

## 高齢者における歩行速度・動作機動性と前頭葉機能との関連について

八田 武志 (関西福祉科学大学 健康福祉学部, [hatta@tamateyama.ac.jp](mailto:hatta@tamateyama.ac.jp))  
 八田 武俊 (岐阜医療科学大学 保健科学部, [hatta@u-gifu-ms.ac.jp](mailto:hatta@u-gifu-ms.ac.jp))  
 岩原 昭彦 (京都女子大学 発達教育学部, [iwahara@kyoto-wu.ac.jp](mailto:iwahara@kyoto-wu.ac.jp))  
 八田 純子 (愛知学院大学 心身科学部, [hatta105@dpc.agu.ac.jp](mailto:hatta105@dpc.agu.ac.jp))  
 加藤 公子 (愛知淑徳大学 心理学部, [kimi@asu.aasa.ac.jp](mailto:kimi@asu.aasa.ac.jp))  
 藤原 和美 (東邦大学 看護学部, [kazumi.fujiwara@med.toho-u.ac.jp](mailto:kazumi.fujiwara@med.toho-u.ac.jp))  
 堀田 千絵 (関西福祉科学大学 教育学部, [chie\\_hotta@yahoo.co.jp](mailto:chie_hotta@yahoo.co.jp))  
 永原 直子 (大阪健康福祉短期大学 介護福祉学科, [n.nagahara@kenko-fukushi.ac.jp](mailto:n.nagahara@kenko-fukushi.ac.jp))  
 伊藤 恵美 (関西医療大学 保健医療学部, [emiito@kansai.ac.jp](mailto:emiito@kansai.ac.jp))  
 長谷川 幸治 (関西福祉科学大学 保健医療学部, [hasegawa@tamateyama.ac.jp](mailto:hasegawa@tamateyama.ac.jp))

Relations between mobility performances and prefrontal cortex functions in healthy community elderly people:

A preliminary analysis based on the Yakumo Study database

Takeshi Hatta (Department of Health Science, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)  
 Taketoshi Hatta (Department of Health Science, Gifu University of Medical Sciences, Japan)  
 Akihiko Iwahara (Department of Education, Kyoto Women's University, Japan)  
 Junko Hatta (Faculty of Psychological Science and Physical Science, Aichi Gakuin University, Japan)  
 Kimiko Kato (Faculty of Psychology, Aichi Syukutoku University, Japan)  
 Kazumi Fujiwara (Faculty of Nursing, Toho University, Japan)  
 Chie Hotta (Department of Education, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)  
 Naoko Nagahara (Department of Psychology, Osaka College of Social Health and Welfare, Japan)  
 Emi Ito (Department of Occupational Therapy, Kansai University of Health Sciences, Japan)  
 Yukiharu Hasegawa (Department of Physical Therapy, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)

### Abstract

To address the question whether age-related decline is an independent phenomenon or an interrelated phenomenon between cognitive and motor functions, the behavioral test (Digit Cancellation Test: D-CAT) that addresses the frontal lobe function and mobility performance test (WS: walking speed and TUG: timed up and go) were administered to 240 (108 Men and 132 Women) healthy community dwelling upper-middle and elderly people, and the possible mutual relationship was examined. Participants were divided into two groups by median based on the results of motor function test and the results of cognitive function test were compared. The group with superior motor function in WS and TUG showed superior results in cognitive function test. These results suggest that the motor system loop and the cognitive system loop that compose the basal ganglia network may be interrelated in association with each other as they age. The results of this study provide a scientific basis for strategies that use vestibular function and basal ganglia network as a means to slow down the rate of age-related decline in cognitive function in elderly people.

### Key words

mobility performance, walking speed, timed-up-and-go test, prefrontal cognitive performances, healthy older adults

### 1. はじめに

失語症状と脳部位の関連について病理学的検討から始まった神経心理学研究のこれまでを振り返ると、19世紀の失語・失行・失認などの機能障害とそれに対応する脳部位の同定をテーマの中心としていた時代、Sperry, R. W.の離断脳研究を嚆矢とする大脳皮質機能差検討の時代、そして脳を一つの機能システムとして考える時代へと研究の関心が移行していると大雑把に集約できよう(八田, 2003; 2013)。

脳を一つのシステムとして考える近年の研究には、例えば大脳皮質の異なる部位間でのネットワークを考える、言わば水平的検討と、大脳皮質と皮質下・脳幹部との関係を検討する垂直的検討とに分類することができよう。本研究は後者の垂直方向の検討に属するもので、大脳皮質の前頭葉機能と皮質下の平衡・運動機能との関連に焦点を当てる試み、つまり、mobility performances(可動性・機動性)と認知機能との加齢に伴う現象の関連の検討ということになる。

本論での試みは、具体的に言えば、可動性としての歩行および動作の機動性と前頭葉機能との関連の検討である。高齢者で速く歩ける人は前頭葉機能が優れるのか、機動性が高い人は前頭葉機能も優れるかの問いに答えよ

