

令和元年6月7日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05799

研究課題名(和文)ベトナム水田域における収量・品質向上と両立した環境配慮型水・物質管理の提案と実践

研究課題名(英文) Proposal and practice of eco-friendly water and substance management considering yield and quality of rice in paddy area in Vietnam

研究代表者

中村 公人 (Nakamura, Kimihito)

京都大学・農学研究科・准教授

研究者番号：30293921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：水田地域における温室効果ガス抑制のための水管理手法の実践が広域に展開されることが喫緊の課題である。農業水利末端地区のレベルにおいて、分水工整備によるブロックローテーションシステムを導入し、水管理組織による分水工管理の仕組みを導入して、メタン放出抑制効果を有する間断灌漑が地区レベルで実施できるかを検討した。その結果、降雨や減水深の低さの影響で理想的な水管理はできなかったが、非湛水期間の長期化とメタン放出抑制の可能性が示された。また、土壌の酸化還元電位の経時変化に基づいて、本地区で可能な湛水深管理スケジュールを提示した。これと並行して、収量の最大化のためのイネの栽植密度を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジアの水田からの温室効果ガスの放出抑制は気候変動の緩和策として重要な課題である。水田でとくに問題となるメタンの放出を抑制するためには、非湛水期間を適宜設けることが大切となるため、適切な水管理(間断灌漑)が不可欠となる。しかし、収量や品質への影響の懸念から農家が積極的に取り組まない現状にある。本研究では、地区レベルでの組織的な水管理ができる仕組みを作り、個別農家が意識せず、地区レベルでの環境配慮型の水管理が実践される可能性をベトナムにおいて実証した。今後、積極的な組織的な水管理によって環境保全型農業が実現されることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The wide-spread practice of water management for reducing greenhouse gases in paddy area is the important issue. We aimed to investigate the feasibility of intermittent irrigation by experimental block rotational irrigation system, which was achieved through the operation of irrigation pumps and sluice gates of water division works by the water management organization of the district. The ponding depth was not controlled as initially planned because of frequent rainfall and low rate of decrease of the ponding depth in the study area. It was, however, confirmed that the period during which the ponding depth decreased below the soil surface was mostly longer. Methane emissions decreased with an increase in drying period. We proposed the schedule of ponding water depth management based on the measured temporal changes in soil redox potential. Additionally, we showed the optimal rice planting density for maximizing rice yield.

研究分野：灌漑排水学

キーワード：水田水管理 組織的な水管理 間断灌漑 ブロックローテーション灌漑 温室効果ガス 酸化還元電位  
湛水深 ベトナム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東南アジア諸国での稲作の持続的な展開のためには、灌漑システムを導入して適切な水田水管理を行うことが不可欠であるが、灌漑システムがハード・ソフトの両面からうまく機能せず、不適切な水管理が行われると、水配分に不公平が生じて水不足が生じる。また、当該地域においては人口が大きく増加する状況にあって、農業分野における「節水管理」が重要な課題となっている。一方、不適切な水管理は、温室効果ガスの放出、肥料や農薬成分の流出に伴う水質汚染等、広域の環境形成に悪影響を及ぼす。このような背景から、水田地域での「環境配慮型節水管理」の実践が重要な課題である。また、農家にとっては、この水管理が収量と品質の低下を引き起こすものであってはならない。

環境配慮型節水管理として、AWD (Alternate Wetting and Drying) がキーワードになっている。AWD は常時湛水を避け、湛水と非湛水を繰り返す間断灌漑技術であり、収量や品質の大きな低下を引き起こすことなしに、用排水量と排水による肥料成分流出量の削減、メタンガス発生の抑制などの効果があることが示されている。しかし、これらは数 m × 数 m あるいは一筆単位の試験による結果であり、農家の管理に任せた地区レベルでの実践的实施に関する報告は見られないのが現状である。また、圃場レベルでの環境配慮型節水管理を農家に任せても、積極的に行う動機付けがないことから、その効果は極めて小さいのが実態である。よって、水管理組織が中心となった地区レベルでの管理を可能とするハード・ソフト両面でのシステム作りが不可欠ではないかと考えた。

