

<原著論文>

単純と Go/NoGo 反応課題における 視覚・聴覚刺激に対する全身反応時間の比較

Comparison of whole-body reaction times to visual and auditory stimuli in simple and Go/NoGo reaction time tasks.

加藤雄一郎 *

Yuichiro KATO*

Abstract

Reaction time (RT) is a critical measure for evaluating human movement performance, with whole-body reaction time playing a significant role. This study investigated the differences in whole-body reaction times to visual and auditory stimuli, focusing on tasks requiring action discrimination (Go/NoGo RT task) and tasks not requiring such discrimination (simple RT task). Forty healthy participants performed these tasks, responding to both a visual (red circle) and an auditory stimulus (beep tone) in the simple RT task and to a red (Go) or blue (NoGo) circle and a low (Go) or high (NoGo) beep tone in the Go/NoGo RT task. The findings revealed no significant difference in simple RT between visual and auditory stimuli (303 ± 33 ms vs. 299 ± 33 ms). However, simple RT was significantly faster than Go/NoGo RT across both modalities. Notably, Go/NoGo RTs were quicker for visual stimuli than auditory stimuli (361 ± 49 ms vs. 390 ± 64 ms). These results suggest minimal differences in stimulus identification processing times between the two modalities but a notably longer discrimination time for auditory stimuli compared to visual stimuli in terms of information processing.

1. 緒言

スポーツにおいて素早く動作を引き起こすことがパフォーマンスを決定する上で重要となる。例えば、球技や対人競技では視覚・聴覚情報に対する、陸上や水泳のスタートでは聴覚情報に対する反応時間の速さがパフォーマンスの決定因子の1つとなっている。一般的に反応時間とは、何らかの感覚刺激が与えられてから、随意運動としての効果器による固有の反応が生起するまでの時間をいう。反応時間は情報処理過程（刺激同定、反応選択、反応プログラミング）における判断速度と非常に関連している (Duvan et al., 2010; Schmidt & Lee, 2013)。刺激同定とは、感覚器官から受け入れた情報を分析し、呈示された刺激が何であるかを判断することである。反応選択とは、刺激同定で処理され

た情報をもとに、いくつかの運動の中から1つの運動を選択することである。反応プログラミングとは、選択された運動を実行するための運動プログラムを作成することである。

反応時間のうち、1つの刺激に対して手や足などによる決められた一定動作により反応する場合を単純反応時間と呼び、複数の刺激に対して複数の反応様式で反応する場合を選択反応時間、ある刺激に対して反応し、別の刺激に対して反応しない場合を弁別反応時間と呼ぶ (Luce, 1968)。単純反応時間において、一般的に知覚する刺激の種類によって反応時間が異なることが知られている。ボタン押し反応に関して光刺激に対する反応時間は、音刺激に対する反応時間よりも遅延する (大山, 1985; Jain et al., 2015)。これは光刺激

* 平成国際大学スポーツ健康学部
y.kato@hiu.ac.jp

が網膜における化学反応によるものであるが、音刺激は鼓膜における振動刺激であることから生じていると考えられている(石河, 1962)。

スポーツの場合、刺激呈示から反応実行までの時間計測をする際、身体全体を使って動作することになるため、全身反応時間が用いられることが多い(猪飼, 1975)。感覚器で知覚された刺激は、視神経や聴覚神経を通して脳に伝達され、その情報は脳のなかで処理されて、運動野から脊髄 α 運動ニューロンへ向けて運動プログラムを伝達する。運動プログラムはジャンプ動作に用いる筋群を順序よく賦活させ、実際の反応動作が起こることになる。ジャンプ動作を含む全身反応時間は、知覚する刺激の種類によって異なることが知られているが、視覚刺激と聴覚刺激に対する影響は様々である。松原(2003)は、音刺激に対する全身反応時間の方が、光刺激に対するそれよりも短くなることを報告している。一方で各種スポーツ選手を対象にした先行研究では(藤島, 1971)、陸上選手以外は両刺激間で反応時間に差異がないことを報告している。さらに、球技や対人競技では視覚と聴覚の両モダリティの情報処理過程において、実行と抑制を行う必要があるが、先行研究では実行処理を扱うことが多く、抑制処理を含めた検討はなされていない。

そこで本研究の目的は、単純反応課題、Go/NoGo 反応課題における視覚刺激、聴覚刺激に対する全身反応時間を測定し、異なる感覚刺激に対する情報処理の実行・抑制機能の特徴を明らかにすることであった。本研究で用いる全身反応時間は、刺激呈示から足が離れるまでの時間と定義し、刺激呈示から身体が動くまでの反応時間と、身体が動いてから足が離れるまで

