

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11621

研究課題名(和文) 運動行為達成可能性の空間的な広がりを定量し運動の質向上に活かす

研究課題名(英文) Quantifying the cognitive action space and utilizing it to improve the quality of movements

研究代表者

久代 恵介 (Kushiro, Keisuke)

京都大学・人間・環境学研究所・教授

研究者番号：60361599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プロジェクトでは、ヒトの洗練された身体運動の背後に存在する感覚、認知、運動機能の理解をめざした。ヒトは身体周辺環境から情報を入力し、中枢において身体周辺空間を再構成していると考えられている。中枢に表象された空間に加え、自己の身体要素、心理状態、運動イメージ等を考慮した認知空間を参照しながら、目的の運動行為の達成可能性を判断し実行していると考えられる。本研究プロジェクトでは、中枢に表象される認知空間の機能的性質を定量し評価した。その結果、ヒトは自己の感覚、運動、認知機能を動的かつ柔軟に関連付けながら行為を行っていること、さらにそれは意識にのぼらないレベルで制御されている様子がうかがえた。

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、ヒトの運動行動現象に対して運動学的な解析を行うことにより、感覚、認知、運動機能の関連性を調査した、行動制御学分野の基礎研究である。本研究プロジェクトで得られた研究成果は、医学・理学療法、発達学、スポーツ科学など、さまざまな学問領域に関わる基礎知識になり得ると同時に、高齢者の安全、交通工学、人間工学といった社会領域にも波及し得る。これにより、実生活に現存する問題へ解決手段や生活の質向上への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to understand the sensory, cognitive, and motor functions behind the sophisticated physical movements of humans. It is thought that humans input sensory information from the environment around the body and reconstruct that space in the central nervous system (CNS). Furthermore, it is considered that the achievability of the desired motor action is judged and executed by referring to the cognitive elements that assess one's physical properties, psychological states, and motor image, among others, in addition to the space represented in the CNS. Therefore, we quantified and evaluated the functional properties of the cognitive space and elements represented in the CNS. Consequently, we found that humans perform actions by associating their sensory, motor, and cognitive functions dynamically and flexibly and that these functions are unconsciously controlled.

研究分野：行動制御学

キーワード：運動 感覚 認知 空間

1. 研究開始当初の背景

ヒトの洗練された動きの背後にはなにが存在しているのだろうか。研究代表者らはこの疑問について長年思索を巡らし、ヒト行動実験によりデータを取得し、そしてまた考えてきた。意図した行為を身体運動により達成させるためには、身体周辺の環境(空間)を正確に把握すること、そしてそれにもとづいて運動を生成・出力することが必須である。この過程において、効率的あるいは洗練されたという条件が加わると、中枢で求められる処理が急激に複雑になるように我々は感じていた。

このようなヒト運動現象の下地になる機構をなにかうまく表現する方法はないだろうかと思案し、『認知運動空間』という考えに辿りついた。これは身体周辺の物理空間とは異なり、運動行為達成可能性が行為者の身体周辺に広がる様子を表す認知空間である。『認知運動空間』がヒト運動行動の性質を包含していると考え、この機能的性質の解明を本研究プロジェクトの柱に据えた。

2. 研究の目的

ヒトは身体周辺の空間から、視覚、前庭覚、体性感覚を通して情報を入力し、中枢で空間を表象していると考えられている。ヒトは洗練された身体運動を遂行するために、この認知空間に加え、上位中枢からの情報を加味した行動ベースの認知空間を構成していると考えた。研究代表者らは、この認知空間は日常、スポーツ、臨床に至る場面での運動の洗練性を含意しているのではないかと考え、これを『認知運動空間』と表現した。これらを踏まえ、本研究プロジェクトではヒト行動実験により『認知運動空間』の機能的性質を定量・解析し、洗練されたヒト運動行動現象の理解をめざした。

