

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：82107

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22248026

研究課題名（和文）：大気二酸化炭素増加と水稻品種が大気－水田間の窒素循環に及ぼす影響の解明と予測

研究課題名（英文）：Evaluation of effects of elevated CO<sub>2</sub> and rice varieties on the atmosphere paddy nitrogen cycle

研究代表者

林 健太郎（HAYASHI KENTARO）

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員

研究者番号：70370294

研究成果の概要（和文）：つくばみらい FACE（開放系大気二酸化炭素増加）実験水田を舞台として、大気沈着および灌漑水に由来する窒素フローの実態を把握し、大気二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）増加、加温、および水稻品種が一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）の生成、窒素無機化、窒素固定、水稻の窒素吸収、および土壌有機物の動態などの窒素関連過程に及ぼす影響の解明を進め、大気－土壌－水稻系の詳細な物質循環モデルを開発し、広域評価モデル・データセットを構築した。

研究成果の概要（英文）：Using Tsukuba FACE (Free-air CO<sub>2</sub> enrichment) facility for single cropping of paddy rice in central Japan, the following researches were conducted; evaluation of nitrogen supply by the atmosphere-rice paddy exchanges and irrigation; elucidations of effects of elevated CO<sub>2</sub>, temperature treatment, and rice cultivars on the nitrogen related processes, such as N<sub>2</sub>O production, mineralization, biological nitrogen fixation, uptake by rice plants, and soil organic matter dynamics; and developments of atmosphere-soil-rice numerical models and regional datasets.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	19,500,000	5,850,000	25,350,000
2011年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2012年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
総計	36,400,000	10,920,000	47,320,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：温暖化影響、窒素循環、水田、二酸化炭素、水稻品種、FACE

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 大気二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度の増加に対する実規模圃場の応答を調べるFACE（屋外に設置したリングから制御的にCO<sub>2</sub>を放出して内側のCO<sub>2</sub>濃度を高める施設）は、作物の生育・収量、耕地のガス交換、および物質循環を開放系群落条件で調べることができる唯一の実験プラットフォームとして、気候変動の影響評価・適応研究において重要である。

(2) 炭素と窒素の循環には密接なフィードバックがあり、一方の循環の攪乱は他方に派生し、更なる攪乱の要因となる。炭素と窒素の関わりは作物の生育にも重要であり、例え

ば、高CO<sub>2</sub>による炭酸同化の促進は利用可能な窒素の量によって制限される。水田においても、水稻の窒素吸収や水田土壌の窒素動態など多くの関連研究が行われてきた。しかし、大気－水田間の窒素循環（湿性沈着、乾性沈着、地表からの放出、窒素固定など）は、最も研究が進んでいないテーマであり、水田の窒素動態の予測・評価における不確実性の一因となっている。さらに、気候変動に対する水田生態系の窒素循環の応答への理解は十分ではなく、その応答に水稻の品種間差異がみられるかどうかとも明らかではなかった。

## 2. 研究の目的

- (1) 現状の水田地域における大気－水田間の窒素収支および灌漑水による窒素供給を把握する。
- (2) 高CO<sub>2</sub> や水稲品種などの諸条件が大気－土壌－水稲系の多様な窒素循環過程に及ぼす影響を解明する。
- (3) 水田生態系の窒素循環の動態解析モデルを開発し、動態解析モデルを簡素化した広域評価モデルと、これにリモートセンシングデータおよび地理情報システムを組み合わせた広域評価システムを試作する。

## 3. 研究の方法

### (1) 大気－水田間の窒素循環の把握

- ① 湿性沈着：降水時開放型サンプラーを用いて窒素化合物の湿性沈着量を観測した。
- ② 大気－水田間ガス・粒子交換：窒素化合物（ガス：アンモニア（NH<sub>3</sub>）、硝酸（HNO<sub>3</sub>）、亜硝酸（HNO<sub>2</sub>）、一酸化窒素（NO）、および二酸化窒素（NO<sub>2</sub>）、粒子：アンモニウム塩および硝酸塩）の大気濃度を測定し、交換フラックスを算定した。
- ③ 灌漑水モニタリング：流入・流出水量および水質を測定して窒素収支を把握した。
- ④ 温室効果ガスベースライン：自動サンプリングシステムを用いたメタン（CH<sub>4</sub>）フラックスの測定および同システムのチャンバ効果の評価を行った。

