

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H04087

研究課題名(和文) 運動イメージと協調運動の脳機構に基づくスキー技術の学習支援システム構築

研究課題名(英文) Development of a ski skill learning support system based on motor imagery and brain mechanisms of coordinated movements

研究代表者

彼末 一之 (Kanosue, Kazuyuki)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・客員教授

研究者番号：50127213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：運動学習は体育・スポーツの根幹であるとともに、脳神経科学の重要な研究対象でもある。本研究では脳神経科学的な視点をスポーツの指導/学習に取り入れることを目指し、その研究モデルとして日常にはない複雑な動作の習得が必要なスキーを取り上げた。まずスキー滑走時の様々なパラメータを総合的に測定する系を確立した。そこから得られるデータを用いて、リアルタイムフィードバックを中心としたスキー技術の学習を支援する手法を開発した。VRを用いた初心者のためのスキー技術獲得の支援システムを開発した。そして、中級者が「小回り」を習得する過程を縦断的に追跡し、学習者が意識を置くポイントの重要性について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はこれまで経験に頼りがちであったスキー指導に科学的根拠を与えてくれるであろう。特に、「意識の焦点」と技術習得の関係の研究は新しい分野で、さらに個人差が大きい。この方面の知見から、個人個人に独特な指導メニューの開発も期待できる。また本研究で提案する「測定技術」「脳神経科学」「技術指導」を統合するスキームは、スキーのみならず様々なスポーツの技術習得を個人レベルで補助する一般向けウェアラブル装置の実用化への第一歩となるに違いない。

研究成果の概要(英文)：Motor learning is the basis of physical education and sports, and is also an important research subject in neuroscience. In this study, we aimed to incorporate neuroscience viewpoints into sports teaching/learning, and as a research model, we took up skiing, which requires the acquisition of complex movements not seen in everyday life. First, we established a system to comprehensively measure various parameters during skiing. Using the data obtained from this, we developed a method to support learning of skiing techniques, centering on real-time feedback. We have developed a ski skill acquisition support system for beginners using VR. Then, we longitudinally tracked the process of intermediate learners learning "short turns" and examined the importance of the points that learners intentionally focus on.

研究分野：スポーツ神経科学

キーワード：スキー イメージ 指導言語 小回り ブルーク ヴァーチャルリアリティ 意識

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動学習に関わる脳機構を明らかにすれば、スポーツの効果的な学習(指導)方法の提案につながると期待される。ただし、スポーツの多くは全身を使った運動である。これに対し、これまで脳神経科学で行われてきた運動学習や運動制御の研究の大部分は手や腕の限定的な運動を扱っており、その知見をスポーツの指導/学習に応用する試みはほとんどなされていない。本研究はこれにチャレンジしようとするもので、そのための研究モデルとしてスキーを取り上げた。スキーは全身運動として高齢者にも適しており、大自然の中で行う楽しいスポーツだが、初級者にとってその技術を習得するのは容易ではない。自己流でやったのではどうしても悪い癖がつき、やがて興味を失うことになりかねない。スキーの研究は、主としてバイオメカニクス的手法(動作解析)で行われ、数多くの知見、例えば「ターン時には外側のスキーに多く荷重する必要がある」ことなどが解明されてきた。しかし、「どうすればその動きが出来るようになるか」については必ずしも明確になってはいない。さらにスキーの指導は指導者個人の経験・考えに依存することが多く、そのノウハウが一般化されているとはいえない。そこで、申請者らは脳神経科学と最新テクノロジーを融合した新しいコンセプトのスキー指導法を提案しようと考えた。そのためにはスキー滑走中の物理量、生理指標(映像、スキーへの荷重、関節角度、筋活動、視線等々)のデータが不可欠である。そこで本研究では先ずスキー滑走時の様々なパラメータを総合的に測定することとした。そして、得られたデータを運動イメージ、協調運動などの脳神経科学的視点から検討し、滑走者の動きを評価する基準や意識すべきポイントを明確にする。さらに、滑走中に自分の姿が見えない点を補い、ゲレンデ外のトレーニングにも応用出来るようリアルタイムフィードバックによる学習支援システムを開発しその効果を検証するとともに、その応用の可能性を探る。本研究で提案する「測定技術」「脳神経科学」「技術指導」をパッケージ化するスキームはスキーのみならず様々なスポーツの技術習得を個人レベルで補助する一般向けウェアラブル装置の実用化への第一歩となると期待された。

