

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：34411

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K10945

研究課題名（和文）視・聴覚情報とのクロス・モダリティによる運動産出における協応動態

研究課題名（英文）Coordination dynamics of motor output through cross-modality with visual and auditory information

研究代表者

平川 武仁（HIRAKAWA, Takehito）

大阪体育大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：50404942

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 800,000円

研究成果の概要（和文）：人間が運動を産出するとき、視覚や聴覚などから周辺環境の情報を授受し、合目的な運動となるように、知覚と身体運動を協働させている。本研究では、この協働について、非線形力学系理論に依拠し、視・聴覚・運動感覚の3つのモダリティの関係（クロス・モダル）を実験的に検証した。その結果、モダリティ間の相対的關係が、特定のモダリティの影響を強く受け、その影響の複雑性が時間依存した系であり、モダリティの相対的關係に注意水準が影響している可能性がある、という知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、合目的な身体運動の生成に対する複数の感覚の影響を検討することで、運動生成と感覚の相互作用・干渉となるクロス・モダリティまで検証の枠組みに拡張したこと、および注意水準との関係を明らかにしたことは、身体運動の複雑性が時間依存した系であることを解明することになり、従来の運動制御や運動学習の研究にはない知見を得たという学術的意義をもつ。また、複雑な身体運動を統合的に理解し、運動心理学の視点に基づいて身体システムを検討することによって、マルチ・モダルを踏まえた学習支援の機器開発に繋がるという社会的意義も有する。

研究成果の概要（英文）：When humans produce movement, they receive information about the surrounding environment from vision, hearing, etc., and coordinate perception and physical movement to produce purposeful movement. In this study, we experimentally verified the cross-modal relationship between the three modalities of vision, hearing, and kinesthetic sensation based on nonlinear dynamical systems theory. As a result, we found that the relative relationship between modalities is strongly influenced by a specific modality, the complexity of this influence is time-dependent, and the level of attention may affect the relative relationship between modalities.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：知覚運動制御 非線形力学系理論

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの運動制御や運動学習においては、全ての神経系や筋骨格系を制御する場合、非常に膨大な数(自由度)になってしまい、中枢神経系は全ての自由度に指令を出しているとは考えられない(Turvey et al., 1982)。その解決策として、動きの経済的・効率的な生成機序を協応構造として捉えることが有効であると提案された(Bernstein, 1967)。

1970年代になると、Adams(1971)の閉回路理論やSchmidt(1975)のスキーマ理論を中心とした情報処理理論が台頭したが、この理論では環境との循環的な結合性は考慮されていなかった。その理論によると、ヒトはまず感覚知覚の入力を同定し、次に身体内部(脳、脊髄、腱など)で処理した結果を運動として出力する。その際、入力・処理・出力時に生じた誤差はそれぞれフィードバックされ、合目的な運動を生成・習得するように記憶として貯蔵される。

一方、Gibson(1979)は身体外部から得られる情報は環境に内在し、ヒトが動くことによって生じる相互作用(光流)によって情報が抽出される、という環境との結合性を強調した生態学的知覚論を提唱した。

1980年代になると、Kelso達を中心にして、環境の情報を解析に踏まえた力学系理論が身体運動に援用され始めた(Kelso, 1995)。この理論の学術的背景には、Nicolis and Prigogine(1977)の提唱した散逸構造やHaken(1983)によるシナジェティクスに基づいた自己組織化の概念があった。

