

令和 4 年 9 月 3 日現在

機関番号：32428

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03559

研究課題名(和文)変形性膝関節症のリスク推定のための足部骨格構造計測システムの開発

研究課題名(英文)Development of a three-dimensional foot scanner for risk estimation of knee osteoarthritis

研究代表者

山下 和彦 (Yamashita, Kazuhiko)

東都大学・幕張ヒューマンケア学部・教授

研究者番号：00370198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,800,000円

研究成果の概要(和文)：変形性膝関節症(膝OA)は多くの中高年に発生している。膝関節に影響する因子には足部自体の衝撃吸収能や足部形状が関係するが検討されていない。そこで本研究では、1.足部骨格3D計測システムを開発し、2.足部の骨格構造と関節疾患のリスク評価を行う。3.バイオメカニクスの観点から中足部の動作の評価手法の構築を目的とした。

その結果、A.足部骨格3D計測システムを開発し、舟状骨高など10項目を評価指標に設定した。B.本システムによる中足部の衝撃吸収能評価実験を行った。C.バイオメカニクスの観点から中足部の動作を評価する手法を開発し膝OAとの関係を調べた。以上、膝OAに関連する足部骨格の特徴を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

変形性膝関節症(膝OA)は潜在的患者数を含め2780万人と推定され、40歳以上の4人に1人が該当する国民的疾患である。本研究は膝OAの予防やリスク評価に関連する技術開発であり、健康寿命の延伸に寄与できることから社会的意義が大きい。さらにスマートフォンを活用しており、幅広い人が利用できることから社会的貢献性が高い。

これまで立位や歩行におけるバイオメカニクスの解析は足首、膝、腰に加わるモーメントに着目してきた。高齢者などの現実に即した生体影響を調べるためには、足部の変形や外反母趾まで考慮する必要がある。本研究では足部の骨格構造に着目しており、新しい学術的基の基礎の構築を実現できる。

研究成果の概要(英文)：Knee osteoarthritis (knee OA) is occurring among many elderly. Factors affecting the knee joint that have not yet been examined include the shock-absorbing capacity of the foot and the shape of the foot itself. In this study, we aim to 1. develop a foot skeletal 3D evaluation system, 2. evaluate the skeletal structure of the foot and perform a risk assessment of joint diseases, and 3. construct a method of evaluating the midfoot from the viewpoint of biomechanics.

The results were that A. we developed a foot skeletal 3D measurement system, and 10 items such as navicular bone height were set as evaluation indices. B. We also carried out evaluation tests on the shock absorbance of the midfoot using this system. C. We developed a method of evaluating midfoot rotation motion from the perspective of biomechanics and investigated its relationship to knee OA. From the above, we clarified the foot skeletal characteristics related to knee OA.

研究分野：生体医工学

キーワード：足部3D骨格構造解析システム バイオメカニクス 変形性膝関節症 足部骨格

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

踵骨外反や外反母趾などの足部の問題は中高年の 6 割に発生している。足部の変形は要介護要因である転倒骨折、変形性膝関節症(膝 OA)などの関節疾患の誘発、歩行機能の低下に関連する。特に、膝 OA は日本国内に 2570 万人存在し、そのうち 31.6%が有痛性と推定される。つまり対象者の約 7 割は、膝 OA と診断される状況にありながら、痛みを感じておらず、近い将来、痛みの発生、歩行機能の低下から生活の質の低下と外出の抑制、医療費の高騰が予測される。

足部骨格の評価には、CT 撮影の精度が高い。しかし仰臥位で撮影するため、足部への荷重位での評価が行えない問題がある。レントゲンでは立位撮影が行われるが撮像角度の誤差、被爆、2 次元画像から骨の位置などを目視で評価するため定量性に欠けると報告されている。以上の理由から、これまで足部変形については詳しく解析されておらず、歩行のバイオメカニクスに影響をおよぼすにもかかわらず、学術的基礎が構築されてこなかった。

膝 OA の評価において、膝部に痛みがない状態では医療機関を受診しないことから、地域におけるスクリーニング方法を確立し、予防的方策を展開することが求められる。そこで膝 OA 高リスク者の計測システムが重要となる。

歩行のメカニズムから、床面と足底部の関係は閉鎖運動連鎖(CKC)の観点から、膝部への力の伝達に影響をおよぼす。膝 OA は歩行中の荷重や衝撃の影響が大きいことから、足部の状態は膝 OA に関係すると予想される。そこで足部骨格構造を 3 次元に計測できれば、膝 OA 発症、重症化要因を明らかにできると考える。

