

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03392

研究課題名(和文) 水田土壌における水銀の化学形態変化とコメのメチル水銀汚染に関する研究

研究課題名(英文) Behavior of MeHg production in a Hg(II) ion spiked paddy field soil during multi-year rice cultivation and the mechanism of MeHg accumulation in rice grain

研究代表者

児玉谷 仁 (KODAMATANI, Hitoshi)

鹿児島大学・理工学域理学系・准教授

研究者番号：30434468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：コメのメチル水銀汚染の発生について調べるため、培養液に水銀を加えた水耕栽培実験により、稲の水銀取込み挙動を調べた。また水銀イオンを添加した土壌でのメチル水銀生成と、生成したメチル水銀の稲の取り込みについて検討を進めた。水耕栽培実験の結果、培養液に添加した水銀イオン、メチル水銀は根に蓄積し、特にメチル水銀のみが穂の成長とともに穂に移行していく結果が確認された。また、湛水条件とした土壌のメチル水銀濃度は、稲の有無によらず湛水期間の間に大きく変動することが明らかになり、特に土壌の酸化還元電位の低下に合わせ上昇した後、減少していくことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、水銀汚染を受けた水田土壌でのメチル水銀生成と、コメのメチル水銀汚染について検討を進めたものである。水耕栽培実験により、根から吸収されたメチル水銀の状況がコメの水銀濃度に与える影響を確認した。また土壌でのメチル水銀生成は、稲の成長とは関係なく育成期間の間に大きく変動し、また土壌の水銀形態がメチル水銀生成に与える影響が大きいことを確認した。人体への影響は今後の課題となるが、コメは世界人口半分の主食であり、そのコメのメチル水銀汚染がどのように起こるのか詳細に調べた本研究成果の社会的意義は大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：To investigate the accumulation of methylmercury in rice grains, the uptake behavior of mercury by rice plant was examined through hydroponic experiments, which involved addition of mercury to the culture solution. In addition, the formation of methylmercury from mercury ion in waterlogged soil and the uptake of the formed methylmercury by rice plant were investigated. The results of hydroponic experiments showed that mercury ion and methylmercury, added to the culture solution, accumulated in the roots, and only methylmercury was transferred to the ears during ear growth. The concentration of methylmercury in the waterlogged soil fluctuated greatly during the rice cultivation period, with and without rice plants. Of note, methylmercury concentration increased with decreasing soil redox potential; however, with further decrease in soil redox potential, methylmercury concentration decreased.

研究分野：分析化学、環境化学

キーワード：コメ 水銀汚染 メチル水銀 土壌 水田

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、コメにメチル水銀 (MeHg) が蓄積することがわかり、水銀研究における大きなトピックスとなっている[1]。食物連鎖の基盤である植物で、かつ世界人口半分の主食である稲 (コメ) が水銀曝露源となりうるという事実は、非常に憂慮すべきことであり、コメの水銀汚染メカニズムを解明し、汚染抑制などの対策を立てることが必要となる。

現在、コメの MeHg 汚染に関する研究は、主に中国の水銀鉱山地域 (主に辰砂として水銀を産出) で実施されているが、土壌の水銀汚染は、鉱山活動以外にも人為的な汚染や火山活動などによっても起こり、放出される水銀の化学形態も異なる。また、土壌での MeHg 生成は、主に微生物活動によるものとされており、無機水銀の存在形態や土壌環境 (化学組成や温度・水分量) によって大きく変動すると考えられる。さらに稲は非常に多数の品種が存在している。よって、水田での水銀の存在状態・環境と MeHg の生成、そして稲の MeHg 取込みの関係解明が必要となっている。

2. 研究の目的

本研究は、水田土壌の水銀汚染が新たに起こったと仮定し、水田土壌に水銀イオン (Hg^{2+}) を添加した模擬水田を構築し、水田土壌での無機水銀の MeHg 化および稲による水銀取込みの基礎的な知見を集積することを目的に研究を進めた。

3. 研究の方法

(1) 水耕栽培実験と模擬水田実験

水耕栽培実験は、大きくなりすぎない品種 (日本晴) を用いて実施した。培養液には 10 倍希釈したムラシゲスクグ無機塩培地を利用し、 $28^{\circ}C$ のインキュベータ内で育成を進めた[2]。模擬水田実験では稲による吸収が土壌 MeHg 濃度に影響をあたえるか確認しやすいように土壌量は 4kg とし、土壌をポットに入れ、水を入れてよくかき混ぜ、数日静置した後、稲 (台中 65 号) の苗を 1 本植え、鹿児島大学付属農場温室で育成を進めた。

