

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580459

研究課題名(和文) ハノイの廃棄物処分場周辺農耕地土壌における水銀汚染の実態把握とその対策

研究課題名(英文) Assessment and Countermeasures for Mercury Contamination of Agricultural Soils near Waste Disposal Facility in Hanoi, Vietnam

研究代表者

岩崎 貢三 (Iwasaki, Kozo)

高知大学・教育研究部総合科学系・教授

研究者番号：40193718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：ハノイ北部のNam Son廃棄物処分場周辺では、浸出水の不完全な処理などのため、周辺環境の悪化が問題となっている。本研究では、特に水銀に焦点を当て、河川底質、畑土壌における形態別存在量、作物、大気中含量を分析した。底質中の総水銀量は、処分場に近い地点ほど高い値を示し、メチル水銀も検出された。底質中の水銀の大部分は、土壌有機物、残渣画分に存在した。一方、畑土壌、作物体、大気については、水銀による汚染は認められなかった。本研究の結果、調査地域では、廃棄物埋め立て処分場を点源とする河川底質の水銀汚染が存在することが確認され、雨季の洪水等によって流出した埋め立て土壌や浸出水が原因と推察された。

研究成果の概要(英文)：Inappropriate management of the land-filling area has been posing potential risks to the environment around Nam Son waste disposal facility in Hanoi. In this study, we focused on Hg contamination and evaluated the amounts of Hg in different chemical forms in the river sediments and upland soils, and Hg concentrations in the air and crops. In the sediments, the highest amount of total Hg was detected at the nearest site to the facility and decreased with the distance from the facility. Methyl Hg was also detected at these sites. Almost all of Hg in the sediments were extracted in the organically bound and residual fractions. No Hg contamination was observed for the upland soils, crops and air. From this study, it was confirmed that Hg contamination of the sediments was brought about by the point source pollution from the land-filling area, where the solid particles containing Hg have been eroded by flooding under heavy rains.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：国際情報交換 ベトナム ハノイ 廃棄物処分場 水銀 農耕地 河川底質 環境汚染

1. 研究開始当初の背景

ベトナムでは、経済活動の活発化にともなう産業廃棄物や都市からの一般廃棄物に関連した環境問題が年々深刻となっている。ベトナムにおける廃棄物発生量は、毎年 1500 万トンであり、そのうちの約 17%が産業廃棄物、約 80%が一般廃棄物である。2010 年には、人口増加に伴って一般廃棄物の発生量は約 60%増加したと推察される。これらの廃棄物は、一般に埋め立て処分されるが、処分場では、分別されることなく収集された廃棄物が、通常、Open Dump (廃棄物を単に地面に投棄処分する) または Control Dump (廃棄物を並べて固め、被覆する等の最低限の管理を行う) され、浸出水の浸透防止や処理が不十分な場合が多い。また、処分場の容量が明らかに不足していることに加え、雨期に定期的に発生する河川の氾濫・洪水によって、処分場から汚染水が流出している可能性も高く、有害廃棄物に由来する周辺農耕地の汚染が懸念されている。

ベトナムでは、水稻栽培を中心とする農業が主要産業であり、ハノイの廃棄物処分場周辺にも広大な農耕地が広がっている。したがって、このような地域での安全な土壌・水環境の創造は、地域住民の健康にとっても極めて重要な課題となっている。

以上のような背景から、我々は、平成 22 年に、ハノイ北部の Nam Son 廃棄物処分場周辺地域を対象に、重金属汚染に関する予備調査を実施した。その結果、処分場周辺の河川底質では、処分場から離れた地点と比較して、水銀、銅等の含量がやや高いことが示唆された。そこで、予備調査で対象とした重金属元素の中でも、特に有害性の高い水銀に関して、さらなる調査を実施し、安全な食料生産のための環境管理対策に資することが必要と着想した。

