

知っておきたいキーワード

反応時間

川島 朋也[†], 天野 薫^{†,††}

[†] 国立研究法人情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター (CiNet)

^{††} 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ

"Reaction Time" by Tomoya Kawashima (Center for Information and Neural Networks (CiNet), National Institute of Information and Communications Technology, Osaka) and Kaoru Amano (Center for Information and Neural Networks (CiNet), National Institute of Information and Communications Technology, Osaka / JST PRESTO, Tokyo)

キーワード: 反応時間, 精神時間測定, 減算法, 視覚探索, 速さと正確さのトレードオフ

反応時間とは

反応時間 (Reaction Time) とは、刺激が呈示されてから反応が生起されるまでに要した時間のことです¹⁾²⁾。刺激 (stimulus) とは、モニタに映し出される図形やヘッドホンから流れる音声など、実験参加者に呈示するものを指します。ここでの反応とは刺激に対する意図的な応答のことで、ボタン押しや発声、眼球運動などが含まれます。反応時間を計測するためには三つの装置が必要です。刺激の呈示を制御する装置、反応を取得して記録す

る装置、そして刺激の呈示によって起動し反応の取得によって停止する時間計測装置です。多くの場合は、モニタに図形などの刺激を呈示して、コンピュータに接続されたキーボードやマウスなどの入力装置で反応を取得し、コンピュータの内部クロックで反応時間を計測します。

反応時間は刺激の入力から反応の出力までのあいだに起こるさまざまな心的処理が加算されたものとして考えることができます。ここでの心的処理には、刺激の知覚や判断、意思決定や反応生成の運動実行などが含まれます。

この心的処理は人がある知覚・認知課題を行っているときの反応時間から推測されます。例えば、ある課題で別の課題よりも反応時間が長くなったなら、その課題では異なる心的処理を必要としていたと推測することができます。このように、いろいろな課題設定のもとで反応時間を計測し、比較することで人間の精神過程を推測する研究のことを精神時間測定 (Mental Chronometry) 研究といいます。本稿では、反応時間によってどのように人間の心的処理を推測できるのかについて説明します。

反応時間の考え方

精神時間測定研究では、反応時間を指標として人間の心的処理にかかる時間を推定します。高音か低音かを聞き分けて、なるべく早くボタンを押すという例を考えてみましょう。音の呈示からボタン押しが生起するまでには、どんな音かの判断やどのボタンを押すかの判断など、複数の心的処理が関与していると考えられます。た

だし、ある特定の課題の反応時間だけではこのような心的処理を推測することは困難です。なぜなら、その反応時間には耳から脳への神経活動の伝達時間や、脳から手の筋肉への神経活動の伝達時間も含まれるので、心的活動だけを分離することは困難だからです。

その中で、オランダの生理学者である Donders (1818~1889) は、実験条件間の差分を計算することで人間の心的処理を推測することを試みました。

このような方法を減算法 (Subtraction Method) といいます。彼は単純反応課題・弁別反応課題・選択反応課題の3種類の反応時間課題を提案しました。彼が行った課題と実験参加者の平均反応時間は次の通りです (1ミリ秒は1/1000秒)。①あらかじめ K_i と答えることが決まっており、 K_i という音が聞こえたら K_i と発声する (単純反応: 201ミリ秒)、② K_a , K_i , K_u , K_e , K_o のいずれかが聞こえることを

☞ 伝えたうえで、*Ki*の音が聞こえた場合のみ、*Ki*と発声する(弁別反応：237ミリ秒)、③ *Ka*, *Ki*, *Ku*, *Ke*, *Ko*のいずれかが聞こえることを伝えたうえで、それぞれの音と同じ音を発声する(選択反応：284ミリ秒)。

図1に減算法の考え方を示します。②弁別反応時間から①単純反応時間を引くと36ミリ秒です。ここで、これらの課題は、発声は同じですが選択反応課題では音を聞き分ける処理がある点が異なります。つまり差の36ミリ秒は弁別に要する心的処理の所要時間であると推定できます。また、③選択反応時間から②弁別反応時間を引くと47ミリ秒です。ここで、これらの課題の違いは、選択反応課題では何を発声するかを決める必要がある点です。つま