### (2) 気候変動が大気－土壌－水稲系の窒素循環に及ぼす影響の解明

- ① 窒素安定同位体解析：安定同位体比を用いて、落水時水田の土壌中一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）および水田から放出されるN<sub>2</sub>Oを解析した。
- ② 水稲葉身NH<sub>3</sub>放出ポテンシャル：生育段階、高CO<sub>2</sub>、加温、および水稲品種が水稲葉のNH<sub>3</sub>放出に及ぼす影響を調べた。
- ③ 水稲根の活性および窒素吸収：株もとで水稲を切断して導管液を捕集し、高CO<sub>2</sub>が水稲の窒素吸収に与える影響を調べた。
- ④ 窒素無機化：原位置培養により加温が水田土壌の無機化に及ぼす影響を評価した。
- ⑤ 土壌NH<sub>4</sub>モニタリング：水田土壌における土壌溶液溶存態アンモニウム（NH<sub>4</sub>）および吸着態NH<sub>4</sub>の関係を解明した。
- ⑥ 緩効性肥料の窒素供給速度：埋設した緩効性肥料を回収して分析し、緩効性肥料の窒素供給速度の経時変化を把握した。
- ⑦ 窒素固定能（ARA）：室内培養により、高CO<sub>2</sub>および光条件が水田土壌のアセチレン還元活性（ARA）に及ぼす影響を調べた。
- ⑧ 正味の窒素固定：現場培養により、高CO<sub>2</sub>が水田土壌表層の累積的な正味の窒素固定に及ぼす影響を調べた。
- ⑨ 土壌微生物バイオマス：高CO<sub>2</sub>および加

温が土壌微生物バイオマス炭素・窒素に及ぼす影響を調べた。

- ⑩ 土壌有機物動態：湛水前に作土（0-20cm）と下層土（20-40、40-60cm）を採取し、全窒素含量の推移をモニタリングした。
- ⑪ 土壌酸素濃度モニタリング：水田土壌の酸化還元状態の変化とN<sub>2</sub>O生成に関する基礎データとして土壌酸素濃度を調べた。

### (3) 大気－水田間の窒素循環予測モデル・システムの開発

- ① SOLVEGモデルの改良と検証：水田のNH<sub>3</sub>交換過程を記述できるように多層大気－土壌－植生モデル（SOLVEG）を改良した。
- ② DNDC-Riceモデルの改良と検証：土壌－水稲モデル（DNDC-Rice）を検証し、窒素収支評価への適用に必要な改良点を抽出した。
- ③ 広域評価モデルの基本フレーム：広域（20×20 km）の窒素動態を評価するモデルフレームと空間情報を構築・整備した。
- ④ 広域評価に用いる空間情報の構築：利用しやすい低解像度衛星画像から作物の生長度合いの推定を行った。

## 4. 研究成果

本研究により、大気－水田間および水田内における窒素関連過程およびその高CO<sub>2</sub>応答に関して多くの知見が得られ、また、数値モデルの検証も進み、特長の異なる2つの動態モデルSOLVEGとDNDC-Riceの将来的なカップリングの方向性を見出せた。窒素循環面に踏み込んだFACE研究として世界にまたとない成果が得られた。今後は本研究成果に基づき、高CO<sub>2</sub>が水田生態系の物質循環全体に及ぼす影響の解明に取り組む。以下は、得られた成果のごく一部を抜粋したものである。