2. 研究の目的

日本で発生した水銀汚染としては、水俣湾における工場排水による海洋・魚介類の有機水銀汚染が有名である。また、陸地土壌に関しては、いもち病防除等を目的に、1953 年から 68 年まで使用された水銀農薬 (酢酸フェニル水銀) による汚染が存在する。一方、海外においては、金の採掘、工場排水による水銀汚染が依然重大な環境問題となっている。さらに近年では、様々な電子機器等に含まれる水銀化合物の環境への排出が問題となってきた。すなわち、近年では、個々の製品に含まれる水銀化合物は微量であるが、廃棄物として集約されることにより、総量としては無視できない量が環境中に排出され、廃棄物処分場の周辺環境に影響を及ぼすことが問題となっている。

以上のような状況は、特に、ベトナム等の途上国において深刻である。工場排水や農薬、鉱山活動によって発生する水銀汚染が、高濃度で局所的であるのに対し、廃棄物に由来す

る汚染は、微量ではあるが長期間にわたり環境や人体へ影響を及ぼすことが予想される。したがって、このような汚染の程度は低いが、決して放置することのできない「途上国における低レベル水銀汚染の問題」への取り組みが必要と考えられる。

そこで本研究では、ハノイの廃棄物埋め立て処分場周辺を対象に、河川底質、畑土壌、作物および大気の水銀による汚染実態、河川底質・土壌中の水銀の形態別存在量を明らかにし、これらのデータに基づいて、安全な食料生産のための方策を模索することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 試料採取

ハノイ市街地の北方約 50km に位置する Nam Son 廃棄物処分場周辺 (N 21.33, E 105.83) で、以下の方法で河川底質、畑土壌、作物、大気のサンプリングを行った。底質・土壌試料は、植物防疫法に基づき農林水産大臣の許可を受けて輸入し、分析に供試した。

河川底質

2011 年 1 月及び 2012 年 8 月に、処分場近くを流れる Cau Lai 川に沿って、約 200 m 間隔で 11 地点から河川底質 (0~5 cm) を採取した。分析の結果、いずれのサンプリング時期でも同様の傾向が認められたので、研究成果では、2011 年 1 月に採取した試料の結果を示した。

畑土壌および作物体

2014 年 2 月に、河川底質の採取地点 4, 5, 6, 11 付近の 6 圃場で、表層土壌 (0~10 cm) および作物体地上部を各 4 反復で採取した。なお、2012 年 8 月にも、作物体採取を試みたが、台風による洪水のため作物試料を得ることはできなかった。

大気

の試料採取の際に、各地点において、定流量式吸引ポンプ (柴田科学, -100HN) を用い、 1.0 L min^{-1} 、20 分間、大気を水銀用チューブ (柴田科学) に吸引した。

(2) 分析方法

総水銀量

河川底質及び表層土壌中の総水銀量は、風乾試料を硝酸 + 塩酸 (1:3) でマイクロウェーブ分解 (アクタック, Speed Wave 4) した後、還元気化-冷原子吸光光度法 (日本インスツルメンツ, RA-3210A) で分析した。作物体中の総水銀量は、乾燥後粉末とした試料に硝酸 + 過塩素酸 (1:1) および硫酸を加えて加熱分解し、上記と同様の方法で定量した。一方、大気中の水銀は、水銀捕集剤 (アナソルブ C300) をチューブから取り出し、NIOSH 6009 に従って、硝酸と塩酸で水銀を脱着させ、還元気化-冷原子吸光光度法で分析した。

メチル水銀量

環境省水銀分析マニュアル (平成 16 年 3 月) に従って、河川底質および表層土壌の新鮮試料を 1 M 水酸化カリウム-エタノール溶

液で前処理後、ジチゾン抽出 - ECD 検出ガスクロマトグラフ法で分析した (ECD-GC: Shimadzu 2014, カラム: GL サイエンス, Hg-20A)。

