

言語性ワーキングメモリ容量が潜在学習に与える影響： 誤りなし学習の効果に関する検討

The influences of verbal working memory capacity on implicit learning : effects in errorless learning

有川 瑛人^{1, 2)}, 窪田 正大²⁾, 木山 良二²⁾, 原口 友子¹⁾

要旨：脳損傷者における学習法として、誤りなし学習が有用であることが知られている。従来、誤りなし学習は潜在学習の理論によって説明されてきたが、近年、顕在記憶が関与することも指摘されており、そのすべては明らかになっていない。今回われわれは、潜在学習にワーキングメモリが関与するという立場に立ち、言語性ワーキングメモリの容量によって潜在学習の程度が異なるかを検討した。対象は20歳から30歳代の健常成人であった。方法は、リーディングスパンテスト (reading span test : RST) を用いて高スパン群と低スパン群に分類し、潜在的な系列の学習課題として知られる serial reaction time task (SRT 課題) の成績を2群間で比較した。結果、高スパン群と低スパン群のいずれも潜在学習を示したが、その成績は高スパン群のほうが安定していた。また、SRT 課題を二重課題下で行った場合、学習効果は高スパン群においてのみ認められた。以上より、言語性ワーキングメモリの容量によって潜在学習の程度は異なり、言語性ワーキングメモリの容量が大きいことは、潜在学習にとって有益であることが示唆された。

Key Words : 潜在学習, 顕在学習, ワーキングメモリ, 誤りなし学習 (errorless learning), serial reaction time task

はじめに

われわれの日常生活の活動は、系列的な行動を習得することで成り立っている。それは、運動の複数の要素が練習を通して単一の行動に統合されるプロセスであり (Kantakら, 2012), 何度も繰り返されるなかで次第に熟練されていく。

通常、系列的な行動の習得には、潜在的または顕在的な学習を伴う (Kantakら, 2012)。潜在的な系列の学習とは、学習したという事実を意識することなく、一つの独立した動きを滑らかで一貫した行動にまとめることを意味する (Reber, 1993)。

潜在的な系列の学習能力を調べる代表的なパラダイムの一つに、Nissenら (1987) が開発した serial reaction time task (SRT 課題) がある。SRT 課題では、ディスプレイ上に水平に並べられた4つの位置のうちの1つに刺激 (*) が提示され、被験者には刺激

に対応するキーをできるだけ早く押すことだけが求められる。刺激は一定の規則に従い継時的に提示されるが、被験者は規則があることについて知らされない。これを何度か繰り返すと次第にパフォーマンスが向上し、反応時間が短縮されていくのだが、突如ランダムな系列を出現させると被験者のパフォーマンスは途端に低下し、反応時間が増加する。しかし、課題終了後に規則を再現するよう求めても、被験者は規則の存在に気づいておらず、規則を再現することもできない。このように、被験者には学習の意識や意図がないにも関わらずパフォーマンスに学習効果が反映される一方で、意識的な想起には学習効果が反映されないことから、この課題下における系列の学習は潜在的とみなされる。

SRT 課題を用いた初期の神経心理学的研究においては、健忘症や神経変性疾患の患者に焦点が当て

【受理日 2019年5月29日】

1) 医療法人玉昌会加治木温泉病院総合リハビリテーションセンター Eito Arikawa, Tomoko Haraguchi : General Rehabilitation Center Kajikionsen Hospital

2) 鹿児島大学大学院保健学研究科 Eito Arikawa, Masatomo Kubota, Ryouji Kiyama : Graduate School of Health Sciences, Kagoshima University

られている。たとえば、健忘症患者の潜在的な学習能力は保たれる一方で (Nissenら, 1987), パーキンソン病や脊髄小脳変性症などでは潜在的な学習能力が障害されることが報告されている (Pascual-Leoneら, 1993)。近年では、右半球損傷患者における潜在学習の長期的な効果の検証 (Orrellら, 2007) や、失語症訓練への潜在学習理論の応用などが試みられている (Schuchardら, 2017)。