### (1) 大気－水田間の窒素循環の把握

湿性沈着と灌漑水の窒素供給はそれぞれ約6～10、約11～14 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>であった。NH<sub>3</sub>は他成分と比べて通年的に濃度が高く、特に暖候期に高濃度となり、また暖候期には低高度で濃度が高いという放出傾向を示し（図1）、緩効性肥料を施肥する水田であってもNH<sub>3</sub>の放出源となりうることを示された。また、CH<sub>4</sub>フラックスの日較差に水稲のフェノロジーが関与することが示唆された。

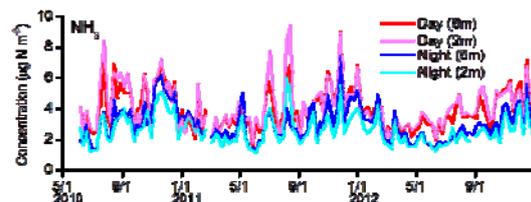


図1 週平均NH<sub>3</sub>濃度

(2) 気候変動が大気-土壌-水稲系の窒素循環に及ぼす影響の解明

水田土壌の  $N_2O$  生成について、土壌空隙の含水率が少ない場合 (50-80%) は硝化および糸状菌脱窒の寄与が大きく、多い場合 (80%以上) は脱窒の寄与が大きかった。しかし、高  $CO_2$  の影響は有意ではなかった。

水稲葉身を用いた直接測定により、葉身が  $NH_3$  放出ポテンシャルを有することを支持するデータが得られた。ただし、フィールド測定において  $NH_3$  フリーの空気を作り出すことに困難があり、今後の改良が必要である。

高  $CO_2$  は穂孕み期以降の水稲の窒素吸収を低下させること、また、その程度には品種間差異がみられることが示された。

+2°C の田面水の加温による窒素無機化の増加効果は 12-14% で安定していた。ただし、稲わらの持ち出しにより無機化速度の絶対値は年々低下した。

土壌溶液溶存態および土壌吸着態のアンモニウムを同時に調べ、モニタリングの容易な土壌溶液のデータにより土壌吸着態アンモニウム含量を求める吸着等温式を得た。

緩効性肥料の窒素溶出速度を実地で調べ、施肥量の見直しの根拠データを得た。

従属栄養 ARA は、高  $CO_2$  および加温のみならず、窒素施肥量の影響を受けることが示唆された。独立栄養微生物による正味の窒素固定量 (図 2) は栽培期間で約  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$  であったが、高  $CO_2$  効果は明瞭ではなかった。

土壌微生物炭素・窒素は高  $CO_2$  により増加し、加温により減少する傾向を示した。

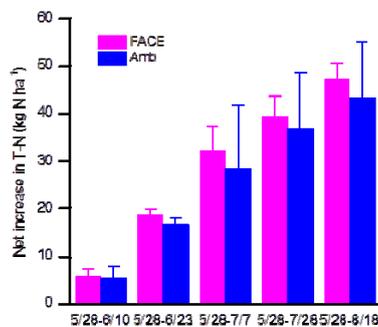


図 2 正味窒素固定量 (横軸は培養期間)

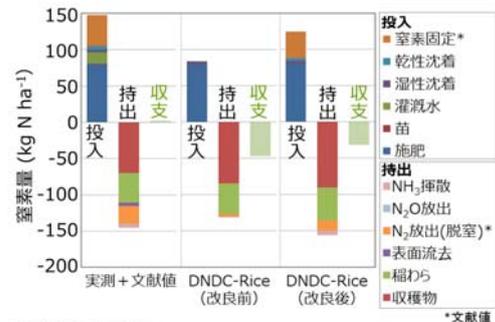
(3) 大気-水田間の窒素循環予測モデル・システムの開発

SOLVEG モデルに大気-水田間の  $NH_3$  交換を表現するモジュールを導入して検証した。同モデルは熱・水・ $CO_2$ ・ $NH_3$  フラックス、地温・土壌水分の経時変化をよく再現した。ただし、 $NH_3$  の大気濃度が低い場合には、フラックスの予測上、田面水または水稲地上部からの  $NH_3$  放出を考慮する必要があることが判明した。

