

令和 5 年 5 月 10 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03272

研究課題名(和文)高齢者にみられる実行機能の特徴 - エラー後の対応に注目して -

研究課題名(英文)Characteristics of the execution function in elderly

研究代表者

土田 宣明 (Tsuchida, Noriaki)

立命館大学・総合心理学部・教授

研究者番号：40217328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、エラーをしてしまった後の対応行動を対象として、加齢の影響を検討することを目的に実施された。実験課題として、EATを一部変更したものを用いた。この実験ではgo/no-go taskを基本課題としつつ、エラー時に実験者側がエラーサインを提示し、実験協力者は、エラーに対応することを求めた。実験の結果、高齢者では、突発的なエラーに対応する反応時間が、若年成人に比べ、長くなることが確認された。また、高齢者では、エラー時にどのような反応をしたかということが、エラーに対応する時間に強く影響することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果から、高齢者が引き起こした事故が重大化する背景には、判断ミスなどの問題とは別に、認知的コントロールの要因のあることが推察された点に、学術的意義・社会的意義があるものと思われる。例えば、高齢者では、通常場面(実験場面では、Go刺激提示時)ではうまく適応し、問題が顕在化しなかった場合でも、突発的な問題が発生した時(エラー発生時)に、認知的コントロールの面からうまく適応できず、事故が重大化する可能性である。この仮説については、実践的な場面でのさらなる検証が必要であろう。

研究成果の概要(英文)：I investigated the possible effects of aging on post-error behavior indicated by delayed reactions following an error and the effect of the different kinds of post-error response. A modified error-awareness task was administered to younger (n = 50) and older adults (n = 50). In this task, two buttons were placed on the left and right in front of the participant. Participants were instructed to use the right button to perform a basic task and were notified if they made an error. They were then asked to push the left button as quickly as possible. The results indicated that the delay in post-error reactions in older adults was significantly higher, which was affected by differences in the error response. These results suggest that post-error behavior is influenced by aging and motor issues, such as differences in the error response itself.

研究分野：発達心理学

キーワード：実行機能 高齢者 エラー エラー後の対応行動 認知機能 反応性制御 予測性制御

1. 研究開始当初の背景

近年、社会全体で注目されている問題に、高齢者のアクセルとブレーキの踏み間違い事故がある。このタイプの事故では、アクセルとブレーキを踏み間違えた(エラー)後も、エラーに対応できず(ブレーキを押せず)、惨状につながる事が推測される。例えば、2019年4月19日、日本の東京都池袋で、高齢者が起こした交通事故の経過(The Asahi Shimbun, 2019)をみると、一度に複数の事故を起こしており、最初の事故を起こした後、それに対応できず、結果的に大事故に至っていることが分かる。このような現実の事故場面から考えると、高齢者がエラーを引き起こす原因を分析することも重要であるが、エラーが起きた後の行動(post-error behavior)に注目する必要があるものと思われる。

2. 研究の目的

本研究の目的は高齢者のエラーの問題を検討することにある。前述したように、高齢者のアクセルとブレーキの踏み間違い事故では、アクセルとブレーキを踏み間違えた(エラー)後も、エラーに対応できず(ブレーキを押せず)、惨状につながる事が推測される。このような現実の事故場面から考えると、高齢者がエラーを引き起こす原因を分析することも重要であるが、エラーが起きた後の行動(post-error behavior)に注目する必要があるものと思われる。

エラー後の行動に関しては、主として、3つの側面から検討されてきた。それは、post-error slowing(PES; Rabbit, 1966)、post-error reduction of interference(PERI; Ridderinkhof et al. 2002)、post-error improvement in accuracy(PIA; Laming, 1968)の3つである。

エラー後の対応の3つの側面について概説する。post-error slowingとは、エラー後の試行で、正しく反応した後の試行と比べると、反応時間が遅れる現象を指す。post-error reaction of interferenceとは、flanker taskやSimon taskのような抑制課題(interference task)において、エラー反応後の試行では、正反応後と比較して、妨害効果(interference effect)が低下する現象を指す。post-error improvement in accuracyとは、エラー後の試行で、正反応後の試行と比較して、反応の正確性が上昇する現象を指す。これらの、エラー後の対応については、近年、特に神経科学的な観点から様々な分析がなされている。

