

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26252061

研究課題名(和文) 気候変動下の水田生態系の炭素循環を左右する窒素：メタン削減に繋ぐ機作の解明

研究課題名(英文) Nitrogen controlling carbon dynamics in rice-paddy ecosystems under climate change: Possible mechanisms to mitigate rice-paddy methane emissions

研究代表者

林 健太郎 (Hayashi, Kentaro)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 物質循環研究領域・ユニット長

研究者番号：70370294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は水田のメタン(CH₄)発生削減に繋がるCH₄動態の機作と窒素条件との関係解明を目的とした。水稻生育期間の積算CH₄発生量は窒素施肥によって増加したが、品種タカナリはCH₄発生が少なかった。水田土壌のCH₄酸化率(酸化速度/生成速度比)はCO₂条件・施肥条件・品種・生育時期によらずほぼ一定の約22%であった。水稻の施肥窒素吸収率は59～63%であったが、高CO₂条件下の品種タカナリは施肥以外の給源からの窒素吸収量が多かった。高CO₂条件下のタカナリ根の窒素固定能が他と比べて高いという別実験の結果と併せると、タカナリは窒素固定を促して窒素吸収を高める能力を持つことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to elucidate the relationships between methane (CH₄) dynamics and nitrogen availability in rice paddy ecosystems, which contribute to mitigation of CH₄ emissions from rice paddies. Cumulative CH₄ emissions tended to increase due to nitrogen fertilization; however, a rice cultivar Takanari showed less CH₄ emissions. CH₄ oxidation ratio (oxidation/production) of rice paddy soils was roughly stable, ca. 22%, regardless of conditions of CO₂ levels, nitrogen fertilization, cultivars, and rice growth stages. The nitrogen use efficiency of applied fertilizer was in a range of 59-63%. Takanari under elevated CO₂ levels showed a higher rate of nitrogen uptake originated from non-fertilizer nitrogen. It might be partly originated from biological nitrogen fixation because another experiment showed that root of Takanari under the elevated CO₂ condition had significantly high acetylene reduction activity, i.e., a proxy of nitrogen fixation ability.

研究分野：大気科学・土壌科学

キーワード：メタン 窒素 水田 高CO₂ 気候変動 イネ 根域

1. 研究開始当初の背景

将来の高CO₂濃度・気候変動下においても持続可能なコメ生産が求められる一方で、水田は温室効果の強いメタン(CH₄)の重要な人為発生源でもある。高CO₂や昇温は水田のCH₄発生を助長するが、水田のCH₄発生量は水稻品種により大きく異なる。この品種間差の原因は突き止められていない。温室効果の強いCH₄の削減は効果的な緩和である。CH₄発生の少ない品種や稲わら管理・水管理によるCH₄削減の技術開発が進められている中、CH₄の削減に繋がる新たな知見の発見は、さらなる温暖化緩和技術の開発に向けて有望な基礎となる。

高CO₂は光合成を促進してイネの新鮮有機物の分泌を増やし、CH₄発生も増やす。我々は先行研究において高CO₂によるCH₄発生の増加効果にはダウンレギュレーションが存在することを発見した。この原因は未解明である。水田から発生するCH₄は土壌中の生成・消費(酸化)のせめぎ合いを経て蓄積したものであり、土壌で起きていることを解明しなくては真の理解に到達しない。また、猛暑日、追肥、出穂といった短期イベントが水田のCH₄発生に強く影響することが明らかになりつつあり、群落微気象の解析が必要である。

窒素はイネ生育の補助要因とされてきた。しかし、窒素不足では水稻の生育が高CO₂に回答しない。つまり、窒素可給性は気候変動下の水田の炭素動態に強く影響する。窒素可給性は主に施肥、生物的窒素固定、および無機化により決定される。ただし、生物的窒素固定と無機化も気候変動の影響を受ける。気候変動と窒素可給性の複合影響は水稻の生育を左右し、イネから土壌への新鮮有機物の供給を通じてCH₄発生に影響しうる。

