

## 加齢は質の異なる抑制機能を低下させる ～フランカー課題とサイモン課題中の脳活動計測を用いて～

川合 伸幸<sup>†</sup> 久保 (川合) 南海子<sup>‡</sup> 久保 賢太<sup>§</sup> 寺澤 多恵<sup>†</sup> 正高 信男<sup>#</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学情報科学研究科 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

<sup>‡</sup>愛知淑徳大学心理学部 〒480-1197 愛知県長久手市片平 9

<sup>§</sup>科学技術振興機構 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

<sup>#</sup>京都大学霊長類研究所 〒484-8506 犬山市官林

E-mail: <sup>†</sup> kawai@is.nagoya-u.ac.jp, <sup>‡</sup> knamikokk@asu.aasa.ac.jp, <sup>§</sup> kubokenn@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <sup>†</sup> terazawa@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <sup>#</sup> masataka@pri.kyoto-u.ac.jp

あらまし 加齢にともない抑制機能が低下するが、そのプロセス様ではない。たとえば、高齢者はストループ課題などでは若齢者に比べて反応時間が長くなりエラーも増加するが、go/no-go 課題などには加齢の影響はない。高齢者が若齢者と同等の遂行を示す際には、前頭前野の血流量が若齢者より増加するとの報告がある。そこで本研究では、フランカー課題とサイモン課題の遂行中の前頭前野の血流量の変化を近赤外線分光法 (NIRS) により調べた。その結果、従来と同様にフランカー課題では加齢による違いはなかったが、サイモン課題では高齢者の反応時間は若齢者より有意に延長した。フランカー課題では高齢者の脳活動のほうが顕著であった。不一致条件が一致条件よりも有意に脳血流量が増加したのは、サイモン課題の前頭前野右背外側のみであったが、両年齢群間でそれらの変化の違いはなかった。すなわち、若齢者と高齢者で脳血流に差がないときには、刺激一反応の抑制に加齢の効果が見られることが明らかになった。

キーワード 加齢, 抑制, サイモン効果, フランカー課題, 近赤外線分光法 (NIRS)

## The differential aging effects in the Franker and Simon tasks — A NIRS study —

Nobuyuki KAWAI<sup>†</sup> Namiko KUBO-KAWAI<sup>‡</sup> Kenta KUBO<sup>§</sup> Tae TERAZAWA<sup>†</sup> Nobuo MASATAKA<sup>#</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University Chikusa-ku, Furocho, Nagoya, 464-8601 Japan

<sup>‡</sup> Faculty of Psychology, Aichi-Shukutoku University Katahira 9, Nagakute, Aichi, 480-1197 Japan

<sup>§</sup> Japan Science and Technology Agency (JST-ERATO) 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198 Japan

<sup>#</sup> Kyoto University Primate Research Institute Kanrin, Inuyama, Aichi, 484-8506 Japan

E-mail: <sup>†</sup> kawai@is.nagoya-u.ac.jp, <sup>‡</sup> knamikokk@asu.aasa.ac.jp, <sup>§</sup> kubokenn@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <sup>#</sup> masataka@pri.kyoto-u.ac.jp

**Abstract** Studies on cognitive aging have demonstrated that aging is accompanied by a decreased ability to inhibit irrelevant information. The elderly, however, don't always show deficit in an inhibition task. Previous studies suggest that the elderly compensate their decreased inhibitory ability by an exaggerated activation in prefrontal brain area, which is responsible for inhibition. We compared the younger adults and the elderly in the Franker and Simon tasks by recording brain activity with a near-infra red spectoroscopy (NIRS). The elderly showed greater Simon effect, although the Franker effect was equivalent to the young. However, greater brain activities were observed in the elderly in the Franker task. The NIRS scores show that brain activity in right dorsolateral area was greater in incongruent condition than in congruent condition in the Simon task, suggesting that this area was responsible for response inhibition, while there was no group difference in this activity.