の動作時間を含んだものとした。

2. 方法

2.1. 対象者

対象者は平成国際大学スポーツ健康学部に所属する健康成人 40 名(男性 25 名, 女性 15 名)であった(Age 18-22 years)。対象者の身体的特徴は表1に示す通りであった。本研究は平成国際大学「ヒトを対象とする実験研究に関する」倫理審査委員会の承認(通知番号 230005)を得てから行った。対象者には、実験内容の趣旨を口頭と書面にて説明し、実験参加者への同意を得た上で実験を行った。

2.2. 手順

刺激装置は、対象者の前方 2 m、高さ 1.2 m の位置に設置した。対象者は、床面に置かれたマットスイッチ(600 × 800 mm)の上に 40 cm 足を広げ、膝を少し曲げた状態で立った。マットスイッチ上には、足を置く目印として中心から側方 20 cm の位置にビニールテープを縦に貼った。対象者には「いきます」の合図の後、1-1.5 s の間隔で刺激を呈示し、課題に合致した反応をできるだけ素早く正確に実施するように指示した。反応動作は、素早くジャンプしてマットスイッチから足を離すものであった。対象者には膝屈曲状態からジャンプすることを意識させ、抜重は極力しないように指示した。刺激呈示からマットスイッチから足が離れるまでの全身反応時間を反応時間測定器(竹井工業株式会社製, T.T.K.1264P)を用いて 1 ms 単位で計測した。

単純反応時間課題は、視覚刺激が赤色の光、聴

表 1. 対象者の身体的特徴

		Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Male (n=25)	Mean	169.7	64.5	22.3
	SD	6.1	8.3	2.0
Female (n=15)	Mean	164.8	59.5	21.9
	SD	7.3	7.4	1.9

BMI, body mass index; SD, standard deviation

覚刺激が 500 Hz の音に対して素早く反応するものであった。試行回数はそれぞれ 6 回ずつであった。Go/NoGo 反応時間課題は、視覚刺激の場合、赤色の光が呈示されたら反応する、青色の光が呈示されたら反応しないものであった。聴覚刺激の場合、500 Hz の音が呈示されたら反応する、1000 Hz の音が呈示されたら反応しない組み合わせであった。刺激の呈示確率は 50:50 であり、各刺激はランダムな順序で呈示された。試行回数はそれぞれ 12 回ずつであった。赤色刺激、500 Hz の音刺激に対して反応なかった場合は、ミスとし、青色刺激、1000 Hz の音刺激に対して反応のあった場合は、フォールス・アラームとして換算した（ミスとフォールス・アラームは全体の約 2% 以下であった）。半数の対象者が光刺激から開始し、残り半数の対象者が音刺激から開始した。また、反応課題の順序は、単純反応時間課題から開始した。

2.3. 統計分析

各課題の全身反応時間は、個人ごとに 6 回の反応試行の平均値を代表値とし、全体における平均値と標準偏差を算出した。全身反応時間の平均値の差異を検討するために、刺激の違いによる要因（光・音）と、反応課題の違いによる要因（単純反応・Go/NoGo 反応）

による繰り返しありの 2 要因分散分析を行った。有意な F 値が認められた場合、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。

また、これらの要因、水準間の関連性を検討するためにピアソンの積率相関係数を求めた。全ての統計的有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3.1. 平均値の差異

全身反応時間について、刺激の違いによる要因（光・音）と反応課題の違いによる要因（単純反応・Go/NoGo 反応）による繰り返しありの 2 要因分散分析を行った結果、刺激の違いによる要因に有意な主効果がみられ ($F(1,39)=18.55, p<0.01, \eta^2=0.3223$)、反応課題の違いによる要因に有意な主効果がみられた ($F(1,39)=194.56, p<0.01, \eta^2=0.8330$)。さらに刺激の違いによる要因と反応課題の違いによる要因に有意な交互作用が認められた ($F(1,39)=26.14, p<0.01, \eta^2=0.4013$)。交互作用について Bonferroni 法による多重比較検定を行ったところ、単純反応時間については光刺激よりも音刺激の方が短かったが有意差は認められなかった。光刺激、音刺激に対する反応時間は、どちらも単純反応時間の方が Go/NoGo 反応時間よりも

