

# 前頭葉関連機能と姿勢維持機能との関連 ——中高年以降の加齢変化および性差の検討——

八田 武志<sup>(1)</sup> (hatta@fukusi-kagk-u.ac.jp)

岩原 昭彦<sup>(2)</sup>・八田 武俊<sup>(3)</sup>・伊藤 恵美<sup>(4)</sup>・八田 純子<sup>(5)</sup>・永原 直子<sup>(6)</sup>・藤原 和美<sup>(1)</sup>・堀田 千絵<sup>(1)</sup>・浜島 信之<sup>(4)</sup>  
〔<sup>(1)</sup> 関西福祉科学大学・<sup>(2)</sup> 和歌山県立医科大学・<sup>(3)</sup> 岐阜医療科学大学・<sup>(4)</sup> 名古屋大学・  
<sup>(5)</sup> 愛知学院大学・<sup>(6)</sup> 大阪健康福祉短期大学〕

Developmental trajectories of prefrontal cortex and postural functioning in middle and upper-middle aged people as function of sex

Takeshi Hatta<sup>(1)</sup>, Akihiko Iwahara<sup>(2)</sup>, Taketoshi Hatta<sup>(3)</sup>, Emi Ito<sup>(4)</sup>, Junko Hatta<sup>(5)</sup>, Naoko Nagakaha<sup>(6)</sup>, Kazumi Fujiwara<sup>(1)</sup>, Chie Hotta<sup>(1)</sup>, Nobuyuki Hamajima<sup>(7)</sup>

<sup>(1)</sup> Department of Health Sciences, Kansai University of Welfare Sciences, Japan

<sup>(2)</sup> School of Health and Nursing Sciences, Wakayama Medical University, Japan

<sup>(3)</sup> Department of Medical Technology, Gifu University of Medical Sciences, Japan

<sup>(4)</sup> Department of Occupational Therapy, School of Health, Nagoya University, Japan

<sup>(5)</sup> Graduate School of Psychology and Physical Sciences, Aichigakuin University, Japan

<sup>(6)</sup> Department of Psychology, Osaka College of Social Health and Welfare, Japan

<sup>(7)</sup> Graduate School of Medicine, Nagoya University, Japan

## Abstract

The relation between prefrontal cortex and postural functions was examined in relation to developmental changes among healthy middle and upper-middle aged people were examined. The 365 participants of four age groups (40's, 50's, 60's, 70's and 80's; 226 women and 139 men) were given digit cancellation test (D-CAT) for prefrontal cortex related function assessment and the stabilometer measurements for postural functions. The results showed that developmental changes in performances for postural and prefrontal cortex related cognitive function were not parallel. Based upon these findings, characteristics of the developmental changes of cerebello-cerebellar systems in middle and upper-middle aged people were discussed.

## Key words

prefrontal cortex function, postural function, digit cancellation test, stabilometer, cognitive aging

## 1. はじめに

高齢者の増加は先進国における共通の傾向であり、高齢者人口増に伴う社会負担への対策は様々な形で取り組まれている。高齢者の増加自体は、彼らが医療費の負担を増加したり長期化したりせず、社会負担が少なくすむのであれば問題視されることはない。極論すれば、高齢であっても社会資本を強化増強できる資金を税金という形で提供し続け、突然死亡することが望まれているのかも知れない。しかし、現状では必ずしもこのような期待に添う形では推移しておらず、如何にして労働し続けられ、医療費の負担に頼らない高齢者、すなわちスーパーエリート・サヴァイバーを育てられるかは世界的な関心事である。

このような関心事への学際的取り組みでは、brain reserve、cognitive reserve、brain maintenanceなどの類似したモデルを提唱しつつ認知の加齢メカニズムの解明し、

