

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20240060

研究課題名（和文）

スポーツ技能の獲得・向上への力学系理論からの統合的理解

研究課題名（英文）

Integrated understanding for motor skill learning from dynamical system approach

研究代表者

山本 裕二 (YAMAMOTO Yuji)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：30191456

研究成果の概要（和文）：

本研究では、様々なスポーツ技能の生成機序を力学系の観点から統合的に理解することを目的とした。その結果、ブランコ漕ぎの協応パターンは振り子の等時性にほぼかなっていること、音に合わせたダンスでは、運動周波数が高い場合でも熟練者は逆相同期を維持できること、卓球では技能水準を切替ダイナミクスのフラクタル次元で評価できること、剣道では二者間距離によって詰め引き速度の相対位相が切り替わること、ラグビーでは、学習に伴い両者の詰め引き速度の相対位相が逆相同期になること、サッカーの3対1ボール保持課題における三者の連携パターンは、技能レベルによって環状連結振動子における対称性のホップ分岐理論で予測されるパターンを示すこと、サッカーゲームのパス行動にはベキ則が見られることなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This project has challenged to understand emergent mechanism of various sports skill from the dynamical system perspective. Some results show following: the coordination pattern for swing showed almost corresponding to isochrony of a pendulum. In the dance movement corresponding to auditory signals experts could maintain anti-phase synchronization when the frequency increased. The skill level of table tennis players could be evaluated by fractal dimensions based on stochastic dynamics. In the kendo matches, the relative phase of step towards-away velocities between both players showed abruptly switching corresponding to interpersonal distance. In the learning processes of play-tag, the players became 'dead-lock' synchronization based on the anti-phase synchronization of the relative phase of step towards-away velocities between both players. The coordination pattern among three people in a 3 vs. 1 ball possession task showed symmetry breaking pattern corresponding to the skill levels of the players which was predicted from symmetric Hopf bifurcation theory based on group theory for rings of coupled oscillators. The pass behavior in football games showed power law in degree distribution and common and unique network dynamics as two small competitive networks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	21,800,000	6,540,000	28,340,000
2009年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2010年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2011年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
総計	39,200,000	11,760,000	50,960,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：身体運動，力学系理論，自己組織化，スポーツ技能，運動制御・学習

### 1. 研究開始当初の背景

力学系理論に基づく運動制御の研究は、Bernstein の協応構造と自由度問題の提起や Gibson の生態学的知覚論を背景とし、Kelso の研究から始まり、ここ 20 年ほどの間に飛躍的に増えてきているが、その多くは実験室での身体運動を用いた理論的研究を目指すものであり、実際の運動指導を目指す研究にまで発展していないのが現状であり、理論と実践の知の円環を構築することがスポーツ科学の発展のためには欠くことができない。申請者らが学会等で議論を重ねていくうちに、本研究の目的であるスポーツ技能の獲得・向上・指導に向け、スポーツ技能を力学系理論で統合的に理解するために、個々に精力的に研究を行っている研究者が結集し、現在の研究状況を整理しつつ、研究拠点となりうる共通実験系の設定が不可欠であるという見解で一致した。そしてこの共通実験系を活用し、知覚-運動、ソーシャル、学習の 3 つのダイナミクスで検討することによって、スポーツ科学における理論と実践の知の円環が構築できるものと確信するに至った。

### 2. 研究の目的

スポーツ科学はパフォーマンスの向上をめざすものであり、スポーツ技能の獲得、向上、発揮はその中核を占めるが、このスポーツ技能の獲得と向上を力学系理論 (dynamical systems theory) から統合的に理解するのが本研究の目的である。

スポーツ技能のような複雑な身体運動に対しては、従来の機械論的などらえ方ではなく、複雑な振る舞いを要素間の相互作用に基づく自己組織的な創発現象、標語的にいえば全体は部分の総和以上であるとしてとらえる力学系理論からの検討が有効であることが指摘されている。本研究では、人間が最高の能力を発揮するスポーツ技能を力学系理論から統合的に理解し、その獲得、向上、指導に寄与することを目的とする。

### 3. 研究の方法

研究会：研究分担者、連携研究者、研究協力者らが一堂に会する研究会を年に 2~3 回 (合計 11 回) 開催し、関連する領域のレビュー、力学系理論に基づく解析方法の検討、共通・個別実験系の実験計画、実験データの解析方法と解釈等について議論を積み重ねてきた。また、関連領域研究者を招き、講演会を実施した。

共通実験系の設定：本研究では様々なスポーツ技能に共通する協調様式を力学系理論から統合的に理解することが第一の目的であることから、その実験・解析系は共通でなければならない。そこで、共通する運動学的測定を行うために、光学式三次元動作解析装置を導入した。運動課題は、周期運動としてブランコ漕動作、ボート漕動作、ダンス、打動作として卓球、対人行動として剣道、タグ鬼ごっこ、チーム間行動として侵入型ボールゲームを研究対象とした。