2. 研究の目的

本研究は、気候変動下の水田のCH₄発生削減に繋がるCH₄動態の機作と窒素条件との関係解明を目的とした。このために、高CO₂・温暖化条件の水田と現環境の水田を用いて、水田土壌の窒素固定と無機化の気候変動応答、水田炭素動態の気候変動・窒素可給性応答、そして、水田微気象の猛暑日・追肥などの短期イベント応答を解明に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 高CO₂・窒素施肥と水田CH₄発生量

つくばみらい市に設置されている開放系大気CO₂増加実験(FACE: free-air CO₂ enrichment)水田施設(つくばみらいFACE)を利用し、大気CO₂濃度増加(現環境+200ppm)窒素施肥、および水稻品種による水田のCH₄発生量への影響を調べた。

(2) 高CO₂・窒素施肥とCH₄酸化速度

水田から発生するCH₄は、生成と消費(酸化)の差分として水田土壌に蓄えられるCH₄の一部である。よって、CH₄の生成および酸化

速度はCH₄動態を知る上で欠かせない情報である。そこで、(1)の調査と連動してメタン酸化阻害剤(二フッ化メタン)の添加の有無によりCH₄の生成・酸化速度を定量した。

(3) ポット実験による窒素収支評価

圃場試験では特に土壌の窒素収支を評価しにくい。そこで大気-灌漑-水稻-土壌全体の窒素収支を評価するためにポット栽培実験を行った。CO₂処理は伴わずに、窒素施肥と水稻品種の影響を調べた。

(4) 重窒素標識実験による窒素収支評価

FACE水田の窒素収支評価および施肥窒素の行方を追うために重窒素標識被覆肥料(成分は尿素)を用いて、CO₂条件および水稻品種による窒素動態の相違を調べた。調査対象は水稻、土壌溶液、および土壌とし、重窒素の含有率から施肥窒素の行方を定量した。

(5) 土壌窒素動態(窒素固定、無機化)

水田土壌の窒素過程のうち生物的窒素固定(BNF)および無機化に着目し、これらに対する高CO₂の影響を調べた。BNFについてはFACE水田にて各生育段階の土壌および水稻根を採取し、そのBNF速度を近似するアセチレン還元活性を定量した。水稻品種の影響も調べた。無機化については現地採取した土壌を嫌気バイアルに詰め、現地培養を行ってアンモニア態窒素の生成速度を定量した。

(6) 短期的高温ストレス応答解析

つくばみらいFACE水田から約10kmの距離にある真瀬実験水田における水田微気象データを解析し、特に猛暑日などの短期的なイベントが群落規模の水稻の応答(例:光合成速度)に及ぼす影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 高CO₂・窒素施肥と水田CH₄発生量

2016年の栽培実験により得られた積算CH₄発生量を図1に示す。イネの生育期間を通じた積算CH₄発生量は、窒素施肥によって増加した。また、品種ではコシヒカリ>タカナリとなり、CO₂・施肥窒素条件によらず、タカナリのCH₄発生量は少ない傾向を示した。

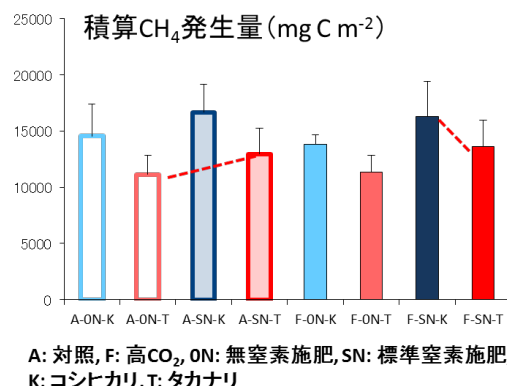


図1 積算CH₄発生量

(2) 高 CO₂・窒素施肥と CH₄ 酸化速度

こちらでも 2016 年の栽培実験の結果を図 2 に示す。本実験（メタン酸化阻害剤を用いた直接定量）により得られた CH₄ 酸化率（図中回帰直線の傾き 21.6%）は先行研究と比べ小さく、また、CO₂ 条件、施肥条件、品種、および生育時期のいずれとも関わりが弱かった。