高齢期にあっても低下しない高次脳機能を維持し続けられる方法の開発に取り組んでいるのが2000年以降の脳科学研究の重要なトピクスと言えよう。それらの中でもSternを中心とする研究グループが提唱するcognitive reserve（認知の予力）の考え方はbrain reserveモデルが受動的であるのに比べて能動的な要素が強くスーパーエリート・サヴァイバーをどうしたら育てられるかの対策立案につながる側面が強い（我々はcognitive reserveに認知の予力の訳語を当てている。詳細は岩原・八田，2009；八田・岩原，2013を参照されたい）。これは、brain reserveモデルが遺伝子コードへの依存が強いと見なせる脳機能の低下と組織との関係（大きさ、ニューロン数、シナプス数など）を重視するのに対して、cognitive reserveモデルでは、脳機能の低下は加齢に伴う脳組織の変化よりも環境要因（学習・経験）により脳組織は変化しようとする見なすためである（Barulli & Stern, 2013）。したがって、cognitive reserveモデルでは高い予力をもつ人と低い予力の生活歴の比較から対策を提唱しようとしている。

ただ、認知の予力を高めるための対策を提唱するためには、基礎資料の蓄積が必須である。スーパーエリート・

サヴァイバーをどうしたら育てられるかの提案には科学的な十分な説得力のあるエビデンスがないと、単なる科学神話に留まりいずれ放棄されるだけであろう。

本研究は高齢者の認知機能の発達の変化、とくに前頭葉機能と基底核-小脳系との関連に関するエビデンスの蓄積の一端を担うと位置づけるものである。それらのエビデンスから現時点で取り組める自治体保健行政担当者から自立生活高齢者への助言を得ることができればと考える。

さて、脳科学研究の発展は1990年代中盤以降の目覚ましいが、その成果の一つに小脳機能に関する知見がある。それまで、小脳はバランスや姿勢の維持に関係が深い脳部位であり知的な機能への関連は言及されることがほとんどなかった。しかし、理化学研究所を中心とした研究グループは小脳の機能の新たな知見を始めとして (Ito, 1998)、脳画像研究法や生理学的検討からは前頭前野と小脳に密接な連関があり知的機能に小脳も大きく関与するという指摘がなされ、小脳機能を見直す代表的知見が生まれることとなった。

これらの先駆的研究を端緒に小脳と認知機能との関連は新しいトピックスとなった。多くの神経心理学的研究により、小脳と実行系機能、視空間機能、言語機能、言語性記憶機能、情動の統御などとの関連を支持する報告がなされている (Awh, Jonides, Smith, et al., 1996; Desmond & Fiez, 1998; Ito, 1998; Leiner, Leiner, & Dow, 1993; Mead, Mayer, Bobholz, et al., 2002; Thach, 1998; Levinson, Cronin-Golomb, & Schmahmann, 2000)。

たとえば、Vokaer ら (2002) の両側の橋-小脳前部の部位の切除は言語性の学習成績、言語流暢性、実行系課題の成績に障害が認められたとする報告は脳損傷児・者を用いたその具体例である。

脳画像研究においても、注意維持課題や作業記憶課題遂行時に前頭前野だけでなく小脳部位も活性化することを多くの研究が指摘している (Awh, et al., 1996; Baldo, Shimamura, Delis, et al., 2001; Balsters, Cussans, Diedrichsen, et al., 2010; Ide & Li, 2011; Mead, Mayer, Bobholz, et al., 2002; Rogers, et al., 2011; Salmi, Pallesen, Neuvonen, et al., 2010; Yeterian, Pandya, Tomaiuolo, et al., 2012; Takahashi, Kato, Takano, et al., 2008)。たとえば、Desmond, Gabrieli, and Glover (1998) は右ききの6名の対象者に単語完成課題を実行させたところ、平易な課題では左尾状核と左前頭葉が、難解な課題では右半球と小脳葉部に顕著な活性化を認めたとしている。さらに、Lamnani のグループや Strick らのグループは前頭葉前部と小脳との間に視床を介した神経伝達経路が存在することを、ウイルスを用いた新しい脳画像手法で脳内ネットワークを確認している (Lamnani, & Miall, 2001; Middleton & Strick, 1998; 2001)。最近の Boston, Dum and Strick (2013) には、大脳皮質と小脳との神経連絡路についての概説がある。