2. 研究の目的

本研究では、足部の骨格構造を定量的かつ簡便に計測するシステムの開発を目的とする。評価すべき足部の特徴量について解剖学と歩行のバイオメカニクスの観点から、重要な特徴とし(1)中足部の回内、(2)前足部の構造に着目し、評価指標を構築する。

さらに、本システムを用いてフィールドテストを行い、システムと評価指標の有用性を示し、足部の形状が膝 OA におよぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は以下の方法で実施した。

(1)足部骨格構造計測システムの開発

本システムは、利用者が専門的知識を必要とせず、安価、定量的かつ誰でもどこでも利用できるように開発を行った。本システムの構成について述べる。ハードウェアはスマートフォン等のスマートデバイスを利用した。こうすることで広く普及したデバイスを利用できる。

ソフトウェアは以下の観点から独自に開発した。a.足部外観取得部、b.特徴量を定量的に評価する解析部、c.フィードバック部で構成した。本システムは Structure from motion(SFM)を用い、取得した画像から 3 次元再構成した。ワイヤフレームだけではなく、皮膚の情報も取得した。このことで足部表面の特徴を幅広い観点から分析可能となった。

(2)足部の特徴量抽出

膝 OA を含め関節疾患のリスク推定に有効な足部の特徴量を検討した。さらに中足部の回内に着目し、中足部回転モーメントを導出する方法を検討した。中足部は舟状骨が注目され、高さが計測されている。しかし、歩行や立位時の荷重、非荷重位の中足部の動作は上下運動ではなく、回転運動で動作している。すなわち、中足部の新しい解析方法が求められる。

(3)大規模フィールドテストの実施

実験対象者は 989 名(63.8 ± 11.5 歳, 39 ~ 89 歳)である。本対象者の国保・後期高齢者医療費のレセプトを解析し、膝 OA の有無を評価する。レセプト分析のプログラムは自作した。

フィールドテストでの計測項目は、足部骨格構造、下肢筋力、体重、身長、体組成とした。体重と身長から BMI を算出した。

4. 研究成果

(1)足部骨格構造計測システムの開発

図 1 に足部骨格構造計測システムの計測の外観と解析結果を示した。本システムでは 1 mm のメッシュにて画像の再構成を行った。その結果、実測に対する距離の精度は 1.7 mm、角度は 0.1° であることがわかった。これは足部の構造解析を行う上で十分な精度だと考えている。

本システムは、スマートデバイスで

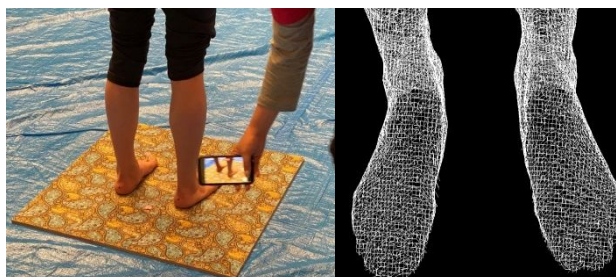
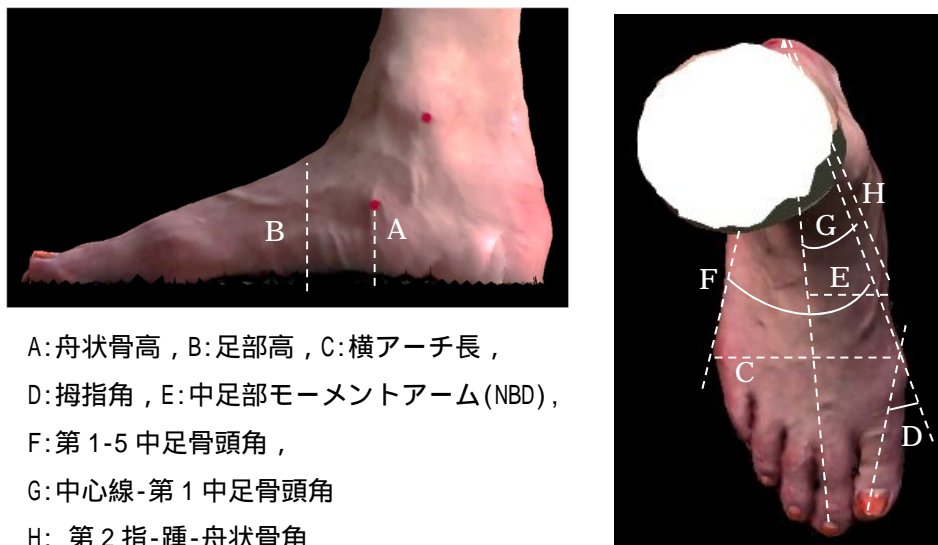


