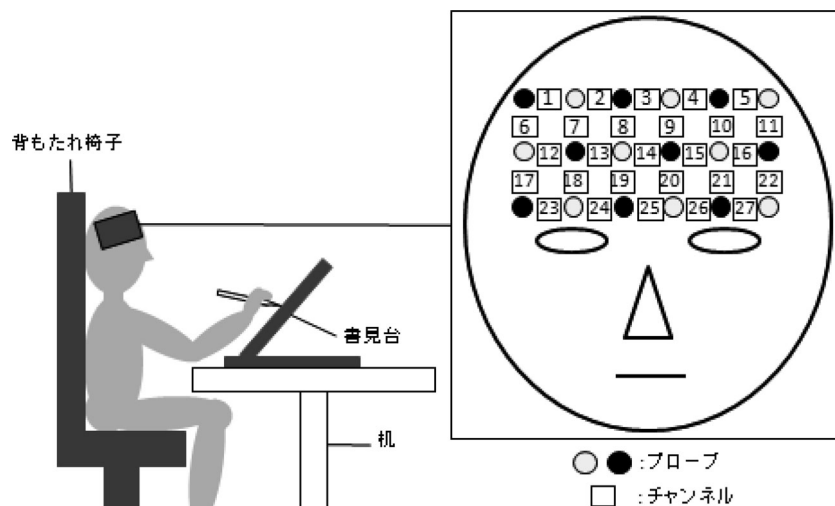


図1 測定姿勢・環境設定

	右手課題	左手課題
	筆記課題	Cue
コントロール課題	数字記入	記入枠が太枠（視覚Cue）のとき □ : Cue
視覚Cue課題	百ます計算	記入枠が太枠（視覚Cue）のとき □ : Cue
言語Cue課題	百ます計算	回答の奇数と偶数の転換（言語Cue）のとき ⇒ : Cue

筆記課題: 縦10×横10のます目の用紙に左上端から順に記入。
 ・数字記入: 数字を順に0から9を1行に記入。
 ・百ます計算: ますの左と上にそれぞれ0から9の数字がランダムに並んであり、それぞれ交差するところに足し算の答えを記入。
 Cue: 左手指構成パターンの切り替えのタイミングを示す。

図2 検査課題

の少ないチャンネルを解析対象チャンネルとした。本研究のプロブの配置から外側の5つのチャンネル（右側は6/12/17/18/23チャンネル，左側は11/16/21/22/27チャンネル）の中から視認して選択した（図1）。なお，同一被験者において選択されたチャンネルは異なる課題時でも同様にした。標的部位は頭の大きさや形状から被験者ごとに異なり頭表から決定することは困難であるとともに，NIRSは空間分解能が低いという欠点がある。しかし，我々の所有するNIRSは全脳を観察することは困難なため標的部位を絞る必要があり，本研究では上記の方法でDLPFC領域の解析候補チャンネルを選ぶこととした。

4. 検査課題

コントロール課題，視覚Cueによる注意切替課題（視覚Cue課題）と言語Cueによる注意切替課題（言語Cue課題）を用いた（図2）。課題内容は数字記入あるいは百ます計算の筆記課題をしながら，各課題のCueに従って左手の手指構成パターン（じゃんけんの「グー」，「チョキ」，「パー」）を，開始時「グー」として，順に「チョキ」，「パー」と切り替えるというものであった。コントロール課題は数字記入，視覚Cue課題と言語Cue課題は百ます計算を実施し，コントロール課題と視覚Cue課題では太枠に記入するときに，言語Cue課題では回答が奇数から偶数あるいは偶数から奇数に転換するときに，左手指構成パターンを切り替えさせた。課題設定において運動課題が異なると脳血流量も変化する可能性があるため，課題の運動要素を一定になるように左手の切り替え回数を予備研究で確認した。本番前に全被験者同様のリハーサルを行い，被験者が課題を理解していることを確認した。