以上、簡単に示したように、複数の研究法により前頭前野と小脳との間に連絡路があり、小脳は認知機能を含むと了解すべきであることが明らかになっている。これ

らの知見を踏まえて、我々も行動指標で前頭前野と小脳機能との関連を報告した (Hatta, Masui, Ito, et al., 2004)。そこでは、平均70歳の健康な高齢者を対象に重心動揺計で測定した小脳-基底核系の機能と見なせる姿勢維持検査成績と D-CAT や言語記憶検査で測定した前頭葉機能との関係を検討した。その結果、D-CAT で測定した注意機能については重心動揺機能検査で上位半分ものは下位半分の対象者よりも成績が優れること、言語記憶検査成績には群間に差異がないことが明らかとなり、前頭前野機能と小脳-基底核系の密接な関連を示すものと解釈された。この研究は行動指標で小脳が認知機能に関連することを立証した初期の資料と見なせるが、中高年以降でのその発達の変化検討や性差の吟味は含まれていない。

そこで、本研究は先の研究を発展させて、年齢群別の変化と性差の検討を組み込んだ研究計画とした。具体的には、加齢による前頭葉機能と小脳-基底核系機能との発達の様相に違いがあるのか、性差は存在するのか、についての検討である。認知機能の性差については性ホルモンの関連を強調する先行研究は数多く存在する (たとえば、Kimura, 1996) ので、閉経前後の女子の資料を加えることで検討要因に組み込んだ。

これらの検討から、自治体の保健業務担当者にエビデンスに基づく高齢者対策事業への示唆を提供することが目的である。

## 2. 方法

### 2.1 対象者

健康な中高年者で八雲住民検診に参加し、書面による検査結果の研究への使用に同意した365名が対象者である。女子は226名であり、男子は139名であった。いずれも2011年度及び2012年度での参加者である。対象者は内科検診、泌尿器科検診、整形外科検診、眼科検診で以上はないと判定され、かつMMSE検査で23点以上の得点から痴呆が疑われないと言う判定基準から健康な中高年とみなした。

発達の変化を横断的に検討するために40歳代26名(19女子、7男子)、50歳代62名(45女子、17男子)、60歳代128名(76女子、52男子)、70歳代95名(56女子、39男子)、80歳代54名(30女子、24男子)の5群を設けて検討した。

### 2.2 検査手続きと装置

重心動揺計 (Anima, Co.) による標準計測を小脳-基底核系機能測定に用いた。検査手続きは時田 (1995) に準拠し、開眼時と閉眼時でそれぞれ1分間の計測を行った。整形外科医を含む2名の検査者がこの検査にあたった。使用した重心動揺計では7種類の指標が測定可能であるが、本研究の予備分析では7種の指標はほとんど類似する傾向を示したので、代表値として開眼条件時1分間の重心の移動軌跡距離を使用した。この指標はパーキンソン病検査や平衡感覚障害の検査において信頼度が高い指標とされている (Mauritz, Dichgans, & Hufschmidt, 1979;

Njiokiktjien, DeRijke, van Ophem, et al., 1978; Tokita, 1996)。前頭葉機能を反映する検査指標には D-CAT を採用した。D-CAT の信頼性と妥当性については、脳画像研究法を含めて既に報告がある (Hatta, Nagahara, Iwahara, et al., 2005; Ito & Hatta, 2006; Hatta, Ito, & Yoshizaki, 2006; Hatta, Kanari, Mase, et al., 2008 ; Hatta, Kanari, Mase, et al., 2009; Hatta, Yoshizaki, Ito, et al., 2012; Hibino, Mase, Shiratalki, et al., 2013)。

D-CAT では、エラー関連指標もあるが、健常成人では変量と見なすには分散が小さすぎることと、前頭葉機能と最も関連が深いと見なせるという理由から 3 文字抹消条件での TP (Total Performance) 値を採用した (以下、D-CAT3 と略記する)。

### 3. 結果

本研究で採用した重心動揺指標と D-CAT3 指標は平均や分散が異なるので、統計的な比較をするために測定値は Z 変換したものを使用した。

Table 1 に年齢群及び性別ごとに重心動揺指標 (postural と表記) と D-CAT3 指標 (D-CAT と表記) を表した。結果の傾向を理解しやすくするために作成したのが Figure 1 および 2 である。

