

論文

知的障害者における反応時間の変動性について

葉石光一*・八島 猛*・大庭重治*・奥住秀之**・國分 充**

知的障害者の反応時間については、定型発達者と同様に、知能と負の相関をもつことが指摘されている。また、古くから反応時間の個人内変動が定型発達者よりも大きいことが指摘されていたが、この点に関して詳しく論じられることはこれまでなかった。本研究では、反応時間特性の理解において、平均的パフォーマンスとともに変動性を合わせて検討することの意味を整理した。反応時間等に現れる行動の個人内変動については、近年では測定上のノイズやエラーとしてではなく、発達や障害を捉える重要な指標として扱われることが多くなってきている点にも言及した。

キー・ワード：知的障害 反応時間 平均的パフォーマンス 変動性

1. はじめに

反応時間は、提示された刺激に対して可能な限り素早い反応を生起させるという状況において測定され、刺激提示から反応が生起するまでの経過時間 (Jensen, 2006) として定義される。知的障害者を対象とした反応時間の研究は古くから存在している。1968年には、この分野に多くの業績を残した Alfred A. Baumeisterによるレビュー (Baumeister & Kellas, 1968b) が International Review of Research in Mental Retardation に掲載された。このレビューにおいて Baumeister は、「情報を素早く処理し、適切に反応できる人は、処理の遅い人よりも明らかに適応上、有利である」としている。適応的かどうかを捉える視点は様々に考えられ、この指摘は、それだけでは漠然としているものの、否定できないことは事実であろう。環境中の視覚的、聴覚的情報に注意を払い、必要に応じて素早く反応できることは、交通社会において身の安全を守るために必要な能力の一つである。現代社会の価値の一つは時間であり、情報を素早く処理し、時間をいかに節約するかは社会生活上の重要な課題の一つである。

知能の因子構造を明らかにしようとする研究においても、情報を処理する速度は重要な要素の一つと考えられている。近年の知能検査の改訂、新作において理論的基盤としてよく採用されている CHC 理論 (Cattell-Horn-Carroll theory) においても、決断/反応速度 (Gt) と認知的処理速度 (Gs) は知能を構成する一般的因子にあげられている (村上, 2007; Willis, Dumont, & Kaufman, 2011)。知能と反応時間が相関をもつことは経験的によく知られた事実 (Jensen, 1993) であり、前述の Baumeister は「反応時間に影響を与える要因を明らかにすることは、発達の遅れた行動を実験的に分析し、その本質を知る上で重要な示唆をもたらす」(Baumeister & Kellas, 1968b) としている。

知的障害と反応時間の関連について、近年、新しい研究成果

はほとんどみられない。これは、一つには知的障害者の反応時間の基本的特徴が十分知られるところとなっているためである。後に改めて述べるが、知的障害者の反応時間の主要な特徴は、①知的機能と負の相関をもつこと、及び②定型発達の対照群と比較して変動が大きいことの2点である。しかし、後者の知見についてはあまり注目されることがなく、またこの二つの特徴を関連付けて論じた研究はあまりみられない。そこで本研究では、反応時間の平均値と変動性を関連付けて検討することの意味を、最近の研究成果を踏まえつつ整理することを目的とする。

2. 知的障害者の反応時間の特徴

先に述べたように、知的障害者の反応時間の主要な特徴は定型発達の対象群と比較して平均値が長いこと、及び変動性が大きいことである。まずこれらの点について明らかにした研究を概観する。なお、反応時間は、刺激に対する反応が一つである単純反応時間と、反応に複数の選択肢があり、一つの反応を選んで実行する選択反応時間とがある。本研究で取り上げるのは、単純反応時間である。

2.1. 知的障害者の反応時間

反応時間が知的機能と相関をもつことは一般的によく知られた事実とされている (Jensen, 1993)。知的障害者においても、同様に反応時間と知的機能の間には相関があるとされる (Baumeister & Kellas, 1968b)。これは、定型発達者よりも知的障害者の反応時間が遅いということのみをもって言われているのではない。知的障害者内において反応時間と知的機能に有意な相関があるという結果が得られている。例えば Pascal (1953) は、生活年齢5歳11カ月から31歳10カ月、スタンフォード・ビネー法による精神年齢2歳1カ月から7歳1カ月の知的障害者22名を対象として反応時間を分析し、知的障害者内で精神年齢と反応時間に有意な負の相関があることを指摘している。また Ellis and Sloan (1957) は生活年齢10.3歳から19.5歳、改訂スタンフォード・ビネー知能検査による精神年齢3.7歳から12.2歳の知的障害者79名を対象とした検討を行い、精神