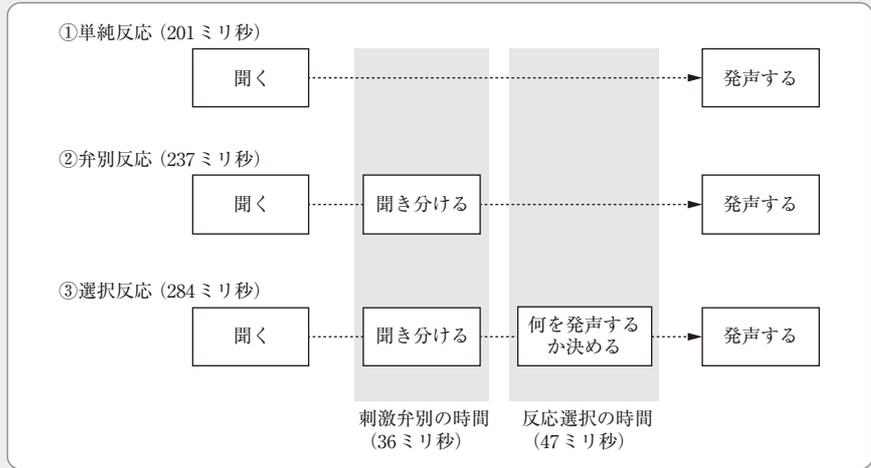


図1 減算法の考え方

り差の47ミリ秒は反応選択の心的処理に要した時間であると推定できます。このように、反応時間の条件間の違いから心的処理を推測することができます。

反応時間を用いた研究例： 視覚探索

反応時間を用いた主な実験方法の一つに視覚探索 (Visual Search) 課題があります^{3) 4)}。視覚探索課題では、モニタに呈示される複数の無関係な刺激(妨害刺激)の中から特定の刺激(ターゲット刺激)を見つけてボタン押しで答えるまでの反応時間が計測されます。視覚探索は人が日常でよく行っていることですが、効率が良いときと悪いときがあります。例えば本棚から本を探すとき、すぐに見つかるときもあれば、なかなか見つからないときもあります。

視覚探索には大きく2種類あると考えられています。一つは並列探索 (parallel search) と呼ばれ、モニタ上の刺激がほぼ並列的に探索される効率の良い探索です。もう一つは逐次探索 (serial search) と呼ばれ、ターゲット刺激が見つかるまでモニタ上の刺激が一つ一つ逐次的に探索される効率の悪い探索です。

並列探索と逐次探索は反応時間分析によってどのように区別できるのでしょうか。基本的には、妨害刺激の個数と、ターゲット刺激と妨害刺激の特

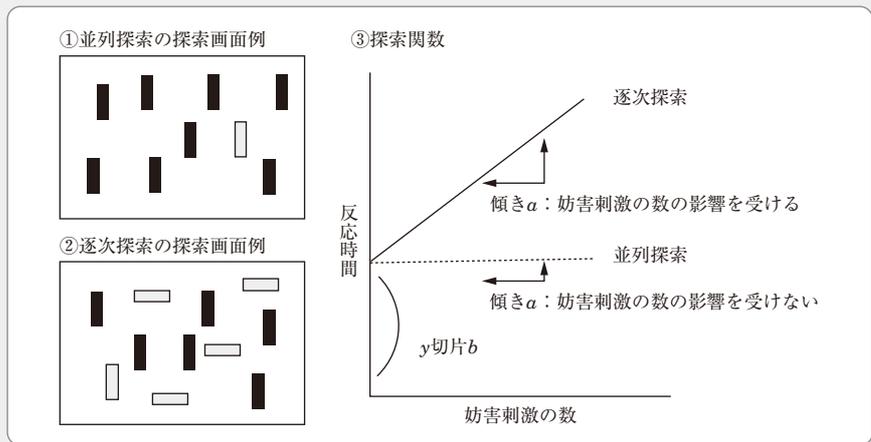


図2 ①並列探索と②逐次探索の探索画面例 (ターゲット刺激は灰色の垂直線分) と③探索関数

徴の組み合わせが操作され、反応時間が調べられます(図2)。並列探索条件では、ターゲット刺激が単一の特徴で定義されます(例えば、黒色の垂直線分の中から灰色の垂直成分を見つける課題：図2①)。一方、逐次探索条件では、ターゲット刺激が複数の特徴で定義されます(例えば、黒色の垂直線分と灰色の水平線分の中から灰色の垂直線分を見つける課題：図2②)。一般に、並列探索条件では妨害刺激の数によらず反応時間はほぼ一定になり、対する逐次探索条件では妨害刺激の数によって反応時間が線形に増加します

(探索関数：図2③)。以上から、妨害刺激の数と反応時間は関数関係にあることがわかります(t ：反応時間、 n ：妨害刺激の数、 a 、 b ：定数)。

$$t = an + b$$

探索関数の傾き a は一つ一つの刺激を探すときの時間に相当します。①のような探索画面では、探索関数の傾き a は妨害刺激の数の影響を受けないことから、モニタ上の刺激は並列的に探索されていると考えられます。一方で、②のような探索画面では、探索関数の傾き a が妨害刺激の数に応じて線形に増加することから、☞

☞ モニタ上の刺激は逐次的に探索されていると考えることができます。また、探索関数の切片もは妨害刺激の個数によらない処理時間(例えばキー押しに必要な運動の時間)を反映して

