

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2018～2020
課題番号：18H02295
研究課題名(和文) 灌漑用水配分のための人工知能に基づく対話型意思決定支援システムの開発と実地試験

研究課題名(英文) Development and application of interactive decision support system based on Artificial Intelligence for allocation of irrigation water

研究代表者
加藤 亮 (KATO, Tasuku)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：10302332
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、a)水収支・作物生産予測サブモデルの開発・検証、b)農家間の水配分の「行動」と「報酬」に基づくエージェントベースモデルによるシミュレーション、c)水管理者向けの対話型意思決定支援システムの開発と社会実装に向けた小規模地区での実証試験、を目的として研究を進めてきた。a)については、ドローンを使った米生産予測システムや節水灌漑による生産予測システムを構築した。b)については、エージェントベースモデルを開発し水配分のメカニズムを明らかにした。c)については、コロナ禍のため現地実証試験には至らなかったが、日本の事例を含め、インドネシア、カンボジアでの事例研究を実施することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、近年の農業のITおよびAI技術をASEANの水田地帯に適用することを念頭におき、渇水や洪水といった制約条件を明らかにしながら、節水灌漑や適正な水配分技術に対するICTとAI技術の開発を進めてきた。コロナ禍のため、最終年度に渡航できず、社会実装については遅れてしまったが、多様な技術開発面については十分に果たすことができた。今後、現地の農業者や住民、および行政担当者と連携を取り、開発した技術について社会実装を進めていく。これにより、持続的かつレジリエンスの高い水田農業が可能になることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this research are: a) to develop and validate a sub-model for predicting water balance and crop production, b) to simulate water allocation among farmers using an agent-based model based on "behavior" and "reward," and c) to develop an interactive decision support system for water managers and to conduct a demonstration test in a small-scale district for social implementation.

For a), we developed a drone based rice production forecasting system and a water-saving irrigation production forecasting system. b), we developed an agent-based model and clarified the mechanism of water allocation. c), although we were not able to conduct a field demonstration due to COVID19, we have conducted research in Indonesia and Cambodia, and Japan.

研究分野：農業水利

キーワード：水配分 節水灌漑 エージェントベースモデル リモートセンシング 水収支 収量予測 SWATモデル

1. 研究開始当初の背景

世界的には人口は増加しており、2050年までに90億人を超えると予測されている (Fig.1)。特に増加率の高いアジアとアフリカで、コメは主食であり、人口増加を支える重要な作物である。

「How to feed the world in 2050」(FAO, 2009) や、日本の農林水産省が発表した「2050年における世界の食料需給の見通し」(農林水産省, 2012) では、食料生産を1.55~1.7倍以上引き上げる必要があることが指摘されている。特に、途上国では人口増加や経済発展により、食料需要が約2倍に増大すると見込まれる。

コメ生産増加のためには、雨季と乾季のあるアジアの熱帯モンスーン地域においては、乾季の生産向上が期待されている。乾季の作付面積を向上させるためには、新規の水資源開発が厳しい近年では、水不足から耕作不能な水田に、水管理者が少ない水資源をどのように配分するかが重要である。

水管理者が農家ごとの水利用調整を行う際、自然条件だけでなく、技術的条件や、水不足への不安や農家間の力関係などの社会心理条件も考慮する必要がある。そして、それらの条件は相互に影響を与えながら常に変化しており、水管理者は安定的な水供給に対して信頼性のある情報から水配分を行わねばならない。

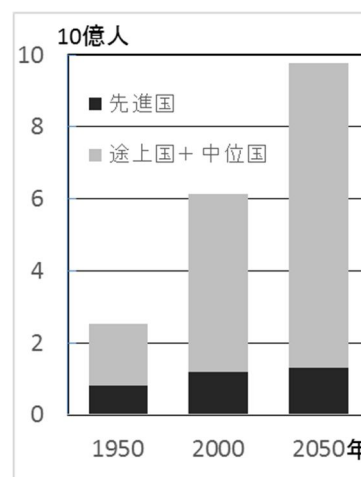


Fig.1 国連による2050年の人口推計

2. 研究の目的

本研究の問いは「稲作灌漑の農家の取水行動において農家が不安視する過剰なリスク回避を適正化するには、信頼性のある情報を共有することで解決しうるか?」にある。この問いに答えるため、課題の枠組みを Fig.2 に示すような要因が複雑に関連する状態であると仮定した。