河川底質中の水銀の形態別存在量

第 1 表に示した試薬と抽出条件で、選択溶解-逐次抽出法によって底質中の水銀を 6 画分に画分し、形態別存在量を分析した。

第 1 表 選択溶解-逐次抽出法に用いた試薬及び抽出条件

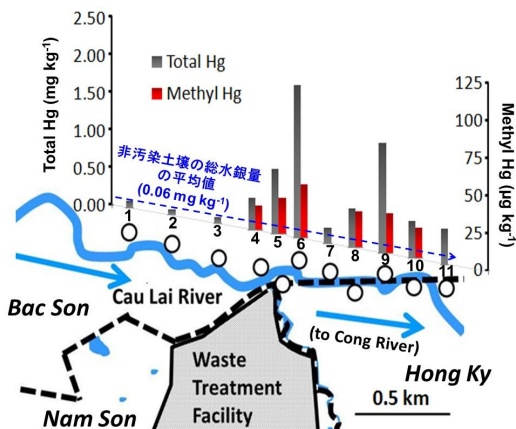
画分	試薬	懸液-溶液比	抽出条件	水銀の形態
F1 Ex.	1 M CH ₃ COONH ₄ (pH 7.0)	1 : 25	Shaking at 25°C for 0.5 hr	水溶性 + 交換態
F2 MnO	0.1 M NH ₂ OH HCl + 0.01 M HCl (pH 2.0)	1 : 25	Shaking at 25°C for 0.5 hr	マンガノ酸化物吸蔵態
F3 OM	0.1 M Na ₂ P ₂ O ₇ (pH 10.0)	1 : 25	Shaking at 25°C for 18 hr	土壌有機物吸蔵態
F4 AFeO	0.2 M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ + 0.2 M H ₂ C ₂ O ₄ (pH 3.25)	1 : 25	Shaking at 25°C for 4 hr in the dark	非晶質鉄酸化物吸蔵態
F5 Res-1	6.4 M HNO ₃	1 : 25	Shaking at 25°C for 2 hr	非硫化水銀態残渣, 金属態水銀 (Hg ⁰)
F6 Res-2	Aqua regia	1 : 8	Microwave Digestion	硫化水銀態残渣 (辰砂態)

Han and Pelchat (2005), Han et al. (2006), USEPA method 7474(2007)

4. 研究成果

(1) 河川底質中の総水銀量, メチル水銀量

第 1 図に、調査地域の地図と各地点で検出された総水銀量とメチル水銀量を示した。なお、地点 4 と 5 の中間付近に、廃棄物処分場からの廃水が放出されている。図から明らかなように、処分場よりも下流に位置する地点で採取した河川底質から、非汚染土壌の総水銀量の平均値 (0.06 mg kg⁻¹) を超える比較的高いレベルの水銀が検出された。また、これらの試料のほとんどから、メチル水銀も検出された。底質中の総水銀量は、処分場から 400 m 以上上流, 1 km 以上下流の地点では、低下する傾向が観察されたが、地点 9 では分析試料中で 2 番目に高い値が検出された。また、地点 7 では、処分場に近いかかわらず、低い値が認められたが、この原因としては、河川の蛇行など地形的要因や河川水の pH の変動によって、河底への汚染物質の沈降傾向に違いがあったことなどが考えられる。



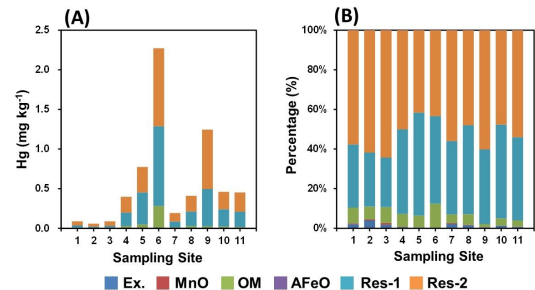
第 1 図 河川底質中の総水銀量およびメチル水銀量

(2) 河川底質中の水銀の形態別存在量

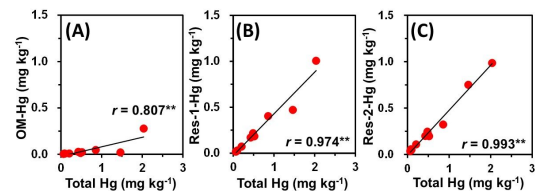
選択溶解-逐次抽出法による分析結果を第 2 図に示した。河川底質中の水銀は、いずれの試料でも非硫化水銀態残渣 (Res-1), 硫化水銀態残渣 (Res-2) 画分に最も多く検出された。また、最も総水銀量の高かった地点 6 では、土壌有機物吸蔵態 (OM) 画分の水銀量も高い傾向が認められた。

