

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25242059

研究課題名(和文) 3次元視線 動作計測による視覚 運動協調機序の解明とスキルトレーニングへの応用

研究課題名(英文) Examination of visuo-motor coordination mechanism by three-dimensional
lgaze-motion measurement and its application to skill training

研究代表者

工藤 和俊 (Kudo, Kazutoshi)

東京大学・大学院情報学環・准教授

研究者番号：30302813

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、様々な運動スキルにおける、視知覚と行為の結合関係を明らかにすることを目的とした。実験では、注視点計測と3次元動作解析・GPS(全地球測位システム)を組み合わせ、個人スキル、対人スキル、日常動作における注視点、環境/身体知覚、パフォーマンスの熟達差について検討した。その結果、様々なスキルにおける注視点の熟達差は、課題遂行時の知覚過程を反映していることが明らかになり、注視点が身体化された認知の指標となりうることが示唆された。さらに、眼球運動に関わる運動遂行パラメータを利用した身体運動の時空間制御の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to clarify the relationship between visual perception and action in various motor skills. In the experiments, the gaze measurement, the 3D motion analysis, and the GPS (Global Positioning System) were combined to examine the relationship among gazing point, environmental / body perception, and performance mastery in the personal skills, interpersonal skills, and daily life activities. Results revealed that the proficiency difference of gaze point in various skills reflects the perceptual process at the time of task execution, suggesting that the point of regard can be an indicator of embodied cognition. Furthermore, the possibility of spatiotemporal control of body movement using movement performance parameters related to eye movements was also suggested.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：視知覚 運動スキル

1. 研究開始当初の背景

運動スキルを支える視知覚に関しては、主にスポーツ心理学の分野において、球技や対人競技などの様々な運動を対象とした研究が行われてきた。その中で、動作直前における注視の役割が明らかにされ、パフォーマンス向上のための注視トレーニングが開発されるなど、運動スキル遂行における視知覚の役割がますます重要視されつつある。研究代表者らもまた、運動制御における視覚情報の役割に着目し、運動の上達過程において、「見ること」が初心者動作生成における大きな制約になっていることを示すとともに、移動指標に対する一致タイミング課題遂行時の脳活動、視覚情報変化に対する素早い動作修正、運動学習における間歇的視覚フィードバックの役割、野球のバッティング動作における頭部動揺の熟練者 初心者間の違い、サルにおける一次視覚野応答特性など、スポーツ動作を対象とした行動実験から動物を用いた神経生理学的実験まで幅広く視覚 運動システムに関する研究を推進してきた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、スポーツ動作や日常動作を含む様々な動作において、視覚を中心とした知覚と行為の結合関係を明らかにするために、注視点計測と3次元動作解析・GPS (全地球測位システム) を組み合わせ、個人スキル(以下に示すテーマ1~6)、対人スキル(テーマ7~10)、日常動作(テーマ11)に関わる以下11のテーマを設定したうえで視知覚とパフォーマンスの関係を解明することを目的とした。

- (1) テニスボール時の焦点距離調節の熟達差
- (2) ラードライバーの運転時の眼球運動
- (3) 自動車運転による間隙通過時の知覚-行為結合
- (4) 一致タイミング課題における移動指標への注視とパフォーマンスの関係
- (5) 移動指標に対する一致タイミング課題における注視点とパフォーマンスの関係
- (6) 熟練バスケットボール選手のフリースロー時の注視特性
- (7) 1対1の攻撃-守備課題における空間移動特性
- (8) 剣道の攻撃/防御時の注視点の熟達差
- (9) 手押し相撲における注視点の熟達差
- (10) トランプゲーム時における注視点時系列の熟達差
- (11) 眼球運動が手の到達運動に及ぼす影響

3. 研究の方法

テーマごとの研究方法を以下に示す。

- (1) テニスの熟練者および初心者を対象として、フォア、バックのどちらかに球出しされたボールを、ボールによりストレ

ート方向の的を狙って打つ課題を用いた。球出しの球速は中速(約50km/h)および高速(約70km/h)の2種類であった。アイカメラを用いて注視点および注視距離を計測した。

