

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「人間と調和した創造的協働を実現する
知的情報処理システムの構築」

研究課題

「潜在アンビエント・サーフェス情報の解読と活用による
知的情報処理システムの構築」

研究終了報告書

研究期間 2014年10月～2021年3月

研究代表者：渡邊 克巳
(早稲田大学理工学術院 教授)

§ 1. 研究実施の概要

(1) 実施概要

スポーツの世界では、選手個人の身体能力に加えて、敵味方の他選手の身体・精神状態、監督の指示、観客の応援などが、選手の最高のパフォーマンスを引き出して金メダルやチーム優勝につながる場合や、逆に予想外の惨敗につながる場合もある。この体験共有場におけるパフォーマンスを左右する潜在的な情報(潜在アンビエント・サーフェス情報:Implicit Ambient Surface Information:IAS 情報)を読み取ることにより、選手たちの身体・精神状態を客観データに基づいて見える化(あるいは聞こえる化)できるようになれば、スポーツに新しい楽しみ方や感動を加えることができるだろう。本研究では、潜在アンビエント・サーフェス(IAS)情報の科学的解明と活用を目的とし、実際のスポーツの場をフィールドと設定して研究開発を行ってきた。機械学習や信号処理などの情報工学における最先端手法を用いて、無自覚的な身体動作や自律神経応答から、IAS 情報を非侵襲的かつ非拘束的に計測し解読する技術を開発するとともに、認知科学・脳科学の専門家によって科学的知見の蓄積と理論化を進め、この IAS 情報をオンラインで解読・介入できるシステムを開発し、スポーツを含む体験共有場における個人や団体の活動(特に身体運動とそれに関わる認知機能)の質の飛躍的向上を目指す研究を進めてきた。

前半の3年間では、IAS 情報システムの基礎技術の開発と大規模な計測フィールド(「スポーツ脳実験施設」)の落成と組織改編を含む実働への基盤作り、施設を使用した CREST の成果としての情報発信の推進、スポーツ競技実践中の個人における心電、筋電および加速度信号の測定の継続、生体信号以外の動作および野球投手の投球分布などの記録・解析(柏野グループ)、パラリンピック選手の諸実験(中澤グループ)、情動の末梢整理指標と脳波の同時計測セットアップ、日常会話での IAS 情報の双方向同時モニタリングを可能にするセットアップの完成とその試用による基礎的知見の蓄積、フロー状態を再現しやすい実験環境の構築(下條グループ)、および、音声フィードバックによる感情調整、姿勢や歩行解析の研究(渡邊グループ)などを進め、現場での実装に向けたノウハウの知見と、基礎科学的知見の蓄積の両輪を回すことにより、これまで不可能と思われていた、①スポーツの実戦中の精神状態のオンラインでの見える化、②情報の聞こえる化と音フィードバックによる行動や精神状態の調整、③実験室環境において極度の集中と快状態を引き起こすフロー状態の検出などを可能にする技術を実現し、IAS 情報を個人レベルにおいて解読・活用することができるようになった。

これらの成果と中間評価での助言をもとに、後半の2年間では、目標を個人レベルでの IAS 情報の解読・活用から、スポーツの現場を含む体験共有の場において、2者間以上の IAS 情報のインタラクションを見える化することで新しい体験共有の技術基盤を提供することに野心的に拡大し研究を進めた。そのために、野球・バスケットボール・ソフトボールなど複数のプレーヤーが相互作用するスポーツにおいて、中澤グループの持つ実証フィールドと柏野グループのスポーツ脳科学実験棟において、チーム内の2者以上のインターパーソナルな関係性の解析を進めるとともに、観客やコーチとのインタラクションなどインターパーソナルな関係性を抽出・定量化するシステム構築に向けた研究を、柏野グループの精神状態の見える化技術と下條グループの神経同期計測、渡邊グループの行動同期計測と組み合わせることで進めた。加えて、下條グループでのインターパーソナル・フローとチョークの再現パラダイムを確立することで、スポーツという体験共有場における選手同士、監督、観客について、少なくとも2者間以上の IAS 情報のインタラクションとパフォーマンスとの関係を明らかにし、IAS 情報のインタラクションの見える化技術の基盤を築くことができた。これらは、将来的には「スポーツアナリティクス 2.0」といえるような、実戦でのパフォーマンス計測に加え、生体信号や動作解析を加えることにより、パフォーマンスの原因やその時点での心身の状態を推定することで、戦略立案や選手評価、さらにはスポーツ観戦に新たな軸を加える技術群の基盤となることが期待できる。