SRT課題のパフォーマンスには、加齢や認知能力が影響を及ぼすことが指摘されている。Frenschら (1994) は、若年成人と高齢者との二重課題下でのSRT課題のパフォーマンスを比較し、二重課題下では若年成人においてのみ学習が生じたことから、加齢によって機能の減衰が生じることを論じている。またHowardら (2001) は、SRT課題の系列が複雑になると、高齢者では若年成人に比べて学習が生じられにくいことを論じている。

学習意識を伴わない潜在学習とは対照的に、意識を伴う学習を顕在学習という (Reber, 1993)。顕在的な学習は一般的に何らかの認知的な制御を必要とし (Unsworthら, 2005), ワーキングメモリと関係することが示されている (Unsworthら, 2005; Boら, 2012)。ワーキングメモリとは、課題目標に向かって情報の処理と保持を制御する目標志向的な一時的記憶である (宇阪, 2012)。近年、ワーキングメモリは、発達、教育、臨床心理学といった幅広い研究分野において中心的な心理学的構成要素とみなされている (Conwayら, 2005)。

潜在的な系列学習は、ワーキングメモリのような認知資源とは独立した潜在意識のプロセスであることが指摘されているが (Janacsekら, 2013), 研究者によってさまざまな見解がある。たとえば、Unsworthら (2005) は、SRT課題を用いて、潜在的 (偶発的) および顕在的 (意図的) な2つの学習条件下での学習にワーキングメモリの容量が関係しているかを検討した。結果、潜在的な学習条件の場合、SRT課題の学習率にワーキングメモリの容量の個人差の影響がみられなかったことから、潜在的な学習におけるワーキングメモリの容量の影響は小さいか存在しないことを論じている。他方、Frenschら (1994) は、SRT課題の反応刺激間隔 (response stimulus interval: RSI) が500msecと1500msecの2つの条件を設定し、単一課題と二重課題の条件下で実施したところ、RSIが500msecで、かつ二重課題の条件に

おいてのみスパン課題と相関関係を示したことから、ワーキングメモリの容量が限界に達した場合においては、潜在的な系列の学習にワーキングメモリの容量の影響が現れると論じている。またBoら (2011) によれば、SRT課題は言語性・視覚性ワーキングメモリ課題のどちらとも相関関係を示したことを報告し、高齢者の場合では言語性ワーキングメモリのみが潜在学習に影響していることが論じられている (Boら, 2012)。さらに潜在学習とワーキングメモリには共有する脳領域が存在することも指摘されており (Schwarbら, 2009), 両者の関係性に関する見解は一致していない (Janacsekら, 2013)。

以上より①SRT課題のパフォーマンスは、二重課題、規則性の構造 (複雑さ)、RSI、年齢、認知機能など、さまざまな要因の影響を受けること、②これらの要因の組み合わせ次第でワーキングメモリ課題と関連性を示すことがある、ということが推定される。

潜在的な学習は手続き記憶に類似した概念であり (Seeger, 1994), 記憶障害の認知リハビリテーション (リハ) はこの記憶を活用することにより成り立っている。たとえば、「誤りなし学習 (errorless learning)」は誤りが繰り返されないように誤りを排除する学習方法であり (原, 2018), 手続き記憶をうまく活用することで学習効果を高める手法である。

誤りなし学習の適応は幅広く、失語症の呼称訓練 (Fillinghamら, 2006) や統合失調症の問題解決訓練 (Kernら, 2005) など、複数の認知リハにおいても有用性が示されている。しかしそうになると、誤りなし学習の有用性を手続き記憶のみで説明することが難しくなる。というのも、記憶障害のリハにおいて保たれた手続き記憶を用いるのが有効なことは明白だが、失語症や統合失調症などでは記憶障害の患者と同じように顕在記憶が低下するとは考えにくい。したがって、記憶障害のリハ以外での誤りなし学習の効果には、手続き記憶以外の要因も影響を及ぼしていることを想定しなければならない。

