

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32821

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K18200

研究課題名（和文）ジュニア期のスポーツ活動中に生じる膝前十字靭帯損傷の危険動作の縦断的検討

研究課題名（英文）Longitudinal study focused on high-risk movement for anterior cruciate ligament injury during sports activity in junior athletes

研究代表者

笹木 正悟（Sasaki, Shogo）

東京有明医療大学・保健医療学部・講師

研究者番号：30563473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、加速度センサを用いて思春期女子のバドミントン試合中に生じる高衝撃動作を抽出し、発育に伴いどのように変化するかを検討した。ジュニア選手の高衝撃動作をプレーごとに分類すると、オーバーヘッドストローク後の片脚着地が最も多かった（1分間あたり1.43回）。また、試合で発生する片脚着地における高衝撃の頻度は、高校生（1分間あたり1.71回）が中学生（1分間あたり1.13回）に比べて約1.5倍高かった。さらに、各個人の高衝撃着地頻度の変化量は、発育に伴う体重の変化量と強く関係していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の中高校生における膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament: ACL）損傷は1年間あたり約3,000件発生しており、思春期の膝外傷を如何に予防するかが注目されている。ACL損傷は中学生から高校生にかけて発生頻度が急増することに加え、試合で多く発生する。本研究は、思春期特有である女子の身体変化に着目し、ACL損傷の危険因子である高衝撃動作を試合の中から縦断的に検証した。実験室のような閉鎖的空間ではなく、よりリアリティの高い試合場面からACL損傷の危険因子を同定することで、より実践的な予防戦略の構築に活かすことができる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the characteristics of high-impact movement changes in actual games among female junior athletes by using tri-axial accelerometer. The movement determined as the most frequent-high impact movement in junior badminton was a landing after overhand strokes (frequency, 1.43 case/min). The frequency of single-leg landings that determined high-impact in the high school athletes (1.71 cases/min) was approximately 1.5-times higher than that in the junior-high school athletes (1.13 cases/min). Additionally, change in body weight was significantly correlated with changes in the frequency of high-impact landing during games.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：ジュニア選手 膝前十字靭帯 予防 加速度センサ 片脚着地 バドミントン

## 1. 研究開始当初の背景

本邦ジュニア選手の膝前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament: ACL) 損傷は増加の一途を辿っており、思春期の膝外傷を如何に予防するかに注目が集まっている。特に、バドミントン競技は「ネット型」スポーツに分類され、他者との接触が極めて少ないにもかかわらず、中学から高校にかけて ACL 損傷の発生頻度が急増している (Takahashi et al. 2017)。加えて、非接触型 ACL 損傷の多くは通常の練習に比べて、試合で多く発生する。このことから、特に発育変化に富んだジュニア選手の試合場面における競技動作にこそ、膝外傷の危険因子が潜んでいると考えられる。

女子ジュニア選手のラボテストでは、大きな衝撃負荷を伴うスティッフな着地様式が ACL 損傷リスクを増大させると報告されている (Leppänen et al. 2017)。また、思春期の発育に伴いラボテストにおける着地様式の変化が確認されている (Sasaki et al. 2010)。しかしながら、このような発育に伴う着地様式の変化は実験的空間での事象であり、実際の試合場面におけるスポーツ動作を対象とした知見は得られていない。特に、競技特性を加味した「メカニズム」を考えるうえで、バドミンントンの試合に生じる着地特性に目を向けて横断的かつ縦断的な検証を行うことは重要である。

近年はウェアラブルセンサの進化に伴い、空間的制約や選手の負担を最小限にしながら、様々な情報を得ることができるようになった。接地直後の床反力は ACL 損傷危険因子の 1 つであるが、実際のスポーツフィールドに床反力を測るための装置を設置するには限界がある。そこで本研究は、試合中に発生する床反力の大小を簡便に推測するために、ウェアラブルデバイスである加速度センサを応用する。体幹上部に装着した加速度センサの値はフォースプレートから出力される床反力と強く相関する (Nagano et al. 2016) ため、試合場面でのスティッフな着地様式を簡便に検知できると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究は、加速度センサを用いて思春期女子のバドミントン試合中に生じる高衝撃動作を抽出し、ACL 損傷予防の観点から以下の 3 点を検討することを目的とした。

- (1) バドミンントンのどのようなプレー場面で、高衝撃動作が多く発生するのか《研究 1》
- (2) 中学生と高校生では、試合で生じる高衝撃動作の発生頻度は異なるのか《研究 2》
- (3) 思春期の発育に伴い、高衝撃動作の発生頻度はどのように変化するのか《研究 3》

