

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02571

研究課題名（和文）ヒトの熱産生能力多様化の進化基盤の解明

研究課題名（英文）Genetic basis for the variation of thermogenesis in humans

研究代表者

中山 一大（Nakayama, Kazuhiro）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：90433581

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：ヒトの体にはエネルギーを熱に変換する機能が備わっている。その機能は外界の温度変化、感染症や飢餓などといった様々なストレスへの応答と密接に関わっている。さらに、ヒトの熱産生能力には大きな個人差・集団差が存在することが明らかになりつつある。本課題では、このヒトの熱産生能力の個人差が生じた進化的な背景を明らかにすることを最終的な目標として、代表的な熱産生器官である褐色脂肪組織の活性の個人差に関わるゲノム領域の同定を試み、複数の手法で褐色脂肪組織活性を測定した一般成人のゲノム試料を収集した。それを用いた一連の解析から、熱産生多様性に関わる新規の遺伝子座を世界に先駆けて同定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、これまで謎に包まれていた褐色脂肪組織活性の個人差に寄与する遺伝子の一部が明らかにすることに成功した。さらにこれらの遺伝子の進化パターン等の解析から、ヒトの進化において寒冷、飢餓、感染症等のストレスへの多面的な適応が共通の熱産生遺伝子によって制御されている可能性が明るみになった。褐色脂肪組織による熱産生は、全身のエネルギー代謝を亢進することで肥満や2型糖尿病に抵抗的にはたらくことが期待されている。したがって、これらの成果は、ヒトの適応進化史の解明のみならず、各種生活習慣病の新たな予防・治療戦略の創出にも寄与できるだろう。

研究成果の概要（英文）：The human body has the ability to convert energy into heat. This function is closely related to the response to various stresses, such as changes in external temperature, infection, and starvation. Furthermore, it is becoming clear that there are large individual and group differences in human heat production capacity. With the ultimate goal of clarifying the evolutionary background of individual differences in human heat production capacity, this project attempted to identify genomic regions involved in individual differences in the activity of brown adipose tissue, a representative heat-producing organ, and collected genomic samples from adults whose brown adipose tissue activity was measured using multiple methods. From a series of analyses using these samples, we succeeded in identifying a novel gene locus involved in heat-producing diversity, ahead of any other researchers in the world.

研究分野：人類学

キーワード：熱産生 褐色脂肪組織 ヒト 寒冷適応 飢餓適応

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトは他の霊長類同様に、比較的気温が高い環境に適応してきた種である。ヒトが地球上のあらゆる地域に拡散することができた理由の一つに、高緯度地域の寒冷環境に適応できたことが挙げられる。東アジア人で一般的なずんぐりとした体型や平坦な顔貌などは、寒冷適応形質であると考えられてきた。しかし、これらが実際に適応的であるどうかの遺伝学的・生理学的検証は十分になされていなかった。一方、ヒトゲノム情報の理解に伴い、高緯度のヒト集団で見出される自然選択の痕跡も報告されているが、やはり寒冷適応への寄与は実験的に検証されてなかった。寒冷適応の本質は低温環境での体温の維持である。前出のずんぐり体型は、体温の放散を防ぐ遮断型の適応の一つと解釈できる。一方で、熱を産生することで体温低下を防ぐ産熱型の適応も極めて重要である。近年、この熱産生の担い手として、褐色脂肪組織(以下、褐色脂肪)に注目が集まっている。褐色脂肪は肩部や脊椎周辺に存在する特殊な脂肪細胞で、ミトコンドリアを多く含み、脂質の酸化エネルギーを熱に変換する。かつて、ヒトの褐色脂肪は新生児期のみ活動していると考えられていたが、申請者らの研究により、成人の体温維持にも寄与していること、さらに、集団間・個人間でその熱産生能力に大きな差あることが明らかになった。さらに、褐色脂肪は低温への適応以外にも、ヒトの拡散過程で起きたであろう様々なイベントと密接に関連している可能性が近年になって浮上してきた。病原体感染の際の防御的な発熱反応も褐色脂肪が担っている。さらに、げっ歯類を用いた実験から、「戦うか逃げるか」反応における体温上昇にも関与していることが報告されている。また、褐色脂肪の熱産生は飢餓状態で抑制され、節約的な振る舞いを示すことも報告されている。東アジア人集団での褐色脂肪活性の個人差は、低温への適応に加えて、病原体への抵抗性、社会構造の変化に伴う行動様式・摂取カロリー量の変化(例:狩猟採取から農耕へ移行したことによる活動レベルの低下と、人口の稠密化による飢餓の発生)が複雑に絡みあった選択圧のもと形成されてきたものと考えられる