いると考えられます。

これらの反応時間の特徴から、視覚探索という心的処理には注意しなくてもターゲット刺激を見つけられる場合(図2①)と、注意深く探索しなければ

ターゲット刺激を見つけられない場合(図2②)とがあると考えられます。このように、目には見えない心的処理を、反応時間という指標を通して可視化する試みがなされています。

速さと正確さのトレードオフ

一般に、反応を速くしようとすればするほど正確さが低下し、また正確にしようとすればするほど反応が遅くなってしまいます。例えば、なるべく早くタイピングしようとするほどタイプミスしてしまう可能性が高くなってしまいます。このような、速さと正確さに見られる両立することが困難である関係のことを速さと正確さのトレー

ドオフ(Speed-accuracy Tradeoff)と言います。

したがって、反応時間を使って心的処理を推測する際にはそのときの正答率などの正確さの指標をあわせて分析する必要があります。ある条件の間に反応時間の差があったとしても、正確さが同じでなければ反応時間差の解釈が難しくなってしまいます。例えば、タイピングの習熟度を比較するとき、Aさんの方がBさんよりも1分間に多

くの文字を入力できたとしても(1文字の入力にかかった反応時間が短いとしても)、Aさんがより多くのタイプミスをしていた場合には、Aさんの方がBさんよりも習熟度は高いと結論することは困難です。そのため、心理学実験で反応時間を指標とする場合には、課題を適切な難易度に設定した上で、できるだけ速く正確に行うように教示をすることがよくあります。

反応時間のモデルと神経科学への応用

刺激が呈示されてから反応が生成されるまでの精神過程を数理的に記述する試みがなされています⁵⁾。ある刺激が呈示されたときに、右手でボタンを押すか左手でボタンを押すかの判断に

は、どのような情報処理が背景にあるのでしょうか。代表的な考え方として、どの反応を生成するかについての証拠(evidence)を内的に蓄積し、ある判断基準(閾値)を越えたときに判断がなされるというものがあります(例: 拡散モデル⁶⁾)。つまり、刺激が呈示されてから反応が起こるまでに、その

刺激についての情報が処理され、一定以上の証拠が集まれば反応の判断をすと仮定し、この間の処理を数理的に求めることで反応時間の説明を試みます。近年はこのモデルの神経相関も検討されており⁷⁾⁸⁾、反応時間を通した人の精神過程の理解の試みが続けられています。

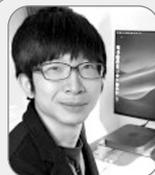
むすび

本稿では反応時間が人の心的処理を推定する指標の一つであることを説明しました。紙面の都合から、慣れなどの反応時間に影響するさまざまな要因や個人差、データ分析の実際については十分に言及できませんでした。関心を持たれた読者の方は、ぜひ『心理学、認知・行動科学のための反応時間ハンドブック』¹⁾を手にとってみてください。

(2019年11月29日受付)

参考文献

- 1) 綾部早穂, 井関龍太・熊田孝恒(編): "心理学, 認知・行動科学のための反応時間ハンドブック", 勁草書房(2019)
- 2) 新美亮輔, 横澤一彦: "反応時間", 脳科学辞典, DOI: 10.14931/bsd.806(2014)
- 3) 塩入論: "注意と視覚探索", 映情学誌, 58, 11, pp.1619-1625(2004)
- 4) 横澤一彦, 熊田孝恒: "視覚探索-現象とプロセス", 認知科学, 3, 4, pp.119-138(1996)
- 5) 上田卓司, 椎名乾平, 浅川伸一: "反応時間の確率モデル", 心理学評論, 46, 2, pp.249-273(2003)
- 6) R. Ratcliff: "A theory of memory retrieval", Psychological Review, 85, pp.59-108(1978)
- 7) K. Amano, N. Goda, S.Y. Nishida, Y. Ejima, T. Takeda and Y. Ohtani: "Estimation of the timing of human visual perception from magnetoencephalography", Journal of Neuroscience, 26, 15, pp.3981-3991(2006)
- 8) R.G. O'connell, P.M. Dockree and S.P. Kelly: "A supramodal accumulation-to-bound signal that determines perceptual decisions in humans", Nature Neuroscience, 15, 12, pp.1729-1735(2012)



川島 朋也 2018年、神戸大学大学院国際文化学研究科博士後期課程修了。現在、情報通信研究機構情報通信融合研究センター研究員。専門は実験心理学。博士(学術)。



天野 薫 2005年、東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了。NTTコミュニケーション科学基礎研究所客員研究員、スタンフォード大学客員研究員、東京大学助教などを経て、現在、情報通信研究機構情報通信融合研究センター主任研究員。専門は視覚神経科学。博士(科学)。