- (2) 水上ラリー時の注視点および眼球運動を熟練者および中級者を対象として計測した。
- (3) 自動車運転による間隙通過時の注視点を計測するとともに、恒常法を用いた車幅知覚課題を実施し、拡張された身体としての車幅知覚、注視、ステアリング操作の関係について検討した。
- (4) 移動指標(4m先から参加者の手元に向かって移動)が目標点へ到達する時間に合わせて反応(ボタン押し)を行う一致タイミング課題を用いて、指標の移動速度と注視点の関係を検討した。実験では、アイカメラおよび光学式動作計測装置を用いて課題遂行時の注視点および頭部姿勢を計測した。
- (5) 移動指標に対する一致タイミング課題における注視点とパフォーマンスの関係について明らかにするために、注視点を指標の移動開始点、終点、中間点の3条件設定し、タイミング誤差を計測した。
- (6) 熟練バスケットボール選手を対象として、フリースロー時の動作および注視行動を計測し、スロー前のゴールへの注視とパフォーマンスの関係について検討した。
- (7) 実フィールド(11m×11m)およびコンピュータディスプレイ上で1対1の攻撃-守備課題を実施し、視点(対面/俯瞰)が守備/攻撃動作に及ぼす影響について検討した。
- (8) 熟練レベルの異なる剣道競技者を対象として、単純打突、選択打突、および攻撃・防御の切り替え時の注視点および動作を計測し、追跡運動の等方位モデルを用いて解析した。
- (9) 手押し相撲における動作、床反力、および注視点を計測し、手押し相撲の勝率と注視の関係について検討した。
- (10) 対戦相手の強さを調整するために、ヴァーチャル対戦相手をコンピュータ上に作成し、トランプゲーム(スピード)の上級者および初心者がゲームを遂行する際の注視点について検討した。
- (11) 目標位置へ手を伸ばす到達運動を用いて、到達地点への事前の眼球運動がその後の手の軌跡に及ぼす影響について検討した。

4. 研究成果

- (1) 熟練者においては、ボール速度によらず、インパクトにかけて注視距離が減少した一方で、初心者においては、インパクトにかけての注視距離の減少程度が小さかった。この結果は熟練者/初心者の

- 知覚内容を反映する指標として、眼球運動を利用できる可能性を示している。
- (2) 中級ドライバーでは、低摩擦路（氷上）の走行に伴い眼振が認められた一方で、熟練ドライバーでは認められなかった。このことは、自動車運転の熟達化に伴い光学的流動情報に対する眼球運動特性が変化することを示している。
 - (3) 車幅推定課題（知覚課題）における誤差と間隔通貨課題時における障害物注視確率との間に正の相関が認められた。これは、自動車運転において、車体幅の知覚が不正確である場合、間隔の縁を注視することによって車体の通過可能性を確認するという注視行動が生じることを示唆している。
 - (4) 移動指標の速度が2m/sから14m/sに増大するにつれて、指標の視覚追従が遅れていた。その一方で眼球運動の角速度は指標速度に比例して増大していた。この結果は、移動指標の注視よりもむしろ、眼球運動自体がタイミング一致パフォーマンスに関連している可能性を示唆している。
 - (5) 指標の移動速度が速い場合には、各注視条件におけるタイミング誤差に有意な差は認められなかった。このことは、視野内の位置にかかわらず移動指標の速度が知覚可能であったことを示唆している。
 - (6) 熟練バスケットボール選手においては、フリースローの成功失敗試行間で注視時間の差は認められなかった。また、アイカメラを装着し開眼で行ったフリースローと閉眼で行った試行との間で成功率に有意な差は認められなかった。これらの結果は、熟練者におけるゴールの視覚定位が動作直前/局所的な注視を用いずに可能であることを示す。
 - (7) 1対1の攻撃・守備課題における守備者の動きは、俯瞰・対面条件とも動作方向切り替えの前後を除いて追跡運動の等方位モデルによって説明できることが明らかになった。
 - (8) 単純打突、選択打突、および攻撃・防御課題いずれにおいても、上級者は対戦相手の顔を注視し続けていたのに対し、中級者は注視点が打突目標点等に移動する傾向が認められた。
 - (9) 手押し相撲における注視点はおむね体幹に集中しており、勝率と注視点との間に明確な対応関係は認められなかった。
 - (10) 上級者の注視点は場の札を主に注視するのに対し、初級者は自分の手札を主に注視する傾向が認められた。このことは、プレイヤーの注視点を計測することにより、手札に対する認知状態を推定できる可能性を示している。
 - (11) 到達運動を行う際、事前に手の軌跡を擦る眼球運動を行うことによって、動