3. 研究の方法

1) 外界からの感覚入力と外界への運動出力との双方向性の機能連関を調べた

15名の健常成人を対象に実験室内に設置された暗所で行動実験を実施した。参加者の身体は三次元外乱発生装置により側方に16°傾斜された(図1)。参加者は傾斜位においてコントローラーを操作し、頭部前方のディスプレイに呈示される線分を知覚される垂直方向へと回転させる自覚的視性垂直位(Subjective Visual Vertical: SVV)課題を行った。その後、上肢を身体長軸に沿って動的もしくは静的に運動させ(あるいは運動を行わないコントロール条件)、再びSVV課題を行った。身体の側方への傾斜位維持に伴い、自己を中心とした座標系が偏倚することが知られており、これに付随して生じる主観的垂直方向の偏倚が上肢運動により変化するか否かを調べた。

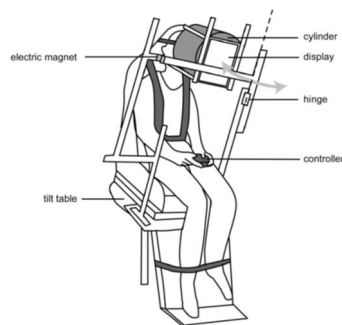


図1 実験環境の概略

2) 疑似的な重力情報の視覚的な付加が身体傾斜の知覚に及ぼす影響を調べた

15名の健常成人を対象に実験室内に設置された暗所にて行動実験を実施した。実験の手順を図2に示した。参加者の身体は三次元外乱発生装置により側方に16°傾斜された。参加者は傾斜位においてコントローラーを操作し、頭部前方のディスプレイ上を身体長軸方向に沿って移動する円の追従ボタン押しタイミング課題を行った(図2上図)。その際、円が身体長軸方向に等速度(0.17 m/s)で移動する条件、鉛直投げ上げを模して等加速度(0.41 m/s²、初速度は0.35 m/s)で移動する条件、および視覚刺激を付加しないコントロール条件を設定した。その後、身体はゆっくりと傾斜の反対方向へと回転され、身体長軸方向が重力方向と一致したと知覚したタイミングでボタン押しを行う Subjective Postural Vertical (SPV) 課題を行った。SPV 課題における主観的垂直位の方法と重力方向との誤差から、傾斜位における疑似的な視覚刺激が、その後

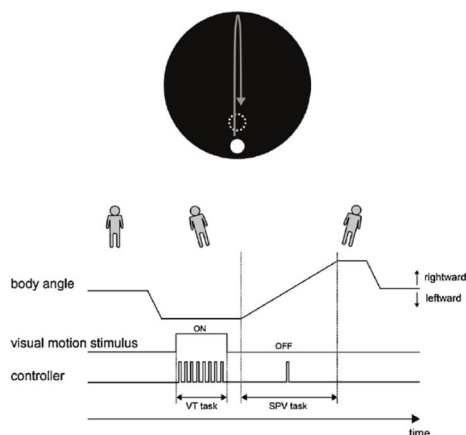


図2 視覚刺激と実験手順

の身体方向の知覚に及ぼす影響を調べた。

3) 上肢運動遂行時に生じる重力の作用をヒトは主観的に認識しているか否かを調べた

12名の健常成人を対象に実験室内に設置された暗所にて行動実験を実施した。着座した実験参加者の正面には8個のLED付き押しボタンが鉛直線上に配置された(図3)。これらを運動の開始点および標的とし、参加者は鉛直上下方向の上肢到達運動を行った。実験では2つの課題を設定した。認知課題では標的の点灯時間内に手を標的に到達可能であったかどうかを口頭で報告させた。これを繰り返し、到達可能性が50%であると主観的に知覚する運動見積み時間を計測した。運動課題では実際に上肢到達運動を行わせ、課題遂行に要した時間、および示指と手首のキネマティクスを取得した。上下各方向および各運動距離における上肢運動および運動見積み時間を比較することにより、鉛直上肢運動遂行時に生じる重力の作用をヒトはいかに認識しているかを定量した。