さらには、全期間を通じて ELSI の観点からの議論を行いながら、将来の適用範囲の可能性拡大に向けて、スポーツ以外の現場での試用を想定した研究も進め、パラリンピック競技や、2者間の協調作業、磁気感覚や内受容感覚といった一般的ではない感覚の研究なども行った。このような研究によって、他者との協調をコントロールする神経基盤の同定、内受容感覚が社会的状況に及ぼす影響、障がい者アスリートが示す神経系の機能的再編、複数のスポーツおよび e-sports における心拍測定によるメンタル状態とパフォーマンスの関係、非拘束計測システムを用いたスマートブルペン構想に向けた検証、スポーツ観戦における応援を指導する者と観客との心身相互関係、マーカーレスモーションキャプチャを用いた動作評価システムの構築などに資する知見なども得ることができた。中でも、一年の追加支援を受

けて行った、他の体験共有の場における2者間以上の身体的・生理的・神経的インタラクションの可視化の研究では、非接触型モーション・バイタルセンシングシステム構築のための要素技術・スペックを確定し、プロトタイプを試作と会話場面での試用を行い、本技術群の集団計測への適用の可能性を確認することができた。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. トップアスリートの対戦中の「目付」

概要:

野球やソフトボールにおいて打者が投手のフォームや投球の軌道から予測を生成して適切な打撃動作を計画・実行する際の、視覚情報の取り込み方と全身運動の協調を、実際の対戦場面で詳細に解析した。プロ野球1軍と2軍のレベル差が視覚情報の取り込み方によっていることを明らかにするとともに、VRを用いたトレーニング法への道を拓いた。

Kishita Y., Ueda H., and Kashino M., “Eye and Head Movements of Elite Baseball Players in Real Batting,” *Front. Sports Act. Living* 2:3, 2020.

Kishita Y., Ueda H., and Kashino M., “Temporally Coupled Coordination of Eye and Body Movements in Baseball Batting for a Wide Range of Ball Speeds,” *Front. Sports Act. Living* 2:64, 2020.

柏野牧夫: アスリートの脳を解明し鍛える. 人工知能, Vol. 34, No. 4, pp.525-530, 2019.

2. パラリンピアンの中枢神経再編

概要:

パラリンピアンの中枢神経再編に関する研究で、脳性麻痺パラスイマーの機能再構成、義足アスリートにおける同側運動野の活性化、脊髄損傷パワーリフターおよび脊髄完全損傷者における上肢能力の代償的発達、先天性上肢欠損アーチャーにおける大脳運動野の再編などの結果を得ている。この研究は、基礎研究的意義だけではなく、障害があるアスリートの脳や身体組織が、トレーニングによって大きく変容するという事実をつまびらかにすることで、障がい者に対する新たな視点を喚起し、新たな理解と社会的関心を高めることも期待される。

中澤公孝, “トップアスリートの意義:パラアスリートの脳研究を通じて(特集 N1 グランプリ:N=1 研究の意義),” *バイオメカニズム学会誌*, vol. 42, No.1, pp.11-16, 2018.

Mizuguchi N., Nakagawa K., Tazawa Y., Kanosue K., and Nakazawa K., “Functional plasticity of the ipsilateral primary sensorimotor cortex in an elite long jumper with below-knee amputation,” *NeuroImage: Clinical*, 23, 101847, 2019.

