



安全工学への認知心理学の寄与

芦高, 勇氣
嶋田, 博行

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 17:279-284

(Issue Date)

2013-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81011429>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011429>



安全工学への認知心理学の寄与

The Contribution of Cognitive Psychology to Safety Engineering

芦高 勇気¹⁾

Yuki ASHITAKA

嶋田 博行²⁾

Hiroyuki SHIMADA

概要：本研究では、安心・安全なシステムを構築する際に、システムを運用・利用する人間に関わる不適切な操作などが致命的な事故や事件につながる確率を小さくするために、近年の認知心理学の研究が寄与できる可能性を示した。人間の特性を理解し、システムに組み込むことで安全性と信頼性が向上するはずである。人間の高次な認知機能のひとつである認知コントロールを簡便に測定できる装置を開発し、飲酒運転の撲滅や高齢者ドライバーの認知機能測定を試みた研究事例を紹介した。この装置はストループ課題の試行間の関係から測定されるグラットン効果を利用した、従来に比べて簡便で信頼性の高い認知コントロールの測定装置であり、様々な分野での寄与が期待される。

キーワード：人的要素, 認知コントロール, 交通, 安全システム, 認知心理学

1. 安全工学と認知心理学の関係

重大な事故や事件が起こるたびに安心・安全について議論が交わされ、必要な対応策が講じられてきた。安全工学の考えでは、事故や故障をなくすことは不可能であると考えられている。確率論の考えから、事故の発生確率を低くし、たとえ事故が生じたとしても致命的な事象につながらないように対策が講じられてきた。故障モード・影響解析 (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) や故障の木解析 (Fault Tree Analysis: FTA) などの手法は ISO や JIS で規格化されている。このような手法は、工業製品、情報システム、医療、社会システムなど様々な分野で応用されている。致命的な事故につながらないようなシステム設計には、そのシステムを運用・利用する人間の特性についても組み込まなければならない。実際に、多くのシステムにはヒューマンファクターやフールプルーフのような人間の特性が反映された要素や機構が組み込まれている。

人間の特性が十分に反映されていないシステムは危険である。たとえば、あるシステム異常に対する安全策が講じられている場合であっても、その手順が複雑であったり他の異常と同時に発生したりする場合には、システム運用者が適切に処置できない確率が高くなるであろう。さらに、システム運用者が想定外の不適切な操作をした際に、その操作に対する安全策が講じられていなければ致命的な事象につながるかもしれない。致命的な事象に至った事例では、複数の安全防止策が機能しなかったことが多いようだ。その理由は、複数の異常が同時に生じる場合には、想定される異常の組み合わせが複雑なシステムになればなるほど爆発的に増加し、異常のすべての組み合わせに対応する適切な対策を講じることが不可能になるからである。そして、それらの複数の異常の中に人間に関わることが多い。たとえば、軽微な誤操作を発見できない場合 (2005 年

の注文の確認手順を無視したジェイコム株の大量誤発注事件) や、通常とは異なる作業をする場合 (1986 年のストレステスト中のチェルノブイリ原子力発電所事故) など考えられる。

安心・安全なシステムを設計するためには、そのシステムを運用・利用する人間の特性をよく知る必要がある。認知心理学は、人間の知的な精神活動を研究対象とし、注意、記憶、言語、思考などに関係している。これらの知的な精神活動はシステムの運用・利用に深く関係するため、これまでも認知心理学が安全工学に寄与してきた。本論文では近年の認知心理学の研究動向を踏まえた安全工学への新たな寄与の可能性を論じる。

2. 認知コントロール

(1) コンフリクト課題

近年の認知心理学の動向において、認知コントロール (cognitive control) はこの数年間で大きく変化した動向のひとつであろう。認知コントロールはその場ですぐに判断が求められたり、行動を切り替えたり、やめたりすることに関係している (嶋田・芦高, 2012)。つまり、安心・安全なシステムに重要な人間の特性に関わる中心的な認知機能であると考えられる。