これからのことから、バドミンントンの競技特性を踏まえたジュニア期における非接触型 ACL 受傷メカニズムについての新たな知見を得ることを目指す。

## 3. 研究の方法

### 《研究 1》バドミンントンの試合で生じる高加速度動作の分類—中高生を対象とした横断検討—

ジュニア女子バドミントン選手 45 名 (年齢:  $15.2 \pm 1.8$  歳, 身長:  $1.56 \pm 0.06$  m, 体重:  $49.0 \pm 7.3$  kg, 競技歴:  $7.1 \pm 2.5$  年) を対象とした。対象者の体幹上部背面に専用ベストを用いて 3 軸ワイヤレス加速度センサ (Sports Sensing WS1201, 100-Hz) を装着し、シングルスゲーム (21 ポイント先取, ラリーポイント制) を 1 試合 (2 ゲーム) 実施した。上背部にセンサを装着することで、バドミントン試合中の体幹長軸に対する左右方向の加速度を x 軸 ( $A_x$ )、上下方向の加速度を y 軸 ( $A_y$ )、前後方向の加速度を z 軸 ( $A_z$ ) として計測した (図 1)。また、加速度と同時にプレー場면을デジタルビデオカメラ (Sony HDR-CX590V, 60-Hz) で撮影した。計測された成分加速度から合成加速度 ( $=\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ ) を算出し、バドミントン試合中に「合成加速度  $> 4G$ 」となるプレー場면을高加速度動作として抽出した。本研究では、高加速度動作を 10 種類 (①オーバーヘッドストローク後の片脚着地, ②アンダーハンド/サイドストローク後の踏み込み, ③スプリットステップ後の切り返し, ④オーバーヘッドストローク前の踏みきり, ⑤スプリットステップの予備動作, ⑥切り返し, ⑦スプリットステップ, ⑧バックステップ, ⑨ストップ, ⑩その他) に分類し、高加速度動作の場面判定を行った。

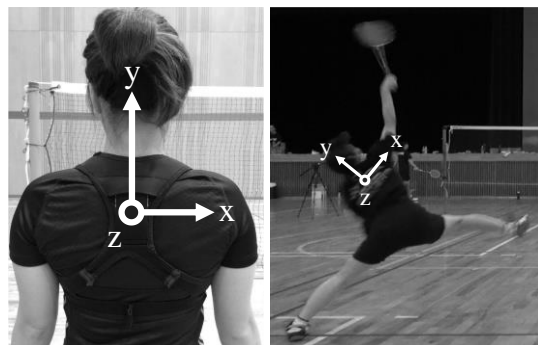


図 1. 加速度センサの装着位置と各軸成分の方向

### 《研究 2》中学生と高校生における高加速度動作の発生頻度の比較—オーバーヘッドストローク後の片脚着地に着目して—

ジュニア女子バドミントン選手 38 名を対象とし、中学生 17 名 (年齢:  $13.2 \pm 0.8$  歳, 身長:  $1.53 \pm 0.07$  m, 体重:  $42.8 \pm 6.2$  kg, 競技歴:  $5.9 \pm 2.5$  年) と高校生 21 名 (年齢:  $16.3 \pm 0.9$  歳,

身長：1.58±0.04 m，体重：52.0±4.6 kg，競技歴：8.1±2.0 年）に分類して検討を行った。試合時に生じた加速度データと高加速度動作は研究 1 と同様の方法で収集・分類した。研究 2 では、バドミントンのシングルスゲームで最頻の高加速度動作として認められた「オーバーヘッドストローク後の片脚着地（研究 1）」に着目し、合成加速度>4G となる発生頻度を中学生と高校生で比較した。また、それぞれの成分加速度の大きさについても検討した。

### 《研究 3》 発育に伴う高加速度動作の発生頻度の変化—体格変化に着目した縦断検討—

ジュニア女子バドミントン選手 7 名を対象とした。1 年以上の観察期間（417±46 日）を開けて、体格（身長，体重，BMI）および試合時の体幹加速度を 2 回（test-1, test-2）計測した。対象者の年齢は，1 回目の測定時（test-1）に 14.6±1.8 歳，2 回目の測定時（test-2）に 15.7±1.7 歳であった。試合時の加速度データから，研究 2 と同様に合成加速度>4G となるオーバーヘッドストローク後の片脚着地動作について，高加速度場面の発生頻度を検討した。また，観察期間中の体格変化が試合時の高加速度頻度の変化と関係するのかが検討するために，2 回の測定値の変化量（test-2-test-1）を算出した。