図 1 計測の外観と解析後のメッシュデータ

撮影したデータをクラウドにアップロードすることで解析が行われるよう構成した。

(2)足部の特徴量抽出

図 2 に本研究で足部骨格の特徴点の一例を示した。これらの評価項目は、足部の骨格の荷重位、非荷重位の変化を計測できるように決定した。特に、舟状骨の高さと横方向の距離、横アーチの幅と高さ、足部の骨格のずれ(ABD)に注目している。



- A: 舟状骨高, B: 足部高, C: 横アーチ長,
- D: 拇指角, E: 中足部モーメントアーム(NBD),
- F: 第 1-5 中足骨頭角,
- G: 中心線-第 1 中足骨頭角
- H: 第 2 指-踵-舟状骨角

図 2 足部の特徴点の評価指標の一例

(3)本システムの有用性の確認のための大規模フィールドテスト

表 1 には研究結果の一例として 6 点の足部の特徴点の加齢変化を性別に示した。この結果より、男性では足部の骨格は加齢による変化は確認されなかった。一方、女性では、足部高と ABD を除くすべての項目で加齢変化が確認された。すなわち、舟状骨高は 75 歳以上で有意に低下し、横アーチ長は 75 歳以上で大きくなるとともに高さが低下した。外反母趾に関連する拇指角に相当する指標は、加齢とともに増加し、外反母趾傾向が進んでいることが明らかになった。

男性は女性に比べ筋力が大きく、履物の影響が女性より少ない。そのため、女性では足部の骨格構造の変化が大きくなることが推察された。特に、舟状骨高の低下は、足部の扁平化につながり、歩行機能や膝 OA を増加させる因子だと予測される。

a. 男性

表 1 足部骨格の特徴量の加齢変化

	全体	40-64歳	65-74歳	75歳以上	p値
足部高	29.2 ± 2.5	29.4 ± 2.6	28.8 ± 2.3	29.5 ± 2.9	p=0.39
舟状骨高	19.5 ± 2.4	19.5 ± 2.4	19.5 ± 2.3	19.6 ± 2.6	p=0.98
横アーチ長	41.2 ± 2.0	40.8 ± 2.0	41.4 ± 2.1	41.5 ± 1.7	p=0.22
横アーチ高	16.2 ± 1.3	16.1 ± 1.4	16.1 ± 1.1	16.5 ± 1.5	p=0.26
拇指角	33.0 ± 6.1	32.6 ± 5.6	33.5 ± 6.0	32.6 ± 7.2	p=0.65
ABD	4.18 ± 2.53	4.37 ± 2.57	3.99 ± 2.45	4.31 ± 2.67	p=0.69
BMI	24.0 ± 3.2	25.1 ± 3.9	23.4 ± 2.8	23.8 ± 2.6	p<0.02

b. 女性

	全体	40-64歳	65-74歳	75歳以上	p値
足部高	28.3 ± 2.5	28.4 ± 2.5	28.3 ± 2.5	27.6 ± 2.6	p=0.17
舟状骨高	18.0 ± 2.6	18.2 ± 2.4	18.3 ± 2.5	16.9 ± 3.0	p<0.01
横アーチ長	42.0 ± 2.5	41.4 ± 2.3	42.3 ± 2.7	42.7 ± 2.0	p<0.01
横アーチ高	15.9 ± 1.4	16.0 ± 1.5	16.0 ± 1.3	15.3 ± 1.3	p<0.01
拇指角	35.9 ± 6.6	34.5 ± 5.5	36.1 ± 6.8	39.3 ± 7.4	p<0.001
ABD	4.47 ± 3.05	4.46 ± 2.79	4.43 ± 3.25	4.61 ± 3.31	p=0.95
BMI	23.1 ± 3.7	23.3 ± 4.1	23.1 ± 3.5	23.1 ± 3.7	p=0.40

表 2 には性別に足部の特徴量の相関を示した。どちらも拇指角と第 2 指-踵-舟状骨角度が相関係数 0.5 以上、横アーチ長が 0.46 以上と高いことがわかった。さらに足部の骨格のずれを表す ABD は第 2 指-踵-舟状骨角度と高い相関があった。