また、こうした環境配慮型水管理の構築と並行して、より収量や品質が向上するような営農を地域の特性に合わせて行うことが、結果として環境配慮型水管理の実践につながると考え、対象地域の特性を考慮して、ここでは単収の増加のためのケイ酸肥料の適切な施用と最適なイネの栽植密度を検討することとした。

### 2. 研究の目的

本研究では、環境負荷として温室効果ガス(メタンと一酸化二窒素)の放出抑制に焦点を絞り、温室効果ガス放出を抑制するための水管理を地区レベルで行うシステムの構築を行って、その効果を検証することを第一の目的とした。

これと並行して、収量と品質の向上を意図したケイ酸肥料の施用効果および対象地区において最適な栽植密度を明らかにすることを第二の目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 調査地の概要

ベトナム社会主義共和国の北部に位置する紅河デルタ地域の Hung Yen 省 Kim Dong 県 Phu Thinh コミュニティ(21° 25' N, 105° 46' E) の約 44ha の水田地区を調査地とした。対象地域では、4 月から 10 月頃にかけて雨季、11 月から 3 月頃にかけて弱い乾季となり、およそ 2~6 月の冬春作(WS)とおよそ 7~9 月の夏秋作(SA)の水稻の二期作に加えて、冬季に野菜栽培が行われる。調査は予備調査を含め 2015 年~2017 年に実施した。

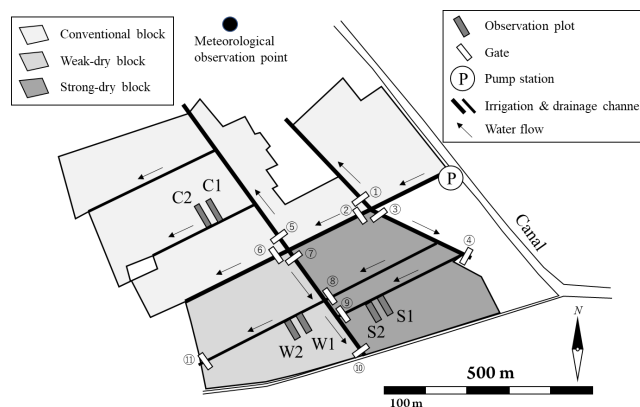


図1 調査地区

#### (2) 地区レベルの水管理

地区を3つの異なる水管理区に分け(図1)、地区内に分水工(図2)を2基設置することにより、各区にブロックローテーション灌漑による配水ができるようにした。慣行区(Conventional block: C区)では現地慣行の水管理手法(常時湛水)、弱乾燥区(Weak-dry block: W区)と強乾燥区(Strong-dry block: S区)においては間断灌漑期を設け、W区では湛水深が-5 cmを下回るまで、S区では-15 cmを下回るまでは取水しない方法とした。また、W区では中干し後から出穂期にかけての35日間、S区では出穂期近傍の20日間を湛水させるとした。いずれの区でも中干し期間と収穫期には非湛水状態とした。



図2 設置した分水工

表1 栽植密度・ケイ酸施肥試験（F区）の施肥設計

| ケイ酸施肥設計/栽植密度 | 田植え前施用(kg 10a <sup>-1</sup> ) |                |                                       | 田植え7日後施用(kg 10a <sup>-1</sup> ) |        | 出穂1ヶ月前施用(田植え25日後)(kg 10a <sup>-1</sup> ) | 出穂20日前施用(田植え35日後)(kg 10a <sup>-1</sup> ) |
|--------------|-------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------|--|--|
|              | ケイ酸肥料(SiO <sub>2</sub> )      | NPK肥料(16-16-8) | リン酸肥料(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | NPK肥料(16-16-8)                  | 除草剤入尿素 | ケイ酸カリ(K <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> )  | 塩化カリ(KCl) NPK肥料(16-16-8)                 |
| F1 無施肥/慣行    | 0.0                           | 13.9           | 41.6                                  | 27.7                            | 11.1   | 0.0                                      | 11.1 0.0                                 |
| F2 元肥+追肥/疎植  | 153.0                         | 19.0           | 0.0                                   | 0.0                             | 11.1   | 42.0                                     | 0.0 19.0                                 |
| F3 無施肥/疎植    | 0.0                           | 19.0           | 0.0                                   | 0.0                             | 11.1   | 0.0                                      | 0.0 19.0                                 |
| F4 元肥+追肥/慣行  | 153.0                         | 13.9           | 41.6                                  | 27.7                            | 11.1   | 42.0                                     | 0.0 0.0                                  |
| F5 元肥のみ/慣行   | 153.0                         | 13.9           | 41.6                                  | 27.7                            | 11.1   | 0.0                                      | 11.1 0.0                                 |