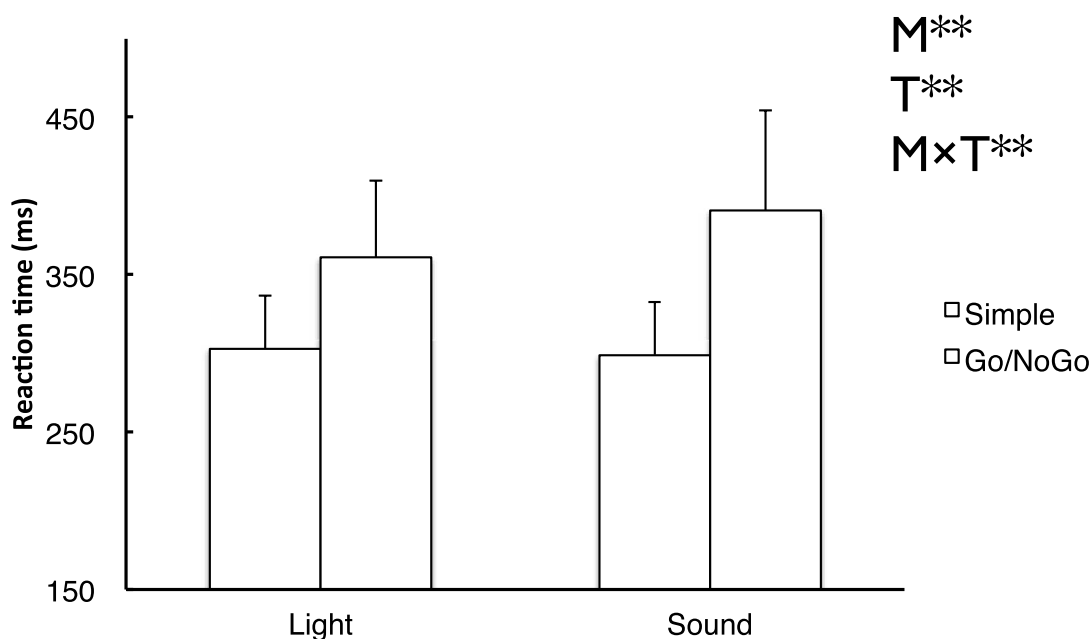


図 1. 光刺激、音刺激に対する単純反応時間と Go/NoGo 反応時間

M, Modality; T, Task; **, $p<0.01$.

有意に短かった (光, 303 vs 361 ms; 音, 299 vs 390 ms)。さらに, Go/NoGo 反応時間については, 光刺激 (361 ms) の方が音刺激 (390 ms) よりも有意に短いことが認められた (図1参照)。

3.2. 相関関係

単純反応時間について光刺激と音刺激の間には有意な相関係数 ($r=0.883, p<0.01$) がみられた (図2左

下)。Go/NoGo 反応時間について光刺激と音刺激の間には有意な相関係数 ($r=0.824, p<0.01$) がみられた (図2右下)。光刺激に対する全身反応時間について単純反応課題と Go/NoGo 反応課題の間には有意な相関係数 ($r=0.766, p<0.01$) がみられた (図2左上)。音刺激に対する全身反応時間について単純反応課題と Go/NoGo 反応課題の間には有意な相関係数 ($r=0.712, p<0.01$) がみられた (図2右上)。