## 4. 研究成果

### 《研究 1》

対象者 45 名におけるシングルスゲームの総時間は合計 896 分，合成加速度>4G となるプレー場面は合計 6,306 回であった。このことから，ジュニア女子バドミントンの試合で生じる高加速度動作の発生頻度は 7.04 回/分（95% 信頼区間 [CI]：6.87–7.21 回/分）であることが分かった。また，高加速度動作をプレーごとに分類してみると，オーバーヘッドストローク後の片脚着地が最も多く（合計：1,279 回，頻度：1.43 回/分，95% CI：1.35–1.51 回/分），次いでスプリットステップ後の切り返し（合計：1,055 回，頻度：1.18 回/分，95% CI：1.11–1.25 回/分），アンダーハンド/サイドストローク後の踏み込み（合計：1,049 回，頻度：1.17 回/分，95% CI：1.10–1.24 回/分）であった（図 2）。オーバーヘッドストローク後の片脚着地やストローク時の踏み込みはバドミントン特有の非接触型 ACL が発生しやすい動作であり（Kimura et al. 2010），本研究はこの受傷メカニズムを指示する結果となった。加速度センサを用いることで，バドミントン試合中に生じる ACL 損傷危険動作を呈しやすい選手を抽出できる可能性が示唆された。

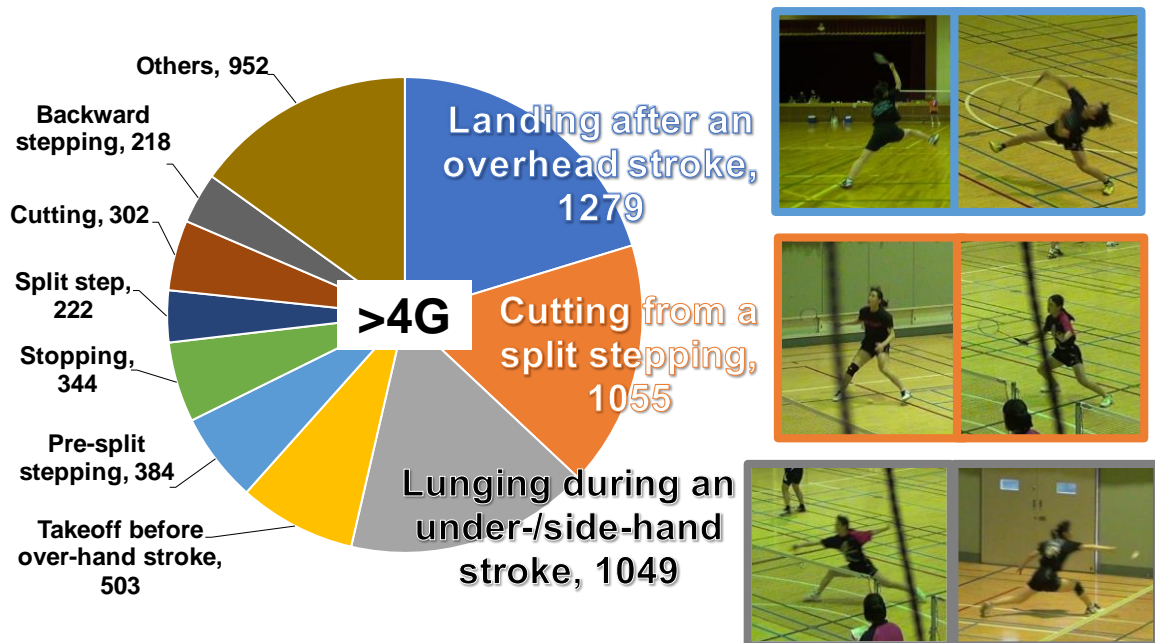


図 2. ジュニア女子バドミントンの試合における高加速度場面（合成加速度>4G）の分類

### 《研究 2》

合成加速度>4G となるオーバーヘッドストローク後の片脚着地の発生頻度は，高校生（頻度：1.71 回/分，95% CI：1.59–1.83 回/分）が中学生（頻度：1.13 回/分，95% CI：1.01–1.25 回/分）に比べて約 1.5 倍高かった。さらに，各軸の成分加速度をみてみると，高校生は中学生に比べて特に左右方向（ラケット保持側）および前後方向（ラケット反対側）の加速度が大きいことが分かった（図 3）。女子バドミントン選手における ACL 損傷は中学生から高校生にかけて急増する（Takahashi et al. 2017）ことから，本研究でみられた高加速度頻度の増加はジュニア選手における非接触型 ACL 損傷を惹起する原因になる可能性が示唆された。また，高校生では左右方向や前後方向への成分加速度が大きく，このことが膝関節へのメカニカルストレスを増大させている可能性が考えられた。