固有実験系の設定：各運動課題それぞれについて、固有実験系を設定した。ブランコでは振り子の等時性と楕円関数、ボート、ダンスでは関節間の相対位相、卓球では切替ダイナミクス、剣道、タグ鬼ごっこでは二者間距離と詰め引きの相対位相、サッカーの 3 対 1 では対称性ホップ分岐理論、サッカーのパス行動ではネットワーク理論をそれぞれ適用し、解析を行った。

### 4. 研究成果

ブランコ漕動作では、振り子の等時性だけでなく、楕円関数を導入することによって、ブランコの振幅の増大と股関節、膝関節の動作との関係を明らかにした。ボート漕動作では、熟練者はより効率的な相対位相を用いていることを明らかにした。ダンスでは、熟練者は運動周波数の増大にもかかわらず音と逆相同期できるが、初心者は同相同期に引き込まれることが明らかになった。

卓球では、連続的な入力切替の時間幅と技能レベルを操作することで、切替による動きのばらつきがフラクタル次元で定量化できることが明らかになった。

剣道では、二者間距離によって、詰め引き速度の同相同期と逆相同期が切り替わることが明らかになった。タグ鬼ごっこでは、詰め引き速度の相対位相が、学習に伴い、逆相同期となり、これが膠着状態を生み出すことが明らかになった。

サッカーの 3 対 1 ボール保持課題では、上級者と初心者では対称性の破れ方が異なり、上級者ではホップ分岐理論から予想される回転パターンを、初心者では部分逆位相パターンを示した。サッカーのパス行動では、ハブの存在および、三者の連携によって攻撃機会が増大することが明らかになった。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 30 件)

- Y. Yamamoto and K. Yokoyama (2011) Common and unique network dynamics in football games, *PLoS ONE*, 6(12), e29638, doi:10.1371/journal.pone.0029638. (査読有)
- K. Yokoyama and Y. Yamamoto (2011) Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities, *PLoS Computational Biology*, 7 (9), e1002181, doi:10.1371/journal.pcbi.1002181. (査読有)
- 平川武仁・山本裕二 (2011) ローイング・エルゴメータ 2000mタイムトライアル中の序盤と終盤における技能水準による漕パターンの異同, *アカデミア人文・自然科学編*, 2号, 83-96. (査読無)
- 平川武仁・山本裕二 (2011) トレッドミルの漸増速度に伴う競歩選手の上腕と大腿, 大腿と下腿の相対位相の段階的変化, *陸上競技研究*, 85号, 12-22. (査読有)
- 横山慶子・山本裕二 (2011) ボールゲームにおけるチーム内連携のダイナミクス, *認知科学*, 18巻2号, 284-298. (査読有)
- Y. Yamamoto (2009) Scale-free property of the passing behaviour in a team sport, *International Journal of Sport and Health Science*, 7, 86-95. (査読有)
- 横山慶子・山本裕二 (2009) ボールゲームの質的变化とその制御要因—6人制フィールドホッケーによる検証—, *体育学研究*, 第54巻第2号, 355-365. (査読有)
- Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kanehisa, H. (2011). Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers. *Human Movement Science*, 30, 1260-1271, doi: 10.1016/j.humov.2010.08.006. (査読有)
- Kudo, K., Miyazaki, M., Sekiguchi, H., Kadota, H., Fujii, S., Miura, A., Yoshie, M., & Nakata, H. (2011). Neurophysiological and dynamical control principles underlying variable and stereotyped movement patterns during skill acquisition. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 15, 942-953. (査読有)
- Nakayama, Y., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2010). Variability and fluctuation in running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait & Posture*, 31, 331-335, doi:

[10.1016/j.gaitpost.2009.12.003](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.12.003). (査読有)