そこで本研究では、誤りなし学習の効果に関する認知機能としてワーキングメモリに焦点を当てる。ワーキングメモリは、読解力や理解力、ひいては創造的な思考力や流動的知性と深く関わる性質を有し (宇阪, 2012), さまざまな分野での学習において重要であることが指摘されている (Unsworthら, 2005)。

ワーキングメモリの容量には大きな個人差があり(荳阪, 2012), Danemanら(1980)が開発したリーディングスパンテスト(reading span test: RST)は, その個人差を測定する代表的な方法である(荳阪, 2002)。本研究では, 言語性ワーキングメモリの容量を測定する方法としてRSTを採用する。その理由は, ①RSTは信頼性と妥当性が実証されていること(Conwayら, 2005), ②SRT課題を用いた先行研究においても同様のスパン課題が用いられており(Unsworthら, 2005), 比較検討が行いやすいこと, ③Boら(2011, 2012)による一連の研究において, 年齢にかかわらず潜在学習能力と関係性を示したのは, 言語性ワーキングメモリ課題であったこと, などである。

一方, 潜在学習の研究においては, SRT課題以外に人工文法学習課題(Reber, 1993)やシステム制御課題(Berryら, 1984)なども知られているが, 本研究ではSRT課題を採用する。なぜなら, SRT課題に反映される潜在的な系列の学習能力は, 脳損傷後の歩行や到達距離, 発話方法の再学習にとって重要であることが指摘されており(Howardら, 2004), 認知リハへの応用が期待できるからである。

以上, 本研究では, 潜在学習能力はSRT課題, 言語性ワーキングメモリの容量はRSTに反映されると仮定し, 以下の2つの仮説を検討する。①ワーキングメモリの容量が大きいほうが, SRT課題のパフォーマンスが優れている。②SRT課題の学習条件(規則性の構造, 二重課題)を操作した場合, ワーキングメモリの容量の大きさの影響が露呈される。このようにわれわれは, ワーキングメモリの容量は潜在学習に影響を与えるという立場に立つ。

本研究の目的は, 誤りなし学習に関与する手続き記憶以外の要因を明らかにするための基礎研究として, 言語性ワーキングメモリの容量が潜在的な系列の学習に与える影響を検証することである。

1. 方 法

本研究の実験パラダイムは実験1および実験2で構成した。SRT課題は, 課題があまりに単純すぎると被験者が規則の存在に気づいてしまい, 顕在的な知識が混入してしまう可能性がある(Jiménezら, 2005)。そこで実験1では, Howardら(2001)を参

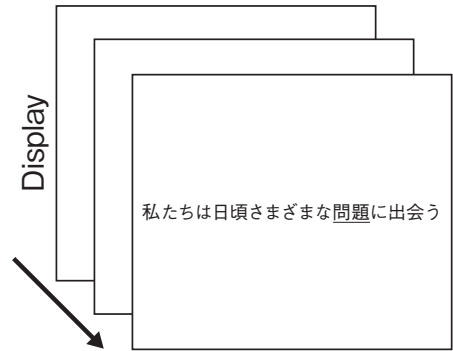


図1 リーディングスパンテスト (RST)

考にSRT課題の規則を複雑化し, 規則の存在が被験者に知られないようにした。実験2は, Nissenら(1987), Frenschら(1994)を参考にSRT課題をトーンカウンティング課題との二重課題下で実施し, ワーキングメモリの容量が制約された状況下での潜在学習を検討した。

ワーキングメモリスパン課題を用いた研究において, スパン得点の分布の上位25%と下位25%を高スパンと低スパンに分類する方法(Extreme-groups designs)は, 他の課題の成績を比較するのに効率的な方法であることが示されている(Conwayら, 2005)。そこで, すべての被験者にRSTを実施し, 上位25%を高スパン群, 下位25%を低スパン群と定義して, この2群間でSRT課題の成績を比較した。