実際の水管理は、地区内に設置したパイプ内の水面高さを水管理組織の担当者が確認しながら、ポンプとゲートの操作によって行われたが、気象状況などの影響によって、想定した通りの水管理ができたわけではない。

(3)栽植密度・ケイ酸施肥試験

調査対象期間は2015年の夏秋作から2017年の夏秋作の5作期分である。栽植密度とケイ酸施肥試験において使用した圃場をF区とし、管理方法の違いによって5つの圃場に分類した(表1)。栽植密度の設定値は、慣行の栽植密度の区(F1, F4, F5)で36株 m<sup>-2</sup>、疎植区(F2, F3)で18株 m<sup>-2</sup>とした。ただし、2017年に栽植密度を実測したところ、必ずしも設定値通りとはなっておらず、ばらつきが確認された。2017年の解析では実測値を用いた。

(4)測定項目

気象、水文、土壌 気象因子(降雨量、気温、相対湿度、日射量、風速)は調査圃場近くの民家の屋上において10分間隔で測定した。C, W, S区内に設けた各2圃場(C1, C2, W1, W2, S1, S2, 図1)において、湛水深3カ所の経時測定を行った。2017年の冬春作、夏秋作において土壌深さ5, 15, 30cmの土壌酸化還元電位(Eh)を測定した。また、ポンプの運転記録を入手した。

メタンフラックス C1~S2の6圃場において、土壌からのメタンフラックスの測定をクローズドチャンバー法によって行った。60cm四方、高さ約20cmの鉄製の土台を各圃場1~2カ所設置し、測定時にはその上部に高さ100cmのチャンバーを設置することで田面に接する密閉環境を作り、開始時、10分後、20分後のチャンバー内の空気採取した。土台の内部の株数は10~17株であった。メタンガスの分析は、ガスクロマトグラフを用いて行い、チャンバー内の気体濃度の経時変化からフラックスを算出した。

収量構成要素、栽植密度、ケイ酸濃度 収穫期に水管理試験のC1~S2の6圃場と栽培試験区(F1~F5)の5圃場から稲株を採取した。採取後、1株当たりの穂数(1株穂数)、1穂当たりの籾数(1穂籾数)、全籾数に対する登熟籾数の割合(登熟歩合)、1登熟籾当たりの重量(1籾重量(g))を測定した。これら4項目の積は1株当たりの収量(1株収量(g))となり、これに栽植密度(株 m<sup>-2</sup>)を乗じると単収(g m<sup>-2</sup>)となる。登熟籾の選定は、比重1.06の塩水選によった。栽植密度は、11株×11株四方の面積を測定して算出した。単位重量当たりの藁と籾に含まれる粗ケイ酸の質量を湿式灰化法によって測定し、その割合をケイ酸濃度(%)とした。

4. 研究成果

(1)水管理組織が操作するブロックローテーション灌漑による間断灌漑

当初計画していた数日間隔の間断灌漑は実現できなかった。湛水深変化は各区で顕著な違いは見られなかった。これは減水深が大きくないこと、降雨があることによる。ただし、限られた回数ではあるが、ブロックローテーション灌漑が機能した期間が確認できた。また、W区やS区において非湛水状態の期間の割合が大きい作期が見られた。農家のアンケート調査からも、普段利用している水路から田面に水を導入するための手動ポンプの利用回数が減ったという結果が得られた。

(2)メタン放出抑制効果

灌漑期における非湛水期間(湛水深が地表面を下回る期間)の割合を乾燥インデックス(drying index)として、乾燥インデックスとメタン放出量との関係を図3に示す。両者に負の関係があることが確認できる。同じ作期において乾燥インデックスとメタン放出量に負の関