### 2. 研究の目的

全ゲノムレベルでの多様性情報に基づく進化遺伝学解析、熱産生装置である褐色脂肪の活性と、それに関わる各種形質の遺伝解析を通して、東アジア人の熱産生能力の多様化の進化的意義を発見することを目的とした

### 3. 研究の方法

主に日本人成人を対象に、寒冷曝露後の褐色脂肪組織活性の測定およびゲノム DNA の収集を実施した。コホート 1 として、北海道札幌市近辺に在住している者を中心に、FDG-PET/CT による測定を行った。これらの参加者については、口腔粘膜試料から抽出したゲノム DNA をもちいて Axiom Japonica アレイジェノタイピングとコンピューター上のインピュテーションを組み合わせた方法により全ゲノムレベルの短い塩基多様性(例、一塩基多型や小規模な indel 多型など)の遺伝型情報を収集した。期間中に 399 名分の表現型・遺伝型情報を得た。コホート 2 として、関東近辺に在住の日本人、中国人、韓国人成人男女計 123 名を対象に、赤外線カメラ(Teledyne Flier)による測定を実施した。ゲノム DNA は唾液試料をもとに調製した。また、それぞれの集団で、生活習慣等に関するアンケート、身体測定、血液生化学検査、鼓膜温測定、ポータブル呼吸ガス分析装置による代謝測定等を実施した。さらに、寒冷曝露化における全身の生理反応への影響を評価するべく、日本人男性成人を対象とした人工気候実験室による生理測定実験を実施した。褐色脂肪組織機能への関与が細胞・動物実験、集団遺伝学解析等の証拠から報告されているいくつかの遺伝子について、一塩基多型(SNP)を指標とした関連解析を実施した。関連解析には TaqMan 法を用いた。また一部の試料については Axiom Japonica genotyping array を用いたゲノムワイド SNP 遺伝型判定およびスーパーコンピューター上でのインピュテーションを実施し、全ゲノムレベルでの多型情報を取得し、予備的なゲノムワイド関連解析を実施した。さらに、いくつかの興味のある領域に対してハプロタイプホモ接合度を指標とした自然選択の検出解析を実施した。

### 4. 研究成果

集団 1 の解析から、褐色脂肪組織活性には従来知られていたような大きな個人差があることが確認された。さらに、加齢による褐色脂肪組織活性の低下は男性では大きい、女性では有意ではないことが明らかになった。また、集団 2 の解析からは、中国人と比較して日本人は寒冷曝露の褐色脂肪組織活性が低いことが明らかになった。先行研究からヨーロッパ人と比較して日本人の褐色脂肪組織活性が低いことはすでに報告されてきたが、遺伝的に比較的近縁な東アジア人同士でも、地域差があることは大変興味深い発見である。

上のゲノム試料を利用して、いくつかの有望な候補遺伝子について一塩基多型(SNP)を指標とした関連解析を実施した。その中でも、 $\beta$ 2 アドレナリン受容体遺伝子の機能的 SNP の一つが褐色脂肪活性に強い影響を及ぼしていることを発見した。この関連はそれぞれ異なる手法で褐色脂肪組織活性を測定した 2 つの集団で確認された。また、高い褐色脂肪組織活性と結びついた

