

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01595

研究課題名(和文) 『認知空間の歪み』を定量し運動パフォーマンスの向上に活かす

研究課題名(英文) Assessment of the distortion in cognitive space - aiming at the improvement of motor performance

研究代表者

久代 恵介 (Kushiro, Keisuke)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：60361599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：目的の運動行為を達成させるためには、身体周辺の空間を正確に知覚し、それにもとづいた運動の生成が求められる。身体周辺の空間が感覚器を通して知覚される仕組みは、これまでの研究において詳細に調べられてきた。他方、個体が特別な空間として認識する「個人空間」など、中枢が認識する認知空間が存在することも知られている。本研究プロジェクトでは、中枢が認識する認知空間の性質とヒトの運動パフォーマンスとの関係性を調べた。その結果、認知空間は重力方向と身体方向との空間的な関係性や感覚情報の変調によって歪みが生じ、運動パフォーマンスに影響を及ぼしている様子が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究プロジェクトは、ヒトが空間を知覚する認知科学的アプローチと、運動パフォーマンスを評価する運動学的アプローチの両側面を関連付けた学際的な試みとして推進された。本研究プロジェクトの遂行により、身体周辺の空間が中枢に表象される際、実存する重力空間とは一致しない歪みが生じ、このことがヒトの運動制御に潜在的に影響を及ぼしていることが示された。これらの知見は、ヒトのもつ運動制御の性質を読み解く手掛かりになるとともに、運動パフォーマンスを最大化するために利用可能な知識となり得よう。

研究成果の概要(英文)：To complete an intended motor task, the body accurately senses the surrounding environment and to create motor commands accordingly. How the surrounding space is sensed by sensory organs has been shown in previous studies. Cognitively defined space, such as "peripersonal space" which is recognized as a specialized area for an individual, is considered to be represented in the brain. In the current research project, we studied the relationship between the properties of cognitive space and human motor performance. The results found that cognitive space was distorted according to the relationship between the gravitational and bodily direction, which in turn affected the motor performances.

研究分野：行動制御学

キーワード：運動 認知 パフォーマンス 空間 感覚 身体

1. 研究開始当初の背景

意図した運動を発現させるには、運動の生成を精度良く行うことと、その前段である空間知覚の正確性が肝要である。運動の生成に関わる研究は、生理学、バイオメカニクス等の領域においてこれまで詳細に調べられ、その成果は、競技スポーツ、臨床、教育などの現場に活かされている。一方、空間の知覚に関わる研究は、おもに心理学や脳科学領域においてなされてきた。空間の知覚は身体の傾斜や動きなど、身体の状態により変化することがよく知られている。また、身体周辺の個人空間 (peripersonal space) は特別な空間領域として認識され、他者が侵入することにより不快や不安を生じさせることが知られている。これらのことから、空間は中枢において一様に知覚されるのではなく、身体の状態や周辺の状況に応じた歪みをもちながら表象されていることが示唆される。このような『認知空間の歪み』は運動パフォーマンスの質に影響を及ぼさないだろうか、という疑問を我々は抱いた。本研究ではこの点に着目し、認知的に表象される空間と運動パフォーマンスとの関係性について、ヒト行動実験を通して明らかにすることを試みた。

2. 研究の目的

これまで我々は空間の知覚に関わる研究に取り組んできた。その中で、空間知覚のセンサーとして機能する耳石器や半規管からの入力が入力中枢において運動系反射回路を形成する事実を明らかにしてきた (Uchino and Kushiro, 2011, for review)。近年は重力空間の知覚が運動パフォーマンスに及ぼす影響について取り組んでいる。最近、上肢を鉛直上下方向に繰り返し移動させた際、移動方向に依存してキネマティクスに違いが生じていることを見出した (Yamamoto and Kushiro, 2014)。このことから、ヒトは無意識下に重力の効果を利用しながら目的の運動を達成させていることが示唆された。本研究プロジェクトでは、感覚器から入力する情報と中枢において形成される認知空間との相違に着目し、これが運動パフォーマンスに及ぼす影響を調べた。この歪みの性質がヒトの運動現象をうまく説明するという仮説のもと、本研究プロジェクトは遂行された。