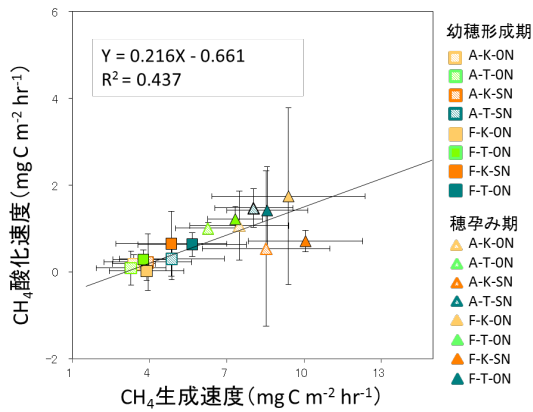


図 2 CH₄ の生成速度と酸化速度の関係

(3) ポット実験による窒素収支評価

2014 年の実験によると、水稲登熟期の土壌窒素含量は、無窒素施肥区ではコシヒカリおよびタカナリとも初期値から 2~5% の減少を示し、窒素施肥区（ポットあたり 1 g N = 32 g N m⁻²）ではコシヒカリはほぼ変化せず、タカナリでは 10% 増加した。

(4) 重窒素標識実験による窒素収支評価

2015 年の実験によると、水稲の施肥窒素吸収率は 59~63% であった。水稲の窒素吸収量は高 CO₂ により増加し、品種タカナリ > コシヒカリであった。窒素給源は肥料 4 : その他 6 であり、CO₂ や品種の影響はみられなかった。ただし、高 CO₂ 区のタカナリは施肥以外の給源由来の窒素を多く吸収する傾向を示した。

(5) 土壌窒素動態（窒素固定、無機化）

2016 年の実験によると、イネ根（イネ根近傍にいる微生物）のアセチレン還元活性（生育期間積算値）は高 CO₂ 区のタカナリで特に高く（図 3）この傾向は分けつ期と出穂期において顕著であった。

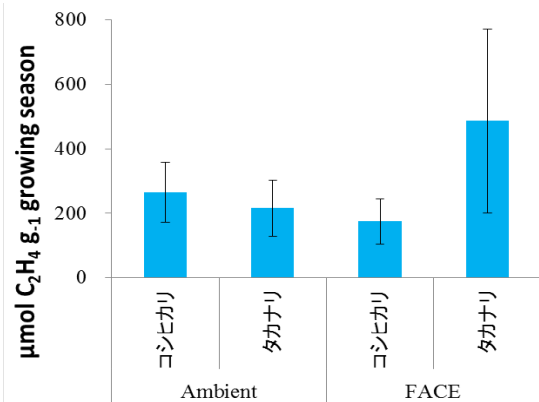


図 3 水稲根のアセチレン還元活性

(6) 短期的高温ストレス応答解析

真瀬水田における群落規模光合成速度を個葉光合成モデルの出力と比較したところ、気温 29 以上ではモデルが過大評価し、気温上昇とともにその傾向が強まった（図 4）。ただし、33 以上では両者が整合する場合があった。この結果は、従来の光合成モデルの温度依存関数を特に高音域で見直す必要があることを示唆する。