うとする探索的試みといっても良い。このような問いへの研究が what if? 的ではないかと言う指摘が出そうなので、そうではないことをまず指摘しておこう。

ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis: 筋萎縮性側索硬化症) は進行性の病気で、その症状にはばらつきがあるものの、運動機能だけでなく認知機能の障害を半数以上の症例が示し、約 15% が前頭・側頭葉型認知症の症状を示すようになる」と報告している (Montuschi et al., 2015; Phukan et al., 2012; Ringholz et al., 2005; Swinnen & Robberecht, 2014)。Machts et al. (2018) は前頭葉前部の形態学的サイズの減少と認知機能低下との関連を報告している。Macht et al. の研究の概略を記述すると、彼女らは運動ニューロンに不全がある 158 名 (大半が ALS 患者で 33 ~ 83 歳、平均 62.3 歳) の患者群と神経学的疾患のない 86 名の健常者群を対象にして、認知機能検査 (文字流暢性・意味流暢性検査、Trail-making Test、Stroop Test、数逆唱) を行い、年齢を統制した上で、前頭葉の形態的特徴を、MRI 画像を用いて検討を行っている。その結果の概略は、①前頭前野 (prefrontal cortex)、運動前野 (premotor cortex)、運動野 (motor cortex)、後頭葉 (occipital cortex) の MRI による形態的脳画像計測でのサイズ減少 (cortical thinning) は患者群での認知機能成績低下と関連があること、②患者群では前頭前野の cortical thinning が顕著であり、認知機能低下と結びついていること、③患者群は左・右の運動皮質は統制群に比べて cortical thinning が顕著なこと、④患者群内での cortical thinning の程度は正規分布しているが、認知機能の低下に伴って cortical thinning の程度は大きくなること、⑤患者群での cortical thinning の拡大は前頭・側頭葉型認知症につながる可能性が大きいこと、⑥前頭前野の皮質の cortical thinning は運動ニューロンの量や疾病の期間、身体運動不全の程度には独立であることを明らかにした。つまり、運動機能低下と認知機能低下とは相互関連しているというもので、前頭葉と mobility performance と認知機能低下との関連を指摘するものである。

さて、mobility performance、言い換えれば、筋・運動系の基本である人間の歩行には前庭機能が重要な役割を担うことを指摘する報告が多数存在する (Anson et al., 2019; Layman et al., 2015; Zangemeister, Bulgheroni, & Pedotti, 1991)。例えば、かなり以前に、Zangemeister, Bulgheroni, & Pedotti (1991) は motion analyzer や筋電計を用いた実験から、姿勢のコントロールは前庭系、体性感覚系、視覚系の機能統合の結果であり、前庭系の神経信号と下肢筋肉系の信号との連絡の重要性を指摘している。また最近では Anson et al. (2019) は、Baltimore Longitudinal Study of Aging (BLSA) の資料から、平均 72.2 歳 (SD = 14.6) の健常者を対象に前庭機能 (半規管: semicircular canal と耳石機能: otolith function) と歩行指標 (10 m 歩行での歩幅、step 幅などの空間指標; 揺れ、stance time などの時間指標) との関連を調べた。姿勢・歩行に前庭系は基本的な役割を担っており、horizontal semicircular canal (SCC: 水平半規管) が歩行速度の遅延に関連が強く、歩行速度

と立位姿勢の維持機能は関係が深いとしている。この歩行速度が認知機能と運動機能に関連するという報告は、Sourmare et al. (2009) や Malmstrom et al. (2005)、Rosano et al. (2005)、Fitzpatrick et al. (2007) などとも報告している。具体的には、Sourmare et al. (2009) が明らかにしているように、65 ~ 85 歳の健常成人で歩行速度と MMSE、言語流暢性、Trail-making Test (TMT: a, b) との成績を比較し、歩行速度 (6 m を最大速度で歩く時間) は、歩行速度が遅いと言語流暢性、TMTa (psychomotor speed) の検査成績が低下するとしている。しかし、TMTb (executive function) や一般認知機能 (MMSE) との関係は見出せなかった。また、Previc ら (2014) は、Basso & Morrell (2015) の研究が前頭葉機能を運動は促進するが、海馬系には影響はないと報告しているのに対して、前庭系機能と記憶機能との間に関連があると報告している。

以上、近年の先行研究を概観すると、認知機能は前庭系機能が重要な役割を果たしている歩行や運動動作機能と関連があり、運動機能疾病を持つ人や高齢者においてはその関連が顕在化することには、一定のコンセンサスが得られていると言えよう。ただし、認知機能の具体的内容についてはまだ探索的な現況にあり、コンセンサスを得るに至っていないことが示唆される。実際、本稿に着手以降の近着の文献で認知機能低下と運動機能低下は別物の加齢現象か否かを検討する試みが取り上げられていた。このような文脈で Langeard et al. (2019) は前頭葉機能を構成する要素 (information processing speed, inhibition, switching) と TUG との関連を検討し、高齢者においては 3 要素のうち switching だけが TUG を反映する要素としている。ただ、この研究で認知機能検査として用いているのは Stroop 検査であり、指標の妥当性については議論の余地がある。この他にも、例えば Montero-Odasso et al. (2012) の評論は運動機能と認知機能は独立した加齢現象を示すとしているが、それ以降のメタ分析研究では、運動機能と MMSE で見るような一般的認知機能は並行して加齢に伴って低下する (Demnitz et al., 2016) という見解や運動機能低下は前頭葉機能の加齢による低下と並行しているという指摘が行われ、まだコンセンサスに至らないのが現状と指摘できる。