表 2 足部の特徴量の相関係数

	1	2	3	4	5	6
1 拇指角	1					
2 ABD	0.34**	1				
3 第2指-踵-舟状骨角度	0.56**	0.49**	1			
4 足部高	-0.23**	-0.33**	-0.13	1		
5 舟状骨高	-0.30**	-0.39**	-0.30**	0.65**	1	
6 横アーチ長	0.46**	-0.05	0.16*	0.1	-0.02	1

	1	2	3	4	5	6
1 拇指角	1					
2 ABD	0.26**	1				
3 第2指-踵-舟状骨角度	0.51**	0.40**	1			
4 足部高	-0.04	-0.34**	-0.02	1		
5 舟状骨高	-0.17**	-0.34**	-0.22**	0.49**	1	
6 横アーチ長	0.51**	-0.05	0.21**	0.20**	0.02	1

図 3 には膝 OA に加えて、膝に痛みがある対象者(膝 OA 群)と非該当(コントロール群)の足部の特徴量を示した。ABD は左右ともに膝 OA 群はコントロール群よりも 1.2~1.3 倍大きかった。すなわち、膝 OA 群は足部全体が内側に歪み、回内状態にあることがわかった。さらに舟状骨の横方向のずれである NBD は左右ともに膝 OA 群の方が大きかった。

図 4 には膝 OA 群とコントロール群の ABD と中足部回転モーメントの関係を示した。中足部回転モーメントは NBD と体重の関係から導出される。先行研究では膝 OA には体重が関係することを報告している。本研究から膝 OA を誘発する要因として、舟状骨高の低下と回内が推察された。低下と回内を分けているのは舟状骨が低下するベクトルが異なることを意味する。そして舟状骨の回内が大きい、すなわち、NBD が大きく、ABD が大きいことで中足部のショックアブソーバ機能を低下させ、膝への負担を増加させることが推察された。

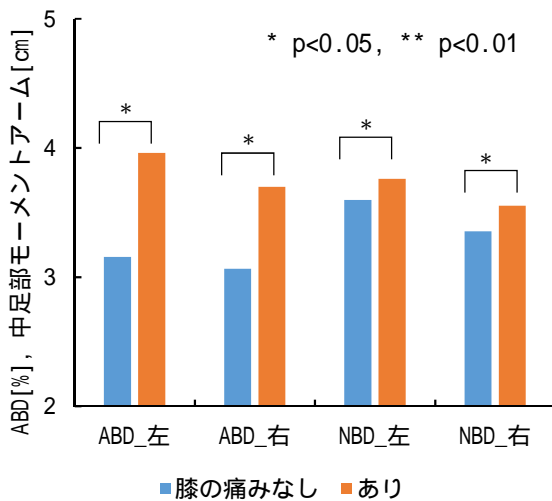


図 3 膝の痛みによる中足部の特性(女性)

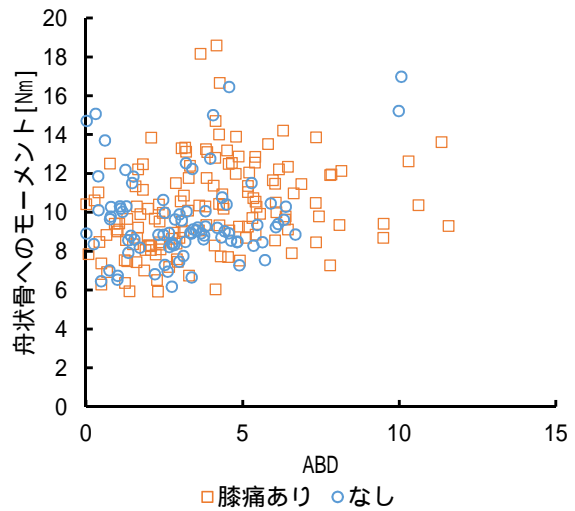


図 4 膝の痛みによる骨格のずれと中足部の回転モーメント

以上より本研究では、スマートフォンなどのスマートデバイスを用いることでデバイスラグなく、簡便かつ定量的に足部の骨格構造を計測できることを明らかにした。そして本研究で開発した足部の特徴量を評価する指標は、先行研究で足部のレントゲンデータから骨格構造を評価する要素を含めた。そのため、膝 OA 以外にも足関節疾患や膝関節における大腿骨の長軸と脛骨の長軸のなす角度(FTA 角)、膝の向き、踵の内外反角につながる指標を同時に計測できる可能性がある。そして中足部の回転モーメントなど従来では検討されなかった新しい足部の評価指標を構築できた。