**Keyword** aging, inhibition, Simon effect, Franker task, NIRS

## 1. はじめに

総務省の発表によれば、65歳以上の高齢者が日本の人口に占める割合が23.3%を超えた。2015年には、26.0%を超えると予想されており、数年以内に日本人の4人に1人は高齢者という社会が生まれる。ながらく高齢化社会といわれてきたが、もはや日本は世界にも類をみない「高齢社会」であるといえる。

このような社会的な状況を背景に、高齢者を対象とした心理学的研究が広く行われるようになってきた。これまでの研究から、1) 処理速度、2) ワーキングメモリ、3) 抑制機能、4) 感覚機能の4つが加齢とともに変化することが知られている。なかでも抑制機能はワーキングメモリと並んで高次認知処理システムを構成しており、日常生活のさまざまな行為や認知に深く関わっている[1]。

高齢者の抑制機能は広範囲に研究されてきたが[2]、一様に低下するわけではない[3]。たとえばストループ課題やサイモン課題では加齢にともない反応時間が長くなり、誤反応も増加するが、go/no-go課題やフランカー課題では若齢者と差異は認められない。

Kubo-Kawai & Kawai (2010)は同じサイモン課題であっても、go/no-go課題を組み合わされれば高齢者のサイモン効果は若齢者と差異は生じないことを示した[4]。

一方で、高齢者は抑制課題において若齢者と同じ程度の遂行を示すものの、脳の血流量は高齢者のほうが多いという報告もある[5][6][7]。これらのことは、高齢者の脳では低下しつつある抑制機能を補償するかのよう活性化することを示唆している。

認知訓練(2重課題)により、高齢者の遂行は若齢者と同程度に改善し、その改善の程度は腹側と背側の前頭前野の活動レベルの年齢差と負の相関があった[8]。すなわち、認知訓練により高齢者の前頭前野の活性化は抑制されるとともに遂行は上昇した。このことは前頭前野が認知の抑制に重要な役割を担うことと、高齢者においても脳の可塑性があることを示している。

本研究では、加齢による影響を受けないとされる抑制課題(フランカー課題)と、影響を受けやすい抑制課題(サイモン課題)を同じ被験者に課し、課題遂行中の脳血流反応を調べる。抑制課題の遂行と脳活動の関連を調べることを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1. 被験者

被験者は13名の大学生(20~31歳)と15名の65歳以上の高齢者(67~83歳)であった。すべての高齢者に日本語版 Mini Mental State Examinationを実施し、すべての被験者は24点以上であった。

### 2.2. 刺激

刺激は黒の背景に提示された白色の“>”か“<”であり、それぞれの水平方向の視角は.48° x .48°であった。課題はInquisit (Millisecond software社製)で作成し、刺激呈示用PC(TOSHIBA社製)により呈示し、反応時間とエラーの計測を行った。刺激呈示と同時に刺激呈示用PCからTTL信号をNIRS計測用PC(Toshiba社製)に送信した。

### 2.3. フランカー課題

この課題では、被験者は画面中央に提示された刺激に基づいて選択反応(キー押し)を行うことが求められた。具体的には、「>」に対しては右に、「<」に対しては左に反応することが求められた。ただし、この刺激の周りに手がかり(「>」)と同じ方向(「>>>>」)の周辺刺激と、逆の方向(「<<<<」)の周辺刺激が提示された(Figure 1)。同じ方向の周辺刺激が提示された試行(「>>>>」)を一致条件、周辺刺激が逆の方向を向いた試行(「<<><<」)を不一致条件とした。

### 2.4. サイモン課題

この課題では刺激を左右どちらかに提示し、参加者に呈示位置とは関係なく矢印の向いている方向のボタン押しを求めた。呈示位置と矢印の方向が一致している場合を一致条件、一致していない場合を不一致条件とした。