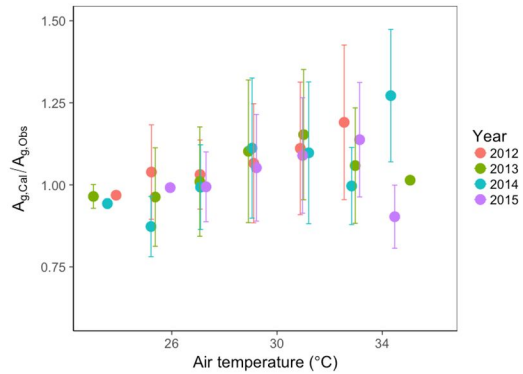


図 4 真瀬水田における気温と群落規模光合成速度比（モデル値 / 実測値）の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

林 健太郎, 江口 定夫, 柴田 英昭, 仁科一哉, 内田義崇 (2017) 食の持続性と低環境負荷の両立を目指す窒素管理研究への土壌学の貢献. 日本土壌肥科学雑誌 88 : 166-179. (査読有)

Hayashi, K., T. Tokida, T. Hasegawa. (2016) FACEing up to future uncertainty: Free-air CO₂ enrichment experiments in Japanese rice paddy ecosystems. The Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia, NIAES Series 6: 93-114. (査読有)

Hayashi, K., T. Tokida, M. Kajiura, Y. Yanai, M. Yano (2015) Cropland soil-plant systems control production and consumption of methane and nitrous oxide and their emissions to the atmosphere. Soil Science and Plant Nutrition 61: 2-33. (査読有)

Okubo, T., D. Liu, H. Tsurumaru, S. Ikeda, S. Asakawa, T. Tokida, K. Tago, M. Hayatsu, N. Aoki, K. Ishimaru, K. Ujiie, Y. Usui, H. Nakamura, H. Sakai, K. Hayashi, T. Hasegawa, K. Minamisawa (2015) Elevated CO₂ affect community structure of rice root-associated bacteria. Frontiers in Microbiology 6: Article 136. (査読有)

Ikeda, S., T. Tokida, H. Nakamura, H. Sakai, Y. Usui, T. Okubo, K. Tago, K.

Hayashi, Y., Sekiyama, H., Ono, S., Tomita, M., Hayatsu, T., Hasegawa, K., Minamisawa (2015) Characterization of leaf blade- and leaf sheath-associated bacterial community and assessment of their responses to environmental changes of CO₂, temperature, and nitrogen levels under field conditions. *Microbes and Environments* 30: 51-62. (査読有)

Tokida, T., Y. Nakajima, K., Hayashi, Y., Usui, N., Katayanagi, H., Nakamura, T., Hasegawa (2014) A fully-automated high-throughput instrumentation for ¹³C measurement of methane and its application to rice paddy samples. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 28: 2315-2324. (査読有)

林健太郎, 長谷川利拡, 臼井靖浩, 常田岳志, Charles P. Chen, 八島未和, 片柳薫子, 堅田元喜, 麓多門, 池田成志, 大久保卓 (2014) FACE to FACE: 気候変動影響に立ち向かう土壌肥料学と作物学. *日本土壌肥料学雑誌* 85: 269-274. (査読無)

Miyazawa, S., K. Hayashi, H., Nakamura, T., Hasegawa, M., Miyao (2014) Elevated CO₂ decreases the photorespiratory NH₃ production but does not decrease the NH₃ compensation point in rice leaves. *Plant and Cell Physiology* 55: 1582-1591. (査読有)

Okubo, T., T. Tokida, S., Ikeda, Z., Bao, K., Tago, M., Hayatsu, H., Nakamura, H., Sakai, Y., Usui, K., Hayashi, T., Hasegawa, K., Minamisawa (2014) Effects of elevated carbon dioxide, elevated temperature, and rice growth stage on the community structure of rice root-associated bacteria. *Microbes and Environments* 29: 184-190. (査読有)

[学会発表](計34件)

小野圭介, 長谷川利拡, 林健太郎, 宮田明. 真瀬サイトにおける夏季気温の特徴と群落光合成の高温応答について. *日本農業気象学会 2017 年全国大会*. 2017.3.28 北里大学十和田キャンパス(青森県十和田市)