(2) 試料採取および処理

土壌試料は、稲の育成期間の間、2 週間に一度表層土壌を採取した。育成期間終了後、ポット下部の土壌 (根圏土壌) を採取した。稲試料は、部位ごとに分けて採取した。採取した試料は、凍結乾燥処理後、均一化して測定に用いた。

(3) 試料測定

土壌、稲試料の総水銀 (T-Hg) 測定には、加熱気化-冷原子吸光光度法 (MA3000, 日本インスツルメンツ) を利用した。MeHg 測定には、確立した高速液体クロマトグラフィー化学発光検出法を利用した。また、土壌の評価のため、その他の化学分析装置や、各種電極などを利用した。

4. 研究成果

(1) 水耕栽培実験

土壌中の MeHg 濃度は、微生物活動により常に生成・分解することで変動していると考えられ、稲の吸収による土壌 MeHg 濃度の変動も考慮しなければならない。さらに稲も約 5 か月にわたり育成が必要である。よって、土壌での MeHg 生成と稲の MeHg 吸収を同時に評価するのは困難である。そこで、まず土壌を使わず培養液を利用する水耕栽培で稲の水銀吸収挙動を調べた。

稲内での MeHg および Hg^{2+} の挙動

100 ng/mL の MeHg または Hg^{2+} を含む培養液 40 mL (Hg として $4\text{ }\mu\text{g}$) で、稲の苗 (30cm ほど) を 2 日間だけ育成した後、水銀を含まない培養液に移し替え、稲の育成を続けた。移植直後、21 日、51 日、90 日後の計 4 回、5 個体 (およびブランク 3 個体) ずつ回収して試料とし、水銀の移動について確認を行った。

各部位の水銀量の経日変化を図 1 に示す。MeHg では、2 日間の水銀溶液での育成で、溶液中に存在していた約 8 割の MeHg が、培養液から根に移行しており、90 日の培養後まで総量はほとんど変わっていない。また根から吸収された MeHg が育成期間の間に他部位に移行し、特に籾が出来てから籾に集中して移行しているのが確認された。一方、 Hg^{2+} は

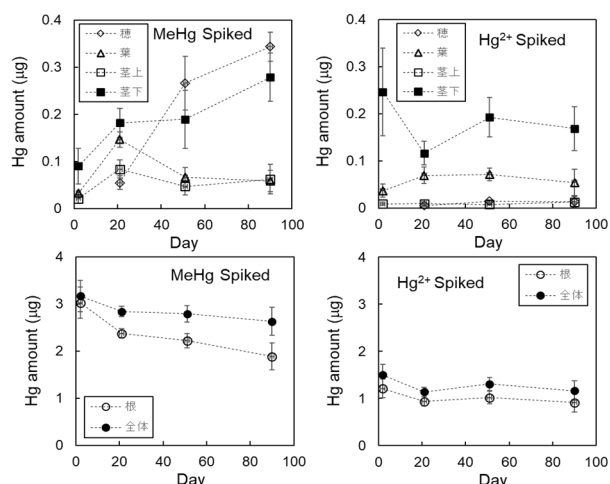


図 1 水耕栽培による稲の各部位の水銀分布

根に吸収された量も MeHg に比べて少なく、根でそのほとんどが保持されており、茎下への移行が多少確認されただけであった。

実際の土壌環境下では、 Hg^{2+} 、MeHg とともに何らかの物質と錯体を形成して存在している（今回の培養液には EDTA が含まれている）と考えられるが、 Hg^{2+} に比べて MeHg の稲内での移動のしやすさが明らかになったといえる。また MeHg および Hg^{2+} とともに根に蓄積したものが、育成期間の間、ほぼ根に残存することが明らかとなった。

根の MeHg 付着状態と籾の水銀濃度の関係

稲は分けつして新たな根を作り増えていく。よって土壌での MeHg 生成状況が稲の穂ごとの水銀濃度に与える影響を確認するため、培養液に添加する MeHg 量を一定（25 μg ）とし、それを育成期間の間に 1, 3, 5, 10 回（各 3 ポット）に分けて 2 週ごとに添加し、穂に含まれる水銀濃度を測定する実験を行った。