* 上越教育大学大学院学校教育研究科臨床・健康教育学系

** 東京学芸大学総合教育科学系・特別支援科学講座

年齢と反応時間に有意な負の相関があることを明らかにしている。このような相関に基づく研究においては、対象者の知的機能の幅を広くとっておかなければ、選抜効果により反応時間との関係を正しく見いだせない。上記の二つの研究は、知的障害の比較的重い者から軽い者まで、知的機能の幅を広くとっており、この点が両変数間の相関の検出に貢献していると思われる。

ところで、Baumeister and Kellas (1968b) は、知的障害が重い場合の反応時間と知能との関連の分析において、反応時間に対する感覚・運動システムの障害の影響に注意する必要があることを指摘している。つまり、知的障害の程度が重い場合、運動及び感覚に係るシステムの障害をもっている可能性が高く、測定において求められている反応に対する遂行の障害の影響と知能の影響とを分離することが難しいというのである。この二つを分離するというのが具体的にどのような事をさすのか、Baumeisterらは明確に述べていないが、知的障害と直接関係のない感覚や運動の障害—難聴等の聴覚障害、強い近視等の視覚障害、まひ等の運動障害等—が反応時間に与える影響は、確かに取り除く必要がある。Ellis and Sloan (1957) は、どのような基準によるチェックを行ったかを明記していないが、対象者に粗大運動や感覚の障害をもつ者を含めていない。

2.2. 知的障害者の反応時間の変動性

知的障害者の反応時間のもう一つの特徴は、定型発達者の対照群よりも変動性が大きいことである。Berkson and Baumeister (1967) は、反応時間の個人内変動性 (within-subject variability または intra-individual variability) を標準偏差によって捉え、定型発達の対照群 (生活年齢 38.9 ± 7.7 歳, 30名) と比較して知的障害者 (生活年齢 39.6 ± 9.4 歳, $IQ 57.3 \pm 9.6$, 30名) の変動性が大きいことを示した。Kellas (1969) も、20歳代前半の知的障害者と定型発達者を対象とした聴覚刺激に対する反応時間の検討を行い、知的障害者の反応時間の変動性が定型発達者よりも大きいことを明らかにしている。

ところで、Kellas (1969) は、この研究において、反応時間の長さとの変動性の関係を検討し、基本的に知的障害者において、より両者の関係性が強いことを明らかにしている。つまり、参加者ごとに反応時間の中央値と標準偏差の相関係数を算出したところ、知的障害者において両者により強い正の相関が認められた。これは、知的障害者において、反応時間が長いことと変動性が大きいこととの間の共変関係はより強いということである。具体的にこの関係の内容を結果から読み取ると、刺激の音圧が弱く弁別が相対的に困難であるほど、また反応準備から反応までの時間が長く、反応を待たされるほど、反応時間は長くなるとともに変動性も大きくなるという結果となっている。しかし、この関係性の意味をKellasは明確に論じていない。

Baumeister and Kellas (1968a) は、知的障害者と定型発達者の反応時間の分布を調べ、その特徴と関連する要因に言及している。対象者は、平均生活年齢21.4歳、平均知能指数62の知的障害者6名、及び平均生活年齢25.7歳の定型発達者6名である。一日300試行の反応時間の測定を3日間行い、そのうちの2日目、3日目の結果である600試行を分析対象とした。図1は反応時間の分布を示したものである。知的障害者と定型発達者