これらの理論は、環境の変化(制御パラメータ)に対する集合変数(秩序パラメータ)を同定することに主眼を置いた。この集合変数が前述の協応構造に相当する。彼らは、左右の手指や腕・足などの四肢間の屈曲・伸展の関係(同相-逆相)を協応パターン(秩序パラメータ)として捉え、屈曲・伸展の速度(制御パラメータ)を漸増させていくと(運動周波数の漸増)、逆相の運動が非意図的に同相に切り替わってしまう現象を見出した。これがヒトの運動が自己組織化することの実証であり、自励力学系による検証である。本研究者のこれまでの研究では、非線形力学系理論に依拠したアプローチによって、複雑に見える身体運動においても規則性・法則性があることを実証してきた。これまでの枠組みでは、協応ダイナミクスに対する視覚や聴覚の知覚情報は、統合化された情報として寄与しているという理解であった。そして、聴覚で知覚された情報は視覚情報の影響を受けることを加味すると、運動制御におけるクロス・モダリティの関係を検討することが有益な知見を得るために必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、前述のように、合目的な身体運動の生成に対する感覚(視覚、聴覚、運動感覚)の影響を検討する。このことにより、運動生成と感覚の相互作用・相互干渉となるクロス・トルクの枠組み(クロス・モダリティ)での検証となる。さらに、運動頻度の異なる刺激呈示の時間間隔あるいは異なる身体部位によって、規則性に対する変化の差異を明らかにするために、身体運動の複雑性が時間依存した系であることを解明する。

これらの目的に基づいて研究を実施することで、本研究は、身体動作の現象と理論との接点を探索しながら、複雑な身体運動を統合的に理解し、運動心理学の視点に基づいて身体システムを検討することで、体育学に寄与する知見を得ていくことを最終到達点とした。

### 3. 研究の方法

本課題を進めるにあたり、後述の課題1と課題2で共通する実験系として、正確な時間間隔で刺激呈示と計測を実施する装置を自作し、装置を制御するプログラムを作成した。実験装置においては、漸増する運動頻度(周波数)と視聴覚情報の要因2水準(同相、逆相)を実施した(課題1)。さらに、このクロス・モダリティの実験装置に二重課題とした実験(課題2)を実施した。

### 4. 研究成果

本申請者は、これまで理論物理学に依拠して、身体運動を非線形力学系理論によって解析してきた。その経緯の中で、様々な自然現象や電子回路上のランダムに見える振る舞いの中の規則性・法則性と同様に、ヒトの身体運動で生成された振る舞いにも規則性・法則性があることを明らかにしてきた。

本研究は、合目的な身体運動の生成に対する感覚(視覚、聴覚、運動感覚)の影響を検討するために、運動生成と感覚の相互作用・相互干渉となるクロス・モダリティまで拡張した。そして、運動頻度の異なる刺激呈示の時間間隔あるいは異なる身体部位によって、規則性に対する変化の差異を明らかにすることによって、身体運動の複雑性が時間依存した系である知見を得た。これらの成果は、従来の運動制御や運動学習の研究にはなかった新たな知見と考えられる。

特に、これまでに本研究者は、Kelso達の自励力学系アプローチに依拠して、スポーツの技能を明らかにする一方で、短期時系列データでの実証も重ねてきた。また近年では、緩徐な変化を記述できる自励力学系から、複数の運動パターンを急速に強制的に切り替えざるをえない運動となる身体状況での非自励力学系のアプローチに発展させ、ヒトの運動制御における複雑な挙動が時間依存したシステムであることを実証してきた。本課題とこれらの成果を統合すると、身

体システム内に複数の運動パターンが内在しており、時空間的な制約をもつ外部システムによって運動パターンを切り替えざるをえない状況になったとき、身体運動の振る舞いに変化が現れることを、身体運動の協応ダイナミクス (coordination dynamics) の観点から明らかにしたことと考えられる。このことは、本課題において、この非線形力学系理論のアプローチによって、知覚ダイナミクス (perceptual dynamics) という枠組みに基づいて検討内容を深掘りし、環境と身体運動の関係性、具体的には視聴覚情報によって運動出力が動揺することを実証したと考えられる。

さらに、聴覚、運動感覚を統合して運動制御を成立しているとみなすのではなく、視覚、聴覚と運動出力とのクロス・トークが存在することを前提にして、感覚間の関係、いわゆるクロス・モダリティ (cross-modal) における相互作用・相互干渉によって協応ダイナミクスが成立されている、といった知見を得ることに拡張できたと考えられる。また、ヒトが運動技能を合理的に習得する状況を実験設定に発展できる知見、そして、意図的な運動制御による身体運動の産出への影響に関する知見が得られたと考えられる。