Z 変換した測定値を分散分析 (指標×年齢×性) した。指標は被験者内要因でありその他は被験者間要因の混合型分散分析である。その結果、指標 ( $F = 6.685, df = 1, 355, p < 0.01$ )、指標と性別の交互作用 ( $F = 14.423, df = 1, 355, p < 0.001$ )、指標と年齢の交互作用 ( $F = 6.583, df = 4, 355, p < 0.001$ )、指標・性別・年齢の交互作用 ( $F = 4.854, df = 4, 355, p < 0.001$ ) がすべて有意となった。そこで、下位検定を実施した結果、下記の事項が指摘可能となった。

①重心動揺指標と D-CAT3 では発達変化が異なること ( $p < 0.01$ )。②発達変化に性差があり、指標と性別間にも交互作用がある。これは、性差は重心動揺指標だけに見られ、D-CAT3 ではないこと、つまり、男子の重心動揺指標の発達変化は 40 ~ 60 歳まで不変だが (40 ~ 50 歳間:  $p = 1.00$ 、50 ~ 60 歳間:  $p = 1.00$ )、60 ~ 70 歳間でも差はなく ( $p = 0.304$ )、70 歳から 80 歳で急激にパフォーマンスが低下すること (70 ~ 80 歳間:  $p = 0.000$ ) に起因している。一方、女子は、重心動揺指標は 50 歳から低下傾向が始まるが年齢群間に有意差はないレベルの緩やかな低

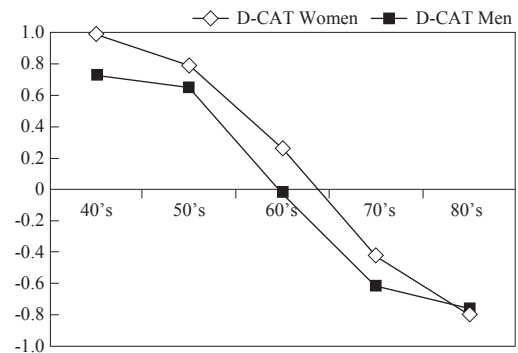


Figure 1: Results of D-CAT performance as a function of age and sex (z scores transformed)

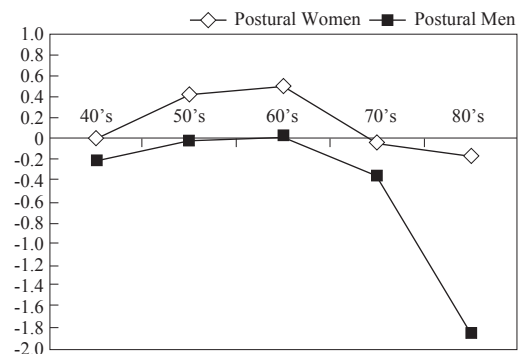


Figure 2: Results of postural function as a function of age and sex (z scores transformed)

下で有意差はなく (40 ~ 50 歳間:  $p = 1.00$ 、50 ~ 60 歳間:  $p = 1.00$ )、60 歳 ~ 70 歳 ( $p = 0.034$ ) で差異が生じている。70 ~ 80 歳間では差はなかった ( $p = 1.00$ ) ことを反映している。③ D-CAT3 では性差はなく、男子も 40 ~ 50 歳間で差異はなく ( $p = 1.00$ )、40 ~ 50 歳間 ( $p = 0.040$ ) と 50 ~ 60 歳間 ( $p = 0.007$ ) で差異があり、70 ~ 80 歳間では差異はない ( $p = 1.00$ ) 女子も男子と同じように共に 40 ~ 50 歳間で差はなく ( $p = 1.00$ )、40 ~ 50 歳間 ( $p = 0.011$ ) と 50-60 歳間 ( $p < 0.001$ ) で差があり、70 ~ 80 歳間では差はない ( $p = 0.508$ )。これらの発達の变化は Figure 1 及び 2 からも明らかである。

Table 1: Results of D-CAT and postural function of age and sex (z scores transformed)