DNDC-Rice モデルに緩効性肥料の窒素供給、窒素固定、乾性沈着、および  $NH_3$  揮散の各過

程を加えるよう改良し、水田の窒素収支を計算した (図 3)。

広域評価に関して、水田の群落規模の気孔コンダクタンスモデルを開発し、低解像度衛星画像の再解析により水田群落の正規化植生指数のデータセットを構築する手順を作り上げた。



つくばFACEの窒素収支 (2010年栽培期間[-31~104DAT]、原モデルで緩効性肥料溶出を予測)

図 3 水田の窒素収支 (DNDC-Rice モデル)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Katata, G., Hayashi, K., Ono, K., Nagai, H., Miyata, A., Mano, M., Coupling atmospheric ammonia exchange process over a rice paddy field with a multi-layer atmosphere-soil-vegetation model, Agricultural and Forest Meteorology, 180, 1-21 (2013) 査読有 doi:10.1016/j.agrformet.2013.05.001
2. 白井靖浩, 常田岳志, 酒井英光, 林健太郎, 長谷川利弘, 植物の高  $CO_2$  応答 4. FACE 実験による水田生態系の気候変動応答研究, 化学と生物, 印刷中 (2013) 査読有.
3. 長谷川利弘, 酒井英光, 常田岳志, 中村浩史, 白井靖浩, 林健太郎, 吉本真由美, 福岡峰彦, つくばみらい FACE 実験によるイネの高  $CO_2$  応答の検証, 光合成研究, 23, 18-23 (2013) 査読有.
4. Katayanagi, N., Ono, K., Fumoto, T., Mano, M., Miyata, A., Hayashi, K.\*, Validation of the DNDC-Rice model to discover problems in evaluating the nitrogen balance at a paddy field for single cropping of rice, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 95, 255-268 (2013) 査読有 (\*corresponding author). doi:10.1007/s10705-013-9561-1
5. Ono, K., Maruyama, A., Kuwagata, T., Mano, M., Takimoto, T., Hayashi, K., Hasegawa, T., Miyata, A., Canopy-scale relationships between stomatal conductance and photosynthesis in