- Nakata, H., Yoshie, M., Miura, A., & Kudo, K. (2010). Characteristics of the athletes' brain: Evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain Research Reviews*, 62, 197-211, doi: [10.1016/j.brainresrev.2009.11.006](https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2009.11.006). (査読有)
- Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2010). Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: A study of professional drummers and non-drummers. *Journal of Neurophysiology*, 104, 2178-2186, doi: 10.1152/jn.00882. (査読有)
- Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2009). Wrist muscle activity during rapid unimanual tapping with a drumstick in drummers and nondrummers. *Motor Control*, 13, 237-250. (査読有)
- Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2009). Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer. *Neuroscience Letters*, 459, 69-73, doi: [10.1016/j.neulet.2009.04.055](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.04.055). (査読有)
- Kadota K. and Gomi H., Implicit visuomotor processing for quick online reactions is robust aging, *Journal of Neuroscience*, 30, 205-209, (2010), doi: 10.1523/JNEUROSCI.2599-09.2010. (査読有)
- 門田浩二, 潜在的な視覚運動制御からみたスポーツ動作, *スポーツ心理学研究*, 37, 123-131, (2010). (査読有)
- Fukui T., Kimura T., Kadota K., Shimojo S., and Gomi H., Odd sensation induced by moving-phantom which triggers subconscious motor program, *PLoS ONE*, 4(6), e5782, (2009), doi:10.1371/journal.pone.0005782. (査読有)
- Miyazaki M., Hirashima M., Nozaki D. The "cutaneous rabbit" hopping out of the body. *Journal of Neuroscience* 30(5):1856-1860, 2010, doi: 10.1523/JNEUROSCI.3887-09.2010. (査読有)
- Kadota H., Nakajima Y., Miyazaki M., Sekiguchi H., Kohno H., Amako M., Arino H., Nemoto K., Sakai N. An fMRI study of musicians with focal dystonia during tapping tasks. *Journal of Neurology*

- 257:1092-1098, 2010, DOI:  
10.1007/s00415-010-5468-9. (査読有)
- Kadota H, Sekiguchi H, Takeuchi S, Miyazaki M, Kohno Y, Nakajima Y. The role of the dorsolateral prefrontal cortex in the inhibition of stereotyped responses. *Experimental Brain Research* 203:593-600, 2010, doi:  
10.1007/s00221-010-2269-4. (査読有)
- Kadota H, Nakajima Y, Miyazaki M, Sekiguchi H, Kohno Y, Kansaku K. Anterior prefrontal cortex activities during the inhibition of stereo-typed responses in a neuropsychological rock-paper-scissors task. *Neuroscience letters* 453: 1-5, 2009, doi:  
[10.1016/j.neulet.2009.02.005](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.02.005). (査読有)
- 大島浩幸・山田憲政, 他者運動認知能力に関する自己運動制御からの検討, スポーツ心理学研究, 2012 (in press) (査読有)
- 大島浩幸・山田憲政, 運動技術レベルと運動観察能力の関係, スポーツ心理学研究, 23, 65-74, 2010 (査読有)
- 小池貴行・犬飼祥雅・山田憲政, 自己運動と模範運動の運動観察が外力移動運動の技術修得に与える効果, 認知科学, 16, 508-522, 2009 (査読有)
- S. Zhang, S. Yamagiwa, M. Okumura, S. Yunoki, Parallelizing kernel polynomial method applying graphics processing units, *International Journal of Networking and Computing*, 41-55, 2(1), 2012 (査読有)
- S. Yamagiwa and K. Wada, Performance impact on resource sharing among multiple CPU- and GPU-based applications, *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 26(4), 313-329, 2010, doi:  
10.1080/17445760.2010.481788. (査読有)
- S. Yamagiwa and L. Sousa, Modelling and programming stream-based distributed computing based on the meta-pipeline approach, *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 24(4), 311-330, 2009, doi:  
10.1080/17445760902719968. (査読有)
- Ito, D., Tamate, H., Nagayama, M., Uchida, T., Kudoh, S. N., & Gohara, K. (2010) Minimum neuron density for synchronized bursts in a rat cortical culture on multi-electrode arrays, *Neuroscience*, 171, 50-61, doi:  
[10.1016/j.neuroscience.2010.08.038](https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.08.038). (査読有)
- Nishikawa, J. & Gohara, K. (2008) Automata on fractal sets observed in hybrid dynamical systems, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 18, 3665-3678. (査読有)
- Nishikawa, J. & Gohara, K. (2008) Anomaly of fractal dimensions observed in stochastically switched systems, *Physical Review E*, 77, 036210-1-8, doi:  
10.1103/PhysRevE.77.036210. (査読有)
- [学会発表] (計 18 件)
- 山本裕二・工藤敏巳, ソフトテニス・シングルスゲームのダイナミクス - 対人間協応の観点から -, 日本体育学会第 59 回大会, 2008, 9, 東京.
- 横山慶子・山本裕二, ボールゲームにおける連携パターン, 日本スポーツ心理学会第 35 回大会, 2008, 11, 名古屋
- 鈴木啓央・山本裕二, 野球打動作における準備局面の知覚-行為結合への貢献, 日本スポーツ心理学会第 35 回大会, 2008, 11, 名古屋
- D. Ito, H. Tamate, M. Nomura, T. Aoyagi, and K. Gohara, Immunocytochemistry of neurons in low-density culture on multi-electrode arrays is effective for identification of action-potential pathway, *Neuroscience 2008*, 2008, 11, Washington Conference Center, Washington D.C.
- Yokoyama K. and Yamamoto Y., Local and global social interaction in field hockey, 9th Motor Control and Human Skills Conference, 2009, 1, Tasmania, Australia
- 山本裕二, 認知と行為は相互作用しながら発達する-エンボディド・スキル・ダイナミクス-, 日本心理学会第 73 回大会 (ワークショップ), 2009, 8, 京都.
- 横山慶子・山本裕二, チーム間競合とチーム間協調の関係, 日本スポーツ心理学会第 36 回大会, 2009, 11, 八王子
- 鈴木啓央・山本裕二, 切替ダイナミクスからみた打動作の熟練差, 日本体育学会第 61 回大会, 2010, 9, 豊田
- 木島章文・横山慶子・門田浩二・奥村基生・鈴木啓央・山本裕二, サッカーの試合における前線推移の時系列, 第 26 回 Nicograph 秋季大会, 2010, 9, 盛岡
- 平田智秋・北原俊一, ブランコ漕ぎの学習と振り子の等時性, 日本スポーツ心理学会第 37 回大会, 2010, 11, 福山
- 奥村基生・木島章文・鈴木啓央・横山慶子・山本裕二, 間合いの駆け引きを生成する距離基準, 日本スポーツ心理学会第 37 回