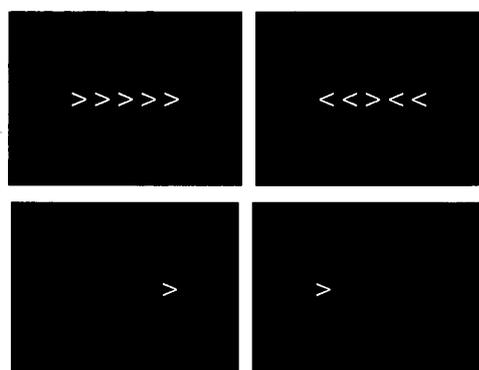


Figure 1. フランカー課題(上)とサイモン課題(下)での一致条件(左)と不一致条件(右)

### 2.5. 手続き

実験では、各課題を2ブロック行い、計4ブロック行った。1ブロックは48試行で、96試行ずつ各課題で行った。課題開始後、最初の試行のみ10sのブランクを設け、その後の試行ではブランクは設けなかった。刺激呈示時間は2sで、参加者の反応が得られると消失した。刺激間隔は10sとした。試行は一致・不一致条件に分けられ、ランダムな順序で呈示した。両課題の実施順序は参加者ごとにカウンターバランスをと

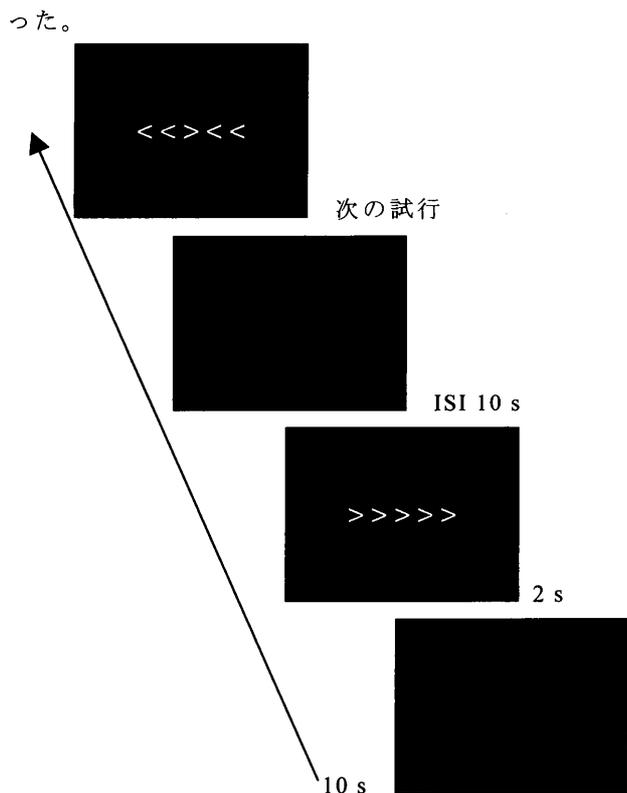


Figure 2. 課題の流れ

### 2.6. NIRS 測定

NIRS の計測には NIRO-200(浜松ホトニクス社製)を使用し、課題中の脳血流に含まれる酸化ヘモグロビン量を測定した。測定には照射プローブを2本、受光プローブを8本用いた。照射プローブはそれぞれ国際10-20法の定めるF3/F4付近に位置するよう固定用ホルダを用い設置し、受光プローブを4ずつその周辺に振り分けた。受光プローブ間の距離は3cmとし、左右4チャンネルずつ測定し、合計8チャンネル測定した。

サンプリングレートは1Hz、刺激呈示前2s-呈示後10sを1試行の測定区間とし、NIRSgraph Ver. 1.30(フォトニクス・イノベーションズ)によりNIRSデータを記録した。