- irrigated rice, *Global Change Biology*, 19, 2209-2220 (2013) 査読有.  
doi:10.1111/gcb.12188
6. Hayashi, K., Hasegawa, T., Tokida, T., Ono, K., Matsuda, K., Toyoda, S., Yano, M., Sudo, S., Wagai, R., Matsushima, M.Y., Minamikawa, K., Katata, G., Katayanagi, N., Fumoto, T., Iwasaki N., Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment study for paddy rice on nitrogen cycle (FACE-N) at Tsukuba FACE, Japan, *iLEAPS Newsletter* 13, 32 (2013) 査読無.  
<http://www.ileaps.org/>
  7. 林健太郎, 常田岳志, 小野圭介, 長谷川利弘, 松田和秀, 樋口慶郎, 関東地方の単作水田におけるオゾンモニタリング: 硝酸ガス捕集影響の除外によるパッシブサンプラー法の改良の試み, *大気環境学会誌* 47, 87-95 (2012) 査読有.
  8. Hayashi, K., Ono, K., Tokida, T., Mano, M., Takimoto, T., Miyata, A., Matsuda, K., Atmosphere-rice paddy exchanges of inorganic aerosols and relevant gases during a winter and a summer weeks, *Journal of Agricultural Meteorology* 68, 55-68 (2012) 査読有.  
doi:10.2480/agrmet.68.1.8
  9. Nouchi, I., Hayashi, K., Hiradate, S., Ishikawa, S., Fukuoka, M., Chen, C., Kobayashi, K., Overcoming the difficulties in collecting apoplastic fluid from rice leaves by the infiltration-centrifugation method, *Plant and Cell Physiology* 53, 1659-1668 (2012) 査読有.  
doi:10.1093/pcp/pcs102
  10. Hayashi, K., Tokida, T., Hasegawa, T., Potential ammonia emission from flag leaves of paddy rice (*Oryza sativa* L. cv. Koshihikari), *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144, 117-123 (2011) 査読有.  
doi:10.1016/j.agee.2011.07.012
  11. Katata, G., Nagai, H., Zhang, L., Held, A., Serça, D., Klemm, O., Development of an atmosphere-soil-vegetation model for investigation of radioactive materials transport in the terrestrial biosphere, *Progress in Nuclear Science and Technology* 2, 530-537 (2011) 査読有.
  12. Katata, G., Kajino, M., Hiraki, T., Aikawa, M., Kobayashi, T., Nagai, H., A method for simple and accurate estimation of fog deposition in a mountain forest using a meteorological model, *Journal of Geophysical Research* 116, D20102 (2011) 査読有.  
doi:10.1029/2010JD015552
  13. 堅田元喜, 永井晴康, 植生への粒子沈着モデルの研究動向とその課題, *エアロゾル研究* 25, 323-330 (2010) 査読有.
- [学会発表] (計 36 件)
1. 常田岳志, 林健太郎, 臼井靖浩, 酒井英光, 中村浩史, 長谷川利弘, 開放系大気 CO<sub>2</sub> 濃度上昇が出液からみたイネの窒素吸収速度に与える影響とその品種間差, 日本作物学会第 253 回講演会予稿集, 2013 年 3 月 28 日, 明治大学, 神奈川県.
  2. 小野圭介, 堅田元喜, 麓多門, 片柳薫子, 間野正美, 林健太郎, 宮田明, 地表面の物理特性の変化が水田の炭素・窒素動態に及ぼす影響, 日本農業気象学会 2013 年全国大会, 2013 年 3 月 26 日, 石川県立大学, 石川県.
  3. 岩崎亘典, 小野圭介, 林健太郎, MODIS と GIS データを用いた水田の NDVI 推定手法の検討, 地理情報システム学会, 2012 年 10 月 13 日, 広島修道大学, 広島県.
  4. 林健太郎, 松田和秀, 小野圭介, 常田岳志, 長谷川利弘, 関東地方の単作水田における昼夜区分フィルターパック法を用いた窒素交換モニタリング, 第 53 回大気環境学会年会講演要旨集, 448, 2012 年 9 月 14 日, 神奈川大学, 神奈川県.
  5. 堅田元喜, 林健太郎, 小野圭介, 間野正美, 宮田明, 推計法による水田上のアンモニアフラックスの推定. 第 53 回大気環境学会年会講演要旨集, 447, 2012 年 9 月 14 日, 神奈川大学, 神奈川県.
  6. 曳埜忍, 八島未和, 林健太郎, 常田岳志, 中村浩史, 長谷川利弘, 高濃度大気二酸化炭素・窒素施肥量・田面水加温が水田土壌における生物的窒素固定に与える影響, 日本土壌肥料学会講演要旨集 58, 5, 2012 年 9 月 4 日, 鳥取大学, 鳥取県.
  7. 片柳薫子, 麓多門, 常田岳志, 酒井英光, 臼井靖浩, 吉本真由美, 八島未和, 矢野翠, 中村浩史, 林健太郎, 長谷川利弘, DNDC-Rice モデルを用いた水田における窒素収支の評価, 日本土壌肥料学会講演要旨集 58, 183, 2012 年 9 月 4 日, 鳥取大学, 鳥取県.
  8. 孫小羽, 八島未和, 犬伏和之, 矢野翠, 中村浩史, 和穎朗太, 常田岳志, 林健太郎, 長谷川利弘, The effects of free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) and elevated temperature on soil microbial biomass carbon in a paddy soil, 日本土壌肥料学会講演要旨集 58, 1, 2012 年 9 月 4 日, 鳥取大学, 鳥取県.
  9. 常田岳志, 臼井靖浩, 片柳薫子, 林健太郎, 長谷川利弘, サイズと開閉部位の異