2. 実験1：方法

a. 対象

被験者は, 健常成人28名(男性15名, 女性13名; 平均年齢 26.5 ± 2.8 歳)であった。

b. リーディングスパンテスト(荳阪, 2002)(図1)

課題はMicrosoft PowerPointで作成した。パソコン画面上に文を提示し, 音読をしながら文中の下線が引かれた単語(ターゲット語)を覚えるよう求めた。被験者が一文を音読し終わるごとに次の文を提示し, 複数の文を読み終えたあとにターゲット語を再生させた。

課題は, 2文から5文条件まで5試行ずつ行った。

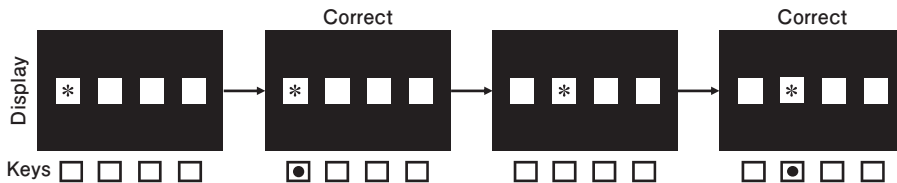


図2 serial reaction time task (SRT課題)

つまり、2文条件では10文、3文条件では15文、4文条件では20文、5文条件では25文、合計70文行った。正しく再生した語の総数を測定した (RST総再生数)。

c. SRT課題 (図2)

パソコン画面上に水平に並んだ4つの位置 (正方形) のなかの一つに、アスタリスク (*) を出現させた。その出現位置に対応するPCのキー (C, V, B, N) をできるだけ速く押すように教示した。刺激は正しいキーを押すまで提示し、正しいキーを押したら、250msecを挟んで次の位置に刺激を出現させた。

アスタリスクを出現させる順序は基本的に「N-B-V-C」の4系列の順序であったが、それぞれの系列間に「C, V, B, N」のいずれかをランダムに挿入し、規則とランダムが交互に提示されるように設定した (「N- (C) -B- (N) -V- (B) -C- (V) 」。このセットを10回繰り返して1ブロック (計80回) とした。被験者には系列に規則があることは伝えなかった。8ブロック続けて行ったのち、ランダムな系列80回を2ブロック行い、各ブロックの反応時間を測定した。8ブロックとランダム1ブロックの反応時間の差を学習量の指標とした。統計的手法として、群内比較にはWilcoxonの符号付順位検定、群間比較にはMann-WhitneyのU検定を用いた。有意水準は5%とした。

3. 実験1：結果

a. リーディングスパンテスト

RST総再生数は平均41.3 (7.7)、範囲28-56であった。上位25%の高スパン群7名 (56-46) と下位25%の低スパン群7名 (35-28) の2群に分類した。

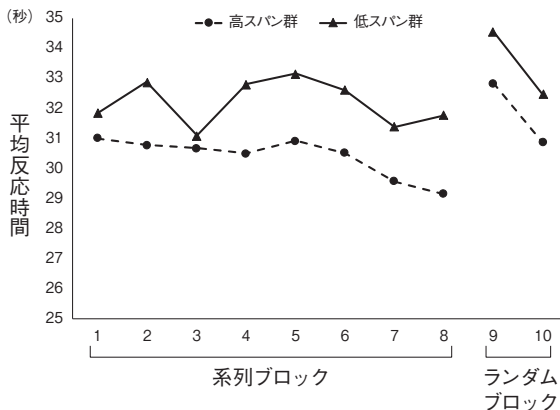


図3 実験1：SRT課題の推移

b. SRT課題

図3に反応時間の推移を示した。全被験者において、学習量 (8ブロックとランダム1ブロックの反応時間の差) は有意であった ($T=6.0, n=7, p=0.003$)。高スパン群、低スパン群のそれぞれの学習量も有意であった (高スパン群： $T=0.0, n=7, p=0.015$ ；低スパン群： $T=2.0, n=7, p=0.045$)。高スパン群と低スパン群の学習量に有意差はなかったが ($U=24.0, n1=7, n2=7, p=0.949$)、反応時間の推移は高スパン群のほうが低スパン群に比べて安定していた。なお、規則の存在に気づいた被験者はいなかった。