3. ヒトの地磁気感覚

概要:

多くの動物種で生体内磁石の生成と機能が確認されているが、ヒトについてはほとんどスキャンダラスとも言える論争があり、決着はついていない。本研究では磁気刺激を生態学的に自然な磁場の回転に絞って、脳の反応をEEGで計測することによって、ヒトの地磁気感覚の神経科学的証拠を世界で初めて見出した(α 波の事象関連抑制)。この結果は、ヒトの知覚拡張の可能性に繋がるものであり、複数脳間の協応や潜在的な能力の開拓など、次のステップの研究を進める土台が整備された。

Wang C., Hilburn I., Wu D-A., Mizuhara Y., Cousté C., Abrahams J., Bernstein S., Matani, A., Shimojo S., and Kirschvink J., “Transduction of the Geomagnetic Field as Evidenced from Alpha-band Activity in the Human Brain,” *eNEURO*, (#eN-NWR-0483-18), 2019.

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. 無意識下での音声感情誘導技術

概要:

音声にオンラインで感情表現を与えることのできるプラットフォームを用いて、音読中の声に感情フィルタをかけることによって無意識下で感情を変化させることが可能であることを示した。本研究で用いた音声感情誘導の手法は、音声知覚、感情知覚、自己知覚などを含めた幅広い研究分野での活用に加え、医療、教育、エンターテインメント、スポーツなどの応用分野での感情誘導などの応用も考えられる。

Aucouturier J.-J., Johansson P., Hall L., Segnini R., Mercadié L., and Watanabe K., “Covert digital manipulation of vocal emotion alter speakers’ emotional state in a congruent direction,” *Proceedings of the National Academy of Science*, 13 (4), pp.948–953, 2016.

2. 野球・ソフトボールの VR 打撃システム

概要:

きわめてリアリティの高い投球フォームと投球軌道の自由視点再現と打者の眼球や身体の動きの計測が可能で VR システムを開発した。呈示する視覚情報を操作することによって打者の情報処理特性を評価したり、打撃スキル向上のための訓練をおこなったりすることができる。アメリカ大リーグ球団に商用導入され、ソフトボール日本代表のトレーニングにも採用されるなど、トップアスリートの現場でも高い評価を得ている。

Kimura T., Nasu D., and Kashino M., “Utilizing virtual reality to understand athletic performance and underlying sensorimotor processing,” *The 12th Biennial conference on the Engineering of Sport on behalf of the International Sports Engineering Association (ISEA2018)*, March 2018.

3. ウェアラブル機能的電気刺激

概要:

ウェアラブル筋電センサーの開発過程で派生的に開発が進んだ技術である。導電性繊維を用いた刺激電極を用いウェアラブルスリーブを試作し、既に高次脳機能障がい者の運動機能改善に成功した。現在は下肢への応用を試験中である。下肢への刺激パターンは歩行時の筋活動を計測し、そこからシナジーを抽出して作成するものであり、ウェアラブル筋電計を用いて得られた成果の応用である。

Milosevic M., Masugi Y., Obata H., Sasaki A., Popovic MR., and Nakazawa K., “Short-term inhibition of spinal reflexes in multiple lower limb muscles after neuromuscular electrical stimulation of ankle plantar flexors,” *Experimental Brain Research*, 237(2), pp.467–476, 2019.

< 代表的な論文 >

1. Aucouturier J.-J., Johansson P., Hall L., Segnini R., Mercadié L., and Watanabe K., “Covert digital manipulation of vocal emotion alter speakers’ emotional state in a congruent direction,” *Proceedings of the National Academy of Science*, 13 (4), pp.948–953, 2016.

概要: 音声にオンラインで感情表現を与えることのできるプラットフォームを用いて、音読中の声に感情フィルタをかけ、無意識下で感情を変化させることが可能であることを示した。この音声感情誘導の手法は、音声知覚、感情知覚、自己知覚などを含めた幅広い研究分野での活用に加え、医療、教育、エンターテインメント、スポーツなどの応用分野での感情誘導などへの応用も考えられる。

2. Yokoyama H., Kaneko N., Ogawa T., Kawashima N., Watanabe K., and Nakazawa K., “Cortical correlates of locomotor muscle synergy activation in humans: an EEG decoding study,” *iScience*, 15, pp.623–639, 2019.