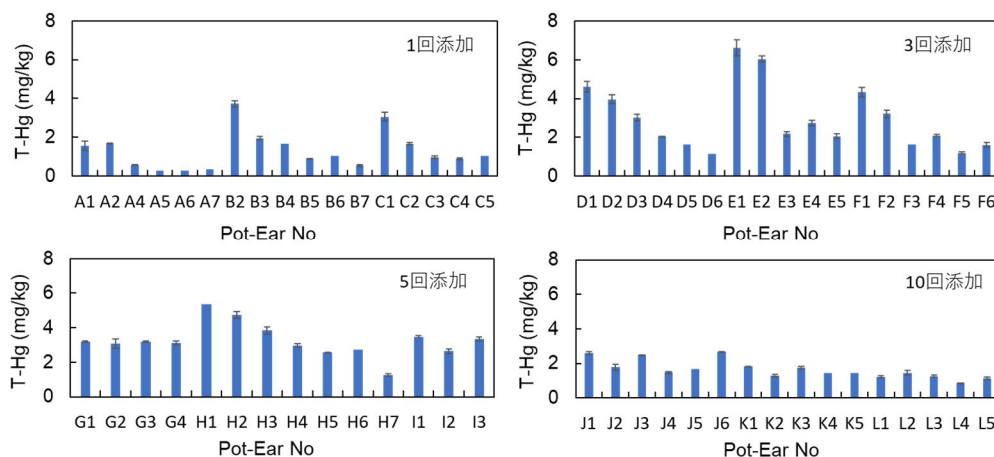


図 2 成長過程におけるメチル水銀の存在量と各穂の水銀濃度の関係

結果を図 2 に示す（Pot-Ear No は、ポットの番号と出穂した穂の順番を表している）。各穂の水銀濃度は籾をいくつか測定し、その平均濃度で算出した。成長初期の段階で 25 μg の MeHg 添加が完了した 3 回添加で、穂の水銀濃度が最も高くなった。一方、10 回では、成長した根すべてに MeHg が付着することで根の濃度として低くなり、また籾の成長後に添加された MeHg は籾の濃度に影響しないため、全体として水銀濃度が低くなったものと考えられた。逆に 1 回の添加では、根が育ちきっておらず、一部の根に MeHg が蓄積し、後から成長した MeHg を持っていない根により栄養が吸収され成長が進んだため、籾の濃度が低下したものと推測された。（この実験の予備検討段階において、根の水銀濃度が 100 mg/kg を超える状況になると、根としての機能を果たせないようになり、育成不良が起こることを確認している。）(1) の結果と合わせると、継続的に MeHg が生成し、根に蓄積していく環境であれば、各穂の水銀濃度はほぼ一定になると考えられる。

(2) 模擬水田での実験

土壌での MeHg 生成およびコメの汚染に関しては、ポットを利用した模擬水田により実施した。 Hg^{2+} を添加した水銀汚染土壌は、最終的には適切に処理する必要があるため、可能な限り作成しないことを前提に研究を計画した。

稲の育成と土壌内メチル水銀濃度の関係

2019 年は稲の有無による土壌の MeHg 濃度変動について確認を進めた。（2015 年に Hg^{2+} を加え稲の栽培に毎年利用していた土壌に新たに採取した土壌を混ぜたものを使用した）。結果を図 3 に示す。稲の有無にかかわらず、土壌の MeHg 生成割合は育成期間の間に大きく変動することが確認された。酸化還元電位（ORP）との関係を見ると、ORP の低下に伴い MeHg 生成が増え、さらに還元状態が進行すると MeHg 生成割合が低下する傾向が確認された。微生物活動と土壌 ORP の関係はよく知られているため、微生物叢解析による微生物叢の変遷の確認は、MeHg 生成挙動の理解につながると考えられる。