酒井順子, 常田岳志, 林健太郎, 片柳薫子, 臼井靖浩, 中村浩史, 酒井英光, 長谷川利拡. 水田の真核生物相とメタン発生量の経時変化. *日本微生物生態学会 31 回横須賀大会*. 2016.10.23-24 横須賀市文化会館(神奈川県横須賀市)

日比野優子, 常田岳志, 大久保卓, 荒井見和, 林健太郎, 酒井英光, 長谷川利拡, 村

瀬潤. メタン酸化が駆動する水田の微生物食物連鎖の構造は根圏と非根圏で異なる. *日本微生物生態学会 31 回横須賀大会*. 2016.10.23-24 横須賀市文化会館(神奈川県横須賀市)

Tokida, T., K. Hayashi, Y., Usui, M., Arai, N., Katayanagi, H., Sakai, H., Nakamura, T., Hasegawa. Growth-stage dependence of CH₄ emissions from rice paddies exposed to atmospheric CO₂ enrichment. *FACEing the future: Food production and ecosystems*. 2016.9.29 Justus Liebig University (Giessen, Germany)

Tokida, T., K. Hayashi, M., Arai, Y., Usui, N., Katayanagi, H., Nakamura, H., Sakai, T., Hasegawa. Current-season photosynthates as the main C source for CH₄ in rice paddies as revealed by FACE-induced ¹³C labeling. *FACEing the future: Food production and ecosystems*. 2016.9.27 Justus Liebig University (Giessen, Germany)

Hasegawa, T., H. Sakai, T., Tokida, Y., Usui, H., Nakamura, C., Chen, H., Ikawa, K., Hayashi. High-yield rice cultivar Takanari retains high yield response to Free-Air-CO₂-Enrichment under limited nitrogen supply. *FACEing the future: Food production and ecosystems*. 2016.9.27 Justus Liebig University (Giessen, Germany)

Arai, M., T. Tokida, T., Okubo, H., Nakamura, T., Hasegawa, K., Hayashi. Effects of elevated carbon dioxide and nitrogen fertilizer on methane oxidation and production in rice paddy ecosystems estimated with an oxidation inhibitor treatment. *FACEing the future: Food production and ecosystems*. 2016.9.27 Justus Liebig University (Giessen, Germany)

八島未和, 中村長流, 田場秀卓, 永野博彦, 林健太郎, 常田岳志, 荒井見和, 中村浩史, 臼井靖浩, 長谷川利拡. 開放系大気 CO₂ 増加実験におけるタカナリの栽培が水田土壌アセチレン還元活性におよぼす影響. *日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会*. 2016.9.20 佐賀大学(佐賀県佐賀市)

宮入大宗, 永野博彦, 八島未和, 和穎朗太, 林健太郎, 常田岳志, 荒井見和, 中村浩史, 臼井靖浩, 長谷川利拡. 開放系大気 CO₂ 増加実験におけるタカナリの栽培が水田土壌微生物バイオマスにおよぼす影響. *日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会*. 2016.9.20

佐賀大学 (佐賀県佐賀市)

小坂井宏輔, 永野博彦, 八島未和, 和穎朗太, 林健太郎, 常田岳志, 酒井英光, 中村浩史, 長谷川利拓. 開放系大気 CO₂ 増加実験による水田土壌窒素肥沃度の経年変化. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会. 2016.9.20 佐賀大学 (佐賀県佐賀市)

林健太郎. 窒素循環の人為攪乱がもたらす環境影響: 窒素沈着はその典型. 第 57 回大気環境学会年会. 招待講演. 2016.9.8 北海道大学 (北海道札幌市)

林健太郎, 常田岳志, 荒井見和, 酒井英光, 臼井靖浩, 中村浩史, 長谷川利拓. 異なる窒素施肥条件におけるイネの収量・バイオマスおよび炭素・窒素含量の高 CO₂ 応答: つくばみらい FACE 実験の洞察. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会. 招待講演. 2016.5.25 幕張メッセ国際会議場 (千葉県千葉市)