4. 実験2：方法

a. 対象

被験者は、健康成人28名 (男性14名、女性14名；平均年齢 26.5 ± 2.8 歳) であった。26名は実験1から引き続き実験2に参加した被験者であった。新規で2名が実験2に参加した。

b. リーディングスパンテスト

RSTの施行は実験1と同様であった。

c. SRT 課題

アスタリスクが出現する順序は、左から順に「N-V-B-C-B-V-N-B-V-C」の10系列とし、さらにそれぞれの系列の間隔に500Hzまたは2000Hzの音刺激をランダムに挿入した。被験者には、出現するアスタリスクにできるだけ速く対応しながら2000Hzの音のみをカウントしてもらい、課題終了後にその数を報告するよう求めた。10系列を10回繰り返して1ブロックとし、これを4ブロック実施した。1ブロックと4ブロックの反応時間の差を学習量の指標とした。統計学的手法として、群内比較にはWilcoxonの符号付順位検定、群間比較にはMann-WhitneyのU検定を用いた。有意水準は5%とした。

d. 生成課題

SRT 課題終了後、課題の系列には規則があったことを伝え、その系列を再生するよう求めた。系列のはじめの「N」の位置にアスタリスクを提示し、そこから続くキーを予測して押すよう求めた。ここでは速さではなく正しく系列を再生することが重要であることを説明した。

5. 実験2：結果

a. リーディングスパンテスト

RST総再生数は平均42.4 (7.9)、範囲28-56であった。上位25%の高スパン群7名 (56-49) と下位25%の低スパン群7名 (38-28) の2群に分類した。

b. SRT 課題

図4に反応時間の推移を示した。高スパン群では、4ブロックのほうが1ブロックに比べて反応時間が有意に短縮した ($T=1.0, n=7, p=0.028$)。低スパン群では4ブロックと1ブロックの反応時間に有意差を認めなかった ($T=12.0, n=7, p=0.735$)。規則の存在に気づいた被験者は、高スパン群3名、低スパン群1名であった。

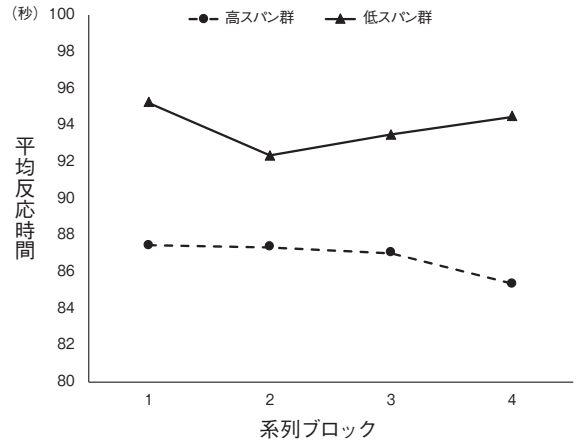


図4 実験2：SRT 課題の推移

c. 生成課題

生成課題の正再生数は平均4.8 (1.5) であった。高スパン群と低スパン群の正再生数に有意差はなかった (高スパン群4.7, 低スパン群4.9; $U=22.0, n1=7, n2=7, p=0.804$)。

6. 考 察

本研究の結果、①実験1において、すべての被験者がSRT 課題の規則に気づくことはなく、系列の学習は潜在的であると推定された。その学習の推移をみると、高スパン群のほうが低スパン群よりも安定していた。②実験2において、二重課題の状況下では、高スパン群においてのみ学習効果を示した。以上より、言語性ワーキングメモリの容量が大きいことは、潜在的な系列の学習にとって有益であることが示唆された。