概要: ヒトの歩行中の脳活動から筋活動制御情報を解読し、脳活動は一個一個の筋の活動より、複

数筋の同時収縮「筋シナジー」との関連が強いことを示した。脊髄レベルでの自動的な制御が中心であると考えられてきた歩行の制御に、脳が大きな関与をしていることになる。この成果は脊髄損傷患者など、脳信号を筋にうまく伝達することのできない患者の歩行動作をサポートする BMI の開発につながる可能性がある。

3. Wang C., Hilburn I., Wu D-A., Mizuhara Y., Cousté C., Abrahams J., Bernstein S., Matani A., Shimojo S., and Kirschvink J., “Transduction of the Geomagnetic Field as Evidenced from Alpha-band Activity in the Human Brain,” eNEURO, #eN-NWR-0483-18, 2019.

概要:多くの動物種で生体内磁石の生成と機能が確認されているが、ヒトについてはほとんどスキヤンダラスとも言える論争があり、決着はついていない。本研究では、脳の EEG 反応から計測することで、ヒトの地磁気感覚の神経科学的証拠を世界で初めて見出した。この結果は、ヒトの知覚拡張の可能性に繋がるものであり、複数脳間の協応や潜在的な能力の開拓など、次のステップの研究を進める土台となる。

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

本研究では、提案時に以下の研究項目を設定し、各グループの有機的な連携によって研究を進めた。

【研究項目1】 IAS 情報の認知科学的・脳科学的研究

【研究項目2】 IAS 情報デバイスと知的情報システムへの実装

【研究項目3】 IAS 情報システムの実証フィールドでの評価

【研究項目4】 IAS 情報の利用に対する ELSI 調査と情報発信

1. 「渡邊」グループ

研究代表者: 渡邊 克巳 (早稲田大学理工学術院 教授)

研究項目:

(ア) IAS 情報の解読と活用に向けた認知心理学的・社会科学研究:

IAS 情報の解読と活用における実験のデザイン・実施・分析を、他グループと密接に協力して行うとともに、主に IAS 情報の解読と活用の認知心理学的手法を用いた実験【研究項目1】を行う。さらに、他グループと共同で、実証フィールドでのデータ採集と解析を行いつつ【研究項目3】、研究チーム全体の統括と IAS 情報の利用に対する ELSI 調査と情報発信【研究項目4】の一部も担当しながら、研究全体の舵取りを行う。

2. 「柏野」グループ

主たる共同研究者: 柏野 牧夫 (日本電信電話(株)コミュニケーション科学基礎研究所 NTT フェロー / 柏野多様脳特別研究室長)

研究項目:

(ア) IAS 情報の解読と活用に資する知的基盤技術構築に向けた人間工学的手法・工学的手法を用いた研究開発:

情報工学における先端手法を用いて、無自覚的な身体動作や生理反応などを非侵襲的に計測し、そこから IAS 情報を解読する技術を開発する【研究項目2】。これにより、他グループの認知科学実験、脳計測実験、実証フィールド実験などに先進的な技術基盤を提供する。情報通信企業の研究所として、現在の通信技術の直面する問題や最先端の技術動向などに直に触れることができるため、実社会と当研究チームの科学的探求とのインタフェースとしても機能する。当研究チームの工学的・数理的側面を支え、他のグループの神経科学・行動科学実験を実現するための情報工学的基盤を提供する。

3. 「中澤」グループ

主たる共同研究者: 中澤 公孝(東京大学大学院総合文化研究科 教授)

研究項目:

(ア) IAS 情報を活用した知的情報システムの実証フィールドでの研究:

IAS 情報を活用した知的情報システムを実証するためのフィールドとして、実際のスポーツ競技の現場を想定し、IAS 情報を活用した知的情報システムの実証実験と、そこから得られた情報の解析やシステム構築への還元を行う【研究項目3】。また、研究グループの知見と計測ノウハウを活用して、非拘束計測システムの開発にも参加する【研究項目2】。スポーツの現場への強いコネクションがあるため、IAS 情報システムの実証フィールドでの評価【研究項目3】の中心として機能する。