2. 研究の目的

本研究は当初(1)スキー場での測定系、学習支援システムの開発、と(2)それらを実際に応用したスキー場での実験を予定していた。しかし、2019年度冬からのコロナ禍で複数人でのスキー場の測定は2018年冬と2019年夏の予備的なものに留まり、それ以降は不可能となった。そこで、方針を変更して、(1)スキー用に開発した学習支援システム他競技(レスリング)でのテスト、(2)初心者の初歩的な技術獲得のためのシミュレータ開発、(3)被験者一人について高度な技術である「小回り」の習得過程の追跡調査、の3つを重点的に行うこととした。以上により、今後のスキー学習を効率良く、理論的基盤を持ってできるようになるであろう。

3. 研究の方法

(1)スキー用に開発した学習支援システムの開発と他競技(レスリング)での有効性検討

運動学習では学習者が自分の動きをモニターすることが重要である。特にスキーは日常では行わない動作であるので、正しいイメージを持ち、問題点を修正するためには視覚フィードバックが不可欠である。そこで、ビデオ撮影をしてそれを一定時間遅れの後に再生するシステムをソニーと共同で開発した。しかし、コロナ禍のためにスキー場での実験に代わり、レスリングの練習で用いて選手の技の習得に有用かを検討した。ビデオカメラ(Sony SPM-PC1)を映像遅延再生装置として用い、フィードバックのために、カメラ、サーバー(SPM-PC1 スポーツパフォーマンスコーチ)、コントローラー、ディスプレイを用いた。カメラで撮影した映像をPCに取り込み、任意の遅延時間(5秒~360秒)後に、遅延された映像がディスプレイに再生した。カメラは練習場全体(10m x 10mのマット1面)を撮影できる場所に設置し、ディスプレイは選手が自由に確認できる位置に設置した。遅延再生の時間は、選手やコーチがメニューに合わせて任意に設定した。被験者は、大学レスリング部に所属する選手17名、コーチ4名、トレーナー3名とした。選手はレスリング競技歴5年以上、コーチは選手として10年以上かつ指導者として3年以上のレスリング経験があるものを対象とした。トレーナーは大学スポーツ科学部に所属する学生トレーナーを対象とした。本装置使用の前後で利用者へ効果についてのアンケートを実施した。

(2)初歩的な技術(「ブルーク」)獲得のためのシミュレータ開発

スキーの初心者が先ず修得する「ブルーク」をVR上で学習するシミュレータを開発した。本研究ではゲーム開発ソフトであるUnityとNintedo社のWii Balance Board(以降、Wiiボード)、そしてVIVE社のヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた。左右の足に設置した二つのWiiボードから検出されるCOP(Center of Pressure)によって表示内容が決定される。このとき、ユーザーの体重移動による左右のCOPの変化を表示される。VR上では実空間のようなブルークスキー滑走を再現するにあたり、本研究では左右の足に設置したWiiボードから検出されるCOPから、VR空間上におけるスキーのプレーキ度合いやカーブ度合いを算出した。これらを算出するにあたり、まず、左右のCOPが内股の方向へ移動した際に、スキー板に雪面から作用する抵抗力 R を式(1)で表した。このとき、 α は係数であり、 F_{cop} と F_{max} はそれぞれ