- なるチャンバを用いた水田からのメタンフラックスの自動測定, 日本土壌肥料学会講演要旨集 58, 18, 2012年9月4日, 鳥取大学, 鳥取県.
10. 長谷川利拡, 酒井英光, 常田岳志, 中村浩史, 白井靖浩, 林健太郎, 吉本真由美, 福岡峰彦, つくばみらい FACE 実験によるイネの高 CO<sub>2</sub> 応答の検証, 第3回日本光合成学会公開シンポジウム, SII-2, 2012年6月2日, 東京工業大学, 神奈川県.
  11. 矢野翠, 豊田栄, 常田岳志, 林健太郎, 長谷川利拡, 木庭啓介, 吉田尚弘, アイソトポマー比を用いた水田入水時における一酸化二窒素生成・放出過程の解析, 日本地球惑星科学連合大会 2012 予稿集, MIS21-P09, 2012年5月23日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県.
  12. Ono, K., Mano, M., Maruyama, A., Kuwagata, T., Hayashi, K., Miyata, A., An analysis of canopy-scale relationship between photosynthesis and stomatal conductance in an irrigated rice paddy, AsiaFlux Workshop 2011 Proceedings, 94, 10 November 2011, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
  13. Hayashi, K., Nitrogen fertilizer applications as a source of atmospheric ammonia, International Seminar on the Increased Agricultural Nitrogen Circulation in Asia: Technological Challenge to Mitigate Agricultural Nitrogen Emissions, 27 September 2011, National Taiwan University, Taiwan (招待講演).
  14. Hayashi, K., Ono, K., Matsuda, K., Hasegawa, T., Atmosphere-land exchange of reactive nitrogen at a paddy field in central Japan, iLEAPS Science Conference 2011, 19 September 2011, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
  15. Katata, G., Ono, K., Hayashi, K., Nagai, H., Miyata, A., Mano, M., Atmosphere-paddy field exchanges simulated with multi-layer atmosphere-soil-vegetation model (SOLVEG), iLEAPS Science Conference 2011, 20 September 2011, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
  16. 矢野翠, 豊田栄, 常田岳志, 和穎朗太, 南川和則, 林健太郎, 松島未和, 長谷川利拡, 木庭啓介, 吉田尚弘, 高 CO<sub>2</sub> 条件下の水田土壌における N<sub>2</sub>O 生成・消滅過程の同位体比を用いた解析, 日本土壌肥料学会 2011 年度つくば大会, 2011年8月9日, つくば国際会議場, 茨城県.
  17. Ono, K., Temporal variation in bulk stomatal conductance and leaf nitrogen in a rice paddy, FLUXNWT and Remote Sensing Open-Workshop: Toward Upscaling Flux Information from Towers to the Globe, 59, 8 June 2011, Berkeley, U.S.A.
  18. 小野圭介, 間野正美, 丸山篤志, 桑形恒男, 宮田明, 群落スケールのイネの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係, 第3回植物アクアポリン研究検討会発表要旨集, 26, 2011年6月3日, 倉敷芸文館, 岡山県.
  19. Matsushima, M., Sun, S., Yano, M., Tokida, T., Toyoda, S., Hayashi, K., Hasegawa, T., Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) and elevated water temperature on biological N<sub>2</sub> fixation activity and microbial biomass C in a paddy soil, 3rd Korea-Japan International Symposium on Microbial Ecology, 12 May 2011, Gwangju, South Korea.
  20. Hayashi, K., Hasegawa, T., Tokida, T., Ono, K., Matsuda, K., Toyoda, S., Yano, M., Sudo, S., Wagai, R., Matsushima, M., Minamikawa, K., Katata, G., Iwasaki, N., FACE-N project: Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment study for paddy rice with a focus on its effect on nitrogen cycle, Nitrogen and Global Change: Key Findings and Future Challenges, 12 April 2011, Edinburgh, United Kingdom.
  21. 林健太郎, 小野圭介, 常田岳志, 間野正美, 宮田明, 松田和秀, 水田における無機塩粒子および関連ガスの大気濃度および交換フラックス, 日本農業気象学会 2011 年春季大会, 2011年3月18日, 鹿児島大学, 鹿児島県.
  22. Hayashi, K., Ono, K., Mano, M., Miyata, A., Atmosphere-land exchange of ammonia at a Japanese paddy field, 5th International Nitrogen Conference, 5 December 2010, New Delhi, India.
  23. Katata, G., Nagai, H., Zhang, L., Held, A., Serca, D., Klemm, O., Development of atmosphere-soil-vegetation model for investigation of radioactive materials transport in terrestrial biosphere, Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications and Monte Carlo 2010, 18 October 2010, Tokyo, Japan.
  24. 堅田元喜, Zhang, L., 永井晴康, 葉の濡れが及ぼすガス状物質の乾性沈着への影響に関する数値的研究, 第51回大気環境学会年会, 2010年9月10日, 大阪大