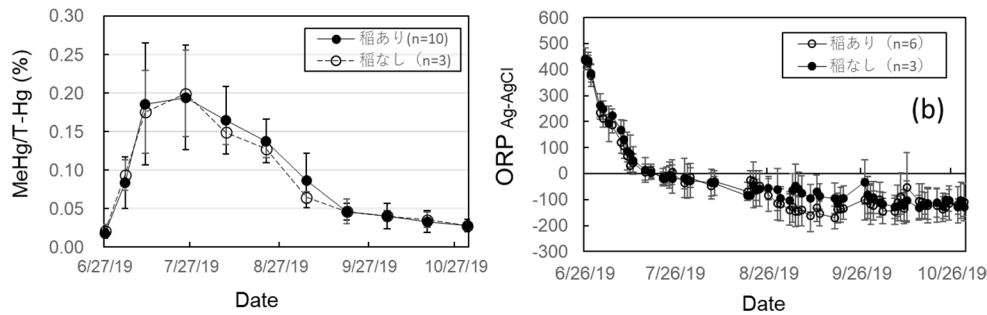


図3 土壌メチル水銀生成割合の変化と ORP の変化

稲を栽培したポット (n=9) では、栽培完了後、稲の根により土壌が完全に保持された状態となっていた。土壌、根、最初に出穂した穂の T-Hg 濃度は、それぞれ 6.81 ± 0.96 mg/kg, 3.62 ± 1.56 mg/kg, 0.050 ± 0.011 mg/kg であり、MeHg 濃度は、 5.2 ± 1.1 ng/g, 15.3 ± 0.5 ng/g, 43.6 ± 5.7 ng/g であった。T-Hg に占める MeHg の割合は、土壌で 0.08%, 根で 5.3%, 穂で 90% となり、稲が MeHg を選択的に取り込んでいっていることが確認された。これは水耕栽培の結果 (1) と一致する。また土壌でのメチル水銀生成挙動 (図 3), および稲のメチル水銀吸収 (図 2) を考えると、湛水環境のコントロールでコメの水銀汚染を多少なりとも抑えられる可能性が示されたと言える。

新規 Hg²⁺ 添加によるメチル水銀生成

2020 年は、これまで使用してきた水銀汚染土壌と、新規に同一の場所で採取した土壌に Hg²⁺ を新たに添加したポットを準備し (いずれも T-Hg, 8 mg/kg), 同一環境で稲を育てることで土壌での MeHg 生成および稲への影響を確認した。昨年度 (2) と同様の環境で栽培した 3 つのポット (No 7, 8, 9) に比べ、新たに Hg²⁺ を加えたポットで、MeHg 濃度が平均して高い結果が得られたが、3 のポット (No 4, 5, 6) でそのバラつきは非常に大きかった (図 4)。土壌は不均一であるため、サンプリングの問題と考えられたが、収穫した玄米の水銀濃度も No 6 で 0.136 mg/kg, No 5 で 0.037 mg/kg となり、稲の育成状態も No 6 が良いという結果となった (根の重量も No 6 で 11.77 g, No 5 で 5.07 g となり、No 5 がよく育ったため No 6 に比べ希釈を受けたという状況でもないことが確認された)。肥料の添加は稲の状況を見て、それぞれ行うため、環境としては唯一その点だけが異なるが、いずれにしても稲が育った環境の方が土壌 MeHg 濃度も増えるというのは興味深い結果である。肥料による微生物活動の活性化、稲の根の存在による土壌環境の変化などが考えられる。これらについては今後検討を進める予定である。

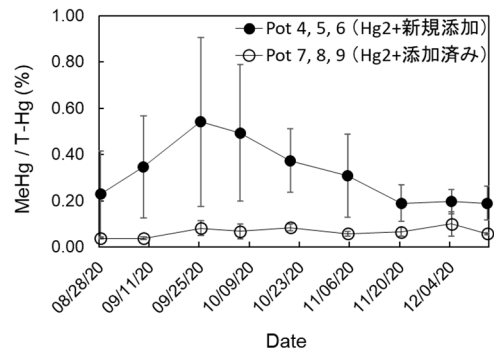


図 4 Hg²⁺ 新規添加土壌の MeHg 生成割合

(3) 土壌中水銀の形態別分析法の検討

過去に土壌に添加した Hg²⁺ に比べ、新規に Hg²⁺ を添加した土壌で MeHg 生成が顕著な原因として、添加した Hg²⁺ の形態変化により、MeHg 生成が抑制されるのが一因と考え、土壌に存在する無機水銀の形態別分析について検討を進めた。

既報の形態別分析法を参考に 7 つに分別する逐次抽出法を実施した [3, 4]。表 1 に各操作の詳細を示す。各 Step の間には土壌内に残った溶出溶液を洗い出すため、超純水による洗浄操作を実施した。