とで反応時間分布の基本的な特徴に違いはない。反応時間については、十分な数のデータを基にその分布を確かめると、一般に図1のような正の方向へ歪曲した分布をとると考えられている (Ratcliff, 1993; Van Zandt, 2000; Whelan, 2008) が、知的障害者の反応時間分布もこの特徴を備えている。ただし、定型発達者の分布が、左側の山への集中度が高い急尖的なものとなっているのに対して、知的障害者の分布は山への集中度が低い緩尖的なものとなっている。知的障害者の分布は定型発達者よりも散布度が大きく、標準偏差で二倍を超えている (知的障害者0.088秒に対して定型発達者0.037秒)。反応時間を平均値、中央値のいずれによって代表させるにしても、「知的障害者の反応時間は定型発達者よりも遅い」と判断される結果となっている。しかしBaumeisterらは、最も早い反応時間や最頻値で比較すると、知的障害者と定型発達者の反応時間の差は平均値や中央値で比較した場合よりも小さくなることから、知的障害者の反応の素早さは彼らの平均的なパフォーマンスによって示されるほど乏しいわけではないことを指摘している。Baumeisterらは、知的障害者に限らず、定型発達者においても、反応時間の母集団が二つ存在しているとみている。一つは反応の素早さの最高水準を反映した、分散の小さい真の反応時間で構成され、これは知的障害者も定型発達者も本質的に変わらない。一方で注意や覚醒のゆらぎによって生じる変動性の高い母集団が存在しており、こういった二つの母集団の合成として図1のような反応時間の分布が成立しているとしている。知的障害者の反応時間の分布で優勢を占めているのは後者であり、彼らの反応時間が一般的に遅いとされるのは、最高水準でパフォーマンスを維持することの困難 (このような状態を inefficiency と表現している) によるものと考察している (Baumeister & Kellas, 1968a, 1968b)。

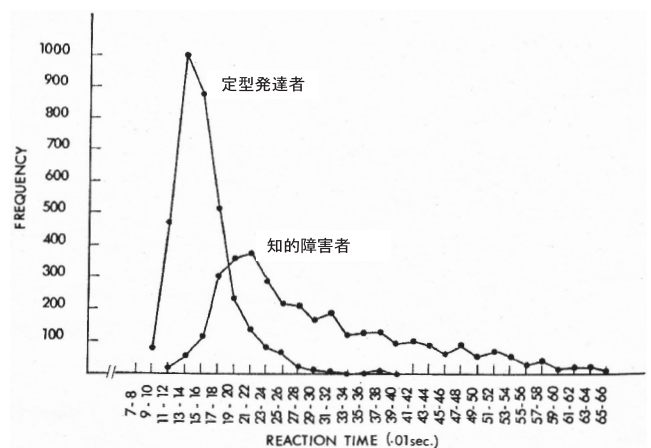


図1 知的障害者及び定型発達者の反応時間分布

横軸は反応時間を階級分けしている (反応時間の単位は0.01秒)。縦軸は当該階級に属する反応時間の頻度。(Baumeister & Kellas (1968a) を一部改変)

2.3. 反応時間の変動性の意味

Baumeister and Kellas (1968b) は、群間比較における統計学的な問題を引き起こさない限り、知的障害者の反応時間における変動性の大きさが注目されることはあまりないとしている。しかし、知的障害者の反応時間が分散の大きな母集団によって特徴づけられているとする推察から、Baumeisterらは、

知的障害者の課題遂行レベルを評価する尺度として変動性の指標を用いることが妥当であるとしている。

知的障害者と定型発達者の反応時間の分布を示した彼らの研究 (Baumeister & Kellas, 1968a) は、近年、知能と反応時間の関係についてのワースト・パフォーマンス・ルール (worst performance rule: 以下、WPRとする) という考え方に基いて再度注目されることとなった。既に述べたように、反応時間と知能の間には負の相関があることが知られている。WPRはこの関係についてさらに分析を進めたところで指摘されるようになった、反応時間と知能の関係に関する規則性である。Baumeisterらが示した図1のように、反応時間は一定ではなく、ばらつきが存在する。WPRは、反応時間を短いものから長いものに順位付けて分類し、知能との相関をとると、長い反応時間が知能を最もよく予測するという現象をさす (Coyle, 2003)。Coyle (2003) はWPRの検証を行ったレビューの中で、上述のBaumeister and Kellas (1968a) を、WPRと一致するデータを報告した最初の研究として紹介している。WPRは、①課題に向かう注意やワーキングメモリのつまずきが反応時間を長くするという点、及び②知的機能の低い人ほどこれらのつまずきを起こしやすいということによって理論的に説明できると考えられている (Schmiedek, Oberauer, Wilhelm, Süß, & Wittmann, 2007)。この点についての実証は近年、進展をみせつつある。例えば、Unsworth, Redick, Lakey and Young (2010) は、生活年齢18歳から35歳の定型発達者151名を対象に、精神運動覚醒検査を利用して反応時間を測定し、注意の失敗と、実行制御機能及び流動性知能との関連を調べた。反応時間を短いものから長いものへ分類し、実行制御機能及び流動性知能との関係を調べたところ、最も短い反応時間は実行制御機能や流動性知能と相関をもたず、もっとも長い反応時間が実行制御機能や流動性知能と相関をもつことを明らかにした。加えて、反応時間の分布の特徴をex-Gaussian分布を用いて分析している。ex-Gaussian分布とは、正規 (Gaussian) 分布と指数 (exponential) 分布を足し合わせた理論分布であり、図1に示したような、分布が正の方向に長く尾を引いたような反応時間分布へのあてはまりがよい。ex-Gaussian分布のパラメータは μ (ガウス関数の平均値)、 σ (ガウス関数の標準偏差)、 τ (指数関数の平均と標準偏差) の三つ (Whelan, 2008) であり、この研究では特に反応時間分布の σ と τ が実行制御機能及び流動性知能と有意な負の相関をもつことを示している。つまり、実行制御機能が低く、流動性知能が低いほど、広がりが大きく、右に長く尾を引く分布になるという結果である。また μ は実行制御機能や流動性知能と相関がみられなかった。この結果は、短い反応時間については定型発達者と本質的に変わらず、それに混在して現れる長い反応時間の発生頻度が高い、という知的障害者の反応時間の特徴を示すには、変動性の尺度を用いることが妥当であるとするBaumeister and Kellas (1968b) の考察を支持するものである。

