



# 意思決定と運動行為の干渉

## Interference between perceptual decision-making and motor actions

松宮一道<sup>1)</sup>

Kazumichi MATSUMIYA

1) 東北大学 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09, kmat[at]cp.is.tohoku.ac.jp)

**概要:** 我々は感覚器官を通して知覚した外界情報をもとに意思決定(知覚的意思決定)を行う。知覚的意思決定は目に見えない認知プロセスであるため、この知覚的意思決定を目に見える運動行為から読み出すことができれば、意思決定の理解に貢献できると考えられる。本研究では、知覚的意思決定が眼球運動と手の到達運動にどのように干渉するかを調査することで、知覚的意思決定の読み出しに適した運動行為について検討した。

**キーワード:** 意思決定、眼球運動、手の到達運動、知覚

### 1. はじめに

知覚判断の研究は、目に見えない認知的状態をいかに推定するかに依存する。このような隠れた認知的状態を推定するには、目に見える運動行為が一般に用いられる。運動行為と知覚判断は逐次的処理過程としてしばしばモデル化され、知覚判断が終わった後に運動行為が計画され実行されると仮定される。例えば、運動行為がサッカーボールの眼球運動の場合、感覚情報に基づいてどこに眼球を動かすかを決定した後、サッカーボールが実行される。

しかし、近年の研究によると、未だ完了していない知覚判断のプロセスが運動行為へ連続的に影響を与えることが報告されている[1,2]。これは、知覚判断と運動行為の干渉を意味する。実際に、手の到達運動を用いた研究により、視覚探索時のターゲット選択プロセス、語彙判定プロセス、アラビア数字の大きさといった処理過程によって手の到達運動の軌跡が変わることが報告された[e.g., 3]。これらの結果は、手の到達運動が知覚判断プロセスの最終出力ではないことを示しており、知覚判断と手の到達運動の干渉を示唆している。

さらに、サッカーボールの軌跡も知覚判断プロセスの影響を連続的に受けることが報告されている[4]。例えば、知覚判断課題に回答するためにサッカーボールを行うときに、実験参加者がどのような知覚判断を行ったかに依存して、サッカーボール軌跡の湾曲度合いやサッカーボール到達地点に系統的な歪みが生じる。そのため、知覚判断と運動行為の干渉は、手の到達運動だけでなく、サッカーボールの眼球運動に対しても生じることになる。

しかし、手の到達運動とサッカーボールの眼球運動を同時に行

ったときに(二重運動パラダイム)、知覚判断と運動行為がどのように干渉するのかわからない。そこで本研究では、眼球運動と手の到達運動を同時に実行するが、知覚判断課題と独立したパラダイムを開発した。このパラダイムは、これまでの眼球運動時に視覚刺激の変化を識別したり[5-8]、眼と手の協調運動時に自己受容感覚の位置を判断したり[9,10]するパラダイムとは異なる。過去の研究が採用したパラダイムでは、運動行為時の知覚判断であったが、本研究で採用するパラダイムでは、知覚判断時に運動行為を計測するというものである。具体的には、実験参加者は、視覚的運動の運動方向を判断するが、視覚的運動刺激呈示と知覚判断の間に、知覚判断と関連のないサッカーボールの眼球運動と手の到達運動を行い、サッカーボールや手の到達運動の反応時間と速度を計測する。こうすることで、二重運動パラダイムにおける知覚判断と運動行為の干渉パターンを調べることができる。

### 2. 実験方法

実験 1 では、実験参加者は視覚的運動刺激方向の判断と関連のない眼球運動と手の到達運動を同時に実行した。実験 2 では、実験参加者は視覚的運動刺激方向の判断と関連のない眼球運動か手の到達運動のいずれか一方だけを実行した。ことと知覚判断の間で相互作用があるかどうかを調べた。実験 1 では、8 名が参加し、実験 2 では、11 名が参加した。本実験は、東北大学情報科学研究科倫理委員会により承認された。