作終点の変動性が減少する傾向が認められた。

以上の結果は全体として、注視点が行為者の認知を反映する熟達度の指標となりうることを示している。

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 4 件)

1. 工藤和俊(2016) うまく手なづけながら可塑性の高い反射を磨く. コーチング・クリニック 10月号, 30(10), 4-7. (査読無)
2. 工藤和俊(2016) 拮抗筋と視覚を使って素早い反応を習得する. コーチング・クリニック 10月号, 30(10), 8-11. (査読無)
3. Kudo, K., Hirashima, M., & Miura, A. (2014) Preparation and control of quick and fast movements: Neurophysiological and dynamical perspectives. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 3, 73-83. (査読有)
4. 工藤和俊(2015) 試合で力を発揮するための運動技術の学習における多様性の大切さ. *コーチング・クリニック*, 29(3), 10-13. (査読無)

〔学会発表〕(計 41 件)

1. Kudo, K., Nemoto, M., Onagawa, R., Tsuji, H., & Inaba, Y. (2017.7.12-16) Highly skilled player's gaze behavior in basketball shooting. 14th World Congress of Sport Psychology (ISSP), Sevilla, Spain.
2. Tsustui, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2017.7.05-08) Competition dynamics of defender versus attacker in 1 vs. 1. 22nd Annual Congress of the European College of Sports Science (ECSS), Dortmund, Germany.
3. Yamamoto, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2017.6.05-08) The differences of adaptability among acquired patterns in learning to juggle. The 22nd Annual Congress of the European College of Sport Science, Dortmund, Germany.
4. Yamamoto, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2017.6.04-07) The acquisition processes of adaptability among differentiated patterns at early stages of learning of fundamental skill in juggling. North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity 2017 Conference, San Diego, USA.