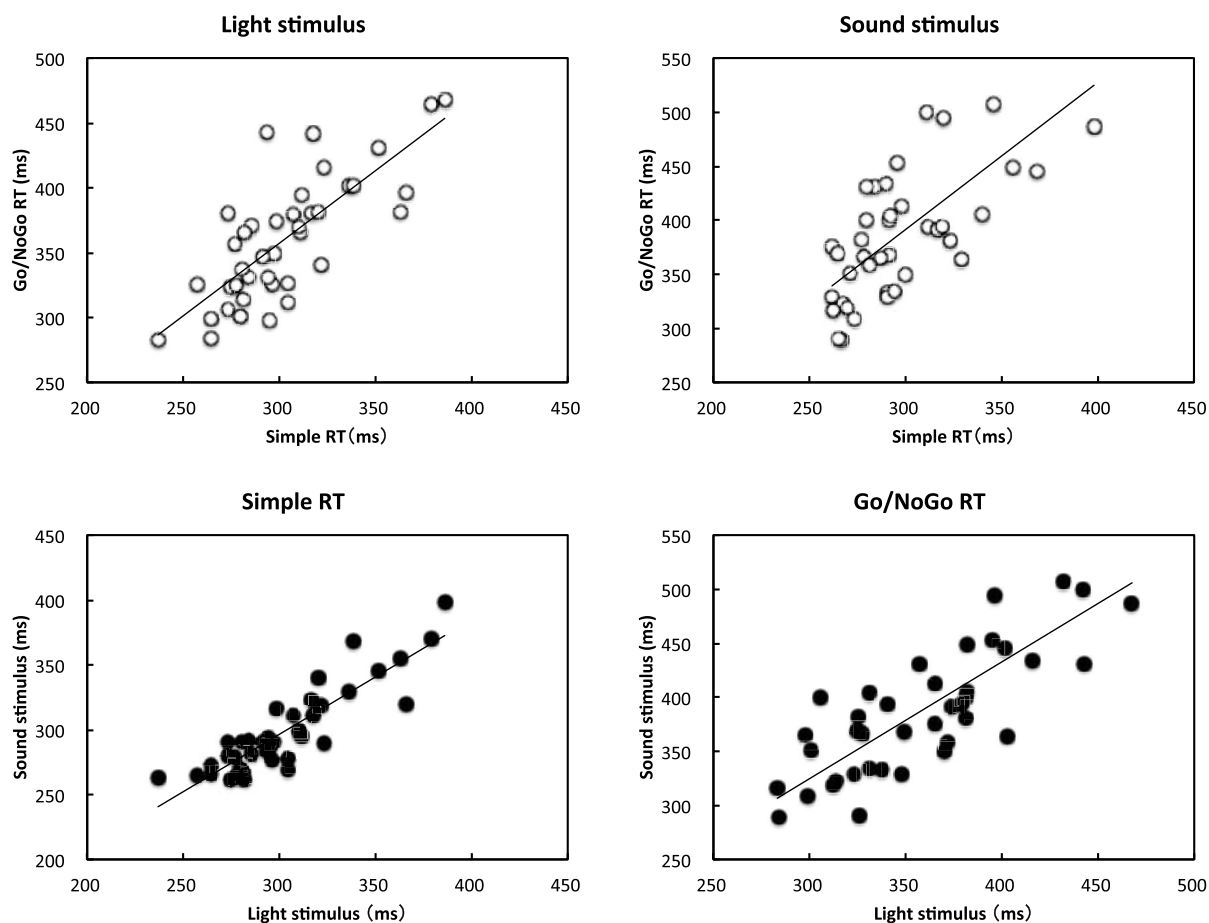


図 2. 刺激の違いによる要因 (光・音) と反応課題の違いによる要因 (単純反応・Go/NoGo 反応) への水準間の相関関係

4. 考察

単純反応時間について, 光刺激と音刺激を比較した結果, 音刺激の方が光刺激よりも 4 ms 短かったが, 有意差は認められなかった (図1)。Thompson et al. (1992) は, 光刺激を弁別する反応時間は約 180-200 ms であるが, 音刺激のそれは約 140-160 ms であると報告している。Kemp (1973) によれば, 聴覚刺激は 8-10 ms で脳に到達するが, 視覚刺激は 20-

40 ms である。つまり, 聴覚刺激の方が視覚刺激よりも早く大脳皮質に到達していることになる。しかし, 本研究の結果は, ジャンプ動作を含めた全身反応時間であるため, 視覚刺激と聴覚刺激の脳への到達時間を動作時間のばらつきで消失されたものと考えられる。Kai et al. (2012) は光刺激に対する全身反応時間を高速カメラを用いて測定し, 全身反応時間が 294 ms と我々の結果に類似していた。動作開始前時間は

179 ms であり、動作時間には 115 ms かかることを示し、動作時間が 100 ms 以上あることがわかる。藤島 (1971) による光・音刺激に対する全身反応時間の報告では、動作開始前時間と動作時間に分けて分析が行われ、動作開始前時間ではバスケットボール、バレーボール、陸上、一般学生が音刺激の方が早かったが、動作時間を含めた全身反応時間では陸上部のみが音刺激で短くなることを示している。このように全身動作を単純に反応実行する際、刺激の同定段階に関しては、視覚刺激と聴覚刺激の処理時間に差異があると示唆され、動作時間において差異があるものと推察される。