長谷川利拓, 酒井英光, 常田岳志, 臼井靖浩, 中村浩史, 林健太郎. 多収水稲品種タカナリの CO₂ 増加による増収効果は低窒素条件でも発揮される. 日本作物学会. 2016.3.28-29 茨城大学 (茨城県阿見町)

荒井見和, 常田岳志, 長谷川利拓, 林健太郎. 施肥条件と品種に着目したポット試験による水稲 - 土壌系の窒素収支の評価. 日本生態学会. 2016.3.20-24 仙台国際センター (宮城県仙台市)

林健太郎. 土がささえる食と自然. NACS-J 市民カレッジ. 招待講演. 2016.1.27 三菱商事 MC FOREST (東京都千代田区)

林健太郎. 水田生態系の環境変動応答の解明を可能とする開放系大気 CO₂ 増加 (FACE) 実験. 日本学術会議公開シンポジウム「生態系計測・モニタリングの最前線」. 招待講演. 2015.10.23 日本学術会議講堂 (東京都港区)

Hayashi, K. Nitrogen aspects of iLEAPS. iLEAPS-Japan 研究集会 2015 「大気 - 陸面におけるエネルギー・水・物質循環研究の現状と将来展望」. 2015.10.1 名古屋大学 (愛知県名古屋市)

林健太郎, 常田岳志, 長谷川利拓. 高 CO₂・気候変動下の大気 - 水田間の窒素交換. 日本地球化学会. 招待講演. 2015.9.16 横浜国立大学 (神奈川県横浜市)

林健太郎, 小野圭介, 常田岳志, 松田和秀, 中村浩史, 長谷川利拓. 大気沈着および灌漑水による水田への正味の窒素共有. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会.

2015.9.9-11 京都大学 (京都府京都市)

荒井見和, 山端杏子, 西脇淳子, 常田岳志. 阻害剤を用いた水稲根圏におけるメタン酸化と同位体分別の定量. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会. 2015.9.9-11 京都大学 (京都府京都市)

⑲ 林健太郎. 窒素問題の過去・現在・未来. The KAITEKI Forum. 招待講演. 2015.7.9 経団連会館 (東京都千代田区)

⑳ 林健太郎, 江口定夫, 朝田景, 吉川省子, 阿部薫. 人間活動がもたらす窒素問題: 流域を越えた地球システムとのつながり. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会. 招待講演. 2015.5.24 幕張メッセ国際会議場 (千葉県千葉市)

㉑ 荒井見和, 常田岳志, 林健太郎, 長谷川利拓, 中村浩史. イネの摘葉が水田からのメタン放出量の日変化に及ぼす影響. 日本生態学会. 2015.3.21 鹿児島大学 (鹿児島県鹿児島市)

㉒ Hayashi, K. Strategy to address nitrogen issues in Japan. International workshop of nitrogen footprint: Local reality and global connection. 2015.3.17 Hokkaido University (Sapporo, Hokkaido)

㉓ Tokida, T., K. Hayashi, Y. Usui, H. Sakai, H. Nakamura, T. Hasegawa. Growth-stage dependence of CH₄ emissions from rice paddies exposed to atmospheric CO₂ enrichment and soil warming treatments. International Symposium on Agricultural Meteorology 2015. 2015.3.16 Tsukuba Center for Institutes (Tsukuba, Ibaraki)

㉔ 林健太郎. 世界の中の日本として窒素問題にどう向き合うべきか. 第 32 回土・水研究会. 2015.2.27 農業環境技術研究所 (茨城県つくば市)

㉕ 林健太郎. 人間活動による窒素循環の攪乱が気候変動に及ぼす影響. 新化学技術推進協会エネルギー・資源技術部会資源代替材料分科会講演会. 招待講演. 2014.12.16 新化学技術推進協会 (東京都千代田区)