対立遺伝子の保有者は、寒冷曝露化でのより高いエネルギー消費量を示すこと、深部体温の低下の程度が小さいことなど、褐色脂肪組織の熱産生に影響を与えることで全身の体温調整に関わっていることが明らかになった。褐色脂肪組織の熱産生は、各種ストレスで誘導される交感神経からのノルアドレナリン分泌によって強力に活性化することが知られている。おもにげっ歯類を対象とした研究から、 $\beta_3$  アドレナリン受容体が褐色脂肪組織における交感神経刺激の主要な受容体であると認知されていたが、ヒトでは  $\beta_3$  アドレナリン受容体の選択的アゴニストが褐色脂肪組織を活性化する効率が著しく低いことから、他のサブタイプの関与が示唆されていた。したがって、この発見は、 $\beta_2$  アドレナリン受容体がヒトの褐色脂肪組織の熱産生制御に重要な役割をはたしていることを支持する強力な証拠である。また、この  $\beta_2$  アドレナリン受容体は、オセアニアのヒト集団でネアンデルタール人からの遺伝子流入の痕跡を残しており、かつこの地域での肥満感受性との関連が報告されている遺伝子の一つであること、褐色脂肪組織以外の多様な器官組織で発現して、様々な生理現象の制御にも関わっていることから、寒冷ストレスだけではなく、飢餓や感染症ストレスへの反応を統合的に制御している可能性が示唆されている。さらにこれまでの集団遺伝学研究から、グリーンランドのイヌイットや高緯度ユーラシアのヒト集団で寒冷適応に関係した正の自然選択を受けた可能性が報告されているいくつかの SNP についても調査したところ、レプチン受容体遺伝子の SNP では示唆的な関連が認められるも、概ねすべての SNP が褐色脂肪活性とは強く関連していないことが明らかになった。調査した SNP には、グリーンランドイヌイットの寒冷適応進化の候補遺伝子として有力視されていた TBX15-WARS 2 遺伝子領域上のもも含まれており、この成果は、集団遺伝学証拠のみに基づいてヒトの寒冷適応進化を議論することには注意が必要であることを改めて支持する結果となった。一方で、摂食抑制およびエネルギー消費亢進をになうレプチン受容遺伝子には、褐色脂肪組織活性以外にも血中脂質量や血糖値等との関連も認められ、この遺伝子が飢餓適応と寒冷適応を統合的に制御している可能性が示唆された。また、一部の試料を用いた予備的なゲノムワイド関連解析では、一番染色体上短腕、11番染色体、12番染色体に有意水準を超える関連を示す SNP を発見しており、このうち一番染色体のものは東アジア人での選択的一掃の痕跡がこの領域の近傍に存在しており、この地域での寒冷適応進化とつよい結びつきがあることが示唆された。東アジア地域における熱産生能力多様性の進化基盤を理解を更に深化させるため、今ここの成果をさらに発展させる予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Kwon Jungin, Yeh Yu-Sheng, Kawarasaki Satoko, Minamino Hiroto, Fujita Yoshihito, Okamatsu-Ogura Yuko, Takahashi Haruya, Nomura Wataru, Matsumura Shigenobu, Yu Rina, Kimura Kazuhiro, Saito Masayuki, Inagaki Nobuya, Inoue Kazuo, Kawada Teruo, Goto Tsuyoshi	4. 巻 26
2. 論文標題 Mevalonate biosynthesis pathway regulates the development and survival of brown adipocytes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 106161 ~ 106161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2023.106161	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 該当する

