

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 11 月 16 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24404018

研究課題名(和文) 東南アジアヒ素汚染地域における安全な飲用水供給のための生物浄化技術の調査研究

研究課題名(英文) Research on the biological technology for purification of arsenic contamination to supply safe drinking water in South East Asia

研究代表者

遠藤 銀朗 (Endo, Ginro)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：80194033

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)：本研究で行った現地調査により、特にメコンデルタにおける地下水ヒ素汚染の深刻さが明らかになった。また、ヒ素汚染地下水を汲み上げて使用することにより土壌ヒ素汚染が進行していることも明らかになった。この地下水中のヒ素の約8割が亜ヒ酸イオンとして溶存していることから、微生物によるヒ酸への酸化処理を行った後に現地自生のヒ酸高吸収植物であるモエジマシダを水耕栽培して除去することによって、ヒ素汚染地下水を飲用水に利用できるまでに浄化可能であることが知られた。本研究で開発した地下水のヒ素浄化方法は、薬剤を使用しない安価な方法であることから、東南アジア途上国の現地経済状況に適合可能な方法であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：From the results obtained in the field investigation in Southeast Asia, it was recognized that groundwater arsenic contamination especially in Mekong Delta area has gotten serious. Adding this, soil arsenic contamination level in Mekong Delta by the use of the arsenic containing groundwater has also been increasing. Because of about 80% of the arsenic in the groundwater is dissolved as arsenite ion, microbial oxidation of the arsenite to arsenate is required to combine the following the plant hydroponics treatment using arsenic hyper-accumulator *Pteris vittata* that is an indigenous plant in Southeast Asian countries. The developed biological arsenic removal technology is applicable to solve groundwater arsenic contamination problems in the developing countries in Southeast Asia, and to improve groundwater quality to drinkable water, because the technology does not need special chemicals and energy for the purification of the arsenic contaminated groundwater.

研究分野：環境生物学

キーワード：東南アジア 地下水ヒ素汚染 低コストヒ素除去技術 ヒ素高蓄積植物 水耕栽培によるヒ素除去

### 1. 研究開始当初の背景

東南アジア諸国においては、その地質学的要因から自然由来のヒ素による水質汚染が多く見られる。また、これらの国では人口の急増や産業の発展に伴って用水の供給形態が変化してきており、地表水よりも衛生学的清浄度がより高いと考えられる地下水を利用することが多くなってきている。しかし、これらの地域の地下水にはヒ素が溶出している調査事例が報告されており、深刻なヒ素中毒の発生が懸念されている。特に後者については、UNICEF、WHO、JICA 等による調査研究がなされてきている。また、その保健上の対策として、いくつかの簡易ヒ素除去方法の研究がなされ、一部は現地において開発方法を適用するまでに至っているが、まだヒ素汚染水による環境問題を抜本的に解決できているとは言えない。

以上のことから、東南アジアの熱帯・亜熱帯地域において多発している飲用水のヒ素汚染による環境問題を、現地に自生するヒ素高蓄積植物を用いた水耕栽培技術の適用によって、コストを掛けることなく簡便に大量の地下水等の飲用水原水からヒ素を除去する新しい技術的方法の開発が必要とされている。そのような対策技術を東南アジアの飲用水ヒ素汚染現地に適用できるかどうかについて学術的な調査を行うとともに、効果的かつ具体的なヒ素による健康障害対策技術に関する調査研究が重要となってきた。

### 2. 研究の目的

人類の福祉の実現ために多くの現代的問題を解決することが求められているが、それらの中でも、新たに発生する健康障害問題と環境汚染問題の解決に取り組むことが特に必要と考えられる。本研究の目的は、世界で起こっているこれらの問題に対して、わが国の科学技術を駆使して取り組むため

の東南アジア地域における環境技術の適用について学術調査により明らかにすることである。また、本研究で取り組む課題は、開発が急速に進展しつつありその結果として人口が急増しつつある東南アジア地域の国々における飲用水のヒ素による汚染と、それに起因する健康障害を解決するための実効性のある方法の調査と、調査により判明し適切と考えられる方法の適用可能性を明らかにすることである。台湾、カンボジア、ベトナム等を具体的対象国として、これらの国々における飲用水のヒ素除去に有効な生物工学技術の適用性について研究を行った。