		40's	50's	60's	70's	80's
D-CAT	Women Mean	.992	.782	.269	-.425	-.792
	SD	1.047	.954	.747	.745	.644
	Men Mean	.727	.654	-.017	-.615	-.761
	SD	1.061	1.012	.875	.783	.765
Postural	Women Mean	.566	.443	.483	-.045	-.160
	SD	.768	.551	.530	.820	.858
	Men Mean	-.210	-.021	.012	-.368	-1.852
	SD	1.115	.641	.781	.874	1.678

#### 4. 考察

我々の先行研究では、重心動揺指標での成績を上位群と下位群に2分して、認知機能の指標との関係を検討した (Hatta, Masui, Ito, et al., 2004)。その結果からは、重心動揺指標の成績上位群は認知機能成績が下位群に比べて優れていた。ただし、このような差異は認知機能検査での記憶機能指標では当てはまらず、D-CAT 検査指標でのみ該当するというものであった。この行動指標での結果は、基底核-小脳系の機能は前頭葉前部の機能を密接に関連するが、側頭葉-辺縁系機能との関係は明確ではないと説明した。このような結果の解釈は2000年頃から脳損傷研究法や脳画像研究法で指摘されだした、小脳に認知機能が関与するという指摘内容と合致するものと言える。

しかし、これらの結果は70歳代の高齢者を対象とした実験によるものであり、実施されている住民検診に参加している40歳以降のすべての中高年に一様に該当するのかわかりません。このような背景の下でまず前頭葉系機能と基底核-小脳系の機能の発達の様相の特性はどのようなものであるかの検討を始めることとした。具体的に表現すれば、前頭葉系機能と基底核-小脳系の機能は加齢に伴って並行した低下曲線を描くのか、それともどちらかが早期に機能低下を始めるのかの検討である。もし、どちらかの機能の低下が早い年齢から生じるのであれば、その低下を鈍化するような方策を検討することが自治体保健行政の担当者への課題として顕現化させ得る可能性がある。このような目的をシンプルに表現すべく本研究では前頭葉系機能を評価する指標としてのD-CAT3と基底核-小脳系の機能を評価できる指標としての重心動揺(開眼時の重心動揺の軌跡の距離)に限定して検討を行った。

その結果、①重心動揺の結果は女子が男子に比べてすべての年齢群において優れることが明らかとなった。筋運動系機能は男子が女子よりも優れることは一般的に知られるが、筋力の強さと姿勢を維持するバランスの機能とは対応するものではないことを示している。Fujiwara (2011)によれば、人間の姿勢維持に関係する神経ネットワークは複雑で必ずしも明確になっているわけではないが、体性感覚野、基底核、小脳に依存したネットワークであり、上下肢で掴む、把持するなどの筋運動形ネットワークとは別のものであるとされるので、男子が重心動揺での成績が女子に劣ることは了解できないことではない。Figure 1からも明らかのように、女子の重心動揺の発達の变化の特徴は、40歳代から60歳代までは機能的に低下はほとんど見られないが、60歳以降に機能低下が始まり、70歳以降は変わらないことである。ただし、70歳以降の機能は男子よりもはるかに優れている。一方、男子の重心動揺では女子に劣るものの40歳代から60歳代までの機能低下は見られず、60歳代から機能低下が始まり、70歳代から80歳代の間で顕著な機能低下を示している。これらから示唆されることは、中年以降男子は女子に比べて基底核-小脳系の機能が関わるたとえば歩くことが少ないことが推測される。対象者は農業、漁業など

の1次産業従事者が多いが、男子の場合は基本的に労働場面が主であるのに対して、女子は労働場面に加えて日常生活での家事が加味されるために女子の方が歩くことが多いことの反映ではないかと考察する。とくに、産業労働の第一線から退いた年齢以降は、夏期を除いてその傾向が強まる可能性が考えられる。70歳以降の男子は日常生活で料理、掃除、洗濯などの細々とした歩行を伴う活動に関与しておらず、女子がもっぱら関与することの反映ではないかと思料する。