人間が複雑なシステムを運用・利用する場合に限らず、日常生活においても、人間は多くの情報や刺激の中から適切な選択と行動を常に繰り返している。特に、いつもやり慣れた選択と行動をやめなければならない、いつもと異なる選択と行動を求められる場合には、選択や行動するまでの時間が増加し、誤った反応が増加する。たとえば、通勤や通学途中にある郵便ポストにはがきを投函しようとしても、投函することをしばしば忘れてしまう。ときには、投函し忘れたことを思い出すと同時に、郵便ポストの前を通ったことを鮮明に思い出すことさえあるかもしれない。このような事象について認知心理学ではコンフリクト課題を用いて研究が進められている。

コンフリクト課題には代表的に、ストループ課題 (Stroop, 1935)、フランカー課題 (Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W., 1974)、サイモン課題 (Simon, 1990) がある。これらの課題は認知心理学の研究で現在でもよく用いられている。ストループ課題は、色のついた色文字に関して「色文字」を無視し、「着色された色」を答える課題である。「着色された色」と「色文字が示す色」とが一致していない条件 (不一致条件) では、それらが一致している条件 (一致条件) に比べて反応時間が増加し、誤った反応が増加する。この効果はストループ効果と呼ばれるが、一般的にコンフリクト課題では一致性効果やコンパチビリティ効果などと呼ばれる。健常な成人であれば注意を向けた文字は読むものであり、その文字を無視することはほとんどない。他方、着色された色について答えることはほとんどない。ストループ効果は、不慣れた色命名反応を求められる際に、慣れた文字読みから干渉を受けることから生じる (MacLeod, 1991)。

(2) 時系列でとらえられる試行間効果

コンフリクト課題は認知心理学の成立当初から用いられてきた課題であるが、近年になって課題の試行の時系列に関わる認知コントロールが注目されている。コンフリクト課題を用いた伝統的な研究では、時系列の情報が含まれず、試行の一致条件あるいは不一致条件ごとで平均化される反応時間や誤反応率から求められる一致性効果について注目してきた。しかし、近年の研究では実験参加者が受けている現在の試行 (n 試行) とそのひとつ前の試行 ($n-1$ 試行) の時系列の試行間関係について注目されている。フランカー課題を用いたグラットンら (Gratton, et al, 1992) の研究は、認知コントロールに関わる試行間効果の研究の初期に大きく貢献した。現在では並列分散処理モデルや認知神経科学の研究を取り入れたコンフリクトモニタリング説が代表的な説となっている (Botvinick, et al, 2001)。

認知コントロールに関する試行間効果は、 $n-1$ 試行の条件が不一致条件であるのほうが $n-1$ 試行の条件が一致条件よりも n 試行の一致性効果量が減少する効果のことであり、グラットン効果やコンフリクト適応効果と呼ばれている (図-1)。コンフリクトモニタリング説ではグラットン効果を次のように説明している。 $n-1$ 試行の条件が不一致条件の場合、 $n-1$ 試行で反応のコンフリクトを検出し、次の n 試行でコントロールが高まることで反応のコンフリク

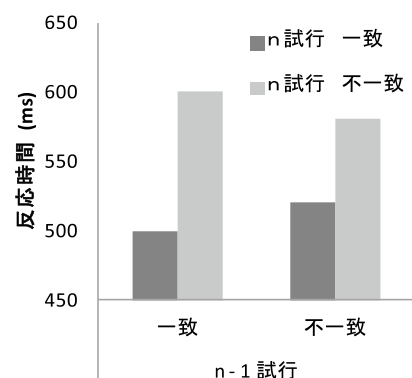


図-1 典型的なグラットン効果の例

トに備える。したがって、 $n-1$ 試行の条件が不一致条件の場合、 n 試行の条件が不一致条件であった場合に比較的速く反応することができる。このような説明は、反応時間のような行動的な指標による証拠だけでなく、生理科学的な指標によっても示されている。神経解剖学的に、コンフリクトの検出は前部帯状回 (anterior cingulate cortex: ACC)、コントロールは背外側前頭前野 (dorsolateral prefrontal cortex: DLPFC) の活性化が得られ、それぞれの機能で部位が分離していることが示されている (Kerns, et al, 2004)。