地点 4~11 の結果を、総水銀量の低い地点 1~3 の結果と比較すると、地点 4~11 における総水銀量の上昇は、Res-1, Res-2, OM 画分の水銀量の増大に起因すると考えられた。さらに、第 3 図に示したように、Res-1, Res-2, OM 画分の水銀量と総水銀量, メチル水銀量との間には、有意な正の相関関係が認められた。

これらの結果から、今回の分析試料中の水銀は、水銀を含む廃棄物そのものや埋め立て土壌などの固体粒子が、大雨による洪水により流出した結果ではないかと推察された。しかし、硫化水銀態残渣の水銀が占める割合多いことや、総水銀量の増加に伴って、メチル水銀量も増加する傾向が認められた ($r = 0.924^{**}$, $n = 6$) ことから、以前に水銀が含まれる汚染水が処分場から放流され、河川水中に溶解した水銀イオンが、微生物の作用によって形態変化した可能性も考えられる。発生源の水銀の形態については、さらに検討が必要である。



第 2 図 河川底質中水銀の形態別存在量 (A) および各形態の水銀量が総水銀量に占める割合 (B)



第 3 図 総水銀量と土壌有機物吸蔵態画分 (A), 非硫化水銀態残渣画分 (B), 硫化水銀態残渣画分 (C) に抽出された水銀量の間での相関関係

(3) 畑土壌, 作物体, 大気中の水銀量

第 2 表に、河川底質採取地点 4, 5, 6, 11 付近の 6 圃場で採取した表層土壌, 作物体,

大気中の水銀量の分析結果を示した。非汚染土壌の総水銀量の平均値は、 0.06 mg kg^{-1} と報告されているが、採取した表層土壌中の総水銀量は、調査圃場の処分場からの距離にかかわらず、この値以下であり、畑土壌の水銀汚染は検出されなかった。また、各圃場で採取した作物葉の水銀含有率は、 $0.010 \sim 0.015 \text{ mg kg}^{-1}$ (乾物)の範囲にあった。この値を農業環境技術研究所による各種作物中の水銀濃度の報告値と比較すると、「中」程度に相当することから、調査圃場の作物の水銀による汚染はないと考えられた。一方、大気中の水銀については、日本では基準値は設定されていないが、作業環境における水銀蒸気の許容濃度としては、 0.025 mg m^{-3} が勧告されている。今回、表層土壌及び作物体のサンプリングを行った圃場で採取した大気中の水銀濃度は、ほとんどの試料で検出限界以下であり、大気についても汚染は認められなかった。

第2表 畑土壌(表層 0-10 cm), 作物体, 大気中の水銀量 ($n = 4$)

地点	作物種	表層土壌 (mg kg^{-1})	作物(葉) (mg kg^{-1})	大気 (mg m^{-3})
6	Sweet potato	0.0805 ± 0.0072	0.015 ± 0.002	< 0.001
4	Taro	0.0835 ± 0.0015	0.015 ± 0.003	< 0.001
4	Pumpkin	ND	0.013 ± 0.011	< 0.001
5	Cabbage	0.0844 ± 0.0025	0.014 ± 0.006	< 0.001
5	Sweet potato	0.0854 ± 0.0027	0.011 ± 0.008	< 0.001
11	Cabbage	0.0967 ± 0.0051	0.010 ± 0.001	0.002