エラー後の対応には、reactiveとproactiveの2つの認知的コントロールが関連していることが指摘されている。例えば、post-error slowingはreactive controlと密接に関わると指摘されている。reactive controlでは、エラーが起きたときに、エラーが起きたというインパクトに直接影響を受け、結果的にpost-error slowingが現れると考えられている。逆に、post-error reduction of interferenceは、proactive controlと密接に関わると指摘されている。proactive controlは、準備的な処理であり、エラーが起こったときに、「当初の選択」(“early selection”)が再確認され、結果的に妨害的な情報の影響を抑えることができると考えられている。しかし、2つの認知的コントロールがいかにエラー後の対応に影響しているかについては、あまり多くの知見が集められているとはいえない。

一方、発達過程において、2つの認知的コントロールの使用がシフトすると考えられている。発達の前半期ではreactive controlの使用が優勢な段階からproactive controlの使用が可能な段階へと変化する。そして発達の後半期では、proactive controlの使用が可能な段階からreactive controlの使用が優勢な段階へと変化する事が想定されている。このことから、高齢者における認知的コントロールではreactive controlが再び優勢になるものと思われる。

以上の研究の流れからも、高齢者におけるエラー後の対応においても、認知的コントロールにおけるproactive controlからreactive controlへの変化が影響していることが予想される。しかし、これまでのところ、高齢者のエラー後の対応を2つの認知的コントロールの観点からみた研究はほとんどない。

そこで、本研究では、高齢者と若年成人を対象として、エラー後に対応が必要となる場面を実験的な課題の中で再現して、2つの認知的コントロールの観点から結果を予想・分析した。高齢者のエラー後の対応に2つの認知的コントロールの問題が密接に関連しているか否かを検討したい。

使用する実験課題として、EAT(error awareness task)を基にこれを変形した課題を用いた。刺激の文字と色が一致した時にはスイッチ(右側)をなるべく速く押す(go反応)課題を基本課題とし、誤った場合(指示しない反応をした時には、エラーサインを提示し、エラーに対応する(左側のスイッチをなるべく速く押す)課題を設定した(詳細は後述)。自動車運転場面に例えるならば、右側のスイッチはアクセル、左側のスイッチはブレーキに相当する。この課題では、エラーへの対応行動を一つに特定し、しかもなるべく早く反応することを実験協力者に求めた。

本研究の仮説は次の2点である。

(1) 基本課題であるgo反応時間と比較した時、高齢者ではエラー後に対応する時間が青年期よりも長くなるのではないか。高齢者では、当然、課題の種類に関わらず、全般的に反応時間が若年成人と比較して長くなることは予想される。しかし、とりわけ、突発的なエラーに対応する反応時間が、長くなる事が予想される。なぜなら、エラーへの準備性が担保されている、proactive controlが可能な青年期と比較して、reactive controlが優勢になる高齢者では、エラ

一時への準備性が低下していることが想定されるからである。

(2) 高齢者では、エラー時にどのような反応をしたかということが、エラー後の対応時間に強く影響するのではないかと考えられる。reactive control は即時的な処理である。エラーが起きた時に対応する reactive control では、エラー時への対応を予め準備できている proactive control に比較すると、エラーを起こした時の反応の内容に強く影響をうけるはずである。結果的に reactive control が優勢となる高齢者においてのみ、エラー時の反応内容がエラー後の対応に強く影響することが予想される。

3. 研究の方法

実験要因 エラーへの対応に影響する要因として、年齢差のほかに、反応そのものに注目した。課題への反応そのものの内容(go 反応)や、反応抑制の内容(no-go 反応)に関して、3つの条件を設定した。