Wii ボードの内側にかかる COP の荷重とユーザー自身の荷重である。

$$R = \alpha \cdot F_{cop}/F_{max} \quad (1)$$

次に、 ブルーク時における左右のスキー板にかかる抵抗とVR 上における疑似重力との力の合成 (図(b)) から、 スキー板にかかるブレーキ度合いと、 ターンの方角を算出した。 以上より、 図(c)で左右のCOP に応じてブルーク滑走時のブレーキとターンに合わせた最適な映像が表示される。 このとき、 式(1)の α についてVR の映像提示の際にブルーク上級者の感覚に近い値を設定した。

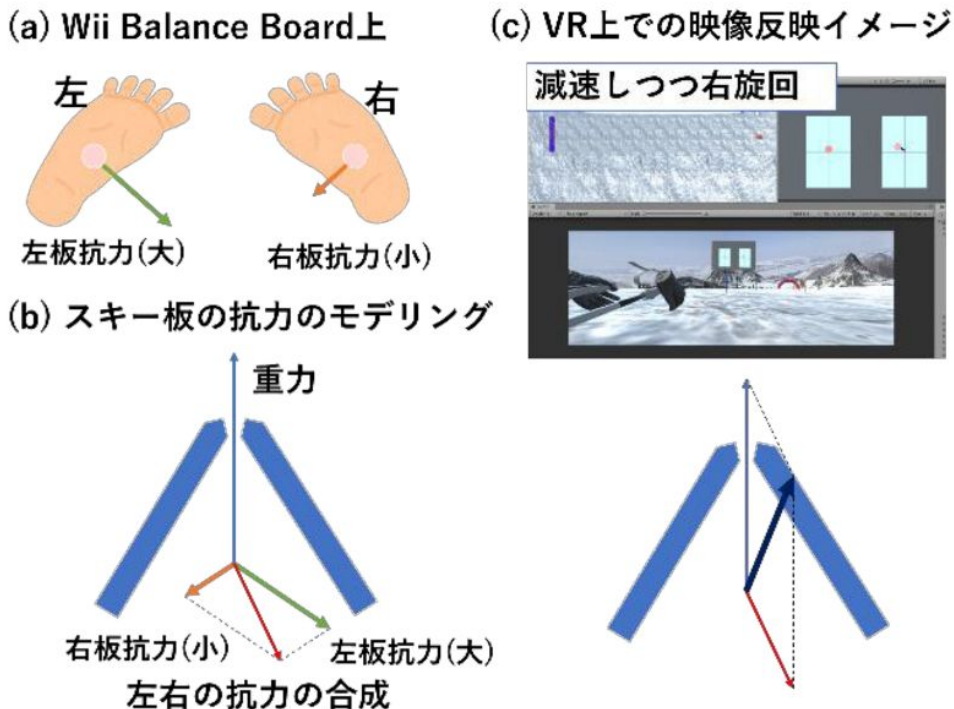


図1 ブルーク滑走モデルのイメージ図

2 枚の Wii ボードを被験者のブルークの姿勢に合わせて「八の字」に設置し、また、傾斜を表現するため Wii ボードの下に板を挟み傾斜をつける。被験者にはゲレンデ上に表示したサインカーブ上を滑走するように指示をしたのち試技を行う。試技後スキー歴や熟練度に関するアンケートを実施した。実験はスキー初心者 14 人を対象とした。

(3) 高度な技術(「小回り」)の被験者一人での習得過程の追跡調査

スキーの平行ターン小回り(以下、小回り)は初心者にはあこがれの技術である。しかし、平行ターンの大回りができるようになった多くの初心者にとって、スムーズな小回りができるようになるには高い壁があり、この技術は、分析があまり進んでいない。指導者は自分の経験を基に指導せざるをえない。ここでは小回りをコーチングの課題として考え、指導者が何をどう指導すればよいか、また学習者としてはどのような指導を望んでいるかといった点からも検討した。解析対象者の(70歳)はこの解析を始めた時点(20年シーズンの終わり、69歳)では一般のスキーゲレンデのコブのない急斜面が降りられる程度のレベルで頭打ちになった状態であった。一番の症状は小回りができないことで、そのためにコブ斜面や幅の狭い急斜面は滑ることができなかった。そこで、21年シーズンは上に掲げた目標(「小回りができる」)に向かってトレーニングを行った。21年シーズン(12月~4月)にはのべ25日ゲレンデでのトレーニングを行った。そのうち10日は日本スキー連盟(SAJ)のインストラクターにビデオ撮影をしてもらい、指導を受けた。それ以外の日は一人で試行錯誤を行いながら滑った。そして、スキー場での実践の間の期間に協同研究者と議論を重ねた。

