

博士論文(要約)

運動分散および反応時間に基づく感覚運動意思決定における  
応答方略の決定要因

(Determinant factors in sensorimotor decision-making  
considering motor variability and reaction time)

東京大学 大学院総合文化研究科

広域科学専攻 生命環境科学系

女川 亮司

# 論文の内容の要約

## 運動分散および反応時間に基づく感覚運動意思決定における 応答方略の決定要因

### (Determinant factors in sensorimotor decision-making considering motor variability and reaction time)

東京大学 大学院総合文化研究科

広域科学専攻 生命環境科学系 31-177762

女川 亮司

#### 第1章 序論

スポーツをはじめとした運動場面では、われわれは多くの選択肢から行為を決定する必要がある。この際に、感覚運動制御システムの特徴に由来した動作結果の確率分布と、動作目標がもつ価値を統合して行為を選択する必要がある。しかし、ヒトが「動作結果の確率分布を正しく認知しているのか」あるいは「動作目標がもつ価値をいかに認知しているのか」といった問いは未解明である。そこで本研究は、感覚運動制御システムの特徴として代表的である運動分散および反応時間を考慮に入れる感覚運動意思決定における、ヒトの行為選択の最適性と特徴を、行動経済学と運動制御学を統合した解析手法を用いて検討した。研究1では、運動分散に基づく意思決定を対象として、先行研究において広く確認されている運動課題におけるリスク志向選好が、運動主体の差異の影響を受けるか検討した。研究2, 3, 4では、反応時間に基づく意思決定を対象として、時間制約に応じた応答方略決定の最適性と特徴を検討した。以上の研究成果をまとめ、ヒトの感覚運動意思決定に影響を与える要因について考察した。

#### 第2章 運動分散に基づく意思決定における変動性要因の影響 (研究 1-1)

研究 1-1 では、シュートを行うか否かを判断する選択シューティング課題を用いて、内在的ノイズ条件と外在的ノイズ条件の行動を比較することで、ノイズが内在由来であることがリスク

志向性バイアスの原因となっているか検討した。その結果、参加者は外在的ノイズ条件ではリスク中立的な行動をとったのに対して、内在的ノイズ条件では、リスク志向的な行動をとった（図1）。この結果から、自身の運動が結果に反映される文脈がリスク志向性バイアスの原因となっている可能性が示唆された。リスク志向的な行動の原因としては、シュートを行うことの効用が条件間で異なる可能性や、シュートの成功確率の見積もりバイアスがある可能性が考えられた。「5年以内に出版予定」

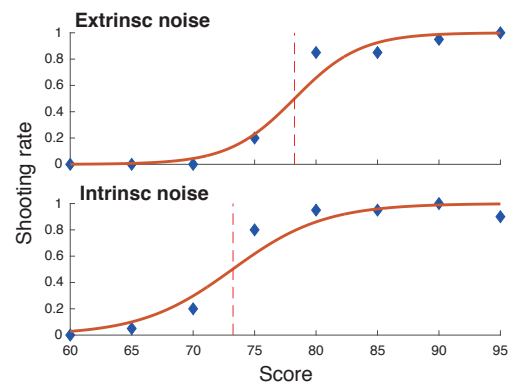


図 1. 条件間の方略選択の差異

### 第3章 運動課題でのリスク志向選好における運動分散推定の影響 (研究 1-2)

研究 1-2 では、リスク志向性バイアスはシュートの成功確率の見積もり起因するか否かを検討した。シュート結果を反映するかしないかを判断する課題に改変し、内在的ノイズ条件のみ行った。もし、この場合にもリスク志向的な行動が取られたならば、リスク志向性バイアスは成功確率の過大評価によるものであると考えられた。一方で、リスク志向的な行動を取らないならば、成功確率の見積もりは正確にできており、シュートを行うことの効用がリスク志向的な行動を生む可能性が考えられた。その結果、研究 1-2 においてもリスク志向性バイアスが確認された。この結果は、リスク志向性バイアスは運動分散の過小評価あるいは成功確率の過大評価によることを示唆した。「5年以内に出版予定」