#### <引用文献>

- Adams, J.A. (1971) A closed-loop theory of motor learning. *J. Mot. Behav.*, 3:111-150.
- Bernstein, N.A. (1967) *The co-ordination and. Regulation of movements*. Pergamon Press: Oxford.
- Gibson, J.J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin: Boston.
- Haken, H. (1983) *Synergetics: An Introduction: Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology*. Springer: Berlin.
- Kelso, J.A.S. (1995) *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. MIT Press: MA.
- Nicolis, G. and Prigogine, I. (1977) *Self-organization in nonequilibrium systems : From dissipative structures to order through fluctuations*. Wiley:NY
- Schmidt, R.A. (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol. Rev.*, 82:225-260.
- Turvey, M.T., Fitch, H.L., & Tuller, B. (1982) The Bernstein perspective: I. The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. In: Kelso, J.A.S. (Ed.) *Human motor behavior*. Lawrence Erlbaum Associates: NJ, pp. 239-252.

## 5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 平川 武仁	4. 巻 53
2. 論文標題 運動学習研究における変動性の利用に関する歴史の変遷	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大阪体育大学紀要	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.50830/00000166	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 日比野朋也・平川武仁・山田憲政	4. 巻 33
2. 論文標題 バスケットボールにおける空中局面での選択変更可能時間領域	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 中京大学体育研究所紀要	6. 最初と最後の頁 65-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 平川武仁・山本裕二	4. 巻 16
2. 論文標題 3つの運動パターン切替の遷移状態と切替時間長との規則的關係	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 アカデミア人文・自然科学編	6. 最初と最後の頁 119-139
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15119/00002380	査読の有無 無
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 平川 武仁・山田 憲政	4. 巻 11
2. 論文標題 50 km競歩競技メダリストのレースペース解析を利用したペース設計	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of High Performance Sport	6. 最初と最後の頁 52-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32155/jissjhps.11.0_52	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 下川真良・田中良・平川武仁
2. 発表標題 ハンドボールにおける7MTに対するGKの選択反応時間
3. 学会等名 日本ハンドボール学会第12回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平川武仁・下川真良
2. 発表標題 スポーツにおける視覚探索方略・行動：システマティック・レビュー
3. 学会等名 運動学習研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平川武仁・荒木雅信・渋谷賢・樋口貴広
2. 発表標題 身体化された認知とスポーツ心理学の接点
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会第50回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wakatsuki, T., Hibino, T., Hirakawa, T., and Yamada, N.
2. 発表標題 Human can prepare to move for different purpose in Parallel: Information and dynamical systems in dynamic decision-making
3. 学会等名 European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平川武仁・山本耕太・岡野真裕
2. 発表標題 律動的運動における知覚運動制御と学習
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会第48回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平川武仁
2. 発表標題 50km競歩競技におけるペース設計のための汎用的数理モデル
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会第47回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takehito Hirakawa, Hiroo Suzuki, Yuji Yamamoto
2. 発表標題 Skill acquisition for playing Japanese cup and ball
3. 学会等名 International Conference on Perception and Action 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平川武仁
2. 発表標題 体育学における時間論の展望
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehito Hirakawa, Yuji Yamamoto
2. 発表標題 Regular relationship between switching-time lengths and transition states for switching three movement patterns
3. 学会等名 CONGRESS EWEP 15 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平川武仁
2. 発表標題 肘屈伸運動のオン・オフセットによる一致タイミング制御での1/f型揺らぎ
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 荒木雅信・山本真史編	4. 発行年 2023年
2. 出版社 大修館書店	5. 総ページ数 200
3. 書名 これから学ぶスポーツ心理学	

1. 著者名 日本スポーツ心理学会編	4. 発行年 2023年
2. 出版社 大修館書店	5. 総ページ数 242
3. 書名 スポーツ心理学の挑戦: その広がりや深まり	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<https://pmcl-ouhs.jp/pmcl-top/articles/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------