本研究の目的は、来るべき世界的人口増加に備えるために、灌漑用水の水管理者の**水配分の意思決定支援システムを開発すること**により、水配分の効率性と公平性を向上させ、コメ生産の増加に資することである。システムの実効性は、現地試験で検証する。とりわけ、1) 自然条件、灌漑等の農業管理を解析、予測しながら社会心理条件により変化する農家レベルの取水行動を解析すること。2) 常に変化する自然条件や農業管理を予測し、その結果を AI に連続的に学習させることで、水の配分調整を行う水管理者の対話型更新可能な意思決定支援システムを構築すること。3) 上記の意思決定システムの有用性を実際に現地検証し、コメ増産への効果を検証すること。の、3点について留意しながらシステムの構築を目指す。

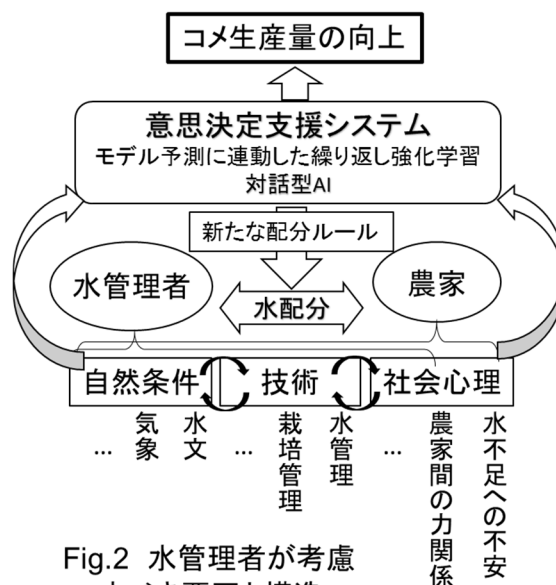


Fig.2 水管理者が考慮すべき要因と構造

3. 研究の方法

水配分の意思決定システムの構築において、下記の3つのサブテーマを設けた(Fig.3)。

a) 水配分の社会的なメカニズムに関連する自然条件および農業管理の実態調査と水収支・作物生産予測サブモデルの開発・検証

b) 農家間の水配分の「行動」と「報酬」に基づく「強化学習」を備えたエージェントベースモデルによるシミュレーション

c) 水管理者向けの対話型意思決定支援システムの開発と社会実装に向けた小規模地区での実証試験である。

サブテーマ a) 水環境モデル、作物生産モデルの開発・検証

乾季に水不足が頻繁に起こる「カンボジアの低平地水田地区(プルサト川灌漑地区)」, 乾季においても比較的水が豊富な「インドネシアの棚田地域(ジャワ島オノギリ灌漑地区)」, そして、水配分システムが確立している「日本の平野部の水田地域(印旛沼流域)」を対象に、水収支、水配分、栽培スケジュール(水配分スケジュール)、作付面積、収量、用排水系統等に関する調査を、斎藤(農工大)と共に灌漑ブロック単位で行う。また、この際に水管理者と農家を対象に「聞き取り調査」を行い、水配分に対する心理的側面を明らかにすると共に、対話型システムのための項目を調査する。

それぞれの地区にて、応募者らがこれまでに水田地帯用に改良した水収支・水環境モデルである SWAT (Soil and Water Assessment Tool) を用い、宗村(島根大)と共に流出解析と取水量のシミュレーションを行い、灌漑ブロック毎の水収支・水環境解析を行う。