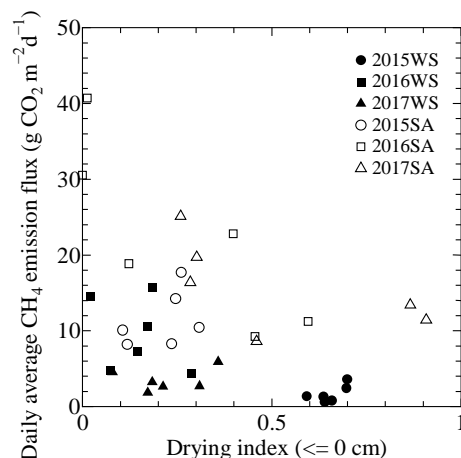


図3 乾燥インデックスとメタン放出量との関係

係が見られるのは夏秋作である。乾燥インデックスとイネの収量との関係を踏まえると、乾燥インデックスが 0.6 になるまで非湛水状態を長くすれば、収量の低下を引き起こすことなく、メタン放出を抑制できることが明らかになった。これ以上であると収量低下が懸念される。なお、水田からの温室効果ガスとして注意が必要である一酸化二窒素の放出割合はメタンに比べて非常に小さかった。

### (3)本地区で有効な湛水深管理

2017 年に測定した土壌の酸化還元電位と湛水深、メタン放出量の経時変化の例を図 4 に示す。湛水深が 0cm を下回った後、地中深さ 15cm あるいは 30cm において急激な Eh 上昇が起こり、その後メタンフラックスが低下するというパターンが見られる。図 4 では移植後 53 日目に湛水深が 0cm を下回り、57 日目に地中深さ 30cm における Eh が急上昇し、その直後の観測においてメタンフラックスが低下している。他の圃場も含めると、総じて非湛水状態となつてから Eh が上昇するまでに 3~8 日間を要し、非湛水から湛水状態となつてからメタンフラックスが増加するまでにおおむね 14~21 日間を要した。

この結果を踏まえて、メタン放出を抑制することを優先して、より非湛水期間が長くなる管理（ケース 1）と、なるべく湛水状態を保ちたいという農家の意向を尊重して、メタン放出を抑制しながらも非湛水期間を短くする管理（ケース 2）の 2 つのパターンを冬春作について考える。

冬春作の栽培期間は移植から 120 日間とし、移植後 45 日目で最高分けつ期、80 日目で出穂期を迎えんとする。双方のケースの共通の水管理として、移植後 30 日間の湛水と 41~50 日目の中干し、71~90 日目の出穂期での湛水、111~120 日目の収穫前の落水を設定する。よって、移植後 31~40 日、51~70 日、91~110 日において間断灌漑が可能な期間となる。

ケース 1 では、メタン放出抑制のための望ましい非湛水状態の継続期間を 8 日、その後許容される湛水期間を 14 日間とした。この場合、非湛水期間は移植後 31~38、41~50、63~70、91~98、111~120 日目（計 44 日間）となる。ケース 2 では、非湛水状態の継続期間を 3 日、その後の許容湛水期間を 21 日間とした。その結果、非湛水期間は移植後 31~33、41~50、68~70、91~93、111~120 日（計 29 日間）となる。こうした情報は、水管理者や農家にとって、間断灌漑に対する安心感を与えるものとして有用な情報になると考えられる。

### (4)ケイ酸施肥の効果と最適な栽植密度

ケイ酸施肥の効果は、イネの生体内（特に藁）にケイ酸が蓄積することによって様々なストレス耐性を獲得する点にあるが、ケイ酸元肥の効果は気象条件によって影響され、追肥によるイネへの好影響は確認できなかった。ケイ酸施肥による藁中のケイ酸濃度への影響も一貫性を確認できなかった。

収量が最大となる最適栽植密度を観測結果から推定したところ、冬春作より夏秋作において疎植条件での栽培が推奨される。ケイ酸無施肥条件では、両作期で慣行の 35 株  $m^{-2}$  より大きいあるいは同程度の栽植密度が最適と判断された。ただし、夏秋作のみの結果であるが、ケイ酸施肥条件では無施肥条件に比べて若干疎植であること（31 株  $m^{-2}$ ）が推奨されることがわかった。疎植栽培による単収増加の要因は 1 株収量の向上にある。さらなるデータ蓄積が必要である。