### 《研究3》

対象者 7 名における高加速度着地（合成加速度>4G，オーバーヘッドストローク後の片脚着地）の発生頻度は，test-1（ $1.25 \pm 0.72$  回/分）と test-2（ $1.33 \pm 0.67$  回/分）で統計学的な有意差を認めなかった（ $p=0.612$ ，Effect size ( $r$ )=0.19）．しかしながら，各個人における test-1 と test-2 の高加速度着地の発生頻度は強い正の相関を示し（ $r=0.817$ ， $p<0.05$ ，図 4），特に>4G となる着地頻度の変化量は体重の変化量と強い負の相関関係であった（ $r=-0.769$ ， $p<0.05$ ，図 5）．このことから，ジュニア期における試合場面の片脚着地は「個人の特異性」に依存する一方で，体格（特に体重）変化が着地特性に影響を及ぼす場合があると考えられた．

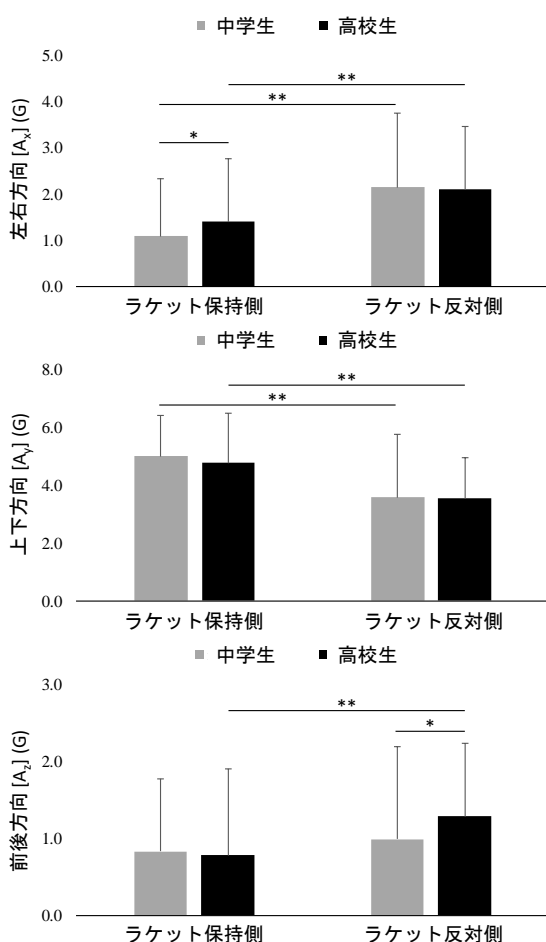


図 3. 合成加速度>4G となるオーバーヘッドストローク後の片脚着地における各軸成分加速度の年齢比較（中学生 vs 高校生）

### 参考文献

Kimura, Y., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Tsukada, H., & Toh, S. (2010). Mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in badminton. *British Journal of Sports Medicine*, 44, 1124–1127.

Leppanen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., ... Parkkari, J. (2017). Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *American Journal of Sports Medicine*, 45, 386–393.

Nagano, Y., Sasaki, S., Higashihara, A., & Ichikawa, H. (2016). Relationships between trunk and knee acceleration and the ground reaction force during single limb landing. In M. Ae, Y. Enomoto, N. Fujii, & H. Takagi (Eds.), *34th international conference on biomechanics in sports* (pp. 875–878). Tsukuba: International Society of Biomechanics in Sports.

Sasaki, S., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Maeda, S., Hayashi, Y., ... Ishibashi, Y. (2010). Change with increasing age in control of the lower limbs during jump-landing in adolescents: a 5-year prospective study. *Journal of Orthopedic Science*, 18, 774–781.