桂(農工大)とは、ICT 機器を用い乾季のコメ収量のシミュレーションを行い、予測情報を出力する。

b) 農家間の水配分の「行動」と「報酬」に基づく ABM によるシミュレーション

システムは、これまでに開発した ABM (大倉・加藤, 2016) を用い、各農家を一つのエージェントとみなして水配分のシミュレーションを行う。現地の研究者(インドネシア・ウダヤナ大・Budiasa 講師)と水管理者の水配分「行動」と「報酬」にあたるコメ生産量の因果関係を、調査結果に基づき作業仮説を構築する。水配分行動に関する聞き取り調査の結果をエージェントにフィードバックし、地区全体が調和し、長期的に安定する水配分シナリオを提案する。

c) 水管理者向けの対話型意思決定支援システムの開発と社会実装に向けた小規模地区での実証試験

a), b) をもとに、対話型意思決定支援システムを開発する。例えば、天候の急変などの仮想シナリオを AI が適切に学習するかなど、データの常時更新機能を検証する。最後に、カンボジアとインドネシアにて実証試験を行う。様々な環境変動や、社会変動が生じた場合でも、「学習」から適切な水配分シナリオを提示しうるかを確認する。また、実際にコメ増産に貢献するかを検証する。

4. 研究成果

a) については、SWAT モデルを用い水田地帯の水収支解析およびコメ生産予測を可能とするモデル開発を実施した。カンボジアの事例研究では SWAT モデルによる渇水と洪水に関する知見が得られた。また、その際のモデルの適用において、目的関数の選択が重要であることを示した(Sao ら, 2020)。また、SWAT モデルの開発において、水収支と土砂流出の影響を考慮することができ(Tram ら, 2021)、アフリカ等の熱帯における水田農業との比較を実施することができた(Akoko ら, 2021)。これに加え、渇水条件下の作物栽培モデルの構築のため、間断灌漑によるコメ栽培の実験を実施しており、現在投稿準備中である。

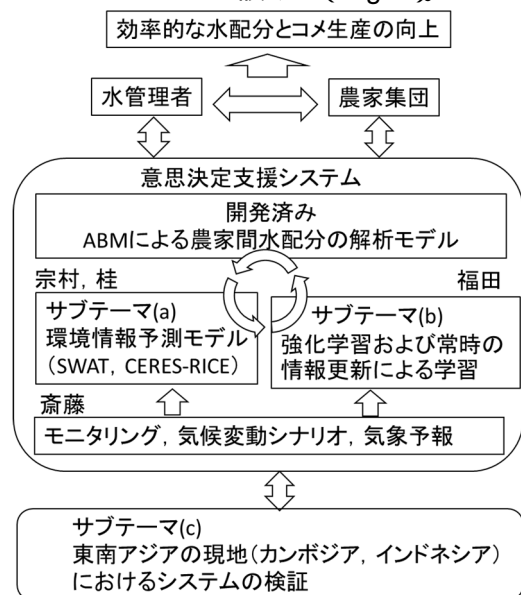


Fig.3 研究の枠組みと体制

b)については、エージェントベースモデルの開発が必須である。インドネシアのバリ島のスバックと呼ばれる水配分の農家組織における、配分メカニズムについてエージェントベースモデルの適用を行った(大倉ら, 2018)。結果として、水配分におけるメカニズムにおいて、上流優先ルールに対抗するため、下流地区の作付け開始期の調整による適応型戦略が採用されていることが示された。また、この中で作付けの開始時期を決める要因に労働資源の有無が寄与している可能性も示された。これについては投稿論文を準備中である。

また、水田の稲の生長については、広範囲に判定することが可能なドローンをを用いた生育予測を実施することができ(Yamaguchiら, 2020)、土壌水分の制御を試みる意思決定支援システムについて開発した(Kassayeら, 2020)。さらに、現在は水田の湛水条件を活用した洪水緩和機能を、リモートセンシングデータの解析から明らかにすることを目指している。

c)については、現地での水配分について、棚田の水収支解析を実施し(Fitriyahら, 2019)棚田への水配分を実施する場合、下方浸透分をどの程度見積もるべきかについて検討した。また、十分な水が得られない状況下で、水田農業度どのように組み合わせるかについて、リング型の節水灌漑技術についての研究(Saefuddinら, 2019)およびキャピラリーバリアに関する実証試験(現在投稿中)を実施した