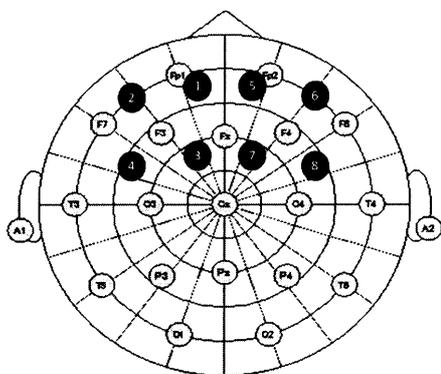


Figure 3. NIRS プローブの位置

### 2.7. NIRS データの分析

群、課題、刺激ごとに、各試行の刺激呈示前2s間の平均値と標準偏差を用い、刺激呈示後10s間のz-scoreを求めた。その後、参加者ごとに群、課題、刺激別に加算平均を行った。エラー試行とアーティファクトが混入した参加者のチャンネルは分析対象外とし、加算平均から除去した。

### 3. 結果

#### 3.1. 反応時間

誤反応は反応時間の分析から除外した。若齢群と高齢者の平均誤反応数はフランカー課題でそれぞれ2.4%と2.36%、サイモン課題で1.4%と2.2%であった。

Figure 4は、それぞれの課題における個人ごとの反応時間(中央値)の不一致試行から一致試行を引いた効果量の平均値を示している。従来の研究と同様にフランカー課題の効果量には年齢群間の差が見られない。しかし、サイモン課題では高齢者の効果量が顕著に増加している。課題×年齢の分散分析の結果、課題の主効果( $F(1, 26) = 5.05, p < .05$ )が有意であった。サイモン課題の効果量のほうが有意に多かった。課題×年齢群の交互作用は有意な傾向を示したが( $F(1, 26) = 3.40, p = .076$ )、年齢群の主効果は有意でなかった( $F(1, 26) = -0.14, n.s.$ )。下位検定の結果、サイモン課題では効果量が年齢間で有意に異なることが確認された( $p < .01$ )

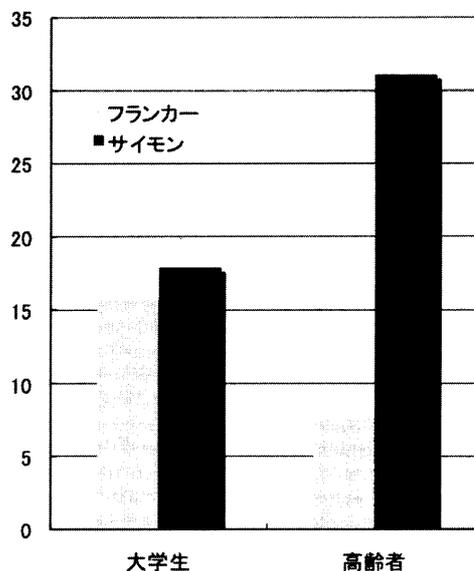


Figure 4. 両課題の効果量(「不一致条件-一致条件」)

#### 3.2. NIRS

Figure 3は、10-20法に照らしてNIRSのプローブ位置を示したものである。各チャンネルの値をそれぞれの課題ごとに年齢×条件×時間の分散分析を行った。

その結果、群間に差があったのは、Ch. 1 のフランカー課題 ( $F(1, 26) = 5.34, p < .05$ ) と Ch. 4 のフランカー課題 ( $F(1, 26) = 4.78, p < .05$ ) だけであり、いずれも高齢者の賦活量のほうが多かった。

活量が多かったが、Ch. 8 のサイモン課題では不一致条件の賦活量のほうが多かった。このパターンを示したのは、Ch. 8 だけであった。

#### 4. 考察

行動を指標とした結果は、従来の研究と一致して、フランカー課題では加齢の影響が見られなかったが、サイモン課題では高齢者のサイモン効果量（不一致条件の反応時間と一致条件の反応時間の差）が大きくなった。このことは、高齢者がターゲット刺激の周りに配置された刺激を抑制することに問題はないが（刺激-刺激）、自動的な反応傾向を抑制することは困難であることを示している。サイモン課題では、被験者は位置と無関係の属性（形）に基づいて選択反応（キー押し）をおこなう。本実験では、「>」が画面の左右にランダムに提示され、被験者は刺激が提示された位置ではなく刺激の方向に従って左右の反応キーを押し分ける。刺激を受容してから反応へ変換する際には、そのときの課題要求に従って意図的に行われる変換ルート（刺激がどこに提示されようと、刺激の向きに合わせて反応を行う）と、課題との関連性にかかわらず刺激と反応間に対応関係がある場合に自動的に活性化される自動活性ルート（刺激が左に提示されれば、左へ反応しようとする傾向）の2つが存在する。サイモン効果は、意図的なルートと自動的な活性ルートが一致しているときに反応が促進され、これらが合致しないときに反応が遅くなるために生じると考えられる。