5. 工藤和俊 (2016.12.04) 投球コントロールにおける動作の再現性と協調性. 日本野球科学研究会第4回大会, 東京大学, 東京都, 目黒区.
6. 工藤和俊 (2016.10.25) スポーツ・ダンス・音楽演奏のスキルを測る. フレキシブル医療IT研究会, 東京大学, 東京都, 目黒区.
7. 工藤和俊, 鳥越亮, 根本真和, 進矢正宏, 沢田護, & 三嶋博之 (2016.9.04) 拡張された身体とともにある知覚自動車運転による間隙通過時の視覚-運動協調. 日本生態心理学会第6回大会, 北海学園大学, 北海道, 札幌市.
8. 筒井和詩, 進矢正宏, & 工藤和俊 (2016.8.26) 1対1突破-阻止課題における追跡方略の熟達差. 第67回日本体育学会, 大阪体育大学, 大阪府, 泉南市.
9. Tsutsui, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2016.7.06-09) Defender's pursuit strategy against an attacker in interpersonal competition task. 21st Annual Congress of the European Collage of Sports Science(ECSS), Vienna, Austria.
10. 青山千紗, 七五三木 聡 (2016.3.22) 連続的な視覚運動変換課題のパフォーマンスに影響する重要因子. 第93回日本生理学会大会, 札幌コンベンションセンター, 北海道, 札幌市.
11. Tsutsui, K., Shinya, M., & Kudo, K. (2016.3.04) Defender's tactics in 1-on-1 penetrating task. International Symposium-Health Promotion: The Joy of Sports and Exercise, Waseda University, Nishi-tokyo-shi, Tokyo, Japan.
12. Kudo, K., Shinya, M., So, T., Tsutsui, K., & Ota, K. (2016.3.03) Interpersonal competition: What variables can contribute to win a victory? International Symposium on Integrated Understanding for Emergent Property of Cooperation and Competition Dynamics, The University of Tokyo, Meguro-ku, Tokyo, Japan. [招待講演]
13. Miyata, K., Varlet, M., Miura, A., Kudo, K., & Keller, P. (2015.12.8) Does vision of a partner help auditory-motor coordination? Bouncing in synchrony with auditory rhythms alone and with another. 2nd Conference of the Australian Music & Psychology Society. Western Sydney University, New South Wales, Australia.
14. 工藤和俊 (2015.11.21) 運動スキル熟達化のダイナミクス. 第80回形の科学シンポジウム「スポーツ・パフォーマンスに現れる形」, 東京電機大学 鳩山キャンパス, 埼玉県, 比企郡鳩山町. [招待講演]
15. 門田浩二 (2015.11.21) 視覚の信号処理から運動の認知へ至るメカニズム. 第42回日本スポーツ心理学会シンポジウム, 九州共立大学, 福岡県, 北九州市. [企画代表者・司会]
16. 工藤和俊 (2015.11.15) 機能不全を再考する: 運動の初心者はどう動くか? 日本基礎理学療法学会第20回学術大会ミニシンポジウム「身体運動の(再)組織化」, 神奈川県立保健福祉大学, 神奈川県, 横須賀市. [招待講演]
17. 工藤和俊 (2015.11.12) What differentiates unskilled, skilled, and highly skilled performances: Neurophysiological and dynamical principles governing spatiotemporal organization of human movements What differentiates unskilled, skilled, and highly skilled performances: Neurophysiological and dynamical principles governing spatiotemporal organization of human movements, Seoul National University, Seoul, Korea. [招待講演]
18. 門田浩二 (2015.10.29) どう感じ, どう動くべきか? ~ 身体の動きと感覚からみた動作の巧みさ ~. 生活技術開発セクター, 生活空間計測スタジオ開設記念講演「ものづくり に活かす人間計測」, 東京都立産業技術研究所センター, 東京都, 江東区. [招待講演]
19. 山本浩之, 工藤和俊 (2015.9.19-20) テニスにおけるルール変更がプレー内容に及ぼす影響 - ワントラップルールによる攻撃的プレーの誘発. 日本スポーツ教育学会第35回記念大会, 日本体育大学, 東京都, 世田谷区.
20. 門田浩二 (2015.9.18) 動作中に誘発される超短潜時の視覚運動応答の特性からスポーツ動作を再検討する. 第70回日本体力医学会大会シンポジウム「優れたスポーツパフォーマンスに潜む感覚運動情報処理の秘密: スポーツにおける視覚・体性感覚の役割」, 和歌山県民文化会館, 和歌山県, 和歌山市. [シンポジスト]
21. 門田浩二 (2015.9.18) 動作中に誘発される超短潜時の視覚運動応答の特性からスポーツ動作を再検討する. 第70回日本体力医学会大会シンポジウム「優れたスポーツパフォーマンスに潜む感覚運動情報処理の秘密: スポーツにおける視覚・体性感覚の役割」, ホテルアバローム紀の国, 和歌山県, 和歌山市. [招待講演]
22. 七五三木 聡, 青山千紗 (2015.9.18)