A 条件 EAT 課題を基盤として、エラーを通知後、それへの対応(別のスイッチを押す)を求める基本課題として設定した。

B 条件 go 反応である、スイッチ押し反応の回数を操作(通常スイッチ押しは1回のところ、2回押すことを要求)し、反応そのものに負荷をかけた条件

C 条件 スwitch押しを2回要求するB条件に加えて、反応抑制時(no-go 反応)は、通常2回スイッチを押すところ、1回だけに留める条件

研究対象 若年成人 50名(平均年齢 21.6歳)。高齢者 50名(平均年齢 71.6歳)、MMSE は平均 29.1点だった。

実験課題 EAT(error awareness task)(Harty et al., 2013)を基に、エラー時にエラーサインを提示する課題を用いた(図1参照)。課題が開始されると画面中央に注視点が提示されたのちに、刺激が提示された。刺激はGo 刺激が 25/30 試行、No-go 刺激は 5/30 試行の割合で表示された。刺激は色名を示す漢字(赤、青、黒)であり、フォントサイズは 100ポイントとした。また刺激に使用された文字の色は赤色、青色、黒色を使用した。表示された漢字と文字の色の組み合わせが一致しているもの(例えば、赤色で表示された「赤」という漢字)をGo 刺激、不一致のもの(例えば、青色で表示された「赤」という漢字)をNo-go 刺激とし、それに応じてボタンを押す(あるいは押さない)ように教示した。ただし、エラー時には、1000Hzのbeep音を提示し、かつ視覚刺激を拡大し(エラーサイン)、通常のスイッチ(右側)とは別(左側)のスイッチをなるべく早く押すように指示した。

従属変数として、エラー発生後に左側のスイッチを押すまでの時間を測定した。ただし、高齢者においては、全体的に反応時間が長くなることが想定されるので、各条件でのgo 刺激への平均反応時間をベースとして、エラー時の平均対応時間との差を下記の式を用いて算出し、post-error reaction ratioとした。これはストループ干渉率の算出方法(Jensen, 1965)を参考にしたものである。ストループ干渉率では、コントロール条件をベースにしつつ、干渉条件で増加した反応時間の割合を算出する方法がある。今回の実験においては、go 反応時間をベースにしつつ、エラー後の対応時間の増加率を算出した。

本研究の仮説に従うならば、post-error reaction ratioを高齢者と若年成人の間で比較すると、高齢者の値が大きくなること。さらに高齢者でのみ、エラー時の反応の負荷が大きいC条件で、post-error reaction ratioの値も大きくなることが予想される。

なお、基礎資料となる各自の平均反応時間の算出時には、各自の平均反応時間から標準偏差の2倍以上の値は外れ値として除外した。本研究の統計分析には、R version 3.6.2.を用い、有意水準として5%を用いた。

図1 実験手続きの流れ

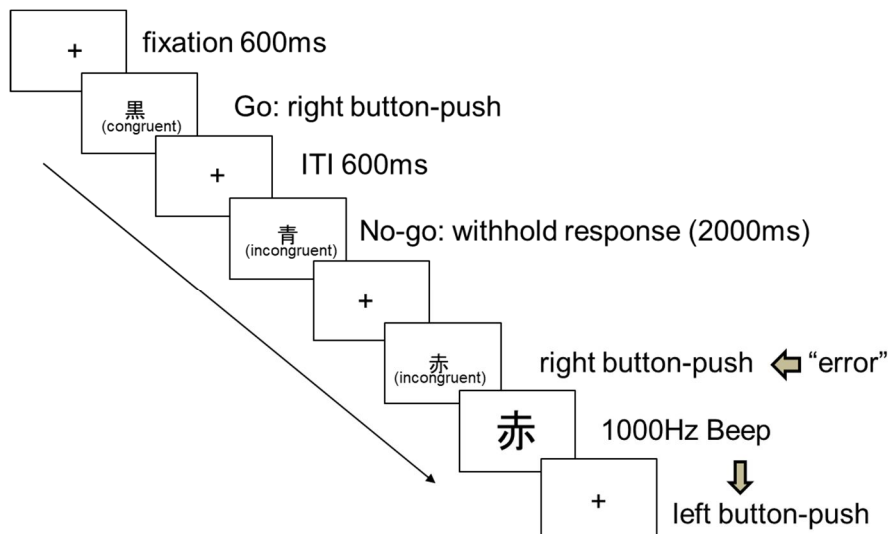
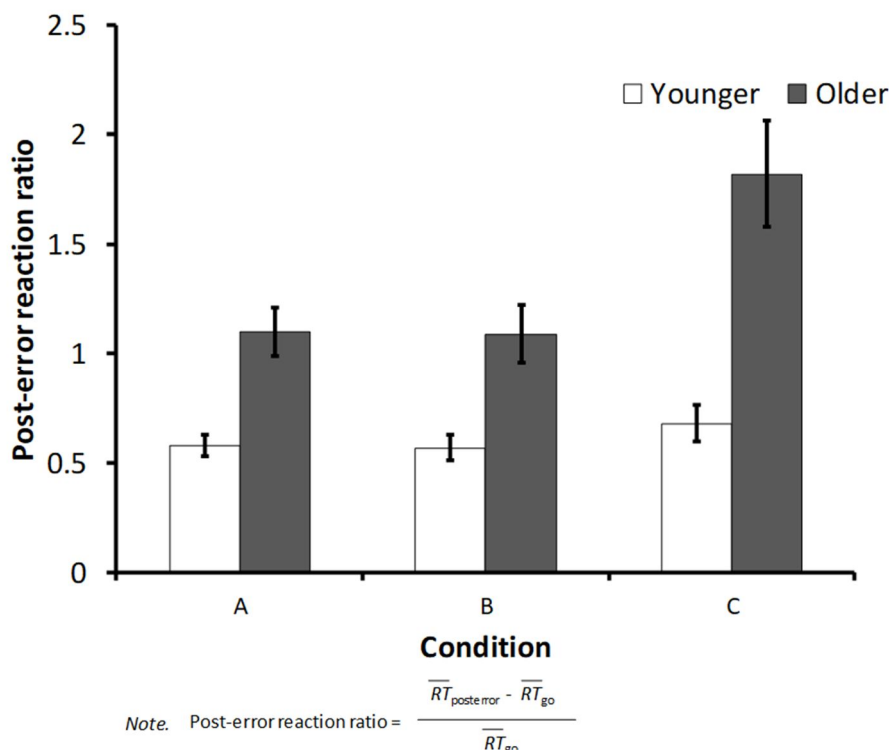