㉖ Arai, M., K. Fujie, Y. Mori, A. Niswati, G. Swibawa, S. Haryani, H. Gunito, N. Kaneko. Short term effect of no-tillage and bagasse mulching on soil carbon through modification of water stable aggregate under sugarcane field in Lampung Province, Sumatra, Indonesia. First Global Soil Biodiversity Conference. 2014.12.3 Palais des Congrès (Dijon,

France)

②⑨ 林健太郎, 宮澤真一, 常田岳志, 梶浦雅子, 片柳薫子, 臼井靖浩, 宮尾光恵, 中村浩史, 長谷川利拡. 大気-イネ葉身間のアンモニア交換の高CO2応答: フィールド実験の教訓と室内実験の知見. 第4回生物起源微量ガスワークショップ. 2014.11.20 文部科学省研究交流センター(茨城県つくば市)

③⑩ 林健太郎. 地球規模の窒素問題に向き合う. サイエンスアゴラ Future Earth ワークショップ「対話で考える日本の戦略」. 招待講演. 2014.11.7 日本科学未来館(東京都江東区)

③⑪ Ono, K., M. Mano, T. Takimoto, M.A. Baten, J. Zhu, A. Miyata. Canopy-scale water-use efficiency of irrigated rice under different climates and management practices. 12th AsiaFlux Workshop. 2014.8.20 International Rice Research Institute (Los Banos, Philippine)

③⑫ Yano, M., S. Toyoda, T. Tokida, K. Hayashi, T. Hasegawa, A. Makabe, K. Koba, N. Yoshida. Effect of flood irrigation on production and soil-to-atmosphere emission processes of nitrous oxide from paddy fields. 7th International Symposium on Isotopomers. 2014.7.2 Tokyo Institute of Technology (Yokohama, Kanagawa)

③⑬ Sudo, S., M.Y. Matsushima, T. Tokida, K. Hayashi, Y. Kawai, N. Katayanagi, S. Miura, K. Inubushi, T. Hasegawa. Prediction of soil nitrogen mineralization as affected by in-situ warming in paddy fields in Japan. 20th World Congress of Soil Science. 2014.6.9 International Convention Center (Jeju, South Korea)

③⑭ 林健太郎. 関東地方の水田における大気-水田間交換および灌漑による窒素収支. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会. 2014.5.2 パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

〔その他〕

つくばみらいFACE 実験施設ウェブサイト
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/naes/outline/face/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 健太郎 (HAYASHI, Kentaro)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 物質循環研究領域・ユニット長
研究者番号: 70370294

(2) 研究分担者

長谷川 利拡 (HASEGAWA, Toshihiro)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域・主席研究員
研究者番号: 10228455

小野 圭介 (ONO, Keisuke)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域・主任研究員
研究者番号: 20549555

常田 岳志 (TOKIDA, Takeshi)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 物質循環研究領域・主任研究員
研究者番号: 20585856

八島 未和 (松島未和 (YASHIMA, Miwa))
千葉大学・大学院園芸学研究科・講師
研究者番号: 60527927

(3) 連携研究者

村瀬 潤 (MURASE, Jun)
名古屋大学・生命農学研究科・准教授
研究者番号: 30285241

麓 多門 (FUMOTO, Tamon)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域・上級研究員
研究者番号: 30354103

木庭 啓介 (KOBAYASHI, Keisuke)
京都大学・生態学研究センター・教授
研究者番号: 90311745

池田 成志 (IKEDA, Seishi)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター 大規模畑作研究領域・上級研究員
研究者番号: 20396609

(4) 研究協力者

荒井 見和 (ARAI, Miwa)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 物質循環研究領域・特別研究員(科研費PD)

大久保 卓 (OKUBO, Takashi)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター 物質循環研究領域・特別研究員(JSPS-PD)
研究者番号: 70749275