(3) プライミング効果

試行間の関係で得られるプライミング効果は、グラットン効果よりも以前から知られている。ストループ課題の場合、プライミング効果は試行間の色の関係で生じる。つまり、色のついた色文字刺激に関する「着色された色」と「色文字が示す色」の試行間効果である。そのため、試行間で生じる色の組み合わせが多く、様々な種類のプライミング条件がある。具体的には、反復プライミングは同じ刺激が連続して提示される条件において反応時間が速くなる効果である。ネガティブプライミングは、 $n-1$ 試行で無視すべき意味のものが n 試行で反応しなければならない条件において反応が遅くなる効果である。ストループ課題の例では、 $n-1$ 試行の文字刺激が青であり、 n 試行であお色に着色された刺激が提示された条件に該当する。ネガティブプライミングは抑制機能と関連が深く、臨床研究においても多くの研究成果があることから、認知機能の測定指標としての利用できる可能性があると考えられる。我々は、ストループ課題を用いた代表的な臨床検査法の刺激提示順序を調査し、15 種類のプライミング条件の構成割合を比較した。その結果、ストループ検査法ごとにプライミング条件の出現割合が大きく異なっており、それぞれの検査法の特徴が異なっていた (芦高, 嶋田, 2011)。

プライミング効果もグラットン効果と同様に試行間効果であるために、これらの効果が混合しないように注意深く測定する必要がある。研究者の中には、グラットン効果がプライミングによる効果で説明できるといふ研究者もいるほどである。

3. 装置開発

(1) 認知機能の測定

我々は、グラットン効果を測定することで認知機能の働きを調べることができると考え、様々な認知機能の測定装置の開発を進めてきた (嶋田, 2011)。たとえば、飲酒運転の撲滅を目的とした装置や高齢者ドライバーの適性検査装置などである (図-2)。

認知機能の測定にはストループ課題を採用した。その理由は、ストループ課題が他のコンフリクト課題に比べ、言語や自動性に関わるより高次な認知機能が要求されるためである。現在でも、臨床検査法のひとつとして紙に印刷されたストループ課題が利用されている。しかし、従来の検査方法は、簡便に実施できるが、反応時間や誤った反応の測定が数十試行からなるシート単位の測定値しか得られないために、グラットン効果のような試行間の効果を測定することができない。試行間の効果を測定するためには、試行ごとの反応時間と反応正誤の記録が必要となり、新しい装置の開発が必要である。また、上述したように、ストループ課題を用いた臨床検査法は検査法ごとにプライミング条件の構成割合が異なっていた。試行間の効果が測定できる新しい装置は、異なったプライミング条件ごとにも反応時間や反応正誤を測定できるため、より信頼性の高い検査装置になるはずである。

課題の反応方法はボタン押し反応を採用した。たとえば、あお色の赤という文字の刺激に「あお」と反応する際に、右側のボタンを押すことが求められる。コンピュータを用いたボタン押し反応装置の場合、試行ごとの反応をデジタルで測定できるため、反応時間と反応正誤を自動的に記録し、試行間効果を測定することが可能になる。

他方、オリジナルのストループ課題 (Stroop, 1935) の方法に従えば、あお色の赤という文字の刺激に「あお」と口頭で反応することが求められる。口頭での反応は、無視すべき文字刺激と口頭反応の連合が強いため、ボタン押し反応よりもストループ効果量が大きく (MacLeod, 1991)、より高度な認知コントロールが必要な反応であると考えられる。しかし、認知機能の簡便

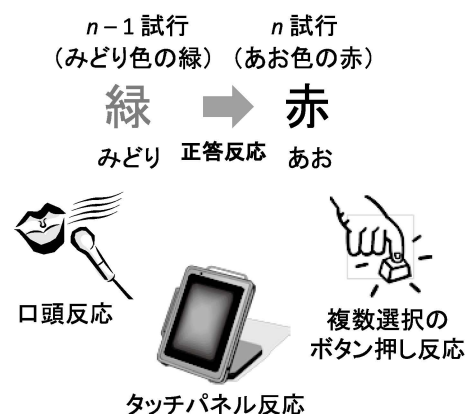


図-2 ストループ課題を用いた試行間効果の測定装置

な測定装置に口頭での反応を採用することは困難なようである。基礎研究で実施されているような実験室条件では、実験参加者は個別に防音室に入り、実験者が実験参加者の口頭反応をマイクロフォンで取得し、反応の正誤を確認して記録している。このような厳密な測定は大掛かりな装置と人的な資源が必要となり、認知機能の測定を普及させるには適していない。我々は、ボタン押し反応の装置開発と同時に、音声認識装置を導入した口頭反応の測定の自動化を試みている。しかし、多少の騒音が想定されるようなフィールドでの測定にも耐えることができる高い音声認識率を達成する装置を開発することは困難である。