### (5)今後への期待

調査地においては、水管理者と農家とのミーティングを複数回開催し、啓発活動を行った。また、ベトナムの協力者である水環境研究所（IWE）が中心となつて、今回の水管理を含む小冊子も発行された。本研究において、とくに組織的水管理による間断灌漑の可能性と水管理スケジュールを示すことができたことが、環境配慮型水管理の今後の普及につながることを期待したい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

Quang, L.X., Nakamura, K., Hung, T., Tinh, N.V., Matsuda, S., Kadota, K., Horino, H., Hai, P.T., Komatsu, H., Hasegawa, K., Fukuda, S., Hirata, J., Oura, N., Kishimoto-Mo, A.W., Yonemura, S., Onishi, T.: Effect of organizational paddy water management by a

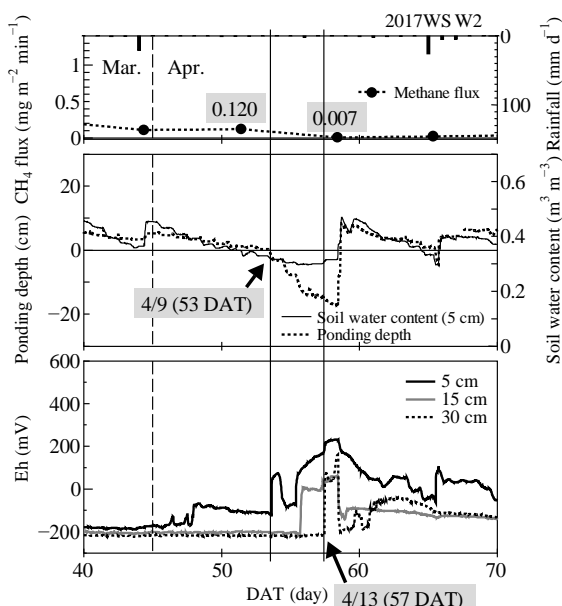


図 4 メタン放出量、湛水深、酸化還元電位の変化

water user group on methane and nitrous oxide emissions and rice yield in the Red River Delta, Vietnam, *Agricultural Water Management*, 217, 179-192, 2019, 査読有

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418314690>

松田壮顕, 中村公人, 門田健吾, 堀野治彦, Hung, T., Quang, L.X., 小松宏隆, Hai, P.T., 大浦典子, 岸本あやか, 米村正一郎, 川島茂人: 湛水深管理による酸化還元電位制御とメタン放出抑制効果の検討, *応用水文*, 31, 79-87, 2019, 査読無

Inagaki, F., Nakamura, K., Quang, L.X., Hai, P.T., Ha, N.D., Hung, T., Fukuda, S., Hirata, J., Komatsu, H., Oura, N., Yonemura, S., Kishimoto-Mo, A. W.: Characteristics of CH<sub>4</sub> flux from paddy field adopting the intermitted irrigation technique during the winter-spring and summer-autumn seasons in the Red River Delta, Vietnam, THA 2017 International Conference on "Water Management and Climate Change Towards Asia's Water-Energy-Food Nexus", Abstract and Program p.42, Jan.25-27, 2017, Bangkok, Thailand, 査読無

#### 〔学会発表〕(計5件)

松田壮顕, 中村公人, 門田健吾, 堀野治彦, Hung, T., Quang, L.X., 小松宏隆, Hai, P.T., 大浦典子, 岸本あやか, 米村正一郎, 川島茂人: 湛水深管理による酸化還元電位制御とメタン放出抑制効果の検討, 第31回水文・水環境研究部会シンポジウム講演要旨集, pp.77-85, 2018年12月1日, 茨城大学農学部(茨城県)

Nakamura, K., Matsuda, S., Kadota, K., Horino, H., Hung, T., Quang, L.X., Hai, P.T., Komatsu, H., Hasegawa, K., Fukuda, S., Hirata, J., Oura, N., Kishimoto-Mo, A.W., Yonemura, S. and Onishi, T.: Effect of alternate wetting and drying paddy water management of on-farm level by water users' group on methane emission in the Red River Delta, Vietnam, PAWEES-INEPF International Conference 2018 Nara, p.178, November 20th-21st, 2018 (Nara, Japan)