- 視覚性連続運動の制御特性と学習機構. 第 70 回日本体力医学会大会シンポジウム「優れたスポーツパフォーマンスに潜む感覚運動情報処理の秘密: スポーツにおける視覚・体性感覚の役割」, ホテルアパローム紀の国, 和歌山県, 和歌山市. [招待講演]
23. 大山達彦, 奥村基生 (2015.9.09-10). 小手打撃時の攻防精度の熟練. 日本武道学会第 48 回大会, 日本武道学会第 48 回大会, 日本体育大学, 東京都, 世田谷区.
24. Miura, A., & Kudo, K. (2015.9.02-05) Motor control of rhythmic dance by dynamical systems approach. International Symposium on Performance Science, Ryukoku University, Shimogyo-ku, Kyoto, Japan.
25. Yamamoto, Y., Kijima, A., Okumura, M., Yokoyama, K., & Gohara, K. (2015.7.14-18) Hybrid switching dynamical system: Toward understanding complex human behavior International Conference for Perception and Action, Minneapolis, Minnesota, USA.
26. 工藤和俊 (2015.07.8-10) トップアスリートの熟練技: 何を感じ、どう動かすか. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム, ホテル安比グランド, 岩手県, 八幡平市. [招待講演]
27. 木村大輔, 門田浩二, 平松佑一, 木下博 (2015.6.05-07) 到達運動中に誘発される反射的な修正動作の機能的役割とその加齢影響. 第 50 回日本理学療法学会大会, 東京国際フォーラム, 東京都, 千代田区.
28. 門田浩二 (2015.3.12) 見るための視覚と動くための視覚. 東京都立産業技術研究センター技術セミナー「現場で使える視覚認知入門」, 東京都立産業技術研究センター, 東京都, 江東区. [招待講演]
29. Kawamura, T., Kadota, H., & Shigemasa, H. (2014.11.25-27) Effects of perceived depth and active motion of one's own hand on self-body position perception. Interaction Design and Human Factors, Kami City, Kochi, Japan.
30. Kadota, K., Kimura, D., & Kinoshita, H. (2014.11.15-19) Minimal effects of aging on the context-dependent modulation of reflexive correction movements during target reaching. The 44th annual meeting of Society of Neuroscience, Washington, D.C, USA.
31. 門田浩二, 木村大輔, 木下博 (2014.9.13-15) 到達運動中に誘発される反射的な修正運動のゲイン調節メカニズム. 第 23 回日本バイオメカニクス学会大会, 国立スポーツ科学センター, 東京都, 北区.
32. 山際伸一, 門田浩二, 那須大毅, 松尾知之, 木下博 (2014.9.13-15) 投球時のボールに作用する力を実測するための無線センサーシステムの開発. 第 23 回日本バイオメカニクス学会大会, 国立スポーツ科学センター, 東京都, 北区.
33. 木下博, 小幡哲史, 那須大毅, 門田浩二, 伊東太郎, 松尾知之 (2014.9.13-15) 野球投球におけるボール反力. 第 23 回日本バイオメカニクス学会大会, 国立スポーツ科学センター, 東京都, 北区.
34. 木村大輔, 門田浩二, 平松佑一, 木下博 (2014.9.13-15) 到達運動中に誘発される「とっさの反応」の空間的正確性とその加齢影響. 第 23 回日本バイオメカニクス学会大会, 国立スポーツ科学センター, 東京都, 北区.
35. 津田龍一, 木島章文, 中本浩揮, 山本裕二 (2014.8.25-28) 一致タイミング標的の接近速度に応じた視線動作と反応動作のパターン分類. 日本体育学会第 65 回大会, 岩手大学, 岩手県, 盛岡市.
36. Shigemasa, H., Kawamura, T., & Kadota, H. (2014.8.24-28) Effects of depth position of virtual hand on perceived position of one's own hand. 37th European Conference on Visual Perception, Belgrade, Serbia.
37. Nasu, D., Matsuo, T., & Kadota, K. (2014.8.07-10) Motor strategies for expert dart throwing - reducing or compensating for the timing variability -. Asian-South Pacific Association of Sport Psychology 7th International Congress, Symposium (ASPASP), National Olympics Memorial Youth Center, Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
38. Hiramatsu, Y., Kimura, D., Jinnouchi, H., Obata, S., Ito, T., Kadota, K., & Kinoshita, H. (2014.8.07-10) Increased safety margin of grip force and perceived heaviness when holding of an light weight object by the precision grip. Asian-South Pacific Association of Sport Psychology 7th International Congress, Symposium (ASPASP), National Olympics Memorial Youth Center, Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
39. Kimura, D., Kadota, K., Hiramatsu, Y., Jinnouchi, H., & Kinoshita, H. (2014.8.07-10) The impact of aging on the spatial accuracy of quick corrective movement to sudden target jumps during reaching. Asian-South Pacific Association of Sport