以上のような背景の下、本研究では先行研究でも認知機能として取り上げられてきた前頭葉機能検査に焦点を絞り歩行速度、運動の敏捷さとの関連について八雲研究データベースを基に健常中高年者を対象に探索的に検討する。

## 2. 方法

### 2.1 対象者

40 歳から 87 歳までの男性 108 名、女性 132 名、合計 240 名の中高年者が本研究の対象者である。年齢分布や教育歴は表 1 に示す。この対象者は、自治体が主催する 2014 年度の住民健診事業に参加した住民の中で、神経心理班と整形外科班の両方を受診し、一般認知機能検査で認知機能の低下 (MMSE に基づく) が疑われなかった者

表 1 : 対象者の諸特性

|       | N   | Age           | Years of Education |
|-------|-----|---------------|--------------------|
| Women | 132 | 64.17 (10.66) | 11.60 (2.50)       |
| Men   | 108 | 65.96 (9.52)  | 11.60 (2.52)       |

である。対象者は自治体が行う事業への自主的参加者であり、自律生活が可能で、健診会場へ自分で移動でき、自立歩行に問題を持たない者から構成されている。年齢構成は 40 歳代 20 名（男性 5 名、女性 15 名）、50 歳代 37 名（男性 15 名、女性 22 名）、60 歳代 108 名（男性 54 名、女性 54 名）、70 歳代 60 名（男性 27 名、女性 33 名）、80 歳代 15 名（男性 7 名、女性 8 名）であった。

## 2.2 可動性・機動性

可動性・機動性を表す測度として歩行速度と機動性を採用した。

## 2.3 歩行速度 (walking speed: WS)

床面に白色のテープで 10 m の直線を描き、その上を自らの通常歩行ペースで歩くことを対象者に求めた。検査者はストップウォッチで所要時間を計測した。歩行は 2 回行い、その平均値を歩行速度とした。この指標を以下「歩行速度: WS」と呼ぶことにする。WS 検査では、スタートラインから合図により歩き出す際に、一歩目は軸足を起点にきき足から第一歩目が出された。この検査は全ての対象者に対して同一の整形外科班員が行った。

## 2.4 機動性 (timed go-up-and go: TUG)

高齢者の転倒防止に関する研究に用いられる TUG 検査を機動性の指標とした (Wall, Bell, Campbell, & Davis, 2000)。TUG の信頼性および妥当性については Chan et al. (2017) が健常高齢者と障害を持つ脳卒中患者を対象にして検査者内・間の一致度、再テストでの一致度を調べ、信頼性および妥当性の高い指標であると結論づけている。Padsiadlo and Richardson (1991) も TUG が運動機能の機動性を測定する上で信頼性が高く妥当性を有する検査であることを報告している。対象者は直立した背もたれの木製の椅子に座り、検査者の合図で、椅子から立ち上がり、普段通りの自分の歩行ペースで 3 m 先の目印を迂回して戻り、再び椅子に座るまでに所要時間を計測した。対象者はこの動作中には補助器具は用いず、2 度同じ「椅子から立ち上がり、歩行し、迂回して再び椅子に座る」動作の所要時間を検査者がストップウォッチで計

測した。この検査も全ての対象者に対して同一の整形外科班員が行った。

## 2.5 認知機能

認知機能は NU-CAB (Nagoya University Cognitive Assessment Battery) により測定した。このバッテリーは、短縮版 MMSE、D-CAT1、D-CAT3、ウェクスラー記憶検査 (日本版)、Money 道路図検査、言語流暢性 (文字流暢性と意味流暢性) 検査、および Stroop 検査から構成されている。NU-CAB 作成の背景理論やプロトコールは 八田 (2004) を参照されたい。探索的な本研究で分析対象にしたのは、前頭前野の機能に焦点を当てるために D-CAT1 と D-CAT3 であった。D-CAT は Solberg and Mateer (1987) の注意階層理論に基づいたもので、階層の基礎層にある注意の焦点化、維持、注意配分の要素が主であり、前頭眼野 - 背側注意ネットワークやターゲット識別のための腹側注意ネットワークなど複雑なネットワークを含んでいる検査課題である (八田・伊藤・吉崎, 2001; 2006; Hatta, Yoshizaki, & Ito, 2009)。その信頼性や妥当性についてはすでに報告している (Hatta, Ito, & Yoshizaki, 2006; Hatta, Yoshizaki, Ito et al., 2012; Hibino, Mase, Shirataki et al., 2013)。