(2) 飲酒運転の撲滅に向けて

飲酒運転の罰則が強化されたことで飲酒運転の取り締まり件数が減少しているとはいえ、重大な飲酒運転事故が撲滅されない。少量のアルコールを飲むと気分が高揚したり、いつもよりよく喋るようになったりして、「自分は今までに事故を起こしたことがない」とか「飲酒運転で検挙されたことがない」などという軽い気持ち（アルコール健康医学協会, 2008）で運転してしまうからかもしれない。この事例は、自身の判断力が低下しているということを自覚していないことが問題である。もし、自身の判断力の低下を簡便に装置で示すことができれば、運転の危険性の自覚を促し、飲酒運転を減少させることができるはずである。

我々は、ストループ課題を用いてグラットン効果を測定し、少量の飲酒が認知機能を低下させるのかどうか実験室条件で研究を行った（嶋田, 2009）。その結果、少量の飲酒によって認知機能の低下が認められた。この研究で用いた装置では、実験室条件下で測定に長い時間が必要なことから、今後はより簡便に認知機能を測定することができる装置を開発する必要がある。簡便な測定装置は、たとえば、居酒屋などでお酒を飲みながらゲーム感覚で、自身の認知機能の低下を自覚するのに役立つであろう。

(3) 高齢者ドライバーの認知機能測定

近年、日本では高齢者ドライバーが増加しており、運転免許更新時に高齢者講習が必要な 70 歳以上の運転免許保有者は全体の約 10%を占める（警察庁交通局運転免許課, 2011）。最近になって運転免許の自主返納が進められているとはいえ、自動車が生活になくてはならない交通手段として免許を保有している高齢者ドライバーも少なくないであろう。高齢者ドライバーの事故率が比較的高いことを考えれば、安全に運転できる認知機能を備えているか調べることは重要なことである。また、自宅などで簡便に認知機能の測定ができれば、運転免許証の自主返納を考える契機となるかもしれない。

我々は、高齢者ドライバーを対象に安全に運転できる認知機能を備えているのかどうか評価する研究を進めてきた（嶋田, 2012）。研究では、高齢者と大学生の認知コントロールの指標としてのグラットン効果を比較した。高齢者の認知コントロールが低下していれば、大学生よりもグラットン効果の効果量が減少するはずである。実験参加者は、公募によって自主的に参加した、大学生と公立の高齢者向け学習センターに所属する健康な 60 歳以上の高齢者であった。実験参加者には、ストループ課題についてボタン押し反応を求めた。その結果、予想に反して高齢者のほうが大学生よりもグラットン効果の効果量が大きく、認知機能が優れているという結果になった。他方、すべての条件を平均化した総反応時間では高齢者のほうが大学生よりも遅かった。これらの結果は次のように説明できるであろう。実験に参加した高齢者が、学習センターに通う高齢者の中でも自主的に課題に参加した高齢者であったため、比較的高い認知機能を備えていた可能性がある。そのために、多少複雑な課題であっても認知コントロールを働かせて課題に取り組むことができ、大学生よりも総反応時間が遅いとはいえ、認知コントロールの指標となるグラットン効果が得られたのかもしれない。他方、大学生にとっては課題が簡単であり、認知コントロールを十分に働かせる必要がなかったために、総反応時間が速く、グラットン効果が得られなかったのかもしれない。今後、グラットン効果のみを認知機能の評定値とするのではなく、測定で得られる他の測定値と総合して評価する必要がある。また、高齢者のデータを増やし、自動車の運転に必要な認知コントロールの程度を測定しなければならない。