大会, 2010, 11, 福山  
門田浩二・阿部匡樹・宮崎真・樋口貴広・大島浩幸・山田憲政, 「身体」から切り拓く知覚と運動のスポーツ心理学, 日本スポーツ心理学会第37回大会(自主シンポジウム, 司会 工藤和俊), 2010, 11, 福山  
T. Hirakawa, Y. Yamamoto, and K. Gohara, Fractal transition for continuous pointing movements characterized by the switching time length, Progress in Motor Control VIII, 2011, 7, Cincinnati, OH, USA  
Y. Yamamoto, M. Okumura, A. Kijima, K. Yokoyama, H. Suzuki, K. Kadota, Dynamics of interpersonal competition during sports, 21st Annual International Society of Chaos Theory in Psychology and Life Sciences, 2011, 8, Orange, CA, USA  
K. Yokoyama and Y. Yamamoto, Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities, 21st Annual International Society of Chaos Theory in Psychology and Life Sciences, 2011, 8, Orange, CA, USA  
平田智秋・北原俊一, ブランコ漕ぎが安定周期へと至る過程—振幅と角速度の時間発展—, 日本スポーツ心理学会第38回大会発表, 2011, 10, 東京  
鈴木啓央・山本裕二, 相関次元で打動作の熟練差を評価する, 日本スポーツ心理学会第38回大会, 2011, 10, 東京  
山本裕二・木島章文・山際伸一・横山慶子, 集団スポーツのダイナミクスを探る, 日本スポーツ心理学会第38回大会(ラウンドテーブルディスカッション, 企画 門田浩二・宮崎真, 司会 樋口貴広), 2011, 10, 東京

[図書] (計 2件)

中込四郎・伊藤豊彦・山本裕二 (編著), よくわかるスポーツ心理学, ミネルバ書房, 2012, 2.

山田憲政, トップアスリートの動きは何が違うか, 化学同人, 2011, 11.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本裕二 (YAMAMOTO Yuji)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号: 30191456

### (2) 研究分担者

工藤和俊 (KUDO Kazutoshi)

東京大学・総合文化研究科・准教授

研究者番号: 30302813

山田憲政 (YAMADA Norimasa)

北海道大学・教育学研究科・教授

研究者番号: 00210469

北原俊一 (KITAHARA Shunichi)

十文字学園女子大学・人間生活学部・准教授

研究者番号: 20286123

平田智秋 (HIRATA Chiaki)

十文字学園女子大学・人間生活学部・准教授

研究者番号: 80438895

宮崎真 (MIYAZAKI Makoto)

山口大学・時間学研究所・教授

研究者番号: 30392202

平川武仁 (HIRAKAWA Takehito)

南山大学・人文学部・准教授

研究者番号: 50404942

木島章文 (KIJIMA Akifumi)

山梨大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号: 10389083

奥村基生 (OKUMURA Motoki)

静岡大学・教育学部・准教授

研究者番号：90400663

郷原一寿 (GOHARA Kazutoshi)  
北海道大学・工学研究科・教授  
研究者番号：40153746

門田浩二 (KADOTA Koji)  
大阪大学・医学研究科・助教  
研究者番号：50557220

(3)連携研究者

山際伸一 (YAMAGIWA Shinichi)  
筑波大学・情報システム工学研究科研究  
科・准教授  
研究者番号：10574725