3. 反応時間とその変動性の関係

3.1. 平均値と散布度

上述のように、知的障害者の反応時間は、知的機能の障害が重いほど長い。このような知見に関する考え方の一つは、脳

の情報処理効率の問題である。神経学的知見の整理はまだ十分に行われていないが、古くは、知能と神経伝導速度との間に正の相関があることを示そうとする研究 (例えば、Reed & Jensen, 1992) に始まり、現在では認知的課題遂行中の脳の活動量が知能と負の相関をもつことを示そうとする研究 (例えばNeubauer & Fink, 2009) に関心を移しつつ、知能をneural efficiencyという概念で説明しようとする試みが蓄積されている。図1に示したような反応時間の分布で言えば、左側にみられる山の横軸上の位置はneural efficiencyの状態を反映すると考えられる。この山の反応時間分布中の位置は上述のex-Gaussian分布の μ の値付近となる。しかし、このような理論分布への当てはめによって反応時間特性を分析するには相当の数の試行数が必要であり、現実的に難しい。そのため、反応時間研究では一般的に限られたデータの平均値を用いた分析が行われる。

ここで留意する必要があるのは、平均値が外れ値の影響を受けやすいという点である。反応時間は、刺激提示から反応が生じるまでの経過時間であることから、取りうる最大値に比べて最小値には限界がある。そのため、注意機能の問題等によって短い反応時間と長い反応時間が混在する場合 (つまり散布度が大きくなるような反応時間のばらつきがみられる場合)、反応時間の平均値も大きくなるという影響関係が想定される。これは、平均値でみたときの反応の遅さが、一義的に情報処理速度の遅さと結びつくのではないということの意味している。運動を準備する心理過程の不安定さが平均反応時間の長さの影響因となっている場合を想定して、平均値と散布度をともにみていく必要がある¹⁾。Haishi, Okuzumi, and Kokubun (2011) は、視野内に現れる視覚刺激に対して注視点を移動させる際に生じる衝動性眼球運動の反応時間 (saccadic reaction time: SRT) の特徴を調べ、知的障害者のSRTの平均値 (SRTM) に影響を与える要因として、知能と実行制御機能の二つがあることを示した。図2は知能、実行制御機能、SRTM、SRTSD (SRTの標準偏差) の関連を示したパス解析の結果である。図中のSRTSDからSRTMへのパスは、上述の、反応時間の平均値が散布度の影響を受けていることを示すものである。そしてこのパスは、反応時間の平均値だけを判断の材料とすると、潜在的な反応の速さを過小評価してしまう可能性が一定程度存在することを示している。平均反応時間の長さが情報処理速度の遅さではなく、運動準備のための心理過程の不安定さによるのだとすれば、これを改善する余地が見いださう。反応時間を平均値と散布度の両面から捉えるという観点は、一つにはこういった可能性を見逃さないためのものである。今後の研究において、平均反応時間が同程度であっても、散布度によってその意味が異なる可能性を、具体的な行動と照らして検討することが期待される。ただし、反応時間の散布度に対するこのような注目の仕方は、平均値を使って反応時間特性を分析する上での手続き上の制約から生じているのであり、その具体的な意味を探ることが本質的には重要である。