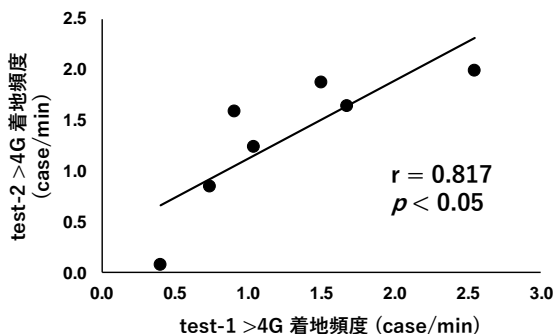


図 4. 観察期間前後（test-1, test-2）における合成加速度>4G 片脚着地頻度の関係

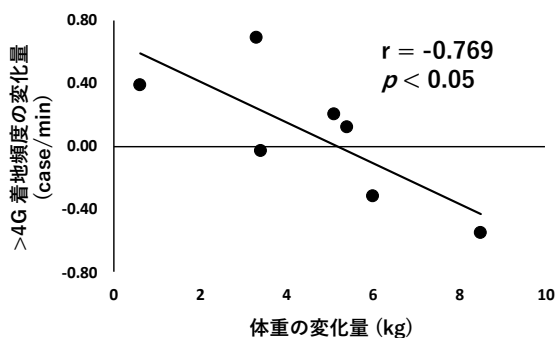


図 5. 体重変化量と合成加速度>4G 着地頻度変化量の関係

Takahashi, S., & Okuwaki, T. (2017). Epidemiological survey of anterior cruciate ligament injury in Japanese junior high school and high school athletes: Cross-sectional study. *Research in Sports Medicine*, 25, 266–276.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 笹木正悟、永野康治、市川浩	4. 巻 29 (1)
2. 論文標題 ジュニア女子バドミントン選手の片脚着地特性と発育に伴う体格変化による影響：片脚ドロップ着地テストと試合中の体幹加速度に着目した短期縦断検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本臨床スポーツ医学会誌	6. 最初と最後の頁 38-47
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 Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H	4. 巻 Online ahead of print
2. 論文標題 Differences in high trunk acceleration during single-leg landing after an overhead stroke between junior and adolescent badminton athletes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2020.1740310	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 笹木正悟、永野康治	4. 巻 4(1)
2. 論文標題 成長期アスリートにおける膝前十字靭帯損傷 - 予防に向けたアスレティックトレーニング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本アスレティックトレーニング学会誌	6. 最初と最後の頁 19-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24692/jsatj.4.1_19	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 笹木正悟、永野康治、市川浩	4. 巻 23(2)
2. 論文標題 成長期女子バドミントン選手の体幹加速度の特徴 - オーバーヘッドストローク後の片脚着地に着目して	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメカニクス研究	6. 最初と最後の頁 70-81
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 Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H.	4. 巻 36(24)
2. 論文標題 Loading differences in single-leg landing in the forehand- and backhand-side courts after an overhead stroke in badminton: A novel tri-axial accelerometer research	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Sports Sciences	6. 最初と最後の頁 2794-2801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02640414.2018.1474535	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 笹木正悟、永野康治、市川浩
2. 発表標題 中高生バドミントン選手における試合中の体幹加速度は発育に伴い変化するか？
3. 学会等名 第30回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹木正悟、永野康治
2. 発表標題 ジュニア女子バドミントン選手の衝撃緩衝および姿勢動揺特性
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹木正悟、永野康治、市川浩
2. 発表標題 ジュニア女子バドミントン選手における試合中の体幹加速度 - 初経の有無と学校区分の比較 -
3. 学会等名 第29回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H
2. 発表標題 Relationship between force attenuation during single-leg landing task and frequency of greater trunk acceleration during badminton games.
3. 学会等名 BASES Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹木正悟、島田結依、永野康治
2. 発表標題 ジュニア期のバドミントン試合中における体幹加速度と体格の関係
3. 学会等名 第72回日本体力医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sasaki S, Nagano Y.
2. 発表標題 Differences in greater trunk acceleration frequency in badminton games between high-school and junior high-school players.
3. 学会等名 2017 ASICS Sports Medicine Australia Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 笹木正悟、永野康治、市川浩、福林徹
2. 発表標題 試合中の体幹加速度を指標としたビデオ分析 - オーバーヘッドストローク後の片脚着地に着目して -
3. 学会等名 第28回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Sasaki S.
2. 発表標題 Age-specific physical load among young Japanese athletes.
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020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
連携研究者	永野 康治 (Nagano Yasuharu)  (00548282)	日本女子体育大学・体育学部・准教授  (32671)	
連携研究者	市川 浩 (Ichikawa Hiroshi)  (20375463)	新潟医療福祉大学・健康科学部・講師  (33111)	

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