実験1と同じように、SRT 課題の規則の構造を複雑化した先行研究においては、規則が複雑になるとSRT 課題のパフォーマンスに加齢の影響が出現することが報告されている (Howardら, 1997; Curran, 1997)。Howardら (1997) は、実験1と同じ方法でSRT 課題の規則を複雑化し、若年成人群、若年の高齢者群 (平均年齢69歳)、高齢者群 (平均年齢77歳) の3群の成績を比較した。結果、3群とも学習効果を示したが、その効果の程度は加齢によって減少したことが示されている。またCurran (1997) は、規則の構造を複雑化したSRT 課題を若

年者と高齢者に実施し、若年者では系列の複雑さに影響されなかったが、高齢者では複雑性の低い系列しか学習できなかったことを報告している。これらのことは、加齢という現象が潜在的な系列の学習を妨げることを示しており、言語性ワーキングメモリのはたらきが加齢の影響を受けること(宇阪, 2002)と関係している可能性があると考えられる。

次に、実験2のように、二重課題において高スパン群のみが系列の学習効果を示したことは、言語性ワーキングメモリの容量は潜在的な系列の学習に影響を及ぼす可能性を示唆している。Frenschら(1994)は、SRT課題をトーンカウンティング課題との二重課題下で若年者と高齢者に実施し、スパン課題との相関関係を分析した。結果、若年者と高齢者のいずれも二重課題においてスパン課題との相関関係を示したことから、潜在的な系列の学習にはワーキングメモリが関係していると結論している。またHsiaoら(2001)は、SRT課題に対する二重課題の刺激のタイミングについて検証し、その結果より、心理的不応期とワーキングメモリとの相互作用を推定し、SRT課題では視覚目標が生じるたびにワーキングメモリへログインしていることを論じている。Vandenbosscheら(2014)は、SRT課題を用いて二重課題パラダイムによる若年者と高齢者の比較検討を行い、若年者では二重課題下であっても学習するのに十分な能力が残っているが、高齢者では認知資源に限りがあるために注意が要求され、結果として潜在学習が妨害されると結論している。

一方、先行研究においては、潜在的な系列の学習とワーキングメモリの容量とは無関係であることを主張する立場もある(Unsworthら, 2005)。しかし、それらの研究で用いられているSRT課題の多くは、規則性の構造が単純であるか、二重課題下で行われていないものがほとんどである。Jiménezら(2005)によれば、SRT課題における潜在学習は、各刺激に選択的注意を払うことによって自動的に生じるものであり、各刺激を処理するのに必要以上の注意資源を必要とはしないと述べている。つまり、ワーキングメモリの容量に余裕がある状況で単純に系列を繰り返す程度であれば、必要以上にワーキングメモリのはたらきを必要としないが、系列の構造が複雑になったり二重課題のように注意が要求される状況に直面したときには、たとえ無意識であっても、課題を効率的に処理するためにワーキングメモリを駆動

させている可能性が考えられる。

近年の脳イメージング研究では、運動技能学習の初期段階において背外側前頭前野と頭頂葉皮質によって支持された視覚性ワーキングメモリが大きな役割を果たすことが示されている(Angueraら, 2010)。Boら(2011)は、潜在的な系列の学習に対する視覚性ワーキングメモリの重要性を主張し、実際にSRT課題と視覚性・言語性ワーキングメモリとの関連性を見出している。ただし、この結果は若年者に限ったものであり、高齢者の場合では言語性ワーキングメモリ課題のみがSRT課題と相関関係を示したことが報告されている(Boら, 2012)。高齢者が能力の範囲内のレベルを超える作業を行う際には代替のネットワークを用いることが知られており(Boら, 2012)、加齢に伴う視覚性ワーキングメモリの低下の代償として、言語性ワーキングメモリを利用して技能学習課題のパフォーマンスを維持している可能性が示されている(Boら, 2012)。つまり、SRT課題の遂行には視覚性と言語性のワーキングメモリがいずれも関与しており、特に高齢者の運動学習においては言語性のワーキングメモリのはたらきが重要になると考えられる。