D-CAT 検査用紙は 1 行に一桁の数字 0 ~ 9 が 50 個、ランダムな順序に配列されたものが 12 行 A4 サイズの紙に印刷されたものである。対象者は、D-CAT1 では検査者が指定する 1 文字 6 を各行の左端から右端まで検索し、60 秒間にできるだけ速く間違いなく抹消ラインを引いた。D-CAT3 では、8、3、7 の 3 文字の全てを 60 秒間にできるだけ速く、間違いなく抹消ラインを引くことが求められた。D-CAT 検査自体にはいくつかの指標があるが、D-CAT1 と D-CAT3 とで正しく抹消できた個数、ターゲットの数が増えたことでの負荷の指標としての D-CAT1、D-CAT3 と D-CAT3 間の変化率を本研究では分析対象とした。D-CAT1 と D-CAT3 の結果は、ターゲットとして指定された数字にできるだけ速く間違いなく抹消マークをつけることであったので、検査マニュアルによれば、情報処理速度、注意の焦点化・維持機能を反映しているのに対して、変化率は難易度が増加する注意の維持課題を続けることの疲労に関係する指標とみなされている。

## 3. 結果

表 2 は、男女別に表した WS、TGUG、D-CAT1/D-CAT3 の作業量および D-CAT3/D-CAT1 の作業変化率である。まず、WS と TUG のそれぞれと D-CAT との関連を調べるた

表 2 : 対象者の WS、TUG、D-CAT1、D-CAT3 および作業変化率

|       |      | TUG   | WS   | D-CAT1 | D-CAT3 | Performance Change Rate |
|-------|------|-------|------|--------|--------|-------------------------|
| Women | Mean | 11.60 | 6.41 | 27.69  | 48.43  | 0.62                    |
|       | SD   | 2.50  | 0.94 | 6.88   | 12.68  | 0.09                    |
| Men   | Mean | 6.09  | 4.75 | 25.52  | 44.57  | 0.62                    |
|       | SD   | 1.08  | 0.66 | 6.53   | 12.13  | 0.10                    |

表3：中央値で2分した場合のWSおよびTUGでのD-CAT1、D-CAT3および作業変化率の平均、標準偏差および人数

|        |       | Poor performers    | Good performers    |
|--------|-------|--------------------|--------------------|
| D-CAT1 | Women | 6.89 (1.00) N = 59 | 6.03 (0.67) N = 73 |
|        | Men   | 6.31 (1.27) N = 62 | 5.81 (0.67) N = 46 |
| D-CAT3 | Women | 6.79 (1.01) N = 63 | 6.08 (0.72) N = 69 |
|        | Men   | 6.29 (1.26) N = 62 | 5.83 (0.72) N = 46 |
| 変化率    | Women | 6.46 (0.93) N = 67 | 6.37 (0.95) N = 65 |
|        | Men   | 6.15 (1.05) N = 57 | 6.03 (1.13) N = 51 |

め、年齢を統制した偏相関分析を行った。その結果、WSはD-CAT1 ( $r = -0.241$ ,  $df = 237$ ,  $p < 0.00$ )とD-CAT3 ( $r = -0.235$ ,  $df = 237$ ,  $p < 0.00$ )の作業量と有意な相関関係にあることが明らかとなった。ただし、D-CAT1とD-CAT3の変化率との相関は有意でなかった。TUGもまたD-CAT1 ( $r = -0.181$ ,  $df = 237$ ,  $p < 0.01$ )、D-CAT3 ( $r = -0.193$ ,  $df = 237$ ,  $p < 0.00$ )の作業量との相関が有意であるのに対して、D-CATの変化率との関連は有意でなかった。

つぎに、D-CAT1と3の作業量について中央値を基準に高成績群・低成績群を設け、(表3)、WSとTUGについて、D-CAT1、またはD-CAT3の成績と性別を独立変数とする分散分析を行なった。

まず、WSを従属変数とした分析の結果、成績群、性別、および両者の交互作用が有意となった(成績群： $F_{1,236} = 22.17$ ,  $p < 0.01$ ; 性別： $F_{1,236} = 6.19$ ,  $p < 0.01$ ; 交互作用： $F_{1,236} = 4.27$ ,  $p < 0.05$ )。下位検定の結果、女性において、D-CAT低群は高群よりも時間を要し、D-CAT低群において女性は男性よりも時間を要していた。同様の分散分析をD-CAT3について行ったところ、成績群、および性別が有意となったが(成績群： $F_{1,236} = 15.89$ ,  $p < 0.00$ ; 性別： $F_{1,236} = 4.910$ ,  $p < 0.03$ )、交互作用は有意に至らなかった( $F_{1,236} = 2.04$ ,  $p = 0.16$ )。

次にTUGについても同様の分散分析を実施した。TUGとD-CAT1についての結果は、成績群と性別が有意となり(成績群： $F_{1,236} = 30.45$ ,  $p < 0.00$ ; 性別： $F_{1,236} = 10.64$ ,  $p < 0.00$ )、両者の交互作用は有意に至らなかった( $F_{1,236} = 2.16$ ,  $p = 0.14$ )。TUGとD-CAT3についての結果もD-CAT1と同様であり、成績群と性別が有意となり(成績群： $F_{1,236} = 21.48$ ,  $p < 0.00$ ; 性別： $F_{1,236} = 8.65$ ,  $p < 0.00$ )、両者の交互作用は有意に至らなかった( $F_{1,236} = 1.04$ ,  $p = 0.31$ )。