Go/NoGo 反応時間は、光刺激と音刺激の共に単純反応時間よりも遅かった (光, 58 ms; 音, 91 ms)。この結果は、視覚野における色の違いの弁別や、聴覚野におけるトーンの違いを弁別する時間が単純反応時間に加算されているからと考えられる (Miller & Low, 2001)。Miller & Low (2001) は、矢印刺激に対するボタン押しによる反応時間を計測し、単純反応時間が 347 ms、Go/NoGo 反応時間が 395 ms、選択反応時間が 441 ms であることを報告している。これによれば、単純反応時間と Go/NoGo 反応時間の差異が 48 ms であり、本研究の光刺激に対するそれらの反応時間の差異である 58 ms と同等であった。単純反応時間と選択反応時間の差異は 94 ms であり、本研究の音刺激に対するそれらの反応時間の差異である 91 ms と同等であった。さらに本研究の主要な結果は、音刺激に対する全身反応時間の方が光刺激に対するものよりも 33 ms 有意に遅かったことを確認したことである (図1)。これらの結果は、音刺激に対する弁別時間の方が光刺激に対するそれよりも有意に情報処理時間がかかっていることを示唆している。Pérez-Bellido et al. (2013) は、視覚と聴覚の同時刺激を呈示した場合、視覚刺激、聴覚刺激の単独呈示よりも反応時間が早くなることを報告している。これは刺激同定段階において、聴覚刺激が視覚刺激の情報処理を促進していることを意味している。Bueno et al. (2012) は、視覚刺激による警告と聴覚刺激による警告が、視覚刺激の標的刺激に対する選択反応時間を調べている。その結果、聴覚警告刺激が視覚刺激の刺激同定時間を促進させることを示唆している。これらのように先行研究では聴覚刺激の時間的優位性を示す報告がある

が、本研究の結果によれば、反応の実行・抑制に関する刺激弁別、反応選択での情報処理については、視覚刺激に対するそれが優位であると考えられる。

光刺激と音刺激に対する単純反応時間、Go/NoGo 反応時間の相関係数は、0.8 以上と非常に高いものであった。どちらのモダリティにおいても刺激同定の処理時間が短いと、刺激弁別の処理時間も早くなることが示唆される。光刺激に対する単純反応時間と Go/NoGo 反応時間の相関係数は 0.766 であったが、音刺激に対するそれが 0.712 と低かった。これは聴覚刺激に対する情報処理において、刺激同定が早ければ刺激弁別が早くなるという関係性が若干薄いことを示唆するものである。

文献

- Bueno, V.F., Valle, L.E., Ribeiro-do-Valle, L.E., Prof, A., & Prestes, L. (2012). Effects of visual and auditory stimuli in a choice reaction time task. *Psychology and Neuroscience*, 5, 199-205.
- Duvan, A., Toros, T., & Senel, O. (2010). The effect of maximal load intensity on visual reaction times of elite Turkish fencers. *Nigde University, Journal of Physical Education and Sport Sciences*, 4, 149-150.
- 藤島仁兵 (1971). 光・音刺激に対する全身反応時間の測定. *鹿児島大学教育学部研究紀要*, 22, 119-131.
- 石河利寛 (1962). *スポーツとからだ*. 岩波書店, pp.171-172.
- Jain, A., Bansal, R., Kumar, A., & Singh, K.D. (2015). A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 5, 124-127.
- Kai, S., Nagano, K., Nomura, T., Shigemori, K., Mitani, Y., Hiroshima, R., Okamoto, K., & Takeda, K. (2012). Relationships between whole body reaction time and the motion-silent period and the action period in jump. *Journal of*

- Physical Therapy Science, 24, 227-229.
- Kemp, B.J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off condition. *Developmental Psychology*, 8, 268-272.
- Luce, R.D. (1968). *Information Theory of Choice-Reaction Times*. Academic Press: London.
- 松原周信 (2003). 視覚および聴覚刺激による跳躍反応時間の時系列構造. 京都府立大学学術報告人間環境学・農学, 55, 7-11.
- Miller, J.O., & Low, K. (2001). Motor processes in simple, go/no-go, and choice reaction time tasks: a psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 266-289.
- 大山 正 (1985) 反応時間研究の歴史と現状. 人間工学, 21, pp. 57-64.
- Pérez-Bellido, A., Soto-Faraco, S., & López-Moliner, J. (2013). Sound-driven enhancement of vision: disentangling detection-level from decision-level contributions. *Journal of Neurophysiology*, 109, 1065-1077.
- Thompson, P.D., Colebatch, J.G., Brown, P., Rothwell, J.C., Day, B.L., Obeso, J.A., & Marsden, C.D. (1992). Voluntary stimulus-sensitive jerks and jumps mimicking myoclonus or pathological startle syndromes. *Movement Disorders*, 7, 257-262.
- Schmidt, R.A., & Lee, T.D. (2013). *Motor learning and performance: from principles to application* (5th ed.). Human Kinetics: Champaign.
- Yagi, Y., Coburn, K.L., Estes, K.M., & Arruda, J.E. (1999). Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory P300, reaction time, and accuracy. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80, 402-408.

(2024年2月16日受理)