課題の実施順序はコントロール課題，視覚Cue課

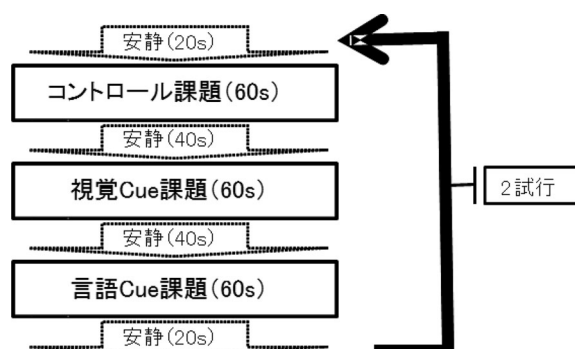


図3 課題手順

題，言語Cue課題で，各課題2回ずつ行われた。安静20秒－課題実施60秒－安静20秒を1ブロックとし，合計6ブロックの連続のNIRS測定を実施した（図3）。安静時は目の前にある白い紙を何も考えずに漠然と見つめるように指示した。安静時の時間設定においてNIRS測定における賦活したデータが安静時レベルに戻るまでの時間を予備研究で確認した。

5. 測定項目

1) NIRS測定項目

脳賦活指標は酸素化ヘモグロビン（以下oxyHb）を用いて，課題実施期間内のoxyHb平均値（以下oxyHb変化量）を指標とした。oxyHb変化量は脳賦活反応性を示すと解釈される。

採取した血行動態データは各課題開始時の数値データが「0」となるように修正した。また，血行データのサンプリングは260ms間隔にした。

2) 検査課題測定項目

筆記課題の正しく回答した個数を正答数，正答数を回答数で除し100倍したものを正答率とした。課題成績として正答数と正答率を用いた。

表2 方略スコア

1. 方略について何も考えられなかった
2. 方略を模索していた（方略を考えたが、方略が思いつかなかったり、決定できなかつたり、実行できなかつたりした）
3. 方略を検討し変更した（課題の途中で用いた方略に変更がみられた）
4. 方略が不適応であった（用いた方略をうまく利用できなかった発言がみられた）
5. 方略を持って取り組んだ
6. 方略が適応的であった（用いた方略をうまく利用できた発言がみられた）

表3 課題成績

	全体 (n=45) 平均 (SD)	若年群 (n=25) 平均 (SD)	中年群 (n=20) 平均 (SD)	高成績群 (n=21) 平均 (SD)	低成績群 (n=24) 平均 (SD)
正答数					
コントロール課題	95.5 (17.05)	102.2 (14.79)	87.2 (16.24)	110.8 (8.39)	82.2 (9.89)
視覚 Cue 課題	39.8 (9.01)	44.4 (8.75)	34.1 (5.44)	44.5 (8.09)	35.8 (7.82)
言語 Cue 課題	34.3 (7.54)	37.1 (8.09)	30.9 (5.19)	38.1 (7.15)	31.0 (6.30)
正答率					
コントロール課題	99.99 (0.08)	100	99.97 (0.13)	100	99.98 (0.11)
視覚 Cue 課題	98.16 (2.77)	98.91 (1.37)	97.22 (3.71)	98.19 (2.29)	99.13 (3.18)
言語 Cue 課題	99.16 (1.31)	99.36 (0.98)	98.90 (1.62)	99.17 (1.11)	99.14 (1.48)

6. 検査課題に対する内観調査

面接にて主観的評価 (Visual Analog Scale; VAS) と方略に関する内観を実験終了直後に測定・聴取した。

1) VAS

各課題の VAS をアンケート用紙にて測定した。項目は4つで、「意味（どれくらい頭を働かすのに意味があったか）」、「満足（どれくらいの出来であったか）」、「難易度（どれくらい難しかったか）」、「努力（どれくらい努力して取り組んだか）」についてそれらの程度を測定した。「意味」の項目では「課題が頭を働かすのに全く意味がなかった」を0、その対極を10とした。同様に、「満足」は「課題が全く出来なかった」を0、「難易度」は「課題が全く難しくなかった」を0、「努力」は「課題に全く努力せずに取り組んだ」を0とし、それらの対極を10とした。

2) 方略

各課題の方略について、どのような方法で課題に取り組んだか聴取した。質問内容は、正確性と速度を向上させるために自ら考えた戦略、課題の難しかった点に対する工夫であった。その聴取内容から、「課題遂行において方略を適応的に使えたか」という方略に関する内観を6つに段階分けし得点をつけ、方略スコアとした（表2）。