これらの結果をまとめると、WS、TUGともに、D-CAT1とD-CAT3の両指標ともに抹消数が多い群では歩行所要時間が短いこと、男性は女性よりも所要時間が短いことが明らかになった。なお、WSについてのみ、D-CAT1の作業量が低い女性はとくに時間を要していた。

これらのことから、前頭前野の機能を反映するとしている認知機能検査成績が優れることが、自分のペースでの歩行速度、椅子から立ち上がり歩き、再び座るといった機動性を含む動作が速い(優れる)と確認されたことになる。

#### 4. 考察

本研究は八雲研究のdatabaseを用いて、前頭葉機能と可動性・機動性(WS、TUG)との関連の確認が目的であった。八雲研究の神経心理班は複数の認知機能を縦断的に測定した資料を蓄積しており、本研究は今後包括的に検討する前の探索的試行である。

さて、このような背景で行なった本研究の検討からは、前頭前野機能の測定指標としたD-CAT1およびD-CAT3と、WSやTUGとは有意に関連することが確認できた。関連についての統計分析は、本稿では煩瑣なることを避けるために、中央値でWSとTUG成績を2群に分けた分散分析のみを記載したが、WSとTUGの成績を1SDで高成績群・低成績群に分けた分散分析でも、D-CATの成績が優れる群は有意にWSとTUGが速い(優れる)ことを確認できている。また、重回帰分析(WS、TUGを基準変数、D-CATと年齢を説明変数)でも、WSの場合有意となっており(WS： $\beta = -0.29$ ; D-CAT1-； $\beta = -0.29$ ; D-CAT3)、このことはTUGでも同様である(TUG： $\beta = -0.20$ ; D-CAT1-； $\beta = -0.21$ ; D-CAT3)。つまり、行動指標の感受性は十分に高いことを確認できたことになる。

ここで、WSとTUGがどのような身体機能上のどのような要素を含むのかを確認しておこう。Benavent-Caballer et al. (2016)は、健常な65歳以上の194名にTUGと身体要因(年齢、BMI、片足立ち、握力、など)との関係を検討し、TUGは、ひざ関節の拡張力やバランス能力と関連が大きいこと、とりわけバランス能力が一番大きく関わることを報告している。また、バランス機能と歩行距離とは正の直線回帰が当てはまるなどの研究もある(Fernandez-Alonso, Munoz-Garcia, & Touche, 2016; Rapp et al., 2012)。また、バランス機能の維持は年齢が重要という指摘は、加齢に伴い大抵の身体機能に組織学的変化による機能的低下が生じ、そして病気に至るという事実があり。加齢に伴う組織学的変化が機能的低下を導くことは、特に骨・血管系・骨格筋で顕著であることに起因すると考えられている(Chodzko-Zajko & Proctor, 2009; Hayashi, Gonsalves, & Parreira, 2012; Taylor et al., 2012)。この機能低下現象には性差があると報告されており(American College of Sports Medicine, 2011; Center for Disease Control & Prevention, 2016; Shultz, Ashton-Miller, & Alexander, 1997)、本研究でもWSとTUGとで性差が確認できており、一致

する結果と言える。これらの研究が指摘するように、女性では転倒リスクが高くなるという性差の原因と言えそうである。もっとも、Duck et al. (2019) らのように、地方自治体住民 101 名を対象に日常生活での身体運動のタイプ・量を質問票で確認して、Berg Balance Scale と TUG を指標にしたバランス機能との関係を検討で有意な関連は見いだせていないとする報告も存在している。

中高齢者が対象である本研究において、D-CAT の成績に WS と TUG の両方が、D-CAT の成績が良い群は WS と TUG の 2 つの指標で優れるという関係を示したことは、WS と TUG 両者に共通する要素が前頭葉機能と密接に関連することを意味している。WS と TUG とに共通するものは姿勢の維持、下肢動作機能、動作の開始・終止などと表現でき、それらは前庭機能と基底核ネットワークと言い換えても良い (Anson et al., 2019; Layman et al., 2015; Lent et al., 2004; Zangemeister, Bulgheroni, & Pedotti, 1991)。WS や TUG のような運動行為は「意思決定と行為の選択」という要素や「指示-行為の記憶」の要素が含まれている。このような高次脳機能の発揮には前頭前野と大脳基底核が連携することによって初めて「決定や選択」と「結果の記憶」の両者が達成されること、特に、前頭前野と大脳基底核のやり取りが「決定や選択」の過程に重要であることをサルを対象とした電気生理学的研究が明らかにしている (Arimura et al., 2013; Saga et al., 2013)。大脳基底核は線条体、黒質、海馬、扁桃体などの神経核から構成される系 (システム) であり、手続き記憶とその実行系の神経機構、とりわけ大脳皮質との連関については、サルのニューロン活動を調べる研究が注目されてきた。例えば新しい行動を獲得する段階では前頭前野-補足運動野-頭頂葉内側部の視覚ループが関与し、蓄えた記憶を保持-検索する段階では補足運動野-基底核中央部の運動ループが関与するとしている (彦坂, 2008; Hikosaka et al., 2014; Hikosaka & Isoda, 2010)。