3. 研究の方法

1) 重力が作用する地上において、ヒトの運動制御のしくみを捉えようとしたとき、頭部の上下軸 (Z 軸) が重力軸と一致していると想定することが多い。しかしながらそれらが一致し続ける状況は現実的ではない。これと反対に、頭部 Z 軸と重力軸との乖離が顕著な場合、ヒトの運動制御の精細さは保証されるのだろうかという疑問が生じる。これを調べる目的で、三次元外乱発生装置による身体の傾斜時に記憶誘導性上肢到達運動課題を行わせ、キネマティクスを評価した (図 1)。実験は暗所において、健常成人を対象に行った。参加者の身体を前額面上で側方に 8° もしくは 16° 傾斜させた。その後、到達運動課題の目標点 (LED) を点灯させ、空間位置を記憶させた。500 ms 後にシャッターゴーグルが閉じ LED が退避した後、記憶された空間位置に向けて到達運動を行わせた。その際の上肢運動のキネマティクスを解析し、身体が重力空間内で傾くことが上肢運動の制御にいかなる影響を及ぼすかを調べた。

2) 前項のように身体が傾斜されなくとも、視覚情報が操作されることにより、空間が傾いて感じられることがある。この場合も運動の制御に影響が及ぶのだろうかという疑問を抱いた。これを調べる目的で、視覚情報を操作して空間知覚に歪みが生じる環境を設定し、その際の上肢の運動パフォーマンスを調べた。実験では、健常成人にダーツ投げ矢を行わせた。標的周辺には重力方向に対して、 0° 、 15° 、および 30° 傾いた正方形の枠が呈示された (図 2)。ダーツ投げ矢は、そのパフォーマンスが投げ出しの速度ベクトルにより決定される弾道的な運動であり、フィードバックによる制御が効かない性質をもつ。そのため、中枢で表象された認知空間が運動パフォーマンスに対して直接的に影響すると考えられた。これを課題として用いることにより、認知的に表象される空間と運動パフォーマンスとの関係性を明らかにすることを試みた。

3) 我々は運動により身体周辺の環境にはたらきかけながら生活を営む。その際、運動が達成可能かどうかを無意識下で判断し、それにより運動を選択・調整しながら出力している。このとき、運動行為が及ぶと判断する身体周辺の空間は、実際の空間とは必ずしも一致せず、歪みをもって存在しているのではないかという疑問を抱いた。そこで、身体周辺の空間に対する上肢到達運動を想定し、時間内に到達可能かどうかを判断させる課題を実施した。実験では右利きの健常成人を用い、身体周辺の標的点に対して制限時間内の到達

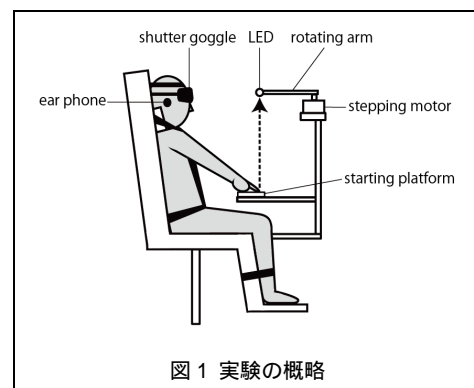


図 1 実験の概略

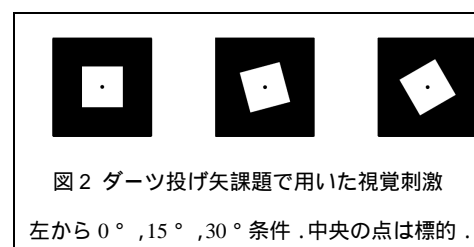


図 2 ダーツ投げ矢課題で用いた視覚刺激

左から 0° 、 15° 、 30° 条件。中央の点は標的。

達が可能かどうかを判断させる認知課題を行わせた。椅子に座した参加者の身体前方に標的点(LEDボタン)が設置された(図3)。運動の開始点から前方および左右45°の方向に、上肢の最遠到達位置(100%)をもとに5つの標的点(20, 40, 60, および80%)を設置した。各LEDボタンの点灯中に上肢を到達させることが可能か否かを判断させた。LEDの点灯時間を操作することにより、時間内の到達が可能と判断する割合が50%となる主観的等価時間(PSE)を求めた。解析では、PSEが距離と方向の2つの要因によりいかに影響されるかを調べ、主観的な運動行為達成可能性の空間的な広がり进行评估した。