以上の成果をまとめると、水田灌漑の水配分における意思決定支援システムの構築に向け、水環境という外部条件を予測する際に SWAT モデルをベースに行うことができ、その外部条件に基づき、水配分のシナリオ予測を実施可能なエージェントベースモデルの開発を行った。水配分シナリオにおいては、節水灌漑技術が重要な役割を持つため、その実証試験を行い、シナリオ構築に貢献することができた。

本来は、現地に本意思決定システムを実装するところまでを検討していたが、残念ながらコロナ禍のため、海外での実証試験を行うことが難しかった。コロナ禍の収束を待って、今後、現地実証試験に向けさらなる研究を進めていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Fitriyah Atiqotun, Fatikhunnada Alvin, Okura Fumi, Nugroho Bayu Dwi Apri, Kato Tasuku	4. 巻 11
2. 論文標題 Analysis of the Drought Mitigated Mechanism in Terraced Paddy Fields Using CWSI and TVDI Indices and Hydrological Monitoring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 6897 ~ 6897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su11246897	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 Kassaye Kassu Tadesse, Boulange Julien, Lam Van Thinh, Saito Hirotaka, Watanabe Hirozumi	4. 巻 229
2. 論文標題 Monitoring soil water content for decision supporting in agricultural water management based on critical threshold values adopted for Andosol in the temperate monsoon climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agricultural Water Management	6. 最初と最後の頁 105930 ~ 105930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agwat.2019.105930	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 該当する
1. 著者名 Saefuddin Reskiana, Saito Hirotaka, Simunek, J.	4. 巻 211
2. 論文標題 Experimental and numerical evaluation of a ring-shaped emitter for subsurface irrigation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agricultural Water Management	6. 最初と最後の頁 111 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agwat.2018.09.039	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 該当する
1. 著者名 大倉 芙美, プディアサ イ ワヤン, 關野 伸之, 加藤 亮	4. 巻 31(5)
2. 論文標題 エージェントベースモデルの水田灌漑地区の水配分システムへの適用 インドネシア, バリ島のスパックを事例として	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水文水資源学会論文集	6. 最初と最後の頁 337-349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/jjshwr.31.337	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 Akoko George, Le Tu Hoang, Gomi Takashi, Kato Tasuku	4. 巻 13
2. 論文標題 A Review of SWAT Model Application in Africa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1313 ~ 1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13091313	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 Sao Davy, Kato Tasuku, Tu Le Hoang, Thouk Panha, Fitriyah Atiqotun, Oeurng Chantha	4. 巻 12
2. 論文標題 Evaluation of Different Objective Functions Used in the SUFI-2 Calibration Process of SWAT-CUP on Water Balance Analysis: A Case Study of the Pursat River Basin, Cambodia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 2901 ~ 2901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w12102901	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 Yamaguchi Tomoaki, Tanaka Yukie, Imachi Yuto, Yamashita Megumi, Katsura Keisuke	4. 巻 13
2. 論文標題 Feasibility of Combining Deep Learning and RGB Images Obtained by Unmanned Aerial Vehicle for Leaf Area Index Estimation in Rice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 84 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs13010084	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 Tram Vo Ngoc Quynh, Somura Hiroaki, Moroizumi Toshitsugu	4. 巻 13
2. 論文標題 The Impacts of Land-Use Input Conditions on Flow and Sediment Discharge in the Dakbla Watershed, Central Highlands of Vietnam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 627 ~ 627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13050627	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22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 大倉 芙美、加藤 亮、ブディアサ イ ワヤン
2. 発表標題 エージェントベースモデルの構築－インドネシア、バリ島のスパックを事例として－
3. 学会等名 令和2年度農業農村工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 V.N.Q. Tram, H. Somura
2. 発表標題 Assessment of hydrological processes and sediment yield in Dakbla catchment, Central Highland of Vietnam
3. 学会等名 JpGU
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水岳博、加藤亮
2. 発表標題 新利根川土地改良区における水質解析および物質動態の予測
3. 学会等名 令和2年度農業農村工学会関東支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fumi OKURA, I Wayan BUDIASA, Tasuku KATO
2. 発表標題 Agent-Based Model Application for Resource Management Analysis