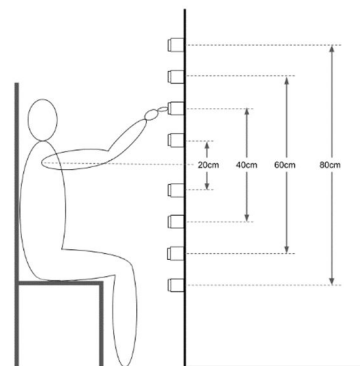


図3 実験環境の概略

4. 研究成果

1) 外界からの感覚入力と外界への運動出力との双方性の機能連関を調べた実験

上肢を動的に運動させた場合、身体傾斜位の維持によって生じる主観的垂直方向の偏倚が、静的な運動および運動しなかったコントロール条件と比べて有意に小さかった(図4、ともに $p < 0.05$)。このことから、上肢を身体長軸方向に動的に運動させることにより、重力方向の知覚が促進されることが示唆された。本研究の成果は、従来の身体周辺空間の知覚から運動が生成・出力されるという方向性の感覚運動の機能的連関の考えに一石を投じ、空間知覚と身体運動の間には双方向性の機能的連関が存在し情報が循環しており、双方の正確性や精度を高めるよう機能している可能性を示した。

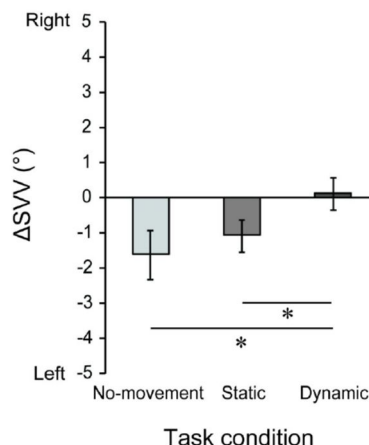


図4 上肢運動条件における自覚的視性垂直位

2) 疑似的な重力情報の視覚的な付加が身体傾斜の知覚に及ぼす影響調べた実験

身体傾斜位で身体長軸方向に等加速度で移動する円が呈示された条件では(図5、CA条件)視刺激が付加されなかったコントロール条件に比べ、主観的垂直位が傾斜側へと有意に偏倚した($p < 0.05$)。このことから、傾斜位における重力を模した視覚情報が身体方向の知覚に変化を生じさせたと示唆された。ヒトは空間内における自己の身体の状態をいくつかの感覚器からの入力にもとづいて知覚していると考えられている。本研究では感覚入力に人為的な変調を付加し空間知覚が偏倚する様子を定量的に示すことにより、これら感覚情報の重み付けが動的になっている現象を明らかにした。

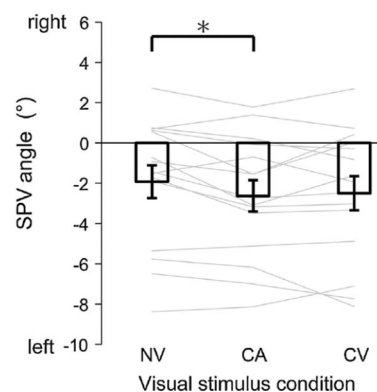


図5 視覚刺激条件ごとの主観的垂直位

NVはNo visual すなわち視覚情報を与えないコントロール条件、CAおよびCVはそれぞれ等加速度および等速度で移動する円を注視した条件を示す。

3) 上肢運動遂行時に生じる重力の作用をヒトは主観的に認識しているかを調べた実験

運動課題において課題遂行時間が下方向で有意に大きくなり ($p < 0.01$) 運動方向に依存した非対称性が確認された。一方、認知課題では、測定された運動見積り時間に非対称性は見られなかった。また、運動見積り時間は運動遂行時間に対して有意に小さく ($p < 1.0e-4$) 自己の運動能力を過大評価する傾向が認められた。これらの結果から、ヒトは上肢運動を行う際、重力の作用を利用して効率的に運動を遂行しているものの、主観的にはそれを認識していないこと、すなわち、それらの制御が意識にのぼらないレベルで行われていることが示唆された。