表 1 水銀用逐次溶出手順

Step	Fraction of Hg	Extractants	Condition
1	Water extractable Hg	10 mL of deionized H ₂ O	20-25°C 18h end - over - end shaking
2	Acid soluble Hg	10 mL of CH ₃ COOH (0.11 mol l ⁻¹)	20-25°C 18h end - over - end shaking
3	Reduceble Hg	10 mL of NH ₂ OH HCl (0.5 mol l ⁻¹ , pH 1.5)	20-25°C 18h end - over - end shaking
4	Organic bound Hg	10 mL of 0.1 mol/L Na ₄ P ₂ O ₇	20-25°C 18h end - over - end shaking
5	Elemental Hg	10 mL of 50% (v/v) HNO ₃	20-25°C 18h end - over - end shaking
6	Hg sulfide	10 mL of 0.03 mol/L KI in 50% (v/v) HCl	70 ° C, 45 min, ultrasonic agitation
7	Residual Hg	Direct determination (MA3000 or HG201)	

sample 0.5 g

表2はイトムカ水銀鉱山周辺で採取した土壌試料の分別定量結果である。河川そばで採取した土壌では、鉱石の混入があるためか硫化物態の割合が高く、一方、山中で採取した土壌では有機物態の割合が高いなど、逐次溶出法による形態別分析の結果から、その土壌における水銀由来に関する情報が得られることが確認できた。土壌に含まれる水銀の形態別分析は、水銀の挙動を知るうえで有用であるが、逐次抽出法は非常に煩雑であるため、今後、異なる原理に基づく形態別分析法を検討していきたいと考えている。

表2 イトムカ水銀鉱山周辺土壌の形態別測定

Step	河川傍	山中
1	0.06	0.03
2	0.12	0.01
3	0.02	0.07
4	2.89	3.31
5	7.25	4.60
6	8.11	1.04
7	1.69	0.00
合計量 (µg)	20.13	9.06
一括測定 (µg)	19.25	9.78

0.5 g あたりの水銀量

(4) Hg²⁺添加土壌でのメチル水銀生成の経年変化

2015年にHg²⁺を添加し、2017年まで3シーズン稲作に利用し、年々にMeHg生成濃度が低下していることを確認していた土壌試料について詳細な分析を進めた。逐次溶出法による形態別分析の結果、年度の進行とともに水銀の硫化物態の存在割合が50%、59%、64%と増加していることが確認された。還元的环境となる水田土壌において、生成した硫化物イオンとHg²⁺により安定な硫化水銀となり、MeHg生成に関われなくなっている可能性も考えられる。また2年目以降、土壌中の塩化物イオン濃度が顕著に増大していた。通常の水田栽培と違い、ポット栽培では、稲による吸収及び蒸発により減った分の水を追加することになるため、土壌へ塩類が蓄積したものと考えられた。今後、存在する水銀形態や土壌塩濃度がMeHg生成に及ぼす影響についても確認していく予定である。また現在、一部の土壌試料を用いて微生物叢解析、メタゲノム解析を行いMeHg生成にかかわる遺伝子数からの評価を進めている。