4. 「下條」グループ

主たる共同研究者: 下條 信輔(カリフォルニア工科大学生物-生物工学部 教授)

研究項目:

(ア) IAS 情報の解読と活用に向けた認知科学的・脳科学的研究開発:

他所に無い最先端の行動科学・神経科学技術を駆使し、またはそれらの新しい組み合わせによって、計測/観察/マン-マシン相互作用のシステムを構築することで、上記研究実施項目の推進に貢献する。脳波フィードバックの技術や報酬系の賦活技術を非拘束計測技術との統合【研究項目1】、「フロー現象」や「チョーキング(イップス)現象」のIAS 情報の観点からの分析【研究項目1】を行いつつ、他グループと共同で、実証フィールドでのデータ採集と解析を行う【研究項目3】。またコーチングを含む現場からの問題提起を受けて、神経計測用にミニチュアの行動パラダイムを開発し、複数の脳間の神経対応を解明する。またこれを神経フィードバックと社会脳の調節に応用することで、共感、チームワーク、治療訓練補助システムの構築を他グループと共同で開発する【研究項目2】。特に、神経科学的計測と制御、行動計測との組み合わせについて、プロジェクト全体の引き受け手となるとともに、プロジェクトの国際社会での情報収集・発信の窓口としても機能する。

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本チームは開始以来、本研究の中で、以下のような国内外の連携ネットワークを構築してきた。

渡邊グループ

国内: 日本科学未来館(お台場、東京:公開実験・アウトリーチ)、生理学研究所(岡崎、愛知:脳機能計測)。

海外: ニューサウスウェールズ大学(オーストラリア、シドニー:ロボティクス)、ロンドン大学ゴールドスミス校(イギリス、ロンドン:意思決定・気づき)、フランス国立音響音楽研究所(フランス、パリ:音声からの感情の認知)、ドイツ人工知能研究センター(ドイツ、カイザースラウテルン:動画からのインタラクション抽出)、ミュンヘン大学(ドイツ、ミュンヘン:集団認知)

柏野グループ

国内: 日本ソフトボール協会(女子ソフトボール日本代表、世代別代表)、日立ソフトボール部サンディーバ、プロ野球球団、社会人野球チーム(NTT 東日本、NTT 西日本)、東京大学硬式野球部、慶應義塾体育会野球部、ラグビーチーム(NTT コミュニケーションズシャイニングアークス;日本代表含む)、プロスノーボーダー、プロ esports プレーヤー、東京大学(走力の目利き)、東京工業大学(筋電計測、筋シナジー解析)、慶應義塾大学(インタフェース)他。

海外: 米国メジャー球団

中澤グループ

国内: スポーツ関連(プロ野球球団、日本プロ野球機構、日本障がい者スポーツ協会、国立スポーツ科学センター、プロゴルフ選手、東京大学硬式野球部;準硬式野球部;応援部;アメリカンフットボール部)。スポーツ関連以外: 東京大学(東京、マーカレスモーションキャプチャー)、慶應義塾大学精神科(東京、情動計測)、JTEKT(愛知、歩行時情動反応計測)、東京都医学研究所(東京、モチベーション評価)、大阪大学(大阪、FES 研究)。

海外: トロントリハビリテーション研究所(カナダ、トロント:導電繊維による電気刺激システム開発)

下條グループ

国内: 玉川大学(東京、町田:脳機能計測)、豊橋技術科学大学(愛知、豊橋:フロー、アート選

好)、岩手大学(岩手、岩手:脳リズム計測)、東北大学(宮城、仙台:脳リズム計測)、理研
脳科学研究所(埼玉、和光:チームフロー促進)、ヤマハモーターズ(超周辺視野)、東芝
(色イリュージョンの潜在メカニズム)、ソニー(チームフロー促進)、京都大学(京都)。

海外: チェン神経科学研究所、ヤマハモーターズ USA、ヤマハ株式会社 USA、ヤマハデザイン
センター、ハンチントン医科学研究センター、カリフォルニア大学リバーサイド校(すべてア
メリカ、カリフォルニア)、その他にも上記の海外連携の入り口・ハブとしても機能した。