図2 実験結果



基礎資料となる条件別の反応時間と誤反応率の概要から報告する。go 刺激への反応時間は、若年成人で 566ms から 586ms, 高齢者で 677ms から 700ms となった。全体的に高齢者で反応時間が長くなった。さらに, no-go 刺激への誤反応率に関しては, 両年代ともに, 2%以下であった。

次に, 今回の研究の主目的であった post-error reaction ratio の分析結果を検討する。post-error reaction ratio の条件別の変化を示したものが図 2 である。3 条件ともにエラーが確認された者(高齢者群 $N=28$, 若年成人 $N=34$ 名)を対象として, 分散分析を実施した。年代の主効果 ($F(1, 60) = 25.4904, p=0.0000, \eta^2=0.1981$), 設定した 3 つの条件の主効果 ($F(2, 120) = 13.2241, p=0.0000, \eta^2=0.0845$), 年代と条件の交互作用 ($F(2, 120) = 8.6372, p=0.0003, \eta^2=0.0568$) がいずれも統計上, 有意だった。年代間の主効果が有意だったことから, 若年成人と比較して, 高齢者で全体的に post-error reaction ratio が大きくなったことが確認された。また, 条件間の主効果が有意であり, C 条件が他の条件と比べて, post-error reaction ratio の値が大きいことが示された。ただし, 年代と条件間の交互作用が有意だったことから, 条件間にみられる効果は, 若年成人と高齢者で異なることが分かった。

そこで交互作用の分析を行った結果, 大学生では条件間に有意な差がみられなかった ($F(2, 66) = 0.8209, p=0.4445, \eta^2=0.0092$) が, 高齢者でのみ条件間で差がみられることがわかった ($F(2, 54) = 4.6293, p=0.0001, \eta^2=0.1519$)。高齢者では A 条件と B 条件では有意差がみられないものの, C 条件では他の 2 つの条件と比較して, post-error reaction ratio が大きくなった(Alpha level is 0.05)。まとめると, 高齢者では全体的に post-error reaction ratio が増加し, かつ高齢者でのみ, C 条件で, post-error reaction ratio が増加した結果となった。

実験結果が示すように, 2 つの加齢変化が示された。一つは, 高齢者において, 全体的に post-error reaction ratio の値が若年成人と比較すると大きくなった点。さらにもう一つは, 高齢者でのみエラー時の反応内容が post-error reaction ratio に影響していた点である。dual mechanisms of control framework(Braver, 2012)から想定された仮説は支持されたといえよう。