7. 統計学的手法

脳賦活反応性と年齢、神経心理学的検査、VAS、方略スコアとの関連性については Pearson 相関分析を用いた。群比較は年齢と課題成績の2つの観点から T 検定を実施した。課題間比較は反復測定分散分析または反復測定混合モデルからなる分散分析の後に、対応のある T 検定に Holm 法を用いて実施した。有意水準は $p < 0.05$ とした (SPSS ver. 19)。

結 果

1. 課題成績（表3）

正答数と正答率ともに全体において、課題間に有意差がみられた ($p < 0.001$)。正答数ではコントロール課題、視覚 Cue 課題、言語 Cue 課題の順に多く、正答率ではコントロール課題、言語 Cue 課題、視覚 Cue 課題の順に高かった。

2. 年齢別群比較（若年群と中年群における群比較）

1) 脳賦活反応性（表4）

右 DLPFC の脳賦活反応性では課題の主効果があった ($p = 0.007$)。年齢群分けの主効果および交互作用はなかった ($p > 0.05$)。左 DLPFC においては課題の主効果があった ($p = 0.049$)。年齢群分けの主効果および交互作用はなかった ($p > 0.05$)。多重比較の結果、若年群の右 DLPFC でコントロール課題の方が言語 Cue 課題より脳賦活反応性は高かった（図4-1）。

脳賦活反応性と方略スコアの関係においては、全ての課題で若年群と中年群ともに方略スコアと脳賦活反応性に有意な相関関係はみられなかった。

2) 方略スコア（表5）

方略スコアの群間比較において、方略スコアは視覚 Cue 課題で中年群の方が若年群より低かった。

3. 成績別群比較（高成績群と低成績群における群比較）

1) 脳賦活反応性（表4）

右 DLPFC の脳賦活反応性では課題の主効果があった ($p = 0.005$)。成績群分けの主効果および交互作用はなかった ($p > 0.05$)。左 DLPFC においては課題の主効果があった ($p = 0.046$)。成績群分けの主効果および交互作用はなかった ($p > 0.05$)。多重比較の結果

山口, 他: 注意切替課題実施時の前頭前野領域における脳賦活に対して, 年齢・課題遂行・課題特性が及ぼす影響

表 4 脳賦活反応性

		全体 (n=45) 平均 (SD)	若年群 (n=25) 平均 (SD)	中年群 (n=20) 平均 (SD)	高好成績群 (n=21) 平均 (SD)	低成績群 (n=24) 平均 (SD)
右 DLPFC	コントロール課題	17.39 (16.66)	17.23 (14.77)	17.58 (19.17)	20.43 (16.50)	14.73 (16.69)
	視覚 Cue 課題	15.71 (15.55)	17.70 (18.24)	13.22 (11.30)	18.15 (18.25)	13.58 (12.76)
	言語 Cue 課題	10.84 (10.13)	10.69 (9.74)	11.04 (10.84)	11.44 (10.07)	10.32 (10.37)
左 DLPFC	コントロール課題	15.39 (16.15)	14.49 (12.73)	16.52 (19.93)	19.42 (13.87)	11.87 (17.44)
	視覚 Cue 課題	12.44 (11.49)	13.41 (12.18)	11.23 (10.75)	15.31 (13.01)	9.93 (9.55)
	言語 Cue 課題	10.18 (11.26)	9.97 (9.57)	10.45 (13.34)	11.62 (12.43)	8.93 (10.23)