大脳基底核については、高草木 (2009) の総説がわかりやすい。そこでは、大脳基底核は大脳皮質から入力を受け (皮質-線条体投射)、基底核内の神経回路において処理された情報は、大脳皮質や辺縁系 (大脳皮質-基底核ループ) と脳幹 (基底核-脳幹系) へと出力されるとある。大脳皮質-基底核ループには、運動ループ、認知ループ、辺縁系ループ、眼球運動ループの 4 種があり、WS の基礎となる姿勢や歩行は、基底核-脳幹系により制御されるのに対して、「立つ-歩く-回る-歩く-座る」から構成される TUG は、運動機能に加えて認知、情動のような精神機能に関与するとみなせる (Alexander & Crutcher, 1990)。

このような枠組みでの Hanakawa, Goldfine and Hallet (2017) の研究は、認知ループと運動ループにネットワーク上の重なりが大きいことを指摘するものである。彼らは、指での打鍵 (運動課題)、指での打鍵とイメージ上で行うイメージ課題、指を見ての暗算課題 (イメージ課題) を健常者とパーキンソン病患者群に実施して行動指標と fMRI 画像での比較結果を報告する中で、運動課題とそれ

以外とでは別な神経回路が働くと報告している

本研究結果に話を戻そう。WS と TUG とが類似した傾向、すなわち D-CAT が反映すると考えられる前頭葉機能のうちに情報処理速度、注意機能に感応性が高いことが明らかとなったが、このことから Osaku et al. (2014) の結果も了解できる。すなわち、Osaku らは軽微な散歩のような運動が歩幅や TUG の成績に有効に機能するのかを 60 ~ 96 歳の健常な日本人高齢者 802 名を対象に、7 日間 1 日 10 時間身体運動を計測し、重回帰分析を用いて検討した。その結果、75 歳以上の対象者では有効であることを確認した。つまり、散歩のような軽度の運動も TUG も類似した結果であったということになる。これは、身体運動は歩行時間や姿勢維持機能と高い相関があることを考えれば当然と言えるのかもしれない (Rosenberg et al., 2015)。

再度確認すると、WS と TUG はそれぞれ認知機能と関連し、高齢期においては、運動は可動性に関わる軽微な散歩のような運動であれ、TUG のような機動性が加味された運動であれ、中高年齢者の認知機能低下鈍化に有効に機能する可能性を裏付けると言えよう。

冒頭に記載したように本研究は探索的なものであり、当然限界を内包している。まず第 1 に、加齢に伴って機能が低下していくのは、基底核ネットワークの中で運動系ループと、認知系ループとが独立して別の傾向をたどるのではない可能性が示唆されたが、その相互性に中身については不明なままである。

本研究の計画には認知ループに関連する指標として前頭葉機能への対応として D-CAT のみ取り上げたが、D-CAT は情報処理機能や注意機能の一部の要素しか反映するものでしかない。八雲研究のデータベースに実行系に対応する指標がないわけではないので、Miyake et al. (2000)、が指摘するように前頭葉機能に含まれる実行系機能を反映する指標を検討に加えるべきであろう。そして、基底核ネットワークの中での記憶系ループや情動ループとの相互関連の検討を今後の課題とする必要がある。相互関連の可能性を示唆するものとして Hatta, Hotta, & Kitagami (2011) は運動ループと記憶ループとの相互関連を示唆したことがある。これは、左右に方向性のある台所用品の画像を見せ、約 60 分後に再認を求める偶発記憶実験での錯誤結果のことである (右ききは右が上になる方向に提示された包丁は左が上に配置されていたと錯誤する頻度が左ききより高い。一方で、左ききは左が上に提示された場合に右が上であったと誤認する傾向が顕著であった)。左ききと右ききで、左右手の道具使用の運動習慣を反映したと説明したもので、両ループが記憶再認時に、自動的に発動してこの種の錯誤が生まれるのではないかと説明した報告である。第 3 には運動機能の成績を規定する要因に関わっての、対象者の個人的特性の統制がある。太り過ぎの体型となった対象者は WS も TUG 成績も低くなるはずと考えれば、BMI、下肢の運動に影響するような整形外科的疾患の有無、運動履歴の統制など、対象者の丁寧な吟味とそれらを変数として加

味した検討が必要となる。

さらには、mobility が前頭葉機能をはじめとする認知機能の加齢に伴う低下速度の鈍化に有意に貢献するのであれば、どの運動動作をどの程度の量、どのような頻度で行えば鈍化がどのような様相で推移するのかなどの課題が生まれてくる。ここでの探索的研究結果は、それらの検討を加えていくことの意味づけが得られたことになる。

## 謝辞

本研究は八雲研究の一部を構成するものであり、科学研究費補助金 JSPS #23330219 と #17H02647 (代表者：八田武志) の助成により実施された。八雲町民ドック実施関係者と研究に参加された皆さんに謝意を表します。また、本研究は名古屋大学医学系研究科研究倫理委員会 (2011 #643) および関西福祉科学大学研究倫理委員会 (2017 #17-13) の承認に基づいて実施したもので、書面により資料の使用を了解された対象者の資料だけに基いて分析処理している。