### 3. 研究の方法

東南アジアにおいて既にヒ素による環境汚染が知られている台湾・台南地方貯水池、マレーシア廃鉱山跡地、ベトナム・メコンデルタ流域、カンボジア・メコンデルタ流域を調査対象国および対象地域として、(1) それら地域に自生するヒ素高蓄積植物と考えられる複数種のシダ科植物 (*Pteris* 属、*Athyrium* 属等) に注目してヒ素高吸収種を探索するための調査を行った。次に、(2) 選抜したシダ科植物のヒ素限界蓄積量を把握するための試験を日本国内において実施したとともに、(3) 現地から選抜したヒ素高蓄積シダ植物の水耕栽培によるヒ素汚染飲用水原水からのヒ素除去能の評価を行った。本研究の最終段階では、(4) 飲用原水からのヒ素除去に利用可能な現地適用型のヒ素高蓄積シダ植物水耕栽培技術を開発し、東南アジア地域における飲用水に起因するヒ素中毒 (慢性および急性) による健康障害を撲滅する方法を提案した。

### 4. 研究成果

本研究課題では、東南アジアの熱帯・亜熱

帯地域において認められるようになってきている飲用水のヒ素汚染による環境問題を、現地に自生するヒ素高蓄積植物の水耕栽培技術の適用によってコストが低くかつ簡便に地下水等の飲用水源からヒ素を除去する新しい技術的方法を開発することと、その開発技術が東南アジアのヒ素汚染現地に適用可能かどうかを調査した。

得られた現地調査結果から、特にメコンデルタにおける地下水ヒ素汚染の深刻さを明らかにでき、特に地表水水源（特にメコン河川水）を利用できない河川遠隔地の農村部において飲用水を含む生活用水水源の問題が発生していることが知られた。また、ヒ素汚染地下水を汲み上げて使用することによる土壌ヒ素汚染が進行していることも明らかとなった。

このヒ素汚染地下水に溶存するヒ素の約8割以上が亜ヒ酸イオンとして溶存していることが知られたことから、ホーチミン市の Nong Lam 大学に設置したパイロットプラントを用いて、まず散水ろ床方式の微生物酸化処理により亜ヒ酸イオンのヒ酸イオンへの酸化と地下水に共存する第1鉄イオンの第2鉄イオンへの酸化により、水酸化第2鉄とヒ酸の共沈で除去率約90%のヒ素除去が達成できることを明らかにした。さらに、その共沈処理水を現地自生のヒ素高蓄積植物であるモエジマシダの水耕栽培処理によりヒ酸イオンを吸収除去させることによって、ヒ素汚染地下水を飲用水として利用できるまでに浄化可能であることを明らかにすることができた。本研究の調査で明らかにしたこの地下水のヒ素浄化方法は、吸着剤や凝集剤等の薬剤を使用しない安価な方法であることから、東南アジア途上国の現地経済状況に適合できる方法であると考えられた。

##### 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 8 件)

- 1) Yi Huang, Keisuke Miyauchi, Chihiro Inoue, Le Dinh Don, Nguyen Cong Manh, Ginro Endo: Arsenic contamination of groundwater and agricultural soil irrigated with the groundwater in Mekong Delta, Vietnam, Environmental Earth Sciences, Vol. 75, No.9, 1-7 (2016) (doi: 10.1007/s12665-016-5535-3)
- 2) 遠藤銀朗、黄 毅、宮内啓介: ヒ素汚染地下水の亜ヒ酸酸化微生物とヒ素高蓄積植物の水耕栽培による低コスト浄化技術の開発、Journal of Environmental Biotechnology (環境バイオテクノロジー学会誌), Vol. 15, No.2, 63-69 (2016)
- 3) Yi Huang, Keisuke Miyauchi, Chihiro Inoue, Ginro Endo: Development of suitable hydroponics system for phytoremediation of arsenic contaminated water using an arsenic hyperaccumulator plant *Pteris vittata*, Bioscience Biotechnology and Biochemistry, Vol. 80, No.3, 714-718 (doi:10.1080/09168451.2015.1107461) (2015)
- 4) Kazuki Sugawara, Akihito Kobayashi, Ginro Endo, Masayoshi Hatayama and Chihiro Inoue: Evaluation of the effectiveness and salt stress of *Pteris vittata* in the remediation of arsenic contamination caused by tsunami sediments, Journal of Environmental Science and Health, Vol. 49, No. 14, 1631-1638 (2014)
- 5) 簡 梅芳、小幡和貴、黄 毅、宮内啓介、遠藤銀朗: ヒ素高蓄積植物による土壌ヒ素の吸収・除去と土壌微生物の亜ヒ酸酸化に