②D-CATの結果はFigure 2から明らかなように、性差が認められないことである。男子も女子もほぼ1次関数的に50歳代から80歳代まで機能低下を示すことが明らかとなった。40歳代と50歳代には有意な差異がないので、50歳代から一直線に機能低下が生じることを示している。この結果は本研究の2年間だけの資料ではなく10年間の横断的な分析結果とも一致しており(八田, 2011)、個人差はあるものの平均的には認知機能は50歳代から機能低下が顕現化することを裏付けている。認知機能の発達の变化に性差が認められる場合があるが、それらは言語が関連する機能や女性ホルモンの影響が大きい閉経期以前の対象者に記憶関連要素で指摘されることが多く(八田, 2011; Kimura, 1996)、D-CATで性差が認められない結果の信頼性を問われることはあたらない。

D-CAT3は情報処理速度や注意機能の基本的な要素を反映し、前頭葉前部が担う機能を反映していることはNIRS(Near-infrared Spectroscopy)脳画像研究法などにより先行研究(Hatta, Nagahara, Iwagata, et al., 2005; Ito & Hatta, 2006; Hatta, et al., 2008, Hatta, Yoshizaki, Ito, et al., 2012)が指摘しているため、男女を問わず50歳代からの機能低下が顕著であるという結果は、姿勢維持機能に比べて早い時期から機能低下が顕著になることを示唆しており、Green and Parasurman (2012)での記述とも一致している。

基底核-小脳系機能よりも前頭葉前部が担う機能が先行して加齢による影響を受けるという結果は八田(2006)のいう休耕田モデルとも一致している。彼は、加齢による機能低下は脊椎動物の進化(脊髄の先端が進化によりヒトにおいて脊椎動物で、身体部位との比率で最も面積の大きな終脳を形成した)、の逆方向に生じるとして、加齢のより一番始めに機能低下を示すのは前頭葉前部機能であるとしている。前頭葉前部の最先端は前頭極であり、ブロードマン10野が相当する。Area10とも呼ばれるこの部位は、たとえばBurgess(2007)のgateway仮説での指摘のように、皮質下の動機、長期記憶、学習により獲得した倫理、利得計算などに関係する関所の役割をする部位である。ヒトとして誕生し人間になっていくのに必要な役割を誕生から成人までの期間に獲得していく部位であるということが出来る。八田(2006)では、前頭葉前部の中年以降の機能保持はその活動量に依存し、非使用は機能の維持を損なうとしており、この指摘は前述の認知の予力などの加齢に伴う認知機能の個人差を説明するものでもある。また、Green and Parasurman (2012)に多くの文献を上げて記載されているneural plasticityやcognitive

plasticity を維持増進させる方法としての「認知活動の40歳以降での量的維持」の重要性記載にも合致するものである。

以上の重心動揺と D-CAT の指標の性差を加味した発達の様相の検討から示唆できる事項の第1は、男子における中年以降の歩行やバランス運動の量的増進の重要性がある。有酸素運動の認知の加齢鈍化への効果は信頼性が高いものとされているので、自治体保健従事者はこのことを重視すべきであろう。有酸素運動は、血流量を増加させることや脳活動パターンを多様にすることで実行系機能を強化することで加齢によるストレスに対抗できるとしている (Cardiovascular Health Study-Cognition Study, 2009; Kramer, Larish, & Strayer, 1995)。

第2は、前頭葉前部機能は50歳から機能低下を露わにするのでそれ以前の年齢段階から「認知活動の量的維持」と「運動習慣の量的維持」を行うことの重要性の指摘である。両者共に、関連が深いのは「外出頻度」と考えることができるために、自治体健康保健活動従事者は対象者の住民検診対象者の「外出の頻度の減少」に着目すべきであろう。認知機能の低下の最も簡単な信号は何かを検討した最近の研究でも、「外出の頻度の減少」が目安になるとしている (Hatta, Hatta, Hotta, et al., 2013)。

### 謝辞

本研究は名古屋大学八雲研究の一部の資料を用いるもので、名古屋大学医学系研究科の倫理審査を得たもので (Yakumo Study: Genetic polymorphism study for health checkup examinees in Yakumo town, 2011 # 643)、2011年度と2012年度の資料から構成されている。八雲町健康福祉課の協力に感謝申し上げる。なお、本研究は文部科学省研究補助金 (基盤研究 B # 23330219 : 代表者 八田武志) の援助を得て実施された。