さらに、大学生でグラットン効果が得られなかったことから、タッチパネルを用いた装置を開発している。この装置はボタン押し反応よりも困難な課題になっているために、大学生のような認知機能の比較的高い実験参加者であっても、認知機能を測定できるであろう。ボタン押し反応の装置では反応する色とボタンが常に固定されていた。他方、タッチパネルで反応する装置では、試行ごとに反応する色とタッチするエリアの対応関係が変化するために、どのエリアをタッチするか試行ごとに確認しなければならない。

3. 展望

安全工学への認知心理学の寄与について、認知心理学の近年の動向を踏まえて検討した。安心・安全なシステムを構築するためには、人間の特性についてよく知り、その特性をシステムに反映させる必要がある。

我々は、認知コントロールの測定装置をより簡便でより信頼ある装置にしようと試みている。確かに、認知心理学の研究で行われているような実験室環境での厳密な測定も重要である。他方、人間の特性がどのようなものであるのかが一般に認識され、さらに自身がどのような傾向の特性を持っているのか自覚できる機会を増やすことで、安全・安心なシステムの構築に寄与できるであろう。

本論文では、高次の認知機能のひとつである認知コントロールの測定装置が安全工学に寄与できる可能性を、飲酒運転の撲滅や高齢者ドライバーなどの研究事例を挙げて示した。研究事例は交通場面に限定されていたが、容易に他の領域にも応用することができるだろう。さらに、試行間効果のような研究成果は認知コントロールの測定に限らず、様々な場面で安心・安全に寄与できるだろう。たとえば、ひとつひとつの作業手順が簡単であっても、それらの作業の時系列について詳しく検討すると、誤った作業を引き起こしやすい作業手順になっているかもしれない。本論文では、認知コントロールに関する研究を中心に安全工学への寄与を検討したが、本論文で簡単に述べたネガティブプライミングなどの様々な認知心理学の研究成果が安全工学に寄与できるであろう。

参考文献

- アルコール健康医学協会. (2008). アルコールが運転に与える影響—飲酒運転根絶を目指して. *NEWS & REPORTS*, 15, 2-5.
- 芦高勇気. (2011). ストループ検査法—試行の前後関係の調査と応用可能性, 日本心理学会第75回大会ワークショップ (ストロープ効果研究の現在) 話題提供. 日本心理学第75回大会発表論文集, WS(31).
- 芦高勇気, 嶋田博行. (2011). ストループ検査法—プライミングに関する検討—, 日本心理学会第75回大会, 日本心理学第75回大会発表論文集, 720.
- Botvinick, M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16, 143-149.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., Sirevaag, E. J., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1988). Pre- and post-stimulus activation of response channels: A psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 331-344.
- 警視庁交通局運転免許課. (2011). 運転免許統計, 平成23年度版.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., III, Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303, 1023-1026.
- 国立大学法人神戸大学. 嶋田博行. コンフリクト検出方法、装置及びプログラム. 特開 2011-218104. 2011-11-4.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- 嶋田博行. (2009). 少量アルコール飲用による人間の抑制機能低下の検出. 科学技術振興機構, シーズ発掘試験研究.
- 嶋田博行. (2012). ネガティブプライミング (時系列効果) 把握のためのストロープ検査の改良と標準化. 平成22年度～平成24年度基盤研究 (C)
- 嶋田博行, 芦高勇気. (2012). 認知コントロール, 培風館, 2012.
- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 31-86). Amsterdam: Elsevier, North-Holland.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.

著者: 1) 芦高 勇気, 神戸大学大学院海事科学研究科博士課程後期課程, 学生; 2) 嶋田 博行, 神戸大学大学院海事科学研究科, 教授

The Contribution of Cognitive Psychology to Safety Engineering

Yuki ASHITAKA
Hiroyuki SHIMADA

Abstract

The current study illustrated that recently cognitive psychological research contributes to construct the secure system in urban spatial planning in order to reduce the probability causing any fatal accidents and incidents by human factors. Implementing understanding human mind and behavior for the system should increase security and reliability of the system. As the particular case, we illustrated developing the device for measurement of human cognitive control as one of human higher cognitive functions and application for the traffic scene such as supporting toward elimination of drinking driving. This device is promising in application to the various fields because it can more easily measure cognitive control than the existing devices.