このように、潜在的な系列の学習とワーキングメモリに関連性があるとすれば、脳損傷者における効果的な学習法(原, 2018)として知られる誤りなし学習にもワーキングメモリが影響を及ぼしている可能性が示唆される。従来、誤りなし学習の理論的根拠は、顕在記憶に障害がある場合において、誤りなし学習の方法は保たれた潜在的プロセスを用いるため、誤りのある(たとえば、試行錯誤)学習よりも優れた結果をもたらす、というものである(Robertsら, 2018)。しかし近年では、誤りなし学習の利点は顕在的な記憶が残存している者のほうが大きいという主張があり(Tailbyら, 2003)、誤りを認識できる個人にとっては、誤りなし学習の効果は限られた利点しか提供されないことも指摘されている(Robertsら, 2018)。こうした主張に従えば、誤りなし学習の手法を画一的に用いることは、必ずしも有効な手段とは限らないと思われる。つまり、誤りなし学習法は、単に潜在記憶に依拠した手法として用いるのではなく、個人の顕在記憶ないしワーキングメモリがどの程度残存し、どこまで活用できるかを見極めながら、学習過程にうまく落とし込んでいく必要があると考える。

また、誤りなし学習においては、学習に対する動機づけがとりわけ重要であることが指摘されている(原, 2018)。このことは、誤りなし学習では学習時の認知操作が受動的になりやすいこと(三村ら, 2005)とも関係していると思われる。学習に対する動機づけが重視されるということは、意識や意図を持つこと自体が誤りなし学習の効果に影響することを示唆している。このことから、誤りなし学習の効果には、ワーキングメモリの能動的かつ目標志向的な性質(苧阪, 2012)が影響を及ぼす可能性が示唆される。

なお、本研究のリミテーションは以下の2つである。第1に、実験2において数名が規則の存在に気づいたため、課題の潜在性を完全に担保することができなかった。規則の存在に気づくことはできても生成課題において再現することはできなかったため、潜在的であったと考えることもできるが、断定はできない。第2に、スパン得点の分布の上位25%と下位25%を高スパンと低スパンに分類する方法(Extreme-groups designs)を用いたが、対象数が少なく(各7名)統計学的手法の応用に限界があった。今後はさらにサンプル数を増加し、より詳細な分析を試みていく必要がある。