単位: mmol/mm³ · 10³

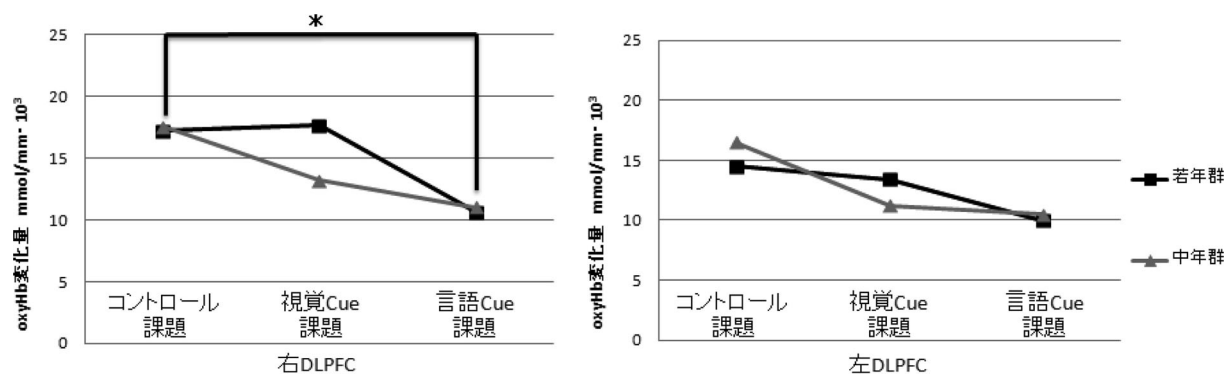


図 4-1 年齢群

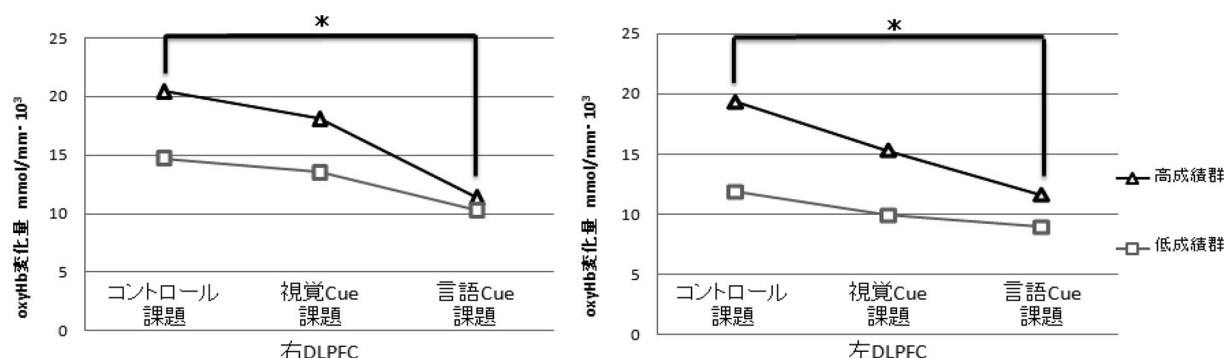


図 4-2 成績群

図 4 DLPFC の脳賦活反応性

*; ①-③: $p < 0.05/3$, ②-③: $p > 0.05/2$, ①-②: $p > 0.05$ (Holm 法を用いたその後の検定)
①コントロール課題, ②視覚 Cue 課題, ③言語 Cue 課題

果, 高成績群の左右 DLPFC でコントロール課題の方が言語 Cue 課題より脳賦活反応性は高かった (図 4-2)。

脳賦活反応性と方略スコアの関係においては, 全ての課題で高成績群と低成績群ともに方略スコアと脳賦活反応性に有意な相関関係はみられなかった。

2) 方略スコア (表 5)

方略スコアの群間比較において, 全ての課題で方略スコアに高成績群と低成績群の間に有意差はなかった。

4. 全体における脳賦活反応性と基本属性との関係

TMT の成績と視覚 Cue 課題の脳賦活反応性, FAB の成績と言語 Cue 課題の脳賦活反応性に有意な相関関係がみられた。TMT において低成績ほど, 視覚

表 5 課題の方略スコア

	全体 (n=45) 平均 (SD)	若年群 (n=25) 平均 (SD)	中年群 (n=20) 平均 (SD)	p 値	高好成績群 (n=21) 平均 (SD)	低成績群 (n=24) 平均 (SD)	p 値
コントロール課題	5.04 (0.86)	4.88 (0.88)	5.25 (0.81)	ns	4.9 (0.94)	5.0 (1.00)	ns
視覚 Cue 課題	3.51 (1.25)	3.88 (1.05)	3.05 (1.36)	*	4.0 (1.00)	3.4 (1.83)	ns
言語 Cue 課題	4.31 (1.41)	4.36 (1.32)	4.25 (1.57)	ns	4.3 (1.32)	4.5 (1.41)	ns

*; $p < 0.05$ (T 検定)

Cue 課題での左 DLPFC の脳賦活反応性が高かった ($r=0.339$)。FAB において低成績ほど、言語 Cue 課題での左 DLPFC の脳賦活反応性が高かった ($r=-0.420$)。