## 引用文献

- American College of Sports Medicine (2011). Exercise and the older adult. Retrieved from <http://www.acsm.org>.
- Anson, E., Pineault, K., Bair, W., Studenski, S., & Agrawal, Y. (2019). Reduced vestibular function is associated with longer, slower steps in healthy adults during normal speed walking. *Gait & Posture*, 68, 340-345.
- Alexander, G. E. & Crutcher, M. D. (1990). Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. *Trends in Neuroscience*, 13, 267-271.
- Arimura, N., Nakayama, Y., Yamagata, T., Tanji, J., & Hoshi, E. (2013). Involvement of the globus pallidus in behavioral goal determination and action specification. *Journal of Neuroscience*, 33, 13639-13653.
- Basso, J. C. & Morrell, J. I. (2015). The medial prefrontal cortex and nucleus accumbens mediate the motivation for voluntary wheel running in the rat. *Behavioral Neuroscience*, 129, 457-472.
- Benavent-Caballer, V., Sendin-Magdalena, A., Lison, J. F., Rosaso-Calatayud, P., Amer-Cuenca, J. J., Salvador-Coloma, P., & Segura-Orti, E. (2016). Physical factor underlying the time "up and go" test in older adults. *Geriatric Nursing*, 37, 122-127.
- Centers for Disease Control and Prevention (2016). Falls and falls injuries among adults aged ≥65 years—United States, 2014. Retrieved from [https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/65/wr/mm6537a2.htm?s\\_cid=mm6537a2\\_w](https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/65/wr/mm6537a2.htm?s_cid=mm6537a2_w).
- Chodzko-Zajko, W. & Proctor, D. (2009). American College of Sports of Medicine position stand: Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (7), 1510-1530.
- Demnitz, N., Esser, P., Dawes, H., Valkanova, V., Johansen-Berg, H., Ebmeier, K. P., & Sexton, C. (2016). A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies examining the relationship between mobility and cognition in healthy older adults. *Gait Posture*, 50, 164-174.
- Fernandez-Alonso, L., Munoz-Garcia, D., & Touche, R. (2016). The level of physical activity affects the health of older adults despite being active. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 12 (3), 194-201.
- Fitz Patrick, A. L., Buchanan, C. K., Nahin, R. L., Dekosky, S. T., Atkinson, H. H., Carlson, M. C., Williamson, J. D., Ginkgo evaluation of memory (GEM) study investigators (2007). Associations of gait speed and other measures of physical function with cognition in a healthy cohort of elderly persons. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 62, 1244-1251.
- Hanakawa, T., Goldfine, A. M., & Hallet, M. (2017). A common function of basal ganglia-cortical circuits subserving speed in both motor and cognitive domains. *E Neuro, Cognition and Behavior*, 4, e0200-17, 2017, 1-19.
- 八田武志 (2004). 住民検診を対象とした認知機能検査バッテリー (NU-CAB) 作成の試み. 人間環境学研究, 2, 15-20.
- 八田武志 (2003). 脳のはたらきと行動のしくみ. 化学同人.
- 八田武志 (2013). 「左脳・右脳神話」の誤解を解く. 化学同人.
- Hatta, T., Hotta, C., & Kitagami, S. (2011). Handedness differences in memory recall and image generation: A neuropsychological supra-modal activation model. *Journal of Mental Imagery*, 35, 33-46.
- 八田武志・伊藤保弘・吉崎一人 (2001). D-CAT—注意機能スクリーニング検査—. ユニオンプレス.
- 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—, 第2版. ユニオンプレス.
- Hatta, T., Yoshizaki, K., & Ito, Y. (2009). Development of screening test for attention by digit cancellation method. In K. Yoshizaki & H. Ohnishi (Eds.) *Contemporary issues of brain, communication and education in psychology* (pp. 3-19). Osaka: Union Press.
- 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.
- Hayashi, D., Gonsalves, C., & Parreira, R. (2012). Postural balance and physical activity in daily life in physically independent older adults with different levels of aerobic exercise capacity. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 55 (2), 480-485.
- Hibino, S., Mase, M., Shirataki, T., Nagano, Y., Fukagawa, K., Abe, A. et al. (2013). Oxyhemoglobin changes during cognitive rehabilitation of the traumatic brain injury using near Infrared Spectroscopy. *Neurologia Medico-Chirurgica*, 53, 299-303.
- 彦坂興秀 (2008). 大脳皮質—基底核系による行動選択と学習機能. *Brain and Nerve—神経研究の進歩*, 60, 799-

813.