この加齢変化の意味を考える上では, 発達の前半期の知見が大いに参考になるものと思われる。例えば, set-sifting 課題において, 6 歳以降の proactive control が可能になった子どもは, 前もって反応切り替えの準備ができていると考えられている。その結果, 6 歳以降の子どもは, 妨害的な刺激が存在しても, その影響を小さく抑えることができる。一方で, 6 歳以前の子どもは, 妨害的な刺激が出現したときに, はじめてそれに対処するため, 妨害刺激の影響をよく強くうけると考えられている。同様の発達の变化が, 様々な課題の中で確認されている。

今回の実験結果では, 逆の発達の变化が想定される。proactive control が可能になった段階から, 加齢の影響で, 再び reactive control が優勢な段階へと変化するということである。reactive control が優勢な高齢者は, 突発的なエラー時の対応(反応の切り替え)により時間を必要としてしまうこと。さらに, 反応の切り替え(shifting) (Miyake & Friedman, 2012)にとっては, 無関連なこと(例えば, エラー反応の違い)が反応の切り替えに影響したことが推察される。エラーのように突発的に起こることに対して, 予め準備できているか(proactive control), 否

か(reactive control)の違いが大きく反映したものと考えられる。

今回の実験結果を受けて、アクセルとブレーキの踏み間違い事故の問題に話を戻してみたい。高齢者が引き起こした事故が重大化する背景には、判断ミスなどの問題とは別に、認知的コントロールの要因のあることが推察される。例えば、高齢者では、通常場面(実験場面では、Go 刺激提示時)ではうまく適応し、問題が顕在化しなかった認知的コントロールが、突発的な問題が発生した時(エラー発生時)にうまく適応できず、事故が重大化する可能性である。この仮説については、実践的な場面でのさらなる検証が必要であろう。

今後の課題としては2点ある。一番目は、2つの認知的コントロールの「使い分け」の問題である。Chevalier(2015)が指摘するように、proactive controlは、準備性を高めるという方略をとることからも処理資源を多く使うことが想定される(Braver, 2012)。加齢の影響で、処理資源の低下が想定される中、高齢者では、処理資源の使用が少ないreactive controlを積極的に活用し、適応している可能性がある。また、全ての課題において、proactive controlが有効であるとも限らない。日常生活場面において、2つの認知コントロールを使い分けるmeta-controlや知恵(wisdom)の影響を、高齢者を対象とした中で検討する必要があるものと思われる。

さらに、エラー後の対応に関する時間的な変化の分析がある。今回は結果的にエラー率が少ない課題を用いたので、ブロック間での「変化」を対象とすることができなかった。エラーへの対応は実験プロセスの中で変化する可能性が指摘されている。エラー後の行動に関する加齢効果は、時間的な変化の中で、また別の様相を示すかもしれない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 土田宣明・坂田陽子	4. 巻 30
2. 論文標題 実行機能の形成と衰退：抑制に注目して	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 発達心理学研究	6. 最初と最後の頁 176-187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11201/jjdp.30.176	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchida N., Kasuga, A., & Kawakami, M.	4. 巻 13
2. 論文標題 Post-error behavioral adjustments under reactive control among older adults	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2022.1001866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 土田宣明・春日彩花	4. 巻 100
2. 論文標題 老いに伴う「弱み」と「強み」	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 心理学ワールド	6. 最初と最後の頁 16-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 肥後克己・春日彩花・土田宣明
2. 発表標題 抑制機能における高齢者の補償的脳活動について
3. 学会等名 日本心理学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土田宣明
2. 発表標題 「実行機能」からみた加齢変化
3. 学会等名 日本理論心理学会第67回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土田宣明・春日彩花
2. 発表標題 多連続エラーにおこける加齢効果
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸名久美子・土田宣明
2. 発表標題 マス計算を用いた注意機能測定の検討：生涯発達の観点から
3. 学会等名 日本発達心理学会第32回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土田宣明・春日彩花
2. 発表標題 エラーの連続性にみられる加齢効果
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 土田宣明	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ナカニシヤ出版	5. 総ページ数 212
3. 書名 研究テーマ別 注意の生涯発達心理学 第6章 注意の切り替えと持続	

1. 著者名 大川一郎・土田宣明・高見美保	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ミネルヴァ書房	5. 総ページ数 308
3. 書名 基礎から学べる医療現場で役立つ心理学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------