Psychology 7th International Congress, (ASPASP), National Olympics Memorial Youth Center, Shibuya-ku, Tokyo, Japan.

40. Kadota, K. (2014.8.07-10) Smart and functional; Implicit-visuomotor control during volitional movement. Asian-South Pacific Association of Sport Psychology 7th International Congress, Symposium. The bidirectional influences between action and perception, National Olympics Memorial Youth Center, Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
41. Kinoshita, H., Obata, S., Nasu, D., Kadota, K., & Matsuo, T. (2014.7.12-16) Finger force during baseball pitching. International Society of Biomechanics in Sports (ISB 2014), Johnson City, USA.

〔図書〕(計3件)

1. Kudo, K., Torigoe, R., Nemoto, M., Shinya, M., Sawada, M., & Mishima, H. (2017) Embodied perception with extended body: Visuo-motor coupling during driving through aperture Studies in Perception and Action. USA: Psychology Press.
2. 工藤和俊 (2014). 中枢神経系の再組織化. In 山田茂・望月久 (Ed.), 筋機能回復の理学療法とそのメカニズム (第3版) (pp. 311-326). 東京: ナップ.
3. 工藤和俊 (2013) 協応する身体. In 佐々木正人 (Ed.), 知の生態学的転回 第1巻: 身体 (pp. 115-131). 東京: 東京大学出版会.

〔その他〕

・アウトリーチ活動

1. 工藤和俊 (2015.10.4) 運動を支える感覚: 初心者からトップアスリートまで. 東京都柔道整復師会多摩ブロック学術講演会, 武蔵野スイングホール, 東京都, 武蔵野市.
2. 工藤和俊 (2014.7.12). 熟達化のダイナミクス. 第22回東京大学身体運動科学シンポジウム, 東京大学, 東京都, 目黒区.
3. 工藤和俊 (2014.2.04). アスリートの「こころ」とメンタルトレーニング. 江東区総合区民センター講座, 東京都, 江東区.

ホームページ等

<http://www.dexterity-lab.c.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

工藤 和俊 (KUDO Kazutoshi)

東京大学・大学院情報学環・准教授
研究者番号: 30302813

(2) 研究分担者

中澤 公孝 (NAKAZAWA Kimitaka)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授
研究者番号: 90360677

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

木島 章文 (KIJIMA Akifumi)

山梨大学・総合研究部・教授
研究者番号: 10389083

関口 浩文 (SEKIGUCHI Hirofumi)

上武大学・ビジネス情報学部・准教授
研究者番号: 20392201

七五三木 聡 (SHIMEGI Satoshi)

大阪大学・医学系研究科・准教授
研究者番号: 20271033

門田 浩二 (KADOTA Kouji)

大阪大学・医学系研究科・助教
研究者番号: 50557220
(平成27年度まで)

門田 宏 (KADOTA Hiroshi)

高知工科大学・総合研究所・准教授
研究者番号: 00415366

平島 雅也 (HIRASHIMA Masaya)

情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員
研究者番号: 20541949

奥村 基生 (OKUMURA Motoki)

東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号: 90400663

(3) 連携研究者

平川 武仁 (HIRAKAWA Takehito)

南山大学・人文学部・准教授
研究者番号: 50404942

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