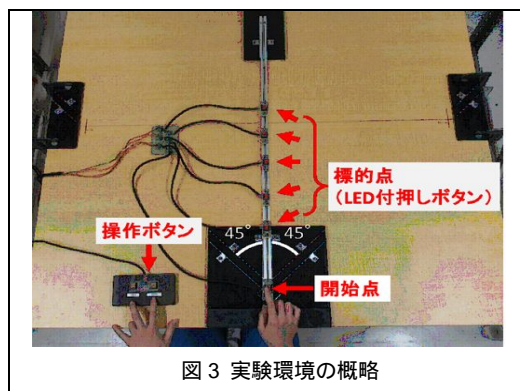


図3 実験環境の概略

4. 研究成果

1) 身体が前額面上において8°もしくは16°傾斜した際、上肢の記憶誘導性到達運動の運動軌跡は、身体が傾いた方向に応じて実際の標的点から偏倚する様子が観察された(図4上段)。さらに、この運動軌跡の偏倚は、空間が歪んで知覚されることを反映しているのか、もしくは知覚に關与しない運動現象であるのかを知るため、身体の傾斜感覚を調べる認知テストを実施した。認知テストでは、身体傾斜時に主観的に知覚される自己の身体長軸方向を、ディスプレイ上に現れる線分を操作させ回答させた。その結果、主観的な身体長軸方向は、左傾斜時には実際の身体方向よりも左に、右傾斜時には右に偏倚することが分かった。この結果を横軸に取り、到達運動課題における到達点の偏倚を縦軸にとると、両者の間には相関関係が存在することが分かった(図4下段)。以上より、身体の傾斜によって歪んで知覚される空間は、上肢運動の制御に影響を及ぼすことが示唆された。このことから、身体の傾斜が比較的小さな角度であっても、視覚を介さない上肢運動の制御は身体方向と重力方向との相対的な関係に応じて影響が及ぶということを示している。そしてこのことは、普段の我々の運動行動において、視覚情報によるフィードバック制御が機能することにより、運動パフォーマンスの誤差が補正されていることを示唆する。

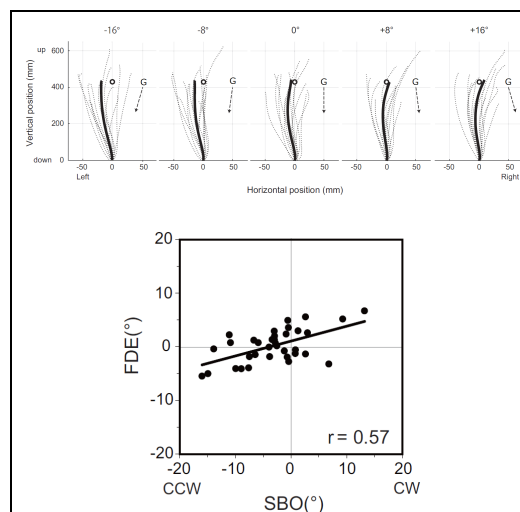


図4 身体傾斜時の上肢の軌跡(上段)と主観的な身体方向に対する上肢運動到達地点との関係(下段)

上段: Gは重力方向を示す。下段: SBOは Subjective Body Orientation の略で、主観的な身体長軸の方向を示す。また、FDEは Final Direction Error の略で、前額面上において上肢運動の開始点と到達点とを結ぶ線分が、開始点と目標点とを結ぶ線分との間になす角度を示す。すなわち、運動方向の最終的な誤差を示す。CW, CCWは参加者の視点からそれぞれ時計回りと反時計回りの方向を示す。

2) 周辺の杵の傾きに依存して矢の到達点に違いが見られるか否かを知るため、標的から到達点までの誤差を垂直成分と水平成分に分解して評価した。その結果、条件間で誤差の水平成分に違いは見られなかったが、垂直成分が有意に異なっていた(図5)。杵が15°および30°傾いた条件では、0°(すなわち傾いていない)条件に比べ、矢は鉛直下側に到達した。また、30°傾いた条件では15°のときに比べ同様の傾向を示した。これらの結果は次のように解釈される。弾道的な上肢運動の制御において、投げ出し時に存在する微細な誤差は、矢の飛行中に水平方向では距離に応じて線形に増大する。一方、垂直方向では、投げ出し時に存在する誤差は飛行中矢に加わる重力作用によって積算される。そのため、垂直方向では水平方向と比べ、投げ出し時までに運動出力の精細な見積もりと制御が要されると考えられた。本実験の結果から、中枢が行う運動出力の見積もりは視覚情報の変調により影響され、最終的な運動パフォーマンスにも現れることが示唆された。このことから、視覚的な重力空間の知覚は、普段我々が行う上肢運動の精細な制御に寄与していることが示唆された。