- 学, 大阪府.
25. 堅田元喜, 梶野瑞王, 平木隆年, 藍川昌秀, 小林禧樹, 永井晴康, 気象・エアロゾル化学輸送・霧水沈着モデルを用いた山岳森林への霧水沈着に関する数値的研究, 第51回大気環境学会年会, 2010年9月10日, 大阪大学, 大阪府.
  26. Katata, G., Held, A., Nagai, H., Klemm, O., Numerical model study of dry deposition of particles onto vegetation, International Aerosol Conference 2010, 1 September 2010, Helsinki, Finland.
  27. Katata, G., Kajino, M., Hiraki, T., Aikawa, M., Kobayashi, T., Nagai, H., Numerical study of fog deposition onto mountainous forest using atmosphere, aerosol chemical transport, and land surface models: Estimation of water and matter deposition by fog deposition, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 29 July 2010, Munster, Germany.

[図書] (計2件)

1. 林健太郎 (分担執筆), 1. アンモニアの環境科学と農業との関係, 農業由来のアンモニア負荷—その環境影響と対策, 博友社, 東京, 13-38 (2011).
2. 林健太郎 (分担執筆), 3. アンモニアのフラックスの測定法, 農業由来のアンモニア負荷—その環境影響と対策, 博友社, 東京, 61-92 (2011).

[その他]

試験地の「つくばみらいFACE」と関連研究成果の紹介 <http://www.niaes.affrc.go.jp/outline/face/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 健太郎 (HAYASHI KENTARO)  
独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員  
研究者番号: 70370294

(2) 研究分担者

長谷川 利拡 (HASEGAWA TOSHIHIRO)  
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・上席研究員  
研究者番号: 10228455  
小野 圭介 (ONO KEISUKE)  
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・研究員  
研究者番号: 20549555  
岩崎 亘典 (IWASAKI NOBUSUKE)

独立行政法人農業環境技術研究所・生態系計測研究領域・主任研究員

研究者番号: 70354016

豊田 栄 (TOYODA SAKAE)

東京工業大学・総合理工学研究科 (研究院)・准教授

研究者番号: 30313357

八島 未和 (YASHIMA MIWA)

千葉大学・園芸学研究科・助教

研究者番号: 60527927

堅田 元喜 (KATATA GENKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究員

研究者番号: 00391251

(3) 連携研究者

常田 岳志 (TOKIDA TAKESHI)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・研究員

研究者番号: 20585856

麓 多門 (FUMOTO TAMON)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員

研究者番号: 30354103

須藤 重人 (SUDO SHIGETO)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員

研究者番号: 40354071

南川 和則 (MINAMIKAWA KAZUNORI)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・研究員

研究者番号: 60601151

和穎 朗太 (WAGAI ROUTA)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・研究員

研究者番号: 80456748

松田 和秀 (MATSUDA KAZUhide)

東京農工大学・農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター・准教授

研究者番号: 50409520

(4) 研究協力者

片柳 薫子 (KATAYANAGI NOBUKO)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・特別研究員 (科研費 PD)

矢野 翠 (YANO MIDORI)

東京工業大学・総合理工学研究院・博士後期課程

中村 浩史 (NAKAMURA HIROSHI)

太陽計器株式会社