1. 著者名 Saito Masayuki, Okamatsu-Ogura Yuko	4. 巻 41
2. 論文標題 Thermogenic Brown Fat in Humans: Implications in Energy Homeostasis, Obesity and Metabolic Disorders	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The World Journal of Men's Health	6. 最初と最後の頁 489 ~ 489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5534/wjmh.220224	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 Nishimura Takayuki, Motoi Midori, Toyoshima Hideo, Kishida Fumi, Shin Sora, Katsumura Takafumi, Nakayama Kazuhiro, Oota Hiroki, Higuchi Shigekazu, Watanuki Shigeki, Maeda Takafumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Endocrine, inflammatory and immune responses and individual differences in acute hypobaric hypoxia in lowlanders	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-39894-w	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 Xia Tian, Nakayama Kazuhiro	4. 巻 42
2. 論文標題 Signatures of adaptation in myopia-related genes on the sunlight exposure hypothesis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-023-00341-4	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 Ishida Yuka, Matsushita Mami, Yoneshiro Takeshi, Saito Masayuki, Fuse Sayuri, Hamaoka Takafumi, Kuroiwa Miyuki, Tanaka Riki, Kurosawa Yuko, Nishimura Takayuki, Motoi Midori, Maeda Takafumi, Nakayama Kazuhiro	4. 巻 AOP
2. 論文標題 Genetic evidence for involvement of 2-adrenergic receptor in brown adipose tissue thermogenesis in humans	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Obesity	6. 最初と最後の頁 AOP
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41366-024-01522-6	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 Niwa Sakurako, Kawabata Terue, Shoji Kumiko, Ogata Hiromitsu, Kagawa Yasuo, Nakayama Kazuhiro, Yanagisawa Yoshiko, Iwamoto Sadahiko, Tatsuta Nozomi, Asato Kaname, Arima Takahiro, Yaegashi Nobuo, Nakai Kunihiko	4. 巻 14
2. 論文標題 Investigation of Maternal Diet and FADS1 Polymorphism Associated with Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Compositions in Human Milk	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 2160 ~ 2160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu14102160	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 Inaba Yuta, Iwamoto Sadahiko, Nakayama Kazuhiro	4. 巻 41
2. 論文標題 Genome-wide DNA methylation status of Mongolians exhibits signs of cellular stress response related to their nomadic lifestyle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-022-00305-0	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 該当する

1. 著者名 Oo Swe Mar, Oo Hein Ko, Takayama Hiroaki, Ishii Kiyo-aki, Takeshita Yumie, Goto Hisanori, Nakano Yujiro, Kohno Susumu, Takahashi Chiaki, Nakamura Hiroyuki, Saito Yoshiro, Matsushita Mami, Okamatsu-Ogura Yuko, Saito Masayuki, Takamura Toshinari	4. 巻 38
2. 論文標題 Selenoprotein P-mediated reductive stress impairs cold-induced thermogenesis in brown fat	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cell Reports	6. 最初と最後の頁 110566 ~ 110566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.celrep.2022.110566	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 該当する

1. 著者名 Aita Sayuri, Matsushita Mami, Yoneshiro Takeshi, Hatano Takuya, Kameya Toshimitsu, Ohkubo Iwao, Saito Masayuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Brown fat-associated postprandial thermogenesis in humans: Different effects of isocaloric meals rich in carbohydrate, fat, and protein	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Nutrition	6. 最初と最後の頁 1040444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnut.2022.1040444	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 Nishimura Takayuki, Arima Hiroaki, Koirala Sweta, Ito Hiromu, Yamamoto Taro	4. 巻 41
2. 論文標題 Individual variations and sex differences in hemodynamics and percutaneous arterial oxygen saturation (SpO2) in Tibetan highlanders of Tsarang in the Mustang district of Nepal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-022-00282-4	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 該当する