### 第4章 価値減少下での応答方略決定における価値要素の影響 (研究 2-1)

研究 2-1 では、期待利得が時間減少する 2つの選択肢に対する選択応答課題を実施した。期待利得の時間減少は利得および確率の減衰によって成された。利得が時間減少する場合も、確率が時間減少する場合も、選択肢がもつ期待利得の時間変化は等しい。期待利得の時間減衰時間が試行間で変化したため、参加者は与えられた時間制約に応じて応答方略を考える必要があった。参加者の応答時間分布に基づいて、応答方略を単純反応と選択反応に分類し、期待得点を最大化させる方略を時間制約ごとに推定した。推定された最適な応答方略と実際に選択された応答方略を比較

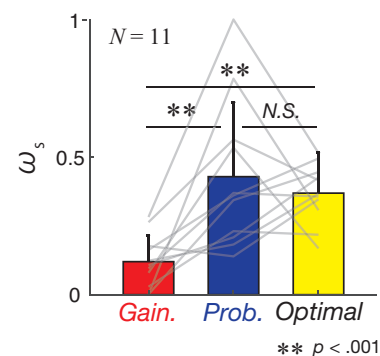


図 2. 応答方略の条件間比較

した結果、確率減少条件では、応答方略の重み付けが最適に近かった一方で、利得減少条件では、選択反応が過剰に用いられることで最適解から逸脱することが確認された（図 2）。以上より、時間変化する価値要素の差異が応答方略に影響を与えることが明らかとなった。また、利得減少下において、個人間で共通して、選択行動の選好バイアスが存在することが明らかとなった。

「Scientific Reports, Volume 9:11732, pp1-12, Risk aversion in the adjustment of speed-accuracy tradeoff depending on time constraints.にて出版済み」

## 第5章 利得減少下での応答方略決定における選択方略の選好 (研究 2-2)

研究 2-2 では、研究 2-1 で確認された利得減少下における選択方略の選好バイアスの頑健性を確認するために、4つの選択肢に対する利得減少課題を実施した。その結果、時間制約が緩い Slow 条件では、参加者は最適応答時間に近い時間で応答することができた一方で、時間制約が厳しくなる Middle 条件および Fast 条件では、最適応答時間よりも有意に遅く応答した。これらの結果から、選択肢数が増加した場合でも、選択方略の選好バイアスが存在することが示された。「5年以内に出版予定」

## 第6章 非対称な時間制約を持つ動作目標に対する感覚運動意思決定 (研究 3)

研究 3 では、固有の時間制約を持つ2つの動作目標に対する運動計画における最適性を検討した。本研究では、競合した動作目標が存在し、動作開始後に最終的な動作目標が判明するリーチング課題を用いた。最終的な動作目標に時間制約内に到達した場合に、その試行は成功となる。参加者は、成功確率を最大化させるためには、動作目標に与えられた時間制約の組み合わせに応じて、開始動作を柔軟に変化させる必要がある。行動データから得られた開始動作パターンと動作結果の関係性をもとに成功確率を最大化させる開始動作を推定し、実際に用いられた開始動作と比較した。その結果、開始動作は、与えられた時間制約条件に応じて変化した。時間制約が短い条件において、最適解からの逸脱が生じた。時間制約が短い条件では、いずれかの動作目標に絞って直線的に向かう決め打ち方略が成功確率を最大化させることができたが、参加者は最終的な動作目標に確実に向かおうとする方略をとったことで、結果的なパフォーマンスを低下させていた。このことから、研究 3 においても、選択方略の選好バイアスが存在したことが明らかとなった。「5年以内に出版予定」

## 第7章 非対称な価値を持つ動作目標に対する感覚運動意思決定 (研究 4)

研究 4 では、動作ターゲットの価値に不確実性が存在する中で、時間制約に応じて、いかに動作方略が選択されるかを明らかにし、その最適性を検討した。本実験課題において、参加者は、ターゲットの価値に関わらず、決め打ち方略を採用するか、ターゲットの価値を認識した上で、選択方略を採用するかを決定する必要があった。参加者は、動作目標が 2 つの Double target 条件と動作目標が一つの Single target 条件をそれぞれ実施した。記述的アプローチによる動作パターンの解釈と Double target 条件と