3.2. 行動の個人内変動に対する注目

近年、脳機能や発達の状態を捉える指標として、行動の平均的パフォーマンスのみではなく、散布度によって示される個人内変動が着目され始めており、その認知神経科学的な検討が行

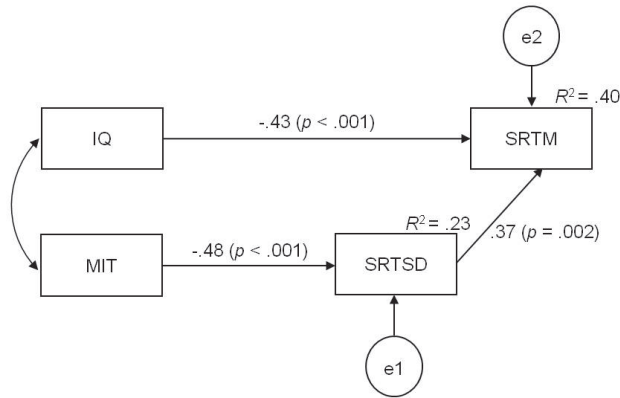


図2 IQ, 実行制御機能, SRT平均値, SRT標準偏差の関連を示すパス図

MITは実行制御機能を測定するのに用いたMotor Impersistence Testの略記。SRTMはSRT平均値、SRTSDはSRTの標準偏差である。片矢印に付した数値は標準化偏回帰係数とその有意水準。R²は自由度調整済み決定係数。IQとMIT間の両矢印は相関関係を示し、値は0.48であった。(Haishi, Okuzumi, & Kokubun (2011) を一部改変)

われつつある。MacDonald, Nyberg, and Bäckman (2006) は、行動の変動性に関連しそうな要因を多方面から検討し、脳構造との関連では灰白質密度や白質の神経連絡の状態、脳機能との関連では神経伝達物質の働きに注目している。

脳の灰白質密度について、MacDonaldらは思春期から成人期の初めにみられる余剰シナプスの刈り込みに着目し、時期的に一致して灰白質密度の低下が起こる中でneural efficiencyが高まり、認知過程の機能的なノイズが減少するというメカニズムが、行動の変動性に影響するのではないかと考察を行っている。彼らのこのような推察は、Williams, Hultsch, Strauss, Hunter, and Tannock (2005) による、選択反応時間の個人内変動が児童期から成人期の初期まで減少するという知見を念頭においている。

一方、脳の白質と行動の変動性の関連については、反応時間の変動性（標準偏差）が脳の白質容量と負の相関をもつ (Walhovd&Fjell, 2007) という知見がある。Walhovdらは、脳の白質が神経線維の束から構成されており、白質容量は髄鞘化した神経の連絡を反映すること、髄鞘化が進んでいるほど神経の活動電位の流れは安定するものであるということから、得られた結果の妥当性を主張している。

神経伝達物質の関与については、カテコールアミン及びアセチルコリン・システムの神経伝達物質に生じる機能的な問題が、認知パフォーマンスの個人内変動を増大させるneural noiseの増加に関係する (MacDonald, Nyberg, & Bäckman, 2006), という仕組みが想定されている。高齢者の反応時間にみられる個人内変動の増大に関してではあるが、カテコールアミンの一つであるドーパミンの働きに特に言及したneural noise 仮説に基づく説明がみられるようになっている (例えば, Papenberg, Bäckman, Chicherio, Nagel, Heekeren, Lindenberger, & Li, 2011; Williams, Hultsch, Strauss, Hunter, & Tannock, 2005)。

こういった知見の蓄積は、行動の個人内変動を単なるノイズやエラーとしてではなく、意味のある変数として扱うために必要な基礎を築くものである。このような知見の蓄積を背景に、行動の平均的パフォーマンスと個人内変動の内的関連性を探

り、行動の理解がより一層進むことが期待される。

注

1) ここで平均値と散布度の関係を見る際に問題とされることのある、反応時間分布の広がり（散布度）が平均値とともに増大する傾向について触れておきたい。これは一般によく知られるところであるが、この関係の詳細はあまり調べられていない (Wagenmakers & Brown, 2007)。このような影響関係を除外するために、散布度の指標として標準偏差ではなく変動係数 (=標準偏差/平均値) を用いることがある。Wagenmakers and Brown(2007) においても、反応時間の標準偏差は平均値とほぼ線形の関係にあることを指摘し、このような関係性は変動係数の使用を支持するものとしている。ただし、標準偏差を使うか、変動係数を使うかは考え方の問題であり、絶対的にどちらが正しいということはないと思われる。平均値と個々のデータの差分である偏差の絶対値に意味があるか、平均値に対する偏差の割合に意味があるか、扱う内容に対する見方の違いである。

付記

本研究は科学研究費補助金（基盤研究(C)課題番号21531014 / 研究代表者：葉石光一）の補助を受けて行われた。

文献

Baumeister, A. A. & Kellas, G. (1968a) Distribution of reaction time of retardates and normal. *American Journal of Mental Deficiency*, 72, 715-718.