5. 全体における脳賦活反応性と VAS との関係

脳賦活反応性と有意な相関関係がみられたのは、「意味」と「満足」の項目であった。「意味」の VAS 値が高いほど、コントロール課題では左 DLPFC、言語 Cue 課題では右 DLPFC の脳賦活反応性が高かった (コントロール課題: $r=0.296$, 言語 Cue 課題: $r=0.308$)。「満足」の VAS 値が低いほど、コントロール課題と視覚 Cue 課題では左 DLPFC の脳賦活反応性が高かった (コントロール課題: $r=-0.334$, 視覚 Cue 課題: $r=-0.307$)。全ての課題で一貫した相関の項目はみられなかった。

考 察

1. 脳賦活反応性に対する年齢と成績の影響

脳賦活反応性において課題による違いはコントロール課題と言語 Cue 課題との間でみられ、コントロール課題は言語 Cue 課題より高い脳賦活反応性を示した。本研究のこれら 2 つの課題特性について考察する。Rueter-Lornenz ら¹⁰⁾は、年齢による脳賦活の違いを神経資源 (; neural resources) に基づいて考える、Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis (; CRUNCH) を提唱している。これによれば、目的に向けた計画において低負荷の課題であれば神経資源を利用して処理ができ負荷が上がるにつれて脳賦活がみられるが、高負荷の課題で神経資源の容量を超えると遂行能力が低下し脳賦活も低下するといわれている。本研究の 2 つの課題特性は、コントロール課題は計算の処理過程が含まれず数字記入が同様のパターンで反復される工程から成る低負荷課題であり、言語 Cue 課題は計算課題と左手指構成パターンの切り替えの判断という複数の情報処理過程が含まれる高負荷課題である。コントロール課題は神経資源の容量内で処理される課題であるため遂行機能が活性化し、高負荷である言語 Cue 課題は神経資源の容量を超え遂行機能の活性化が低下したと推定できる。これらによって、コントロール課題の方が言語 Cue 課題より DLPFC の脳賦活反応性が高かった説明が可能となる。

このような脳賦活反応性における課題間の違いがみられたのは、若年群では右 DLPFC、高成績群では左右 DLPFC においてであった。その理由について各群特性から考察する。

まず、若年群について述べる。CRUNCH において、若年者は加齢の影響のある者より神経資源の少量の利用で課題遂行が可能であるといわれている。本

研究の若年群は十分な神経資源の容量を持っており、コントロール課題遂行中に DLPFC が賦活しやすかったと考えられる。Helton らは、視覚的妨害のある画面上に出現する標的刺激に反応する課題遂行中の前頭葉を NIRS 測定し、難易度によって脳賦活の左右優位性に違いがあったと述べている¹¹⁾。持続的注意を要する課題において難易度が低い場合は右側優位に賦活することが示されている。コントロール課題は他の課題に比べ数字記入の反復の工程が多く、比較的単純で注意の持続性が反映される点で Helton らの実験課題と類似していたと考えれば、右側優位に賦活したと推察される。この課題特性が若年群の脳賦活化に反映されて右 DLPFC ではコントロール課題と言語 Cue 課題の脳賦活反応性の間に違いがみられたと考える。それに対して、中年群は課題間に脳賦活反応性に明確な違いがみられなかったが、中年群は個々に加齢の影響を受けており神経資源の容量と脳賦活化に多様性がみられたためと考察する。

次に、高成績群について述べる。Osaka らは、リーディングスパンテスト (以下 RST) のスコアにより高得点群と低得点群に分けたうえで両群の被験者を対象に、RST を用いて MRI 研究を行った¹²⁾。高得点群は低得点群よりも前部帯状回皮質 (以下 ACC) と DLPFC の活動増強が顕著で、2 つの領域間における相関が高かったことが示されている。さらに菅阪は、スパンタスクにおける注意制御機能は DLPFC や ACC を中心として制御されており、両領域の相互のネットワークがスムーズなワーキングメモリの働きを引き出し、課題遂行を高めると述べている¹³⁾。つまり、ワーキングメモリ容量を評価する RST で高得点を示す者は DLPFC が賦活しやすい傾向にあると理解できる。これは、本研究の高成績群がコントロール課題遂行中に DLPFC が賦活しやすかったことを裏付ける。Helton は、難易度が高い課題において課題負荷軽減のために、脳機能は課題処理を左右半球に分配し課題遂行を向上させると述べている¹¹⁾。本研究の高成績群の中には中年群も含まれており、神経資源が不十分でコントロール課題を難易度が高い課題として、脳機能が両側性に課題処理し課題遂行の向上を図った者がみられた可能性がある。この課題処理特性が高成績群の脳賦活化に反映され、左右 DLPFC でコントロール課題が言語 Cue 課題より高い脳賦活反応性を示したと推察する。一方、低成績群は DLPFC が賦活しにくい傾向があるため、コントロール課題において低い脳賦活反応性であった者も含まれており、低成績群では課題間の脳賦活反応性に明確な違いがみられなかったと考察する。