これらの指標を総合的に評価することで歩行機能への影響や要介護リスクを評価できる可能性があると考えている。超高齢社会が進行する日本において、要介護対策は急務であり、地域で大規模に利用することを想定している本システムが有効に活用できることを期待している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamashita T, Yamashita K, Sato M, Takase Y	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of walking on depression prevalence for diabetes using information communication technology: Prospective study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geriatrics & Gerontology International	6. 最初と最後の頁 1147-1152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ggi.13787. Epub 2019 Oct 24	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 Yamashita K, Yamashita T, Sato M, Kawasumi M, Takase Y	4. 巻 2019
2. 論文標題 Development of a quantitative measurement system for three-dimensional analysis of foot morphology using a smartphone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	6. 最初と最後の頁 3171-3174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2019.8857209	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 Yamashita T, Yamashita K, Takase Y	4. 巻 2019
2. 論文標題 Foot care to improve physical function and prevent falling of frail elderly adults with and without dementia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	6. 最初と最後の頁 321-324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2019.8857767	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 Tomoko Yamashita, Kazuhiko Yamashita, Chugo Rinoie, Yoshimasa Takase, Mitsuru Sato, Kenji Yamada, Yoshiki Sawa	4. 巻 19
2. 論文標題 Improvements in lower-limb muscle strength and foot pressure distribution with foot care in frail elderly adults: a randomized controlled trial from Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BMC Geriatrics	6. 最初と最後の頁 open access
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12877-019-1097-z.	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 Kazuhiko Yamashita, Tomoko Yamashita, Mitsuru Sato, Masahiro Inoue, Yoshimasa Takase	4. 巻 9
2. 論文標題 The Effects of an 18-Month Walking Habit Intervention on Reducing the Medical Costs of Diabetes, Hypertension, and Hyperlipidemia -Prospective Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 117-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.9.117	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 Tomoko Yamashita, Kazuhiko Yamashita, Mitsuru Sato, Masashi Kawasumi, Shingo Ata	4. 巻 95
2. 論文標題 Foot-surface-structure analysis using a smartphone-based 3D foot scanner	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Engineering & Physics	6. 最初と最後の頁 90-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.medengphy.2021.08.001	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15件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦, 阿多信吾
2. 発表標題 健康長寿社会実現のためのICTを用いた中高年の歩数に着目した活動支援の大規模追跡研究
3. 学会等名 第23回情報処理学会高齢社会デザイン研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下和彦, 山下知子
2. 発表標題 中高年の外反母趾リスク推定のための足部形状3D計測システムの開発
3. 学会等名 第14回ITヘルスケア学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦, 花之内健仁, 阿多信吾
2. 発表標題 ICTを用いた歩数モニタリングによる中高年の活動・身体機能への影響
3. 学会等名 第14回ITヘルスケア学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦
2. 発表標題 COVID-19流行による地域在住認知症高齢者の歩数の変化
3. 学会等名 日本生体医工学会 BME on Dementia研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦, 阿多信吾
2. 発表標題 中高年の変形性膝関節症予防のためのスマートフォンを用いた足部の骨格構造3D計測システムの開発
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦, 阿多信吾
2. 発表標題 足部3D計測システムと足底圧分布計測による足部骨格の比較
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下和彦
2. 発表標題 高齢者の認知症対策に向けた歩行支援システムの開発と足部ケアの重要性
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下知子，山下和彦，原晋介
2. 発表標題 スマートフォンを用いた中高年の足部の解剖学的評価システムの開発
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下知子，山下和彦，原晋介
2. 発表標題 中高年の足部の定量的評価システムの開発
3. 学会等名 第16回日本整形靴技術協会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下和彦
2. 発表標題 高齢者の歩行支援のための身体機能計測～認知症支援に向けた医工学の活用～
3. 学会等名 日本早期認知症学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下知子, 山下和彦
2. 発表標題 中高年者の変形性膝関節症予防のための足部の形状評価システムの開発
3. 学会等名 第12回ITヘルスケア学会学術大会
4. 発表年 2018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	佐藤 満 (Mitsuru Sato) (10300047)	昭和大学・保健医療学部・教授 (32622)	
研究分担者	滝沢 茂男 (Shigeo Takizawa) (10451204)	バイオフィリア研究所有限会社・その他部局等・教授(移行) (92710)	
研究分担者	李家 中豪 (Chugo Rinoie) (80815001)	大阪大学・医学系研究科・招へい教員 (14401)	削除：2019年1月22日

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