これまでの研究から高齢者でサイモン効果が大きくなることが知られているが、それは自動的な活性ルートの抑制が弱くなったためか、意図的な制御が弱くなったためか不明である。Kubo-Kawai & Kawai (2010) は、意図的に行動の出力と抑制を切り替える Go/No-go 課題（ある刺激が提示されたら反応しなければならないが、別の刺激が提示されたときには反応してはいけない）と組み合わせたサイモン効果では、高齢者のサイモン効果量は若齢者と同等となることを示している [4]。すなわち、意図的な制御が強く意識されたり、認知訓練を受けることによって抑制機能が回復すると考えられる。

ところで高齢者は、まったく刺激-刺激の干渉を受けないのだろうか。高齢者はフランカー課題において若齢者よりも有意に多くの血流反応の増加を示した（Ch. 1 および Ch. 4）。このことは、go/no-go 課題などで高齢者の若齢者なみの遂行を示すものより多くの脳活動が要求されるとの結果と一致している [5][6][7]。ただし従来の研究では反応の抑制（go/no-go 課題やサイモン課題）においてのみ報告されて来たが、本研究は干渉する刺激の抑制においても高齢者は多くの脳活

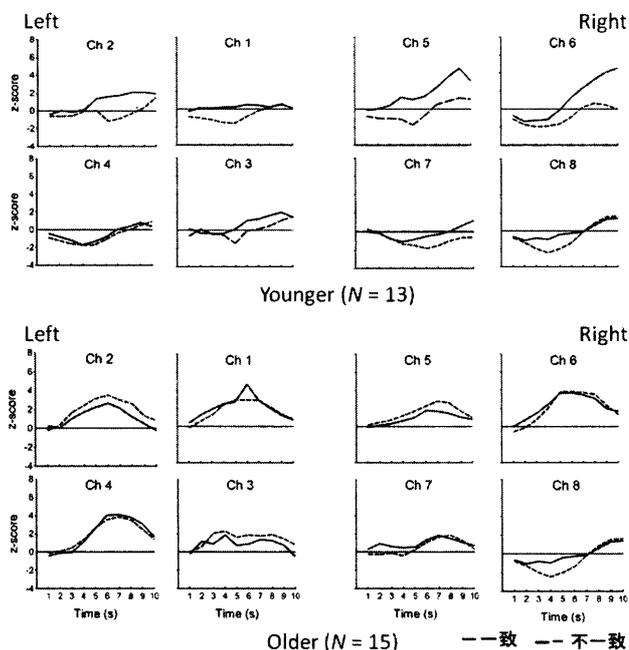


Figure 5. フランカー課題における脳血流量の変化

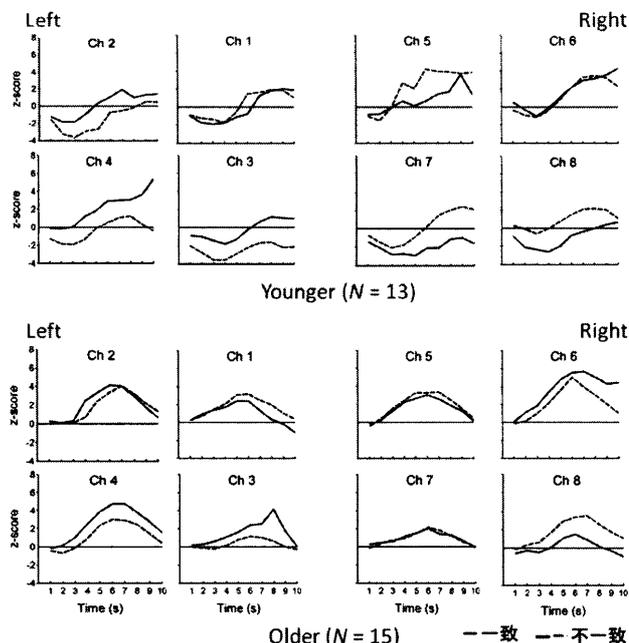


Figure 6. サイモン課題における脳血流量の変化

条件の効果が認められたのは、Ch. 4 のサイモン課題 ( $F(1, 26) = 6.59, p < .05$ )、Ch. 6 のフランカー課題 ( $F(1, 26) = 3.51, p = .072$ ) と Ch. 8 のサイモン課題 ( $F(1, 26) = 3.22, p = .089$ ) で有意な傾向があった。Ch. 4 のサイモン課題と Ch. 6 のフランカー課題では一致条件の賦

動を要することを初めて示したものである。

フランカー課題よりサイモン課題ほうが効果量が大きかった。すなわち、サイモン課題のほうが不一致条件でより多くの抑制を必要とされたことを示している。NIRSの値を見ると、不一致条件のほうが一致条件よりも多くの活性を示したのはCh. 8だけであった。これは、前頭前野背外側に相当し、多くの抑制課題で活性化する領域として知られている。群の主効果および群×条件の交互作用は有意でなかったことから、両年齢群の脳活動に違いは無かったといえる。別の言い方をすれば、この領域で高齢者が活性化が顕著でなかったために、高齢者のサイモン効果量が大きくなったと考えられる。

## 5. まとめ

刺激間の競合を解消（抑制）する必要がある。フランカー課題では年齢間で反応時間の差に違いはなかったが、刺激の定時位置に対する身体の自動的な反応傾向を抑制するサイモン課題では高齢者のほうが不一致条件の反応時間が長くなった。これらは従来の結果と一致しているが、フランカー課題では高齢者のほうが脳の賦活量が多かった。このことは高齢者がより多くの脳活動によって刺激間の競合を解消していることを示唆している。しかし、このような高齢者の脳が顕著な活動を示さない事象では、サイモン課題のように高齢者の抑制が劣ることが示された。しかし、これらのことは認知訓練等で抑制機能の維持や回復がはかれる可能性を示している。NIRSによる前頭前野の計測はそれらの指標となり得る可能性が示唆される。