4. 研究成果

(1) スキー用に開発した学習支援システムの開発と他競技(レスリング)での有効性検討

映像遅延再生装置導入前のアンケートの結果、76%(13名)の選手が、練習中に今何が起きたかわからない状況があると回答していた。また、その頻度は、3名が一日に一回、6名が週に一回、4名が月に一回との回答だった。75%以上の選手において何が起きているのかわからないという状況が一定数存在していた。導入後は「映像遅延再生装置を使用した感想を教えてください」という質問に対して、54%(13名:選手10名、コーチ3名)がすごくよかった、33%(8名:選手6名、コーチ1名、トレーナー1名)が良かった、13%(3名:選手1名、トレーナー2名)がどちらでもない、という結果となった。また、「今後引き続き映像遅延再生装置を使用したいですか?」という質問に対して、75%(18名:選手13名、コーチ4名、ト

レーナー1名)が是非使用したい、21%(5名:選手4名、トレーナー1名)がどちらかと言えば使用したい、4%(1名:トレーナー1名)がどちらでもよいという結果となった。また、“映像遅延再生装置を導入することで、「なぜ今点を取られたのか?今のシーンで何が起きたのかわからない」という場面の数は変化しましたか?”という質問を、導入前アンケートで「練習中に何が起きたかわからないことがある」と回答した選手にしたところ、8%(1名)の選手がすごく減った、77%(10名)の選手が減った、15%(2名)の選手が変わらない、という回答が得られた。ピアソンの2検定の結果、減ったと回答した群が、増えたもしくは変わらなかったと回答した群より有意に多かった($p = 0.013$ 、 $\chi^2 = 6.231$)。

装置の導入によって「何が起きたかわからないシーンがある」という回答が減ったことはこの装置の有用性を示唆している。スキーにおいてもパフォーマンスが悪いのは分かるが、何が問題かが分からないことが上達を妨げる大きな壁である。このようなシステムをスキーの練習においても導入することで、リアルタイムに自分の問題点を認識し、対処を考える上で大いに役立つものと期待される。

(2) 初歩的な技術(「ブルーク」)獲得のためのシミュレータ開発

アンケートの結果から、熟練度の低い人ほど本システムの再現度を評価している傾向があることがわかる。一方で、「制御が難しい」という意見も多く見られる。熟練者ほど体の回転や、雪面の凹凸等、現時点では再現できていない項目を敏感に感じとっているといえる。今回、Wiiボード上に足を固定する器具がついていなかったため、試技中に足が滑りブルークの姿勢が崩れてゆく例が多々見られた。システムの性質上足の位置がずれると制御が困難になってしまうため、この点を改善する必要がある。

(3) 高度な技術(「小回り」)の被験者一人での習得過程の追跡調査

スキー場での試行錯誤の中では、(1)重心が高い、(2)前のめり、の2つの点で改善が見られた。KKが前シーズンの自分の滑りをみて最初に感じたのは、「なんとなく力感がない」ということだった。ただ、それが具体的に何を意味するのかよく分からないまま、「筋力の衰えた高齢者は仕方がないのか」などと考えていた。しかし、形をみると、上級者に比べて(図D)明らかに重心が高いことが分かる(図A)。そこで、それを修正しようとしたが、問題はこの時点でもKKは上級者の図1Aのようにやっている「つもり」であった。これは目標とする運動のイメージと実際の動きが乖離していることを示している。そこで、「もっと重心を低く」と思っても、どうやったらいいのかわからないままに試行錯誤を続けることになっていた。あるとき、インストラクターに「ストックを短く持って滑る」ようにアドバイスを受けた。すると、重心の低い滑りができるようになった(図B)。