脳賦活反応性のデータはばらつきが大きく、データ数が変わることで結果の傾向が変動する可能性がある

り，一つの結論に絞り込むことには限界がある。今後，データ数を増やしてさらなる検討が必要であると考える。

2. 方略に対する年齢の影響

McCarthy らは，方略とは個人が直面している問題にとって適切な行為を作りだせることと説明している¹⁴⁾。本研究の方略スコアは適切な方略を考案し，課題遂行にうまく活用できたかについて方略に関するメタ認知の点から評価していると解釈できる。

方略スコアの結果に成績による違いはみられず，年齢による違いがみられたのは視覚 Cue 課題のみであった。その視覚 Cue 課題では，若年群の方が中年群より方略をうまく活用していたことが確認された。

原田らは，Lモード電話機の課題実施中の行動について年齢別に比較した¹⁵⁾。中高年者では意味的な関連性が示唆されるキートップ名がついたハードキーが何度も押されることが観察され，中高年者は見えやすいものや直接手に触れられるものといった知覚的顕在性の高い刺激に対して反応傾向が強いことが示されている。視覚 Cue 課題では，太枠が知覚的顕在性の高い刺激となり中年群では太枠に注意が引き寄せられやすかった者が多かったため，計画手順の調整や監督することが難しく方略が活用できなかったと推察される。

方略と脳賦活反応性には明確な相関関係はみられなかった。本研究では，課題の実施時間が短く考案した方略がワーキングメモリの働きに反映されるのに不十分であったことが理由に考えられる。今回の方略スコアは方略に対するメタ認知の軸に基づく限定的な尺度であったが，方略に関する内観は多面的であると考えられる。今後の課題として方略と脳賦活反応性との関係を調査するためには，方略の評価方法を検討し方略のより詳細な分析が必要であると考えられる。

3. 脳賦活反応性と基本属性の関係からみた課題の特性

TMT で低成績を示す認知特性の者は視覚 Cue 課題で，FAB で低成績を示す認知特性の者は言語 Cue 課題で左 DLPFC における脳賦活反応性が高かった。TMT と FAB の低成績者はそれぞれ TMT と FAB に必要な神経資源の容量が少なく，それらに対する課題負荷が高く脳賦活反応性が高くなることが推測される。TMT と視覚 Cue 課題，FAB と言語 Cue 課題の課題処理過程が類似しており，同様の脳処理の神経資源を利用し，TMT の低成績者は視覚 Cue 課題で脳賦活反応性が高く，FAB の低成績者は言語 Cue 課題で脳賦活反応性が高かったと推察する。

TMT は数字や文字の形を素早く認識し連続的な数字や文字を確認していく視覚探索の能力が求められており，PartAでは注意の選択性，PartB では転換性と

配分性を反映する¹⁶⁾。視覚 Cue 課題は計算のために縦列と横列の数字を認識するとともに，太枠と数字の視覚情報に注意を選択，転換，配分することが必要であるため，TMT と同様の方略が用いられていたことが考えられる。また，数字や文字の認識は左側の脳機能を反映していることが示唆されており¹⁶⁾，本研究で左 DLPFC 賦活反応性と関連があったことと一致していた。

FAB は DLPFC の脳機能を評価するものであり，前頭葉機能障害の検査に有用とされている¹⁷⁾。これより，言語 Cue 課題は前頭葉機能を必要とする課題であったと考察できる。前頭葉はほとんどすべての脳領域との線維連絡を有しており，前頭葉の損傷による症状は，個々の機能領域に特異的なものではない¹⁸⁾。言語 Cue 課題は計算結果をもとに左手指構成パターンの切り替えを自ら判断する工程が含まれ，より統合的な認知機能を要する課題であったと推察する。また，言語記憶は左側に機能局在しているといわれている¹⁹⁾。言語 Cue 課題は計算結果を「奇数」「偶数」という言語情報に置き換える操作が含まれるため，言語性ワーキングメモリに対する負荷が高く，左 DLPFC 賦活反応性と関連がみられたと推察する。