関する研究、土木学会論文集 G (環境), Vol.69, No.7, pp.111\_9-15 (2013)

6) 宮内啓介, 簡梅芳, 黄毅, 大友俊介, 和泉卓也, 井上千弘, 北島信行, 遠藤銀朗: 津波による土壌のヒ素汚染とその修復への取り組み, J Environmantal Biotechnology, Vol.13, No.1, 27-30 (2013)

7) 簡梅芳, 宮内啓介, 井上千弘, 北島信行, 遠藤銀朗: 宮城県主要河川沖積平野部の土壌ヒ素濃度と東北地方太平洋沖地震津波の影響, 土木学会論文集 G (環境), Vol.69, No.1, pp.111\_19-24 (2013)

8) 遠藤銀朗, 宮内啓介, 簡梅芳, 井上千弘, 北島信行: 地震・津波被災によるヒ素汚染土壌の植物による浄化技術の開発, ケミカルエンジニアリング, Vol.57 No.6 pp.437-442 (2012)

[学会発表](計 35 件)

1) 平間知之, 黄毅, 遠藤銀朗, 宮内啓介: モエジマシダ根圏での亜ヒ酸酸化とそれに関与する細菌群の解析, 第50回日本水環境学会年会, 2016年3月16日, アスティとくしま, 徳島県徳島市

2) 小野寺伸也, 川村操太, 黄毅, 宮内啓介, 遠藤銀朗: ヒ素高蓄積植物モエジマシダを用いたヒ素汚染土壌の修復に関する研究, 平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2016年3月5日, 岩手大学上田キャンパス, 岩手県盛岡市

3) 菅野弘樹, 高橋太雅, 黄毅, 宮内啓介, 遠藤銀朗: ヒ素により汚染された地下鉄掘削残土埋立地滲出水のヒ素高蓄積植物による浄化法の開発, 平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2016年3月5日, 岩手大学上田キャンパス, 岩手県盛岡市

4) 佐藤裕太, 平間知之, 宮内啓介, 遠藤銀朗: ヒ素高蓄積植物モエジマシダの水耕栽培における植物根圏に存在する細菌群集の解析, 平成27年度土木学会東北支部技術研

究発表会, 2016年3月5日, 岩手大学上田キャンパス, 岩手県盛岡市

5) 黄毅, 宮内啓介, 井上千弘, 遠藤銀朗: ベトナムのヒ素汚染地下水の生物学的浄化技術の開発に関する研究, 2015年10月28日, 城山グランドホテル, 鹿児島県鹿児島市

6) 平田一真, 江川遼太, 杉澤世奈, 遠藤銀朗, 宮内啓介: *Rhodococcus* 属細菌のヒ素耐性遺伝子群の解析, 環境バイオテクノロジー学会2015年度大会, 2015年6月30日, 東京大学弥生講堂, 東京都文京区

7) 遠藤銀朗: ヒ素汚染地下水の亜ヒ酸酸化微生物とヒ素高蓄積植物の水耕栽培による浄化処理プロセスの開発, 環境バイオテクノロジー学会2015年度大会, 2015年6月30日, 東京大学弥生講堂, 東京都文京区

8) 宮内啓介, 平田一真, 福田雅夫, 遠藤銀朗: *Rhodococcus erythropolis* IAM1399 のヒ素耐性遺伝子群の機能解析, 2015年度日本農芸化学学会大会, 2015年3月27日, 岡山大学津島キャンパス, 岡山県岡山市

9) 小林紘太, 黄毅, 宮内啓介, 遠藤銀朗: ヒ素高蓄積植物水耕栽培による亜ヒ酸含有水の浄化と水耕系に生育する細菌に関する研究, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2015年3月7日, 東北学院大学多賀城キャンパス, 宮城県多賀城市

10) 平間知之, 小林紘太, 堀内孝人, 遠藤銀朗, 宮内啓介: ヒ素高蓄積植物モエジマシダ根圏での亜ヒ酸酸化における微生物の関与に関する研究, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2015年3月7日, 東北学院大学多賀城キャンパス, 宮城県多賀城市

11) Ginro Endo: Environmental Biotechnology for metal and metalloid pollution control by using microbes and plants, International Seminar; Expectation to Microbial Bioremediation in Asia and Africa-Potential of

microorganisms in solving environmental issues in soil and water-, November 6, 2014, Nagoya University, Nagoya, Japan