実験 1 と 2 の両方において、実験参加者は右手をテーブルの上に置き、眼球運動計測機器付きヘッドマウントディ

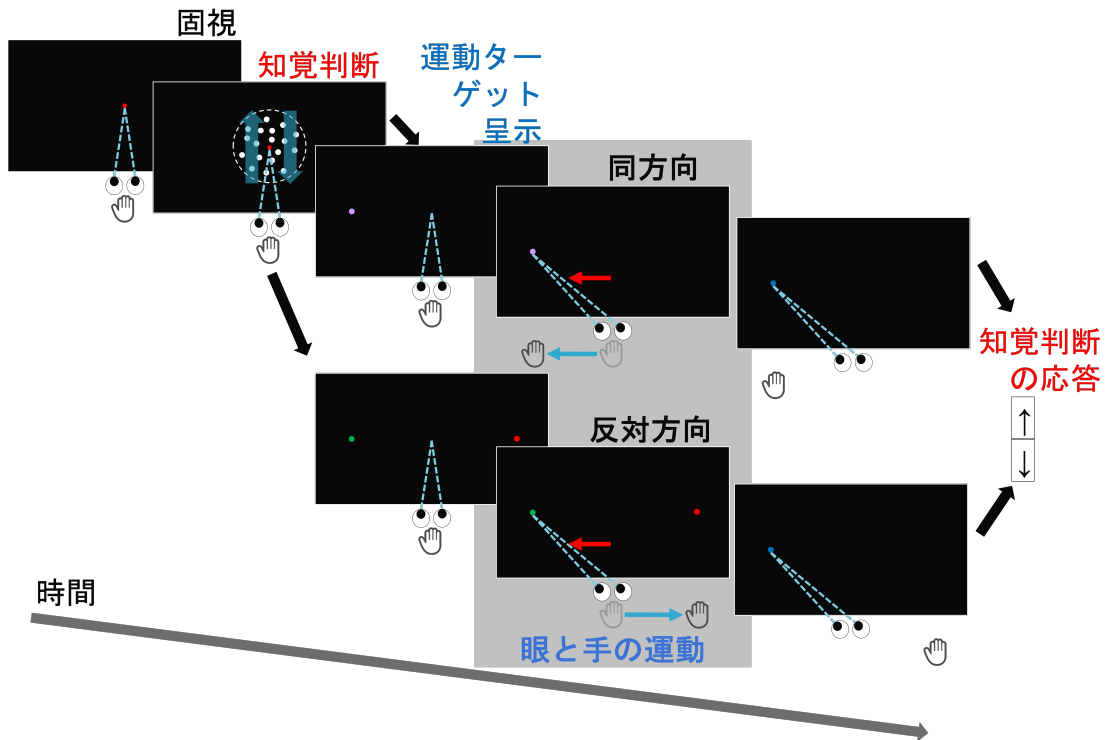


図 1: 実験 1 の実験手続き. 実験参加者は、ランダムドット運動の方向の知覚判断を最初に行い、その後、その知覚判断と関連のない眼と手の運動を同時に行った。眼と手の運動を行った後、ランダムドット運動の運動方向を応答した。この手続きでは、ランダムドット運動の方向の知覚判断の応答が終わるまでの間に、その知覚判断と関連のない運動行為を行うことになる。この知覚判断と関連のない運動行為に知覚判断が影響を与えれば、知覚判断（つまり、意思決定）が運動行為に干渉したと見なすことができる。

スプレイ(HMD; Tobii Pro VR Integration based on the HTC Vive)を装着した。視覚刺激は、HMD 上に呈示される仮想空間内で視距離 50cm の奥行位置に配置された。実験参加者の右手の人差し指には、力覚呈示装置(PHANTOM force-feedback device, 3D Systems)のアームが取り付けられ、この力覚呈示装置によって実験参加者の右手の位置が計測された。

HMD 上に呈示される視覚運動刺激は、200 ドットのランダムドット（直径 0.6° の白いドット）で構成され、注視点（直径 0.5° の赤い点）を中心に直径 20° の範囲内に白いドットが呈示された。各ドットは、0~150 ミリ秒の間でランダムに選ばれたライフタイムが割り当てられた。ドットのライフタイムの期間が終わると、そのドットは呈示範囲内でランダムに選ばれた別の位置に呈示された。注視点は手を置いているテーブルと同じ位置に呈示された。

視覚運動刺激の方向判断の難易度を制御するために、ランダムな方向に動いているドットの中で同じ方向に動いているドットの割合（運動コヒーレンスと呼ぶ）を操作した。運動コヒーレンスのレベルは、3%、6%、12%、24%、48% の 5 つを用いた。ランダムドット運動の運動方向は上か下であった。これは、眼球運動や手の到達運動の運動方向（左か右）と直交していた。視覚運動刺激の呈示時間は、実験 1 では 100 ミリ秒、実験 2 では 100 もしくは 400 ミリ秒であった。