図2。被験者KKの学習過程 A; 20年シーズン、重心が高い。B; スティックを短く持つ、前のめりに。C; 視線を遠くに、良いポジションに。D; 上級者。

たしかに重心は低くなったが、前のめりの形になってしまうという別の問題が出てきた(図2B)。それなら「上体を立てて真直ぐに！」すればよさそうだが、これもそう簡単ではない。上体を立てることを意識すると重心が高くなり、元の本阿弥になってしまう。ところが、あるとき姿勢は忘れて「遠くを見る」ことを意識して滑ったところ、重心は低いままで上体が立つようになった(図C)。これは「遠くを見ようとする、頭は起き、上体は立つ」という我々の体に備わっている反応に他ならない。このように何か問題があるときにそれを直接意識するのではなく、別のポイントに意識を移すことで、問題がスッと解決することがある。実際、上級者はきちんと遠くに視線が向いている(図2D)。

「重心が高い」について、KK本人のイメージではすでに十分重心を低く(足首、膝、腰を屈曲)している「つもり」であった。スキーでは脛の部分が高くて硬いブーツを履くために、足首を屈曲させるのが特に難しい。そのために、目標とする動作のイメージ(3人称イメージ)と本人の動作イメージ(1人称イメージ)が乖離することになる(水口、彼末、2019)。「もっと重心

を下げて」と言っても、本人はすでに最大限重心を下げているつもりなので効果は期待できない。このようなときどのようなアドバイスをすればよいか、あるいはどのようなドリルをすればよいかはコーチ・インストラクターの腕の見せ所であろう。私が行った「ストックを短く持つ」はイメージ云々ではなく、強引に重心を低くすることになるので、特に有効だったと思われる。このようにある動作を獲得しようとするときに、意識をどこにどのように置いたら良いかについての正解は一つではなく学習者の百人百様である（櫻田、2022）。そこで、ある技術（例えば「重心を低く」）をマスターさせるときにどのようなアドバイス、ドリルをするかを SAJ（全日本スキー連盟）がデータベースを作るといったことができないものであろうか。さらにそれを学習者にも公開すれば一人で練習をするアマチュアスキーヤーには有益な情報になろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 中川 剣人、三浦 智、廣岡 和真、梅沢 侑実、神庭 弘行、藤本 浩志、藤江 正克、彼末 一之	4. 巻 15
2. 論文標題 スキー滑走動作における拡張現実技術を用いた第三者視点からのリアルタイムフィードバックシステムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 スキー研究	6. 最初と最後の頁 77-82
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 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 N. Mizuguchi, M. Suezawa, and K. Kanosue	4. 巻 147
2. 論文標題 Vividness and accuracy: two independent aspects of motor imagery.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 17 - 25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neures.2018.12.005	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 H. Nakata, K. Sakamoto, R. Domoto, N. Mizuguchi, and K. Kanosue	4. 巻 14
2. 論文標題 Negative BOLD responses during hand and foot movements: An fMRI study.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0215736
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0215736	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 宮川 峻一、瀬尾 燦振、大橋 拓末、後藤 悠太、中新 かれん、小澤 悠、大谷 淳、彼末 一之、小方 博之	4. 巻 IEICE-120
2. 論文標題 Virtual Reality 環境における初心者向けスキー滑走学習システムに関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 52-57
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 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 伊藤 奨, 後藤 悠太, 原 知彰, 塚田 聖人, 服部 博憲, 射手矢 岬, 彼末 一之	4. 巻 13
2. 論文標題 レスリング競技での自動遅延再生装置の有効性の予備的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 スポーツパフォーマンス研究	6. 最初と最後の頁 163 - 180
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 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 Inhyeok Jeong, Kento Nakagawa, Rieko Osu, Kazuyuki Kanosue	4. 巻 17
2. 論文標題 Difference in gaze control ability between low and high skill players of a real-time strategy game in esports.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0265526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0265526	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 彼末一之, 中井宏, 行方剛, 西村斉, 内田雄介, 大室康平, 加藤孝基, 中川剣人, 大橋拓未, 後藤悠太, 小澤悠, 水口暢章, 中田大貴, 依田珠江, 坂本将基, 桜井良太, 小林海, 永見智行, 村岡哲郎, 中島剛, 樋口貴俊, 柳谷登志雄, 岡田利修	4. 巻 19
2. 論文標題 スキーマの小回り: なぜできない?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 スポーツ科学研究	6. 最初と最後の頁 127 - 138
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 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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大橋 拓未, 後藤 悠太, 小澤 悠, 中島 剛, 中新かれん, 加藤 孝基, 中川 剣人, 彼末 一之
2. 発表標題 サマーゲレンデにおけるスキー動作と筋活動の解析
3. 学会等名 日本スキー学会 第30回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮川峻一, 瀬尾燦振, 大橋拓未, 後藤悠太, 中新かれん, 小澤悠, 彼末一之, 大谷淳, 小方博之
2. 発表標題 Virtual Reality を用いたブルーク滑走スキーの体験のためのスキーシミュレータシステムの構築
3. 学会等名 日本スキー学会第 30 回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田雄士, 瀬尾燦振, 谷口 基文, 彼末 一之, 小方博之, 大谷淳
2. 発表標題 VR とハードウェアの統合によるスキー技術獲得システムの有効性の評価
3. 学会等名 画像電子学会第299回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yushi Okada, Chanjin Seo, Shunichi Miyakawa, Motofumi Taniguchi, Kazuyuki Kanosue, Hiroyuki Ogata, Jun Ohya
2. 発表標題 Virtual Ski Training System that Allows Beginners to Acquire Ski Skills Based on Physical and Visual Feedbacks
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
4. 発表年 2023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	内田 雄介 (Uchida Yusuke) (00508252)	名城大学・理工学部・准教授 (33919)	