### 引用文献

- Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Schumacher, E. H., Koeppel, R. A., & Katz, S. (1996). Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: Evidence from positron emission tomography. *Psychological Science*, 7, 25-31.
- Baldo, J. V., & Shimamura, A. P. (2001). Letter and category fluency in patients with frontal lobe lesions. *Neuropsychology*, 12, 259-267.
- Balsters, J. H., Cussans, E., Diedrichsen, J., Phillips, K. A., Preuss, T. M., Rilling, J. K., Ramnani, N. (2010). Evolution of the cerebellar cortex: The selective expansion of prefrontal-projecting cerebellar lobules. *Neuroimage*, 49, 2045-2052.
- Barulli, D., & Stern, Y. (2013). Efficiency, capacity, compensation, maintenance, plasticity: Emerging concepts in cognitive reserve. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 502-509.
- Boston, A. C., Dum, R. P., & Strick, P. L. (2013). Cerebellar networks with the cerebral cortex and basal ganglia. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 230-240.
- Burgess, P. W. (2007). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. *Trends In Cognitive Sciences*, 11, 290-298.
- Cardiovascular Health Study-Cognition Study, 2009. (<https://biolincc.nhlbi.nih.gov>).
- Desmond, J. E., & Fiez, J. A. (1998). Neuroimaging studies of the cerebellum: Language, learning and memory. *Trend in Cognitive Sciences*, 2, 355-362.
- Desmond, J. E., Gabrieli, J. D. E., & Glover, G. H. (1998). Dissociation of frontal and cerebellar activity in a cognitive task: Evidence for a distinction between selection and search. *Neuroimage*, 7, 368-376.
- Fujiwara, K. (2011). Neural mechanisms in postural control. Tokyo: Kyorin-shobo.setting: A comparison of young and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Greenwood, P. M., & Oarasurman, R. (2012). *Nurturing the older brain and mind*. Cambridge: MIT Press.
- 八田武志 (2006). 「記憶の働き・注意する力・言葉を操る」これらの機能を維持するために. 唐沢・八田 (編著) 幸せな高齢者としての生活 4章. ナカニシヤ出版, 53-73.
- 八田武志 (2011). 認知の個人差の脳内機構. 箱田 (編) 認知の個人差. 北大路書房, 130-169.
- 八田武志・岩原昭彦 (2013). 加齢—とくに認知機能について—. 児童心理学の進歩 2013年版, 56-77.
- Hatta, T., Kanari, A., Mase, M., Kabasawa, H., Ogawa, T., Shirataki, T., et al. (2008). Brain mechanism in Japanese verbal fluency test: Evidence from examination by NIRS (Near-Infrared Spectroscopy). *Asia Pacific Journal of Speech, Language, and Hearing*, 11, 103-110.
- Hatta, T., Kanari, A., Mase, M., Nagano, Y., Shirataki, T., & Hibino, S. (2009). Strategy effects on word searching in Japanese letter fluency tests: Evidence from the NIRS findings. *Reading and Writing*, 22, 1041-1052.
- Hatta, T., Nagahara, N., Iwahara, A., & Ito, E. (2005). Three-word recall and logical memory in normal aging. *Journal of Human Environmental Studies*, 3, 1-7.
- Hatta, T., Hatta, T., Hotta, C., Ito, E., Iwahara, A., Nagahara, N., Hatta, J., Fujiwara, K., Hamajiman, N. (2013). Easy detecting signal of cognitive decline in healthy community-dwelling elderly people. *Health*, 5, 12A, 19-23.
- 八田武志・伊藤保弘・吉崎一人 (2006). D-CAT (注意機能スクリーニング検査) 使用手引き 改訂版. 株式会社 FIS.
- Hatta, T., Masui, T., Ito, Y., Ito, E., Hasegawa, Y., Matsuyama, Y. (2004). Relation between the prefrontal cortex and cerebro-cerebellar functions: Evidence from the results of stabilometric indexes. *Applied Neuropsychology*, 11, 153-160.
- Hatta, T., Yoshizaki, K., Ito, Y., Mase, M., & Kabasawa, H. (2012). Reliability and validity of the digit cancellation test: A brief screen of attention. *Psychologia*, 55, 246-256.
- Hibino, S., Mase, M., Shirataki, T., Nagano, Y., Fukagawa, K.,