各セッションは、眼球運動のキャリブレーションから始

まった。各試行の前に、実験参加者は画面中央に呈示された注視点を中心として、右手の人差し指の先端を注視点の位置に置いた。実験参加者が左手を使ってボタンを押すと試行が始まった。ボタンを押してから 1 秒後に、ランダムドット運動刺激が呈示された。この運動刺激が画面から消えると同時に、注視点も画面から消え、画面中央から 20° 右あるいは左に離れた位置に運動ターゲットが呈示された。

実験 1 では、眼と手を同時に運動ターゲットに向かって動かす必要があり、一つの運動ターゲット（紫のターゲット）に眼と手を動かす条件（同方向条件）と、二つの異なる位置に呈示された運動ターゲットのうち、一方の運動ターゲット（緑のターゲット）に眼を、もう一方（赤のターゲット）に手を動かす条件（反対方向条件）があった。同方向・反対方向の条件に加えて、ランダムドット運動の運動方向を判断する条件（意思決定あり条件）と運動方向を判断しない条件（意思決定なし条件）があった。意思決定ありとなしの二つの条件を比較することで、眼と手の運動への影響が意思決定に因るのか、運動刺激の呈示に因るのかを区別できる。

実験 2 では、眼か手のいずれか一方を運動ターゲットに向かって動かす必要があった。眼だけを運動ターゲットに向かって動かす条件では、実験参加者は右手の人差し指を注視点の位置に置いたまま動かさないように教示された。手だけを運動ターゲットに向かって動かす条件では、実験参加者は視線を注視点の位置に固定したまま動かさない

ように教示された。また、実験2では、意思決定あり条件のみがあり、意思決定なし条件はなかった。

運動ターゲットが画面に呈示されてから1.2秒後に、運動ターゲットの色が青に変わった。このように運動ターゲットの色が変化したら、意思決定あり条件の場合に実験参加者はランダムドット運動の運動方向を左手で応答した。判断した運動方向が正解か不正解かが音声により実験参加者にフィードバックされた。意思決定なし条件では、実験参加者は運動方向に対して何も応答せず、音声フィードバックもなかった。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 実験1

意思決定あり条件では、ランダムドット運動の運動方向の正答率が運動コヒーレンスのレベルに伴って系統的に変化した。これは、実験参加者が運動方向の知覚的判断を行っていたことを示している。運動方向の知覚的判断は、同方向条件と反対方向条件でほぼ同じであった。したがって、眼と手の運動方向の一致性は知覚判断に影響しなかった。これは、知覚判断のパフォーマンスに関連しない課題として眼球運動と手の到達運動を行っていたことを示している。

眼球運動と手の到達運動の反応時間を分析した。知覚判断に関連のない運動ターゲットに向かって実行された眼球運動の反応時間が、意思決定あり条件では運動コヒーレンスによって系統的に変化した。実際には、運動コヒーレンスのレベルが増大すると、眼球運動の反応時間が短くなった。一方、意思決定なし条件では、運動コヒーレンスは眼球運動の反応時間に影響を与えなかった。これらの結果は、眼と手を同時に動かした場合、眼球運動の反応時間は知覚的意思決定の影響を受けることを示唆する。

知覚判断に関連のない運動ターゲットに向かって実行された手の到達運動の反応時間については、意思決定の有無にかかわらず、運動コヒーレンスの影響を受けることはなかった。したがって、眼と手を同時に動かした場合、手の到達運動の反応時間は知覚的意思決定の影響を受けないことが示唆される。

次に、眼球運動と手の到達運動のピーク速度を分析した。知覚判断に関連のない運動ターゲットに向かって実行された眼球運動のピーク速度は、意思決定の有無にかかわらず、運動コヒーレンスの影響を受けることはなかった。一方、知覚判断に関連のない運動ターゲットに向かって実行された手の到達運動のピーク速度についても、意思決定の有無にかかわらず、運動コヒーレンスの影響を受けることはなかった。