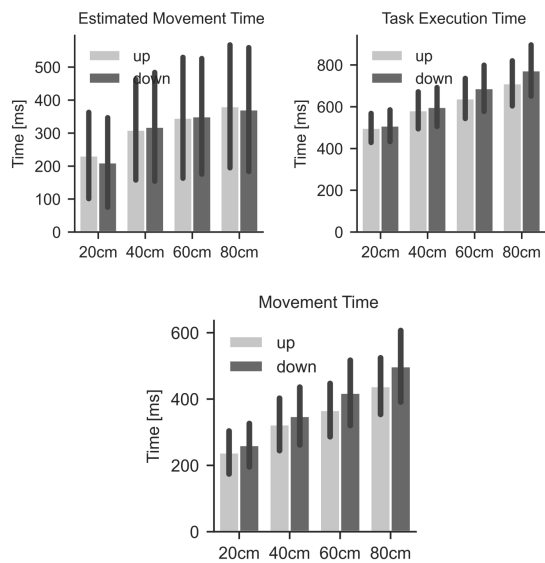


図6 各条件における、運動見積り時間（上段左）、課題遂行時間（上段右）および運動時間（下段）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Keisuke Tani, Shinji Yamamoto, Yasushi Kodaka, Keisuke Kushiuro.	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamic arm movements attenuate the perceptual distortion of visual vertical induced during prolonged whole-body tilt.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 N.A.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0250851	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tani Keisuke, Ishimaru Sho, Yamamoto Shinji, Kodaka Yasushi, Kushiuro Keisuke	4. 巻 716
2. 論文標題 Effect of dynamic visual motion on perception of postural vertical through the modulation of prior knowledge of gravity.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Letters	6. 最初と最後の頁 134687 ~ 134687
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neulet.2019.134687	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Shinji, Fujii Keisuke, Zippo Kisho, Kushiuro Keisuke, Araki Masanobu	4. 巻 5
2. 論文標題 The kinetic mechanisms of vertical pointing movements.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e02012 ~ e02012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.heliyon.2019.e02012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡本裕太郎、谷恵介、久代恵介
2. 発表標題 重力の作用が上肢運動生成の認知過程に及ぼす影響
3. 学会等名 第17回 空間認知と運動制御研究会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田康介、藤井慶輔、久代恵介
2. 発表標題 フットサル守備局面における集団的パフォーマンス定量化の試み
3. 学会等名 第16回 空間認知と運動制御研究会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小高泰、地本宗平、河野憲二
2. 発表標題 Smooth pursuit eye movement に関する前頭葉神経細胞の活動
3. 学会等名 第16回 空間認知と運動制御研究会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久代恵介
2. 発表標題 ヒト行動実験におけるデバイス開発
3. 学会等名 2019年度 感覚と運動に関する包括的心理学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本真史
2. 発表標題 運動制御における重力利用の検証
3. 学会等名 2019年度 感覚と運動に関する包括的心理学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸田康介、久代恵介
2. 発表標題 集団スポーツにおける個人内行動戦略の客観的評価
3. 学会等名 2019年度 感覚と運動に関する包括的心理学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 屋京典、久代恵介
2. 発表標題 サッカーの1対1場面におけるパーソナルスペースの特徴
3. 学会等名 2019年度 感覚と運動に関する包括的心理学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本真史、久代恵介、荒木雅信
2. 発表標題 鉛直方向への上肢運動制御における生理学的機序
3. 学会等名 第15回「空間認知と運動制御」研究会学術集会（誌上開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森野敬子、久代恵介
2. 発表標題 上肢到達運動の主観的評価と運動方向選択性の定量化
3. 学会等名 第15回「空間認知と運動制御」研究会学術集会（誌上開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 戸田康介、久代恵介
2. 発表標題 集団スポーツにおける個人内行動戦略の客観的評価
3. 学会等名 第15回「空間認知と運動制御」研究会学術集会（誌上開催）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小高 泰 (Yasushi Kodaka) (10205411)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	山本 真史 (Shinji Yamamoto) (40736526)	日本福祉大学・スポーツ科学部・准教授 (33918)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------