- Hikosaka, O. & Isoda, M. (2010). Switching from automatic to controlled behavior: Cortico-basal ganglia mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 154-161.
- Hikosaka, O., Kim, H. F., Yasuda, M., & Yamamoto, S. (2014). Basal ganglia circuits for reward value-guided behaviour. *Annual Review of Neurosciences*, 37, 289-306.
- Langeard, A., Houdeib, R., Saillant, K., Kaushal, N., Lissier, M., & Bherer, L. (2019). Switching ability mediates the age-related difference in timed up and go performance. *Journal of Alzheimer Disease*, Mar. 18.10.3233/JAD-181176.
- Layman, A. J., Li, C., Simonsick, E., Ferrucci, L., Carey, J. P., & Agrawal, Y. (2015). Association between saccular function and gait speed: data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Otology and Neurology*, 36, 260-266.
- Machts, J., Crdenas-Blanco, A., Acosta-Carbronero, J., Kaufmann, J., Loewe, K., Kasper, E., Schuster, C., Prudlo, J., Vilhaber, S., & Nestor, P. J. (2018). Prefrontal cortical thickness in motor neuro disease. *NeuroImage: Clinical*, 18, 648-655.
- Malmstrom, T. K., Wolinsky, F. D., Andresen, E. M., Miller, J. P., & Miller, D. K. (2005). Cognitive ability and physical performance in middle-aged African Americans. *Journal of American Geriatric Society*, 53, 997-1001.
- 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.
- Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O., & Hausdorff, J. M. (2012). Gait and cognition: A complementary approach to 340 understanding brain function and the risk of falling. *Journal of J American Geriatric Society*, 60, 2127-2136.
- Montuschi, A., Iazzolino, B., Calvo, A., Moglia, C., Lopiano, L., Restagno, G., Brunetti, M., Ossola, I., Lo Presti, A., Cammarosano, S., Canosa, A., & Chio, A. (2015). Cognitive correlates in amyotrophic lateral sclerosis: A population-based study in Italy. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 86, 168-173.
- Osaku, Y., Yabushita, N. Kim, M., Seino, S., Nemoto, M., Jung, S., Okubo, Y., Figueroa, R., & Tanaka, K. (2015). Association between habitual light-intensity physical activity and lower-extremity performance: A cross-sectional study of community-dwelling older Japanese adults. *Geriatric & Gerontology International*, 15, 268-275.
- Phukan, J., Elamin, M., Bede, P., Jordan, N., Gallagher, L., Byrne, S., Lynch, C., Pender, N., & Hardiman, O. (2012). The syndrome of cognitive impairment in amyotrophic lateral sclerosis: A population-based study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 83, 102-108.
- Padsialdo, D. & Richardson, S. (1991). The timed "up & go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of American Geriatric Society*, 39, 142-148.
- Previc, F. H., Krueger, W. W., Ross, R. A., Roman, M. A., & Siegel, G. (2014). The relationship between vestibular function and topographical memory in older adults. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 1-8.
- Rapp, K., Klenk, J., Benzinger, P., Franke, S., Denking, M., & Peter, R. (2012). Physical performance and daily walking duration: Association in 1271 women and men aged 65-90 years. *Aging Clinical and Experimental Research*, 24 (5), 455-460.
- Ringholz, G. M., Appel, S. H., Bradshaw, M., Cooke, N. A., Mosnik, D. M., & Schulz, P. E. (2005). Prevalence and patterns of cognitive impairment in sporadic ALS. *Neurology*, 65, 586-590.
- Rosano, C., Simonsick, E. M., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Brach, J., Visser, M., Yaffe, K., & Newman, A. B. (2005). Association between physical and cognitive function in healthy elderly: The health, aging and body composition study. *Neuro-Epidemiology*, 24, 8-14.
- Rosenburg, D., Belletiere, J., Gardiner, P., Villarreal, V., Crist, K., & Kerr, J. (2015). Independent associations between sedentary behaviors and mental, cognitive, physical, and functional health among older adults in retirement communities. *The Journals of Gerontology, Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 71 (1), 78-83.
- Saga, Y., Hashimoto, M., Tremblay, L., Tanji, J., & Hoshi, E. (2013). Representation of spatial- and object-specific behavioral goals in the dorsal globus pallidus of monkeys during reaching movement. *Journal of Neuroscience*, 33,16360-16371.
- Schultz, A., Ashton-Miller, J., & Alexander, N. (1997). What leads to age and gender differences in balance maintenance and recovery? *Muscle and Nerve*, 5, S60-S64.
- Solberg, M. M. & Mateer, C. A. (1987). Effectiveness of an attention-training program. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 9, 117-130.
- Sourmare, A., Tavernier, B., Alperovitch, A., Tzourio, C., & Elbaz, A. (2009). A cross-sectional and longitude study of the relationship between walking speed and cognitive function in community-dwelling elderly people. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 64A, 1058-1065.
- Swinnen, B. & Robberecht, W. (2014). The phenotypic variability of amyotrophic lateral sclerosis. *Nature Reviews Neurology*, 10, 661-670.
- 高草木薫 (2009). 大脳基底核における運動の制御. *臨床神経学*, 49, 325-334.
- Taylor, L., Maddison, R., Paeffli, L., Rawstron, J., Gant, N., & Kerse, N. (2012). Activity and energy expenditure in older people playing active video games. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93 (12), 2281-2286.
- Wall, J. C., Bell, C., Campbell, S., & Davis, J. (2000). The Timed Get-up-Go test revisited: Measurement of the compo-

ment tasks. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37, 109-114.

Zangemeister, W. H., Bulgheroni, M. V., & Pedotti, A. (1991). Normal gait is differentially influenced by the otoliths. *Journal of Biomedical Engineering*, 13, 451-458.

(受稿：2019年7月24日 受理：2019年8月23日)