以上より、眼と手を同時に動かす場合、知覚判断に関連のない眼球運動の反応時間だけが知覚的意思決定の影響を受けることが示された。

#### 3.2 実験2

実験1より、眼と手を同時に動かすと、知覚判断に関連のない手の到達運動の反応時間や眼球運動のピーク速度は知覚的意思決定の影響を受けないことが明らかになった。これらの結果が、眼と手を同時に動かすことに起因しているのかどうかを明らかにするために、眼球運動だけを実行する条件（眼球運動条件）と手の到達運動だけを実行する条件（手の到達運動条件）において各運動への知覚的意思決定の影響を調べた。もし眼と手を同時に動かすことが知覚的意思決定による手の到達運動の反応時間への影響を無効にしているならば、この影響は手の到達運動条件で現れることが期待される。同様に、知覚的意思決定による眼球運動のピーク速度への影響についても、眼球運動条件で現れることが期待される。

期待通り、手の到達運動条件では、運動コヒーレンスが手の到達運動の反応時間に対して影響を与えた。眼球運動条件では、運動コヒーレンスが眼球運動のピーク速度に対して影響を与えた。したがって、これらの結果は、眼と手を同時に動かすことが原因で、手の到達運動の反応時間や眼球運動のピーク速度が知覚的意思決定の影響を受けないことを示唆する。

### 4. むすび

神経生理学的研究は、知覚判断に関連した神経活動が眼球運動と手の到達運動に関連する脳領域で生じることを示している。これらの脳領域では、同じ神経細胞が知覚判断の形成と運動行為の実行の両方に対して選択性を示す。このことは、知覚判断が知覚判断と関連のない運動行為と干渉する可能性を示唆する。実際に、サルの外側頭頂間溝野（LIP野）において、知覚判断に関連した神経活動が知覚判断と関連しないサッカーボール眼球運動の応答と干渉することが報告されている。ヒトでも、知覚判断が知覚判断と関連のないサッカーボール眼球運動に干渉することが報告されている。興味深いことに、最近の神経生理学的研究が、知覚判断に対する応答を眼球運動で行うと、内側頭頂間溝野（MIP野）の神経細胞の活動が大きく減少するが、知覚判断に対する応答を手の到達運動で行ってもLIP野の神経細胞は活発に活動することを報告している。LIP野が眼球運動の実行に関与し、MIP野が手の到達運動の実行に関与することを考慮すると、眼と手を同時に動かすと知覚判断が眼球運動にだけ干渉することが予想される。本研究で得られた結果は、この見解を支持している。

結論として、本研究は眼球運動と知覚的意思決定の強い結びつきを示した。この結果は、知覚的意思決定と関連のない複数の運動行為が行われているときでも、意思決定の信号が連続的に眼球運動システムに流れていることを示唆する。したがって、知覚的意思決定が眼や手の運動行為と関係なくとも、眼球運動から知覚的意思決定を推定できると考えられ、眼球運動が知覚的意思決定の読み出しに適した運動行為であることを示唆する。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP22H00087、JP21K12102 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] Song JH, Nakayama K. Hidden cognitive states revealed in choice reaching tasks. *Trends Cogn Sci* **13**, 360-366 (2009).
- [2] Spivey MJ, Grosjean M, Knoblich G. Continuous attraction toward phonological competitors. *Proc Natl Acad Sci U S A* **102**, 10393-10398 (2005).
- [3] 山崎, 松宮, 栗木, 塩入: ポインティング行動における空間表象の位置情報の影響, *VISION*, 22(3), 149-163 (2010).
- [4] McSorley E, McCloy R. Saccadic eye movements as an index of perceptual decision-making. *Exp Brain Res* **198**, 513-520 (2009).
- [5] Matsumiya K, Uchikawa K. Apparent size of an object remains uncompressed during presaccadic compression of visual space. *Vision Res* **41**, 3039-3050 (2001).
- [6] Matsumiya K, Uchikawa K. The role of presaccadic compression of visual space in spatial remapping across saccadic eye movements. *Vision Res* **43**, 1969-1981 (2003).
- [7] Matsumiya K, Sato M, Shioiri S. Contrast dependence of saccadic blanking and landmark effects. *Vision Res* **129**, 1-12 (2016).
- [8] Takano S, Matsumiya K, Tseng CH, Kuriki I, Deubel H, Shioiri S. Displacement detection is suppressed by the post-saccadic stimulus. *Sci Rep* **10**, 9273 (2020).
- [9] Matsumiya K. Awareness of voluntary action, rather than body ownership, improves motor control. *Sci Rep* **11**, 418 (2021).
- [10] Matsumiya K. Multiple representations of the body schema for the same body part. *Proc Natl Acad Sci U S A* **119**, (2022).