文 献

- 1) Anguera, J.A., Reuter-Lorenz, P.A., Willingham, D.T., et al. : Contributions of spatial working memory to visuo-motor learning. *J Cogn Neurosci*, 22 : 1917-1930, 2010.
- 2) Berry, D.C., Broadbent, D.E. : On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Q J Exp Psychol*, 36A : 209-231, 1984.
- 3) Bo, J., Jennett, S., Seidler, R.D. : Working memory capacity correlates with implicit serial reaction time task performance. *Exp Brain Res*, 214 : 73-81, 2011.
- 4) Bo, J., Jennett, S., Seidler, R.D. : Differential working memory correlates for implicit sequence performance in young and older adults. *Exp Brain Res*, 221 : 467-477, 2012.
- 5) Conway, A.R.A., Kane, M.J., Bunting, M.F., et al. : Working memory span tasks : A methodological review and user's guide. *Psychon Bull Rev*, 12 : 769-786, 2005.
- 6) Curran, T. : Effects of aging on implicit sequence learning : Accounting for sequence structure and explicit knowledge. *Psychol Res*, 60 : 24-41, 1997.
- 7) Daneman, M., Carpenter, P.A. : Individual difference in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19 : 450-466, 1980.
- 8) Fillingham, J.K., Sage, K., Lambon Ralph, M.A. : The treatment of anomia using errorless learning. *Neuropsychol Rehabil*, 16 : 129-154, 2006.
- 9) Frensch, P.A., Miner, C.S. : Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory & Cognition*, 22 : 95-110, 1994.
- 10) 原 寛美 : 記憶障害のリハビリテーション. *BRAIN and NERVE*, 70 : 829-840, 2018.
- 11) Howard, J.H.Jr., Howard, D.V. : Age differences in implicit learning of higher order dependencies in serial patterns. *Psychol Aging*, 12 : 634-656, 1997.
- 12) Howard, D.V., Howard, J.H.Jr. : When it does hurt to try : Adult age differences in the effects of instructions on implicit pattern learning. *Psychon Bull Rev*, 8 : 798-805, 2001.
- 13) Howard, D.V., Howard, J.H.Jr., Japikse, K., et al. : Implicit sequence learning : Effects of level of structure, adult age, and extended practice. *Psychol Aging*, 19 : 79-92, 2004.
- 14) Hsiao, A.T., Reber, A.S. : The dual-task SRT procedure : Fine-tuning the timing. *Psychon Bull Rev*, 8 : 336-342, 2001.
- 15) Janacsek, K., Nemeth, D. : Implicit sequence learning and working memory : Correlated or complicated? *Cortex*, 49 : 2001-2006, 2013.
- 16) Jiménez, L., Vázquez, G.A. : Sequence learning under dual-task conditions : Alternatives to a resource-based account. *Psychol Res*, 69 : 352-368, 2005.
- 17) Kantak, S.S., Mummidisetti, C.K., Stinear, J.W. : Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning - evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. *Eur J Neurosci*, 36 : 2710-2715, 2012.
- 18) Kern, R.S., Green, M.F., Mitchell, S., et al. : Extensions of errorless learning for social problem-solving deficits in schizophrenia. *Am J Psychiatry*, 162 : 513-519, 2005.
- 19) 三村 将, 菅野圭子 : 軽度認知症患者の学習効率に関与する要因. *神経誌*, 107 (12) : 1314-1319, 2005.
- 20) Nissen, M.J., Bullemer, P. : Attentional requirements of learning : Evidence from performance measures. *Cogn Psychol*, 19 : 1-32, 1987.
- 21) Orrell, A.J., Eves, F.F., Masters, R.S.W., et al. : Implicit sequence learning processes after unilateral stroke. *Neuropsychol Rehabil*, 17 : 335-354, 2007.
- 22) 苧阪満里子 : 脳のメモ帳 ワーキングメモリ. 新曜社, 東京, 2002.
- 23) 苧阪直行 : 前頭前野とワーキングメモリ. *高次脳機能研究*, 32 (1) : 7-14, 2012.
- 24) Pascual-Leone, A., Grafman, J., Clark, K., et al. : Procedural learning in Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Ann Neurol*, 34 : 594-602, 1993.
- 25) Reber, A.S. : Implicit learning and tacit knowledge : an essay on the cognitive unconscious. Oxford University

- Press, New York, 1993.
- 26) Roberts, J.L., Anderson, N.D., Guild, E., et al. : The benefits of errorless learning for people with amnesic mild cognitive impairment. *Neuropsychol Rehabil*, 28 : 984-996, 2018.
 - 27) Schuchard, J., Nerantzini, M., Thompson, C.K. : Implicit learning and implicit treatment outcomes in individuals with aphasia. *Aphasiology*, 31 : 25-48, 2017.
 - 28) Schwarb, H., Schumacher, E.H. : Neural evidence of a role for spatial response selection in the learning of spatial sequences. *Brain Res*, 1247 : 114-125, 2009.
 - 29) Seger, C.A. : Implicit learning. *Psychol Bull*, 115 : 163-196, 1994.
 - 30) Tailby, R., Haslam, C. : An investigation of errorless learning in memory-impaired patients : improving the technique and clarifying theory. *Neuropsychologia*, 41 (9) : 1230-1240, 2003.
 - 31) Unsworth, N., Engle, R.W. : Individual differences in working memory capacity and learning : Evidence from the serial reaction time task. *Memory & Cognition*, 33 : 213-220, 2005.
 - 32) Vandebossche, J., Coomans, D., Homblé, K., et al. : The effect of cognitive aging on implicit sequence learning and dual tasking. *Front Psychol*, 5 : 154, 2014.