Baumeister, A. A. & Kellas, G. (1968b) Reaction time and mental retardation. *International Review of Research in Mental Retardation*, 3, 163-195.

Berkson, G. & Baumeister, A. (1967) Reaction time variability of mental defectives and normal. *American Journal of Mental Deficiency*, 72, 262-266.

Coyle, T. R. (2003) A review of the worst performance rule: Evidence, theory, and alternative hypotheses. *Intelligence*, 31, 567-587.

Ellis, N. R. & Sloan, W. (1957) Relationship between intelligence and simple reaction time in mental defectives. *Perceptual and Motor Skills*, 7, 65-67.

Haishi, K., Okuzumi, H., & Kokubun, M. (2011) Effects of age, intelligence and executive control function on saccadic reaction time in persons with intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 32, 2644-2650.

Jensen, A. R. (1993) Why is reaction time correlated with psychometric g? *Current Directions in Psychological Science*, 2(2), 53-56.

Jensen, A. R. (2006) Chronometric terminology and paradigms. *Clocking the Mind: Mental chronometry and individual differences*, Elsevier, Amsterdam, 11-41.

Kellas, G. (1969) Reaction-time and response variability of normal and retarded individuals. *American Journal of Mental Deficiency*, 74(3), 409-414.

- MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., & Bäckman (2006) Intra-individual variability in behavior: links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends in Neurosciences*, 29(8), 474-480.
- 村上宣寛 (2007) 新しい知能理論. IQってホントは何なんだ? 知能をめぐる神話と真実, 日経BP社, 東京, 67-89.
- Neubauer, A. C. & Fink, A. (2009) Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain. *Intelligence*, 37, 223-229.
- Papenberg, G., Bäckman, L., Chicherio, C., Nagel, I. E., Heekeren, H. R., Lindenberger, U., & Li, S. C. (2011) Higher intraindividual variability is associated with more forgetting and dedifferentiated memory functions in old age. *Neuropsychologia*, 49, 1879-1888.
- Pascal, G. R. (1953) The effect of a disturbing noise on the reaction time of mental defectives. *American Journal of Mental Deficiency*, 57, 691-699.
- Ratcliff, R. (1993) Methods of dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114, 510-532.
- Reed, T. E. & Jensen, A. R. (1992) Conduction velocity in a brain nerve pathway of normal adults correlates with intelligence level. *Intelligence*, 16, 259-272.
- Schmiedek, F., Oberauer, K., Wilhelm, O., Süß, H. M., & Wittmann, W. W. (2007) Individual differences in components of reaction time distributions and their relations to working memory and intelligence. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 414-429.
- Unsworth, N., Redick, T. S., Lakey, C. E., & Young, D. L. (2010) Lapses in sustained attention and their relation to executive control and fluid abilities: An individual differences investigation. *Intelligence*, 38, 111-122.
- Van Zandt, T. (2000) How to fit a response time distribution. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7, 424-465.
- Wagenmakers, E. J. & Brown, S. (2007) On the linear relation between the mean and the standard deviation of a response time distribution. *Psychological Review*, 114, 830-841.
- Walhovd, K. B. & Fjell, A. M. (2007) White matter volume predicts reaction time instability. *Neuropsychologia*, 45, 2277-2284.
- Whelan, R. (2008) Effective analysis of reaction time data. *The Psychological Record*, 58, 475-482.
- Williams, B. R., Huлтsch, D. F., Strauss, E. H., Hunter, M. A., & Tannock, R. (2005) Inconsistency in reaction time across the life span. *Neurophysiology*, 19(1), 88-96.
- Willis, J. O., Dumont, R., & Kaufman, A. S. (2011) Factor-analytic models of intelligence. In R. J. Sternberg & S. B. Kaufman (Eds.), *The Cambridge handbook of intelligence*, Cambridge University Press, New York, 39-57.