6. 研究組織（つづき）

	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	桜井 良太 (Sakurai Ryota) (00749856)	地方独立行政法人東京都健康長寿医療センター（東京都健康長寿医療センター研究所）・東京都健康長寿医療センター研究所・研究員 (82674)	
研究分担者	小林 海 (Kobayashi Kai) (10586762)	東洋大学・総合情報学部・助教 (32663)	
研究分担者	永見 智行 (Nagami Tomoyuki) (10634371)	北里大学・一般教育部・講師 (32607)	
研究分担者	加藤 孝基 (Kato Koki) (10750771)	南山大学・経済学部・准教授 (33917)	
研究分担者	村岡 哲郎 (Muraoka Tetsuro) (30398929)	日本大学・経済学部・准教授 (32665)	
研究分担者	依田 珠江 (Yoda Tamae) (40348818)	獨協大学・国際教養学部・教授 (32406)	
研究分担者	中田 大貴 (Nakata Hiroki) (40571732)	奈良女子大学・工学系・准教授 (14602)	
研究分担者	大室 康平 (Omuro Kohei) (50632056)	八戸工業大学・基礎教育研究センター・講師 (31103)	

6. 研究組織（つづき）

	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	中島 剛 (Nakajima Tsuyoshi) (60435691)	杏林大学・医学部・学内講師 (32610)	
研究分担者	樋口 貴俊 (Higuchi Takatoshi) (60726826)	福岡工業大学・その他部局等・准教授 (37112)	
研究分担者	坂本 将基 (Sakamoto Masanori) (80454073)	熊本大学・大学院教育学研究科・准教授 (17401)	
研究分担者	水口 暢章 (Mizuguchi Nobuaki) (80635425)	立命館大学・総合科学技術研究機構・助教 (34315)	
研究分担者	中川 剣人 (Nakagawa Kento) (80735457)	早稲田大学・スポーツ科学学術院・講師（任期付） (32689)	

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