ま と め

本研究では，健常若年者と中年者における課題特性と脳賦活への影響について考察した。脳賦活反応性に対する年齢と成績の影響から，神経資源の容量内の課題負荷を設定することが DLPFC の賦活につながることを示唆された。加齢の影響や課題遂行低下がみられる者に対して，自動化しやすい単純な課題を組み合わせた同時処理が脳賦活化には有効であると推察する。課題特性から，TMT と FAB の成績によって課題負荷が異なることが示唆された。両検査成績を考慮して課題設定することが DLPFC 賦活には有用であると考察する。

お わ り に

脳賦活反応性のデータはばらつきが大きいとともに複数の要因が影響するため，今回のサンプルサイズはより詳細な分析を行うには不十分であった。したがって，データ数を増やし，脳賦活反応性と課題や方略との関係について分析することは今後の課題である。また，加齢の影響がある高齢者を対象にし，認知リハビリテーション課題としての効果についてさらなる検討が必要と考える。

謝 辞

本研究を行うために被験者となって頂いた方々に厚く感謝致します。多くの方々のご支援があり本研究を

行うことができました。ここにその感謝の意を記します。

文 献

- 1) Johnson JK, Lui LY, Yaffe K: Executive function, more than global cognition, predicts functional decline and mortality in elderly women. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 2007; 62: 1134-1141
- 2) 朝田 隆: 軽度認知障害 (MCI) の概念. 老年精神医学雑誌, 2009; 20: 251-257
- 3) Lezak MD: The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 1982; 17: 281-297
- 4) Fuster JM: ヒトの神経心理学. 前頭前皮質—前頭葉の解剖学, 生理学, 神経心理学. 第3版 (福居顯二訳). 東京: 新興医学出版, 2006; 188-233
- 5) 松田 修: 認知リハビリテーション. 老年精神医学雑誌, 2006; 17: 736-741
- 6) 種村 純: 「遂行機能障害」と「ワーキングメモリー障害」との関連を教えてください. *Modern Physician*, 2010; 30: 129-132
- 7) Smith EE, Geva A, Jonides J, et al: The neural basis of task-switching in working memory: effects of performance and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001; 98: 2095-2100
- 8) Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 1971; 9: 97-113
- 9) Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, et al: Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, 2004; 21: 99-111
- 10) Reuter-Lorenz PA, Cappell KA: Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 2008; 17: 177-182
- 11) Helton WS, Warm JS, Tripp LD, et al: Cerebral lateralization of vigilance: a function of task difficulty. *Neuropsychologia*, 2010; 48: 1683-1688
- 12) Osaka N, Osaka M, Kondo H, et al: The neural basis of executive function in working memory: an fMRI study based on individual differences. *NeuroImage*, 2004; 21: 623-631
- 13) 苅阪満里子: ワーキングメモリ (2). 臨床脳波, 2006; 48: 746-751
- 14) McCarthy RA, Warrington EK: 問題解決. 認知神経心理学 (相馬芳明, 本田仁視訳). 東京: 医学書院, 1996; 295-314
- 15) 原田悦子, 赤津裕子: 「使いやすさ」とは何か—高齢社会でのユニバーサルデザインから考える. 原田悦子編. 「使いやすさ」の認知科学—人とモノとの相互作用を考える. 東京: 共立出版, 2003; 119-138
- 16) 高岡 徹, 尾崎 浩子: Trail Making Test. *Journal of Clinical Rehabilitation*, 2009; 18: 246-250
- 17) Guedj E, Allali G, Goetz C, et al: Frontal Assessment Battery is a marker of dorsolateral and medial frontal functions: a SPECT study in frontotemporal dementia. *Journal of the Neurological Sciences*, 2008; 273: 84-87
- 18) 鹿島晴雄: 前頭葉機能障害の臨床—症状と神経心理学的検査法. 医学のあゆみ, 2004; 210: 984-987
- 19) Ketelsen K, Welsh M: Working memory and mental arithmetic: a case for dual central executive resources. *Brain and Cognition*, 2010; 74: 203-209