- Abe, A., Nishide, Y., Aizawa, A., Iida, A., Ogawa, T., Abe, J., Hatta, T., Yamada, K., & Kabasawa, H. (2013). Oxyhemoglobin changes during cognitive rehabilitation of the traumatic brain injury using near Infrared Spectroscopy. *Neurologia Medico-chirurgia*, 53, 299-303.
- Ide, J. S., & Li, C. S. (2011). Error-related functional connectivity of the habenula in humans. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 25.
- 伊藤恵美・八田武志 (2006). 言語流暢性課題の信頼性と妥当性の検討. *神経心理学*, 22, 146-152.
- Ito, M. (1998). Cerebellar learning in the vestibulo-ocular reflex. *Trend in Cognitive Sciences*, 2, 313-321.
- 岩原昭彦・八田武志 (2009). ライフスタイルと認知の予備力. *心理学評論*, 52, 416-429.
- Kimura, D. (1996). *Sex and cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kramer, A. F., Larish, J. E., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1, 50-76.
- Lamnani, N., & Miall, C. (2001). Expanding cerebellar horizon. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 135-136.
- Leiner, H. C., Leiner, A. L., & Dow, R. S. (1993). Cognitive and language functions of the human cerebellum. *Trends in Neuroscience*, 16, 444-447.
- Levinson, L., Cronin-Golomb, A., & Schmahmann, J. D. (2000). Neuropsychological consequence of cerebellar tumor resection in children. *Brain*, 123, 1041-1050.
- Mauritz, K. M., Dichgans, S. C., & Hufschmidt, J. (1979). Delayed and enhanced long latency reflexes as the possible cause of postural tremor in late cerebellar atrophy. *Brain*, 104, 97-116.
- Mead, L. A., Mayer, A. R., Bobholz, J. A., Woodley, S. J., Cunningham, J. M., Hammeke, T. A., & Rao, S. M. (2002). Neural basis of the Stroop interference task: Response competition or selective attention. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8, 735-742.
- Middelton, F. A., & Strick, P. L. (1994). Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive function. *Science*, 266, 458-461.
- Middelton, F. A., & Strick, P. L. (1998). Cerebellar output: Motor and cognitive channels. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 348-354.
- Njikiktijen, C., DeRijke, W., Dieker-van Ophem, A., & Voorhoeve-Coebergh, O. (1978). A possible contribution of stabilography to the differential diagnosis of cerebellar processes. *Agressologie*, 19, 87-88.
- Rogers, T. D., Dickson, P. E., Heck, D. F., Goldowitz, D., Mitteleman, G., & Blaha, C. D. (2011). Connecting the dots of the cerebro-cerebellar role in cognitive function: Neuronal pathways for cerebellar modulation of dopamine release in the prefrontal cortex. *Synapse*, 65, 1204-1212.
- Salmi, J., Pallesen, K.J., Neuvonen, T., Brattico, E., Korvenoja, A., Salonen, O., & Carlson, S. (2010). Cognitive and motor loops of the human cerebro-cerebellar system. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 22, 2663-2676.
- Thach, W. T. (1998). What is the role of the cerebellum in motor learning and cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 331-337.
- 時田 喬 (1995). 重心動揺—病巣診断を目標として—. *Equilibrium*, 54, 172-179.
- Vokaer, M., Bier, J. C., Elinx, S., Claes, T., Paquier, P., Goldman, S., et. al. (2002). The cerebellum may be directly involved in cognitive functions. *Neurology*, 58 967-970.
- Yeterian, E. H., Pandya, D. N., Tomaiuolo, F., Petrides, M. (2012). The cortical connectivity of the prefrontal cortex in the monkey brain. *Cortex*, 48, 58-81.

(受稿：2013年12月26日 受理：2014年1月25日)