ND: 測定せず

(4) まとめと今後の展望

本研究による調査の結果, Nam Son 廃棄物処分場より下流に位置する Cau Lai 川の底質から, 非汚染土壌の平均より高い総水銀量が検出され, その水銀は主に土壌有機物吸蔵態, 非硫化水銀態残渣, 硫化水銀態残渣画分に存在することが明らかとなった。また, これらの底質のいくつかには, $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ を超えるメチル水銀が存在し, 総水銀量の多いところでメチル水銀も多い傾向が認められた。これらの結果から, 調査地域では, 畑土壌や作物, 大気における水銀汚染は認められないものの, 廃棄物処分場を点源とする水銀汚染が存在することが確認され, 雨季の洪水等によって流出した埋め立て土壌や浸出水が原因と推察された。今後, 総水銀量の高い河川底質が畑土壌に混入しないようにするためにも, 底質の浄化を進める必要がある。このためには, 河川底質中の水銀の深さ別分布等も明らかにする必要がある。一方, ハノイでは, 廃棄物の分別回収が行われ始め, ダイオキシン対策の施された廃棄物焼却炉と排熱回収発電設備が, Nam Son 廃棄物処分場の南に導入されつつある。すでに汚染の確認された地域の浄化と同時に, これらの新しい取り組みも考慮し, 継続的なモニタリングを行うことが重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Chu Ngoc KIEN, Sota TANAKA, Nguyen Van NOI, Le Thanh SON, Nguyen Minh PHUONG, Bui Thi Quynh TRANG, Michiyo NODA, Daisei UENO, and Kozo IWASAKI: Heavy Metal Concentrations in Rice (*Oryza sativa* L.) grown in a Chromite Mining Area in Vietnam. *Tropical Agriculture and Development*, 55, 135-141 (2011)

〔学会発表〕(計5件)

長 宏一, Bui Thi Quynh Trang, Chu Ngoc Kien, Nguyen Minh Phuong, Nguyen Van Noi, 岩崎 貢三: ベトナム・ハノイの廃棄物処分場周辺における河川底質中の水銀の存在形態, 日本土壌肥料学会名古屋大会, 2013年9月11~13日, 名古屋
Kozo Iwasaki, Koichi Osa, Bui Thi Quynh Trang, Chu Ngoc Kien, Nguyen Minh Phuong, and Nguyen Van Noi: The Second International Conference on Environmental Pollution, Restoration and Management, 2013年3月4~8日, Hanoi, Vietnam

岩崎 貢三: ベトナムの鉱山周辺ならびに廃棄物処分場周辺の農耕地土壌における有害元素汚染, 2012年度第91回関西土壌肥料協議会シンポジウム「食の安全と土壌肥料 有害元素の汚染と低減方策」(招待講演), 2012年12月7日, 倉敷市(岡山県)

Kozo Iwasaki, Chu Ngoc Kien, Bui Thi Quynh Trang, Nguyen Minh Phuong, Truong Ngoc Kiem, and Nguyen Van Noi: Metal and Metalloid Accumulations in Plants Growing around Tin and Tungsten Mines in Dai Tu District, Vietnam. Conference on Advanced Wastewater Treatment Technologies and the Potential of Phytoremediation Technology for Wastewater Treatment in Vietnam (招待講演), 04 November 2011, Hanoi, Vietnam
Bui Thi Quynh Trang, Kozo Iwasaki, and Nguyen Van Noi: Metal contamination of agricultural soils and sediments near waste disposal facility in Hanoi, Vietnam, Conference on Advanced Wastewater Treatment Technologies and the Potential of Phytoremediation Technology for Wastewater Treatment in Vietnam, 04 November, 2011, Hanoi, Vietnam

〔その他〕

ホームページ等

<http://wwwagr.cc.kochi-u.ac.jp/japan/kenkyusha/603.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩崎 貢三 (IWASAKI KOZO)
高知大学・教育研究部総合科学系・教授
研究者番号：40193718

(2) 研究分担者

田中 壮太 (TANAKA SOTA)
高知大学・教育研究部総合科学系・教授
研究者番号：10304669

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

Nguyen Van Noi
ハノイ科学大学・化学部・教授

Le Thanh Son
ハノイ科学大学・化学部・教授

Nguyen Minh Phuong
ハノイ科学大学・化学部・准教授

Chu Ngoc Kien
Vietnam Environment Administration,
Ministry of Natural Resources and
Environment

Bui Thi Quynh Trang
愛媛大学連合農学研究科・博士課程・学生
(平成23年12月31日退学)

長 宏一 (OSA KOICHI)
高知大学大学院総合人間自然科学研究科
農学専攻・修士課程・学生