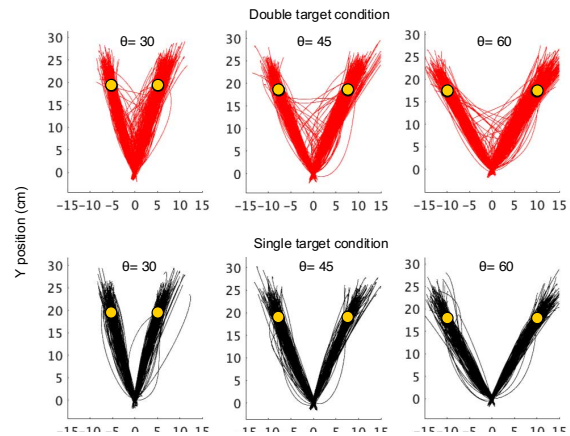


図 3. 動作軌道の条件間比較

Single target 条件でのパフォーマンスの比較から、参加者の動作遂行方略選択とその有効性を検討した。その結果、Single target 条件に比べ、Double target 条件で開始動作方向がターゲットの中間方向に寄ることが明らかとなった (図 3)。開始動作方向の条件間差異は、ターゲット間の価値判断のプロセスが運動軌道に干渉した結果として生じた可能性が考えられた。また、時間制約が短い条件において、Single target 条件よりも Double target 条件のパフォーマンスが有意に低いことが明らかとなった。加えて、このパフォーマンスの差異は Double target 条件で時間制約内にターゲットに到達できた確率が有意に低いことに由来していた。つまり、複数の選択肢があるという有利な状況にも関わらず、選択方略を採用することで時間内に動作目標に到達できず、結果的に得られる得点を低下させてしまったことが示された。このことから、研究 4 においても、選択方略の選好バイアスが存在したことが明らかとなった。「5 年以内に出版予定」

## 第8章 総合論議

運動分散や反応時間などの感覚運動制御システムの特徴は、動作の時空間的な結果を確率的に決定するため、運動場面での意思決定において考慮に入れる必要がある。本研究の主題の一つは、「ヒトが運動分散や反応時間などの感覚運動制御システムの特徴を十分に考慮に入れた意思決定を行うことができるか」を明らかにすることであった。研究 1 では、運動分散に基づく意思決定において、自己動作に対して意思決定を行う際にリスク志向的な行動選好が生じ、他者動作に対して意思決定を行う際にはリスク中立的な行動がとられること、リスク志向的な行動選好は自身の運動分散の過小評価に由来した可能性があること、が明らかとなった。研究 2, 3, 4 では、複数の選択肢が存在する中での時間制約に応じた応答方略決定において、単純反応のほうが望ましい時間切迫的な場合でも選択反応が選好されることでパフォーマンスが低下すること、その原因として応答時間を実際よりも短く見積

もっている可能性があること、が明らかとなった。

以上のように、個人間・課題間で系統的な最適方略からの逸脱が存在し、そのようなパターン化された逸脱は、運動分散や反応時間の見積もりにおける認知バイアスに由来している可能性が考えられた。興味深いことに、運動分散と反応時間のいずれにおいても、自身の能力を過大評価する方向で認知バイアスが生じた可能性があるという点で、両者の間で共通した方向性が存在した。また、研究1から、他者動作の能力は正しく見積もれる一方で、自身の能力に対しては過大評価する傾向が明らかとなったことから、認知バイアスは他者に対する見積もりにおいては存在せず、自身の能力に対する見積もりにおいて現れる可能性が示された。

以上の研究結果から、感覚運動意思決定において個人間・課題間において系統的な認知バイアスが存在し、それにより期待得点を最大化させる行動の選択が困難となる可能性があることが明らかとなった。したがって、感覚運動系における系統的な認知バイアスを解消することが、運動場面でのパフォーマンス向上に有効である可能性が考えられる。