門田健吾, 中村公人, 堀野治彦, 長谷川清善, 小松宏隆, Hung, T., Quang, L.X., Hai, P.T., 川島茂人: 栽植密度とケイ酸肥料の施用がイネの収量構成要素に及ぼす影響, 平成30年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集(CD版), pp.754-755, 2018年9月4~6日, 京都大学農学部(京都市)

松田壮顕, 中村公人, 門田健吾, 堀野治彦, Hung, T., Quang, L.X., Hai, P.T., 小松宏隆, 大浦典子, 岸本あやか, 米村正一郎, 川島茂人: ベトナム紅河流域における水田圃場からのメタン放出抑制のための水管理, 平成30年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集(CD版), pp.496-497, 2018年9月4~6日, 京都大学農学部(京都市)

稲垣郁哉, 中村公人, 長谷川清善, 福田真司, 平田純也, 小松宏隆, Quang, L.X., Hai, P.T., Ha, N.D., Hung, T.: ベトナム紅河デルタの水田において栽植密度とケイ酸肥料施用が収量に及ぼす効果, 2016年度土壌物理学会大会, 2016年10月29日, 京都大学農学部総合館(京都市)

#### 〔図書〕(計2件)

TS. Lê Xuân Quang (Chủ biên), *Sổ tay hướng dẫn QUY TRÌNH TƯỚI TIÊU KHOA HỌC CHO LÚA VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG, NHÀ XUẤT BẢN NÔNG NGHIỆP*, 34p., 2018, ISBN 978-604-60-2482-8

(Lê Xuân Quang 博士(編集), *ハンドブック 紅河デルタの稲作のための灌漑科学のプロセス, 農産物パブリッシングハウス*, 34p., 2018, ISBN 978-604-60-2482-8)

(研究協力者らによる)

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỂN NÔNG THÔN, TỔNG CỤC THỦY LỢI DỰ THẢO *SỔ TAY HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT CANH TÁC LÚA TIÊN TIẾN KINH NGHIỆM TỪ NHẬT BẢN*, 78p., 2017

(農業農村開発省, *ドラフトハンドブック コメ生産技術の進捗 日本からの体験*, 78p., 2017)

(研究協力者らによる)

#### 〔その他〕

##### セミナー

中村公人: ベトナムフンエン省におけるAWDによる節水及びGHG削減に関する研究成果, 気候変動枠組条約関連セミナー 第3回「民間企業による農業部門の海外技術協力(ベトナムAWD)」, 農林水産省, 2018年1月12日

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：堀野 治彦  
ローマ字氏名：HORINO Haruhiko  
所属研究機関名：大阪府立大学  
部局名：生命環境科学研究科  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：30212202

研究分担者氏名：大西 健夫  
ローマ字氏名：ONISHI Takeo  
所属研究機関名：岐阜大学  
部局名：応用生物科学部  
職名：准教授  
研究者番号(8桁)：70391638

研究分担者氏名：大浦 典子  
ローマ字氏名：OURA Noriko  
所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
部局名：農業環境変動研究センター  
職名：室長  
研究者番号(8桁)：50354022

研究分担者氏名：米村 正一郎  
ローマ字氏名：YONEMURA Seiichiro  
所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
部局名：農業環境変動研究センター  
職名：主席研究員  
研究者番号(8桁)：20354128

## (2)研究協力者

研究協力者氏名：Le Xuan QUANG  
ローマ字氏名：Le Xuan QUANG

研究協力者氏名：Tran HUNG  
ローマ字氏名：Tran HUNG

研究協力者氏名：Pham Thanh HAI  
ローマ字氏名：Pham Thanh HAI

研究協力者氏名：松田 壮顕  
ローマ字氏名：MATSUDA Soken

研究協力者氏名：門田 健吾  
ローマ字氏名：KADOTA Kengo

研究協力者氏名：稲垣 郁哉  
ローマ字氏名：INAGAKI Fumiya

研究協力者氏名：小松 宏隆  
ローマ字氏名：KOMATSU Hirotaka

研究協力者氏名：福田 真司  
ローマ字氏名：FUKUDA Shinji

研究協力者氏名：長谷川 清善  
ローマ字氏名：HASEGAWA Kiyoshi

研究協力者氏名：平田 純也  
ローマ字氏名：HIRATA Junya

研究協力者氏名：岸本 あやか  
ローマ字氏名：KISHIMOTO AYAKA

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。