1. 著者名 Watanabe Kazuhisa, Nakayama Kazuhiro, Ohta Satoshi, Matsumoto Ayumi, Tsuda Hidetoshi, Iwamoto Sadahiko	4. 巻 11
2. 論文標題 ILDR2 stabilization is regulated by its interaction with GRP78	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-87884-7	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 YONESHIRO Takeshi, MATSUSHITA Mami, SUGITA Jun, AITA Sayuri, KAMEYA Toshimitsu, SUGIE Hiroki, SAITO Masayuki	4. 巻 67
2. 論文標題 Prolonged Treatment with Grains of Paradise (Aframomum melegueta) Extract Recruits Adaptive Thermogenesis and Reduces Body Fat in Humans with Low Brown Fat Activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nutritional Science and Vitaminology	6. 最初と最後の頁 99 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3177/jnsv.67.99	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 Matsushita Mami, Nirengi Shinsuke, Hibi Masanobu, Wakabayashi Hitoshi, Lee Sang-il, Domichi Masayuki, Sakane Naoki, Saito Masayuki	4. 巻 45
2. 論文標題 Diurnal variations of brown fat thermogenesis and fat oxidation in humans	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Obesity	6. 最初と最後の頁 2499 ~ 2505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41366-021-00927-x	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 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 石田悠華、松下真美、米代武司、斉藤昌之、中山一大
2. 発表標題 寒冷地域で自然選択を受けた遺伝子多型の褐色脂肪組織活性への影響の検証
3. 学会等名 第44回日本肥満学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tian Xia, Kazuhiro Nakayama
2. 発表標題 Decomposing polygenic adaptation of myopia on the sunlight exposure hypothesis
3. 学会等名 75th Annual Meeting of American Society of Human Genetics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田悠華、松下真美、米代武司、斉藤昌之、布施沙由理、浜岡隆文、西村貴孝、本井碧、前田享史、中山一 大
2. 発表標題 2-AR、3-ARおよびUCP1遺伝子多型がヒトの褐色脂肪組織活性に及ぼす影響
3. 学会等名 第43回日本肥満学会 第40回日本肥満症治療学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田悠華、松下真美、米代武司、斉藤昌之、中山一大
2. 発表標題 褐色脂肪組織活性を指標とした寒冷適応候補遺伝子多型の機能評価
3. 学会等名 第77回日本人類学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tian Xia, Kazuhiro Nakayama
2. 発表標題 The adaptive origins of the genetic basis of nearsightedness
3. 学会等名 第77回日本人類学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuka Ishida, Mami Matsushita, Takeshi Yoneshiro, Masayuki Saito, Kazuhiro Nakayama
2. 発表標題 Are genes under positive selection in high latitudes associated with brown adipose tissue activity in East Asians and contributing to cold adaptation?
3. 学会等名 16th International Congress of Physiological Anthropology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田悠華
2. 発表標題 褐色脂肪組織活性の多様性に関する遺伝子多型の探索 東アジア人の寒冷適応進化の解明に向けて
3. 学会等名 日本生理人類学会大会第84回大会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 中山一大
2. 発表標題 熱産生能力の遺伝的多様性と寒冷適応
3. 学会等名 第77回日本人類学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田悠華、松下真美、米代武司、斉藤昌之、布施沙由理、浜岡隆文、西村貴孝、本井碧、前田享史、中山一大
2. 発表標題 ヒトの褐色脂肪組織活性と体温の維持にはADRB2遺伝子が関与する
3. 学会等名 第76回日本人類学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tian Xia, Kazuhiro Nakayama
2. 発表標題 Detection of adaptation to light environment in myopia-associated loci in humans
3. 学会等名 第76回日本人類学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田悠華、松下真美、米代武司、斉藤昌之、布施沙由理、浜岡隆文、西村貴孝、本井碧、前田享史、中山一大
2. 発表標題 2-AR、 3-AR およびUCP1 遺伝子多型がヒトの褐色脂肪組織活性に 及ぼす影響
3. 学会等名 第43回日本肥満学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakayama K
2. 発表標題 Recent advances in understanding human genetic adaptation to cold environments.
3. 学会等名 The 2nd Asia-Evo Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山一大
2. 発表標題 牧畜民における食への遺伝的適応
3. 学会等名 第75回日本人類学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山一大
2. 発表標題 病気へのかかりやすさと環境適応
3. 学会等名 第75回日本人類学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山一大
2. 発表標題 ヒトの環境適応と生活習慣病
3. 学会等名 第15回日本がん検診・診断学会習熟講習会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 米代武司	4. 発行年 2024年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 284
3. 書名 褐色脂肪組織	

〔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	斉藤 昌之  (Saito Masayuki)  (80036441)	北海道大学・獣医学研究院・名誉教授   (10101)	
研究 分担者	西村 貴孝  (Nishimura Takayuki)  (80713148)	九州大学・芸術工学研究院・講師   (17102)	

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