本研究は、科学研究費補助金（23730711, 20243034）の援助を受けて行われた。

## 文 献

- [1] Salthouse, T. A. What and when of cognitive aging. *Current Directions in Psychological Science*, 13, 140-147. 2004
- [2] Hasher, L., & Zacks, R. T. Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 22, pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press. 1988
- [3] Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G. D., & Strayer, D. L. Aging and inhibition: Beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychology and Aging*, 9, 491-512. 1994
- [4] Kubo-Kawai, N., & Kawai, N. Elimination of the enhanced Simon effect for older adults in a three-choice situation: Ageing and the Simon effect in a go/no-go Simon task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(3), 452-464. 2010.
- [5] Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(1), 56-71. 2002.
- [6] Langenecker, S. A., & Nielson, K. A. Frontal recruitment during response inhibition in older adults replicated with fMRI. *NeuroImage*, 20, 1384-1392. 2003.
- [7] Peterson, B. S., Kane, M. J., Alexander, G. M., Lacadie, C., Skudlarski, P., Leung, H-C., May, J., & Gore, J. C. An event-related functional MRI study comparing interference effects in the Simon and Stroop tasks. *Cognitive Brain Research*, 13, 427-440. 2002.
- [8] Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., Kim, J. S., Alvarado, M., & Kramer, A. F. Training-induced plasticity in older adults: Effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiology of Aging*, 28, 272-283.