<引用文献>

- [1] Liu M., et al., *Nature communications* 10, 5164, 2019.
- [2] Kuroda M., Ikenaga, S., *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 79, 63, 2015.
- [3] Zverina O., et al., *Chemical paper* 68, 197, 2014.
- [4] Fernandez-Martinez R., et al., *Environ. Sci. Process Impact* 16, 1069, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kodamatani Hitoshi, Daiba Yuri, Morisaki Shintarou, Ichitani Katsuyuki, Kanzaki Ryo, Tomiyasu Takashi	4. 巻 247
2. 論文標題 Detailed investigation of methylmercury accumulation in rice grain from Hg ²⁺ -spiked non-contaminated paddy field soils	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 125827 ~ 125827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2020.125827	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 Kanzaki Ryo, Kodamatani Hitoshi, Tomiyasu Takashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Proton Thermodynamics in a Protic Ionic Liquid, Ethylammonium Nitrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 13500 ~ 13503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201903485	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 Hitoshi Kodamatani, Souta Katsuma, Azusa Shigetomi, Toshimune Hokazono, Ryusuke Imura, Ryo Kanzaki, Takashi Tomiyasu	4. 巻 77
2. 論文標題 Behavior of mercury from the fumarolic activity of Mt. Myoko, Japan: production of methylmercury and ethylmercury in forest soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12665-018-7616-y	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 Ryo Kanzaki, Hikaru Daiba, Hitoshi Kodamatani, Takashi Tomiyasu	4. 巻 122
2. 論文標題 Validation of pH Standards and Estimation of the Activity Coefficients of Hydrogen and Chloride Ions in an Ionic Liquid, Ethylammonium Nitrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 10593-10599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b08870	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 児玉谷 仁, 富安 卓滋	4. 巻 64
2. 論文標題 化学発光検出法を利用した有機水銀分析法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ケミカル エンジニアリング	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Hitoshi Kodamatani, Kenta Sugihara, Taketo Tanisue, Ryo Kanzaki, Takashi Tomiyasu	4. 巻 36
2. 論文標題 Contamination, decomposition, and formation of N-nitrosodimethylamine in water samples at the ng/L level of determination	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical sciences	6. 最初と最後の頁 1393-1399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20P162	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 Hitoshi Kodamatani, Daisuke Yoshimine, Takahiro Fujioka, Ryo Kanzaki, Takashi Tomiyasu	4. 巻 3
2. 論文標題 A novel luminol chemiluminescence induced by photoexcited ketones: A selective determination method for acetone in wastewater	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Talanta Open	6. 最初と最後の頁 10035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.talo.2021.100035	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 Hitoshi Kodamatani, Taketo Tanisue, Takahiro Fujioka, Ryo Kanzaki, Takashi Tomiyasu	4. 巻 26
2. 論文標題 Inhibitory effect of alkyl groups on N-nitrosamine formation from secondary and tertiary alkylamines with monochloramine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Technology & Innovation	6. 最初と最後の頁 101520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eti.2021.101520	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hitoshi Kodamatani, Shintaro Hamasuna, Kana Honda, Takahisa Yokota, Katsuyuki Ichitani, Ryo Kanzaki, Takashi Tomiyasu
2. 発表標題 BEHAVIOR OF MEHG PRODUCTION IN A HG(II) ION SPIKED PADDY FIELD SOIL DURING MULTI-YEAR RICE CULTIVATION AND THE MECHANISM OF MEHG ACCUMULATION IN RICE GRAIN
3. 学会等名 14th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保翔太郎、児玉谷仁、神崎亮、富安卓滋
2. 発表標題 222 nm光源による光化学反応を用いた硝酸・亜硝酸イオンの高感度分析法開発
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 児玉谷 仁
2. 発表標題 化学発光反応を利用したメチル水銀分析法の開発と環境試料への応用
3. 学会等名 第103回プラズマ分光分析研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保 翔太郎, 児玉谷 仁, 神崎 亮, 富安 卓滋
2. 発表標題 222 nm光源による硝酸・亜硝酸イオンの光化学反応
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保 翔太郎, 児玉谷 仁, 神崎 亮, 富安 卓滋
2. 発表標題 光化学反応とルミノール化学発光を利用した硝酸・亜硝酸の高感度分析法の開発
3. 学会等名 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野添 千裕, 児玉谷 仁, 神崎 亮, 富安 卓滋
2. 発表標題 水素化物発生原子吸光光度法による生体試料中Seの定量
3. 学会等名 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下鶴優美, 児玉谷仁, 神崎亮, 富安卓滋
2. 発表標題 水俣市及びその周辺土壌における水銀濃度分布
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉原健太, 児玉谷仁, 神崎亮, 富安卓滋
2. 発表標題 大気中N-ニトロソアミン類の測定法開発
3. 学会等名 第80回分析化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下鶴優美, 児玉谷仁, 神崎亮, 富安卓滋
2. 発表標題 水俣市化学工場周辺土壤中の総水銀及び有機水銀分布
3. 学会等名 2020年度日本地球化学会67年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田和俊, 児玉谷仁, 富安卓滋, 丸本 幸治, 愛澤 秀信
2. 発表標題 水晶振動子を利用した液相中の水銀の還元気化測定法の検討
3. 学会等名 ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2020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	一谷 勝之 (Ichitani Katsuyuki) (10305162)	鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授 (17701)	
研究分担者	山本 正浩 (Yamamoto Masahiro) (60435849)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・研究員 (82706)	
研究分担者	武内 章記 (Takeuchi Akinori) (10469744)	国立研究開発法人国立環境研究所・環境計測研究センター・主任研究員 (82101)	

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	神崎 亮 (Kanzaki Ryo) (50363320)	鹿児島大学・理工学域理学系・准教授 (17701)	
研究分担者	富安 卓滋 (Tomiyasu Takashi) (60217552)	鹿児島大学・理工学域理学系・教授 (17701)	

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