3. 学会等名 the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Davy Sao, Tasuku Kato
2 . 発表標題 Assessment of Stream Flow Variability in Pursat River Basin of Cambodia using SWAT Model
3 . 学会等名 International SWAT conference, Vienna, Austria (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Andrianto Ansari, Tasuku KATO
2 . 発表標題 Modelling of Discharge and Sediment Transport in Terrace Paddy Fields Through the SWAT model . a Case study: Keduang sub-watershed, Wonogiri Regency, Central Java, Indonesia
3 . 学会等名 International SWAT conference, Vienna, Austria (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Atiqotun Fitriyah and Tasuku Kato
2 . 発表標題 Drought monitoring in watershed containing terraced paddy fields
3 . 学会等名 Paddy and Water Environmental Engineering, Seoul, Korea (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fukuda S., Kimura, M.
2 . 発表標題 Data-driven modelling of salinity dynamics at estuarine monitoring stations in Ben Tre, Vietnam
3 . 学会等名 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 H. SOMURA
2. 発表標題 Influence of overwintering Tundra Swan against water quality and soil nutrients in winter-flooded paddy fields, Finland-Japan Bilateral Seminar: Carbon and Nutrient dynamics from terrestrial to aquatic ecosystems
3. 学会等名 Natural Resources Institute Finland (LUKE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ANSARI Andrianto, Tasuku Kato
2. 発表標題 Monitoring of Discharge and Sediment transport in Agricultural Basin A Case Study in Keduang Sub-Basin, Central Java, Indonesia
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atiqotun Fitriyah, Tasuku Kato
2. 発表標題 Drought monitoring in watershed containing terraced paddy fields
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sao Davy, Tasuku Kato
2. 発表標題 Assessment of Stream Flow Variability in Pursat River Basin of Cambodia using SWAT Model
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 THOUK Panha・KATO Tasuku
2. 発表標題 Water Allocation Assessment in Charek Irrigation Scheme, Pursat River Basin, Cambodia
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 PHEN BUNTHOEUN・KATO Tasuku
2. 発表標題 Sustainability of Marine Fishery Resources for community Fisheries in Coastal area, Cambodia
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 口分田彩夏・加藤 亮
2. 発表標題 ラオス国ビエンチャン市の水環境問題における行政組織のニーズに関する調査
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富山英明・加藤 亮
2. 発表標題 循環灌漑導入に向けた低平地農業地域のかんがい排水における水収支評価
3. 学会等名 2019年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富山英明・加藤 亮
2. 発表標題 循環灌漑導入に向けた灌漑排水中の水質評価 新利根川土地改良区の事例
3. 学会等名 農業農村工学会関東支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宗村広昭, E. Rabanizada, S. Mohammad, 諸泉利嗣
2. 発表標題 ルクハブ流域における作物収量・灌漑水量の推定
3. 学会等名 水文・水資源学会2019年度研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Davy Sao, Tasuku Kato, Chantha Oeurng
2. 発表標題 Impacts of the variability of water supply on rice production in Pursat river basin, Cambodia
3. 学会等名 PAWEES-INWEPF international conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atiqotun Fitriyah, Tasuku Kato
2. 発表標題 Study on water stress distribution of rice production in terraced paddy fields
3. 学会等名 PAWEES-INWEPF international conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumi Okura, Tasuku Kato, I Wayan Budiasa
2. 発表標題 Agent-Based Modeling of water allocation system considering labor-factor ,- case study of SUBAK system in Bali, Indonesia -
3. 学会等名 PAWEES-INWEPF international conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤亮, 池田周平, 直江次男
2. 発表標題 霞ヶ浦新利根川流域における湖沼と水田地帯の水環境保全に向けた循環灌漑の適用可能性
3. 学会等名 第17回世界湖沼会議 (国際学会)
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	桂 圭佑 (Keisuke Katsura) (20432338)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	福田 信二 (Shinji Fukuda) (70437771)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	斎藤 広隆 (Hirotaka Saito) (70447514)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	

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	宗村 広昭 (Hiroaki Somura) (90403443)	岡山大学・環境生命科学研究科・准教授 (15301)	

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		
インドネシア	ボゴール農科大学	ガジヤマダ大学	ウダヤナ大学