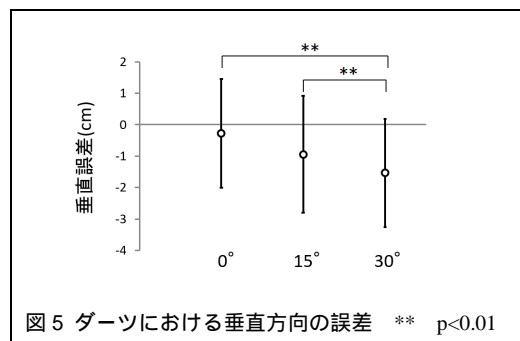


図5 ダーツにおける垂直方向の誤差 ** p<0.01

3) 身体前方の運動開始点から前方および左右 45° に配置された 15 個の標的点に対し、上肢運動の主観的な到達可能性を示す PSE を計測した。その結果、標的までの距離と方向による主効果が見られた (図 6)。単位距離あたりの PSE は、運動に用いる上肢側である右方向が有意に短くなった。このことは、運動行為の達成可能性を示す主観的な空間は物理空間とは異なることを示し、これらの変数を含めたいいくつかの要素により歪められていることが示唆された。

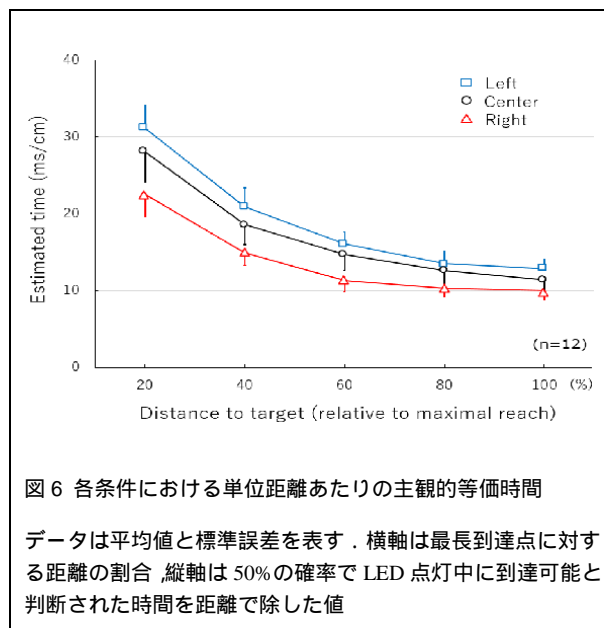


図 6 各条件における単位距離あたりの主観的等価時間

データは平均値と標準誤差を表す。横軸は最長到達点に対する距離の割合、縦軸は 50% の確率で LED 点灯中に到達可能と判断された時間を距離で除した値

<引用文献>

Uchino, Y., Kushiro, K. (2011) Differences between otolith- and semicircular canal-activated neural circuitry in the vestibular system. *Neurosci Res* 71: 315-327.
 Yamamoto, S., Kushiro, K. (2014) Direction-dependent differences in temporal kinematics for vertical prehension movements. *Exp Brain Res* 232: 703-711.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- 1) Yamamoto S., Shiraki Y., Uehara S., Kushiro K. Motor control of downward object-transport movements with precision grip by object weight. *Somatosensory & Motor Research*, 2016, 33: 130-6.
- 2) Tani K., Shiraki Y., Yamamoto S., Kodaka Y., Kushiro K. Whole-body roll tilt influences goal-directed upper limb movements through the perceptual tilt of egocentric reference frame. *Frontier in Psychology Movement Science and Sport Psychology*, 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.00084. 他

[学会発表] (計 14 件)

- 1) Shiraki Y., Tani K., Yamamoto S., Kodaka Y., Kushiro K. Effects of visual information around the target on dart task performance and kinematics, The 31st International Congress of Psychology, Yokohama, July, 2016.
- 2) Tani K., Shiraki Y., Yamamoto S., Kodaka Y., Kushiro K. The effects of body tilt in the roll plane on upper limb pointing movements, World Congress of International Society of Posture and Gait Research, Fort Lauderdale, June, 2017.
- 3) Tani K., Yamamoto S., Kodaka Y., Kushiro K. The effect of dynamic upper limb movements on perception of gravitational direction during prolonged whole-body tilt. 48th Annual Meeting of Society for Neuroscience, San Diego, November, 2018. 他

[図書] (計 1 件)

山本真史 (2018) (4 章) 運動制御. 荒木雅信 (編). *これから学ぶスポーツ心理学 (改訂版)*, 大修館書店, 東京, Pp.29-36. (分担執筆).

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 小高 泰

ローマ字氏名: KODAKA, Yasushi

所属研究機関名: 産業技術総合研究所自動車ヒューマンファクター研究センター

職名: 主任研究員

研究者番号 (8 桁): 10205411

研究分担者氏名: 山本真史

ローマ字氏名: YAMAMOTO, Shinji

所属研究機関名: 日本福祉大学・スポーツ科学部

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 40736526

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。