12) 黄毅、小林紘太、平間知之、宮内啓介、遠藤銀朗：ヒ素高蓄積植物水耕栽培によるヒ素汚染水の浄化に必要な亜ヒ酸酸化微生物に関する研究、環境微生物系学会合同大会 2014、2014 年 10 月 23 日、アクトシティ浜松、静岡県浜松市

13) Mei-Fang Chien, Kazuki Obata, Yi Huang, Keisuke Miyauchi, Ginro Endo, Chihiro Inoue: Study on As uptake and removal by As hyper-accumulator *Pteris vittata* and its rhizosphere bacteria. 11th International Phytotechnologies Conference 2014, September 30-October 3, 2014, Aquila Atlantis Hotel, Heraklion, Crete, Greece

14) Yi Huang, Keisuke Miyauchi, Chihiro Inoue, Ginro Endo: High capability of *Pteris vittata* in arsenic removal from contaminated water using novel hydroponic cultivation system. 11th International Phytotechnologies Conference 2014, September 30-October 3, 2014, Aquila Atlantis Hotel, Heraklion, Crete, Greece

15) Keisuke Miyauchi, Ginro Endo: Characterization of the two arsenic resistance gene clustered in *Rhodococcus erythropolis* IAM1339. 16th International Biotechnology Symposium and Exhibition (IBS2014), September 14-19, 2014, Events Center of Ceara, Fortaleza, Brazil.

16) 宮内啓介、黄毅、簡梅芳、遠藤銀朗：ヒ素超蓄積植物を用いたヒ素汚染土壌の修復、日本生物工学会 2014 年度大会、2014 年 9 月 11 日、札幌コンベンションセンター、北海道札幌市

17) 簡梅芳、羅夙昕、真北涼太、宮内啓介、遠藤銀朗、井上千弘：ヒ素超蓄

積植物モエジマシダの根圏微生物の単離および特徴づけ、日本生物工学会 2014 年度大会、2014 年 9 月 10 日、札幌コンベンションセンター、北海道札幌市

18) 黄毅、菅原一輝、宮内啓介、井上千弘、遠藤銀朗：ヒ素高蓄積植物モエジマシダの水耕栽培法によるヒ素汚染水浄化技術の開発に関する研究、日本生物工学会 2014 年度大会、2014 年 9 月 10 日、札幌コンベンションセンター、北海道札幌市

19) 黄毅、大友俊介、菅原一輝、簡梅芳、宮内啓介、北島信行、井上千弘、遠藤銀朗：熱帯・亜熱帯原生のヒ素高蓄積植物モエジマシダによる寒冷地におけるヒ素汚染土壌の植物修復、2014 年度日本農芸化学会大会、2014 年 3 月 28 日、明治大学生田キャンパス、神奈川県川崎市

20) 簡梅芳、宮内啓介、黄毅、遠藤銀朗：亜ヒ酸酸化を指標にしたモエジマシダによる土壌ヒ素の吸収を触媒する微生物の探索、2014 年度日本農芸化学会大会、2014 年 3 月 28 日、明治大学生田キャンパス、神奈川県川崎市

21) Yi Huang, Shunsuke Otomo, Kazuki Sugawara, Mei-Fang Chien, Keisuke Miyauchi, Chihiro Inoue, Ginro Endo: Phytoremediation of arsenic contaminated soil in the Temperate Zone using a sub-tropical arsenic-hyperaccumulator fern, *Pteris vittata*, AFOB Regional Symposium 2014 (ARS2014), February 10, 2014, Seri Pacific Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia

22) Ginro Endo: Control of Arsenic Soil Pollution Using an Arsenic Hyper-accumulator Plant and its Completion by Physico-chemical Process and Anaerobic Bioprocess, 2014 International Conference on Anaerobic Biotechnology for Energy Recovery and

Environment Sustainability, January 11, 2014, International Conference Room, Kuang-Fu Campus, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

23) Ginro Endo, Yi Huang, Mei-Fang Chien, Shunsuke Otomo, Nobuyuki Kitajima, Keisuke Miyauchi: Phytoremediation of arsenic-contaminated soil using arsenic hyper-accumulator fern, Asian Congress on Biotechnology 2013, December 18, 2013, Indian Habittat Centre, New Delhi, India

24) Yi Huang, Mei-Fang Chien, Shunsuke Otomo, Keisuke Miyauchi, Chihiro Inoue, Ginro Endo: Phytoremediation of the arsenic contaminated site in northeast Japan using arsenic-hyperaccumulator *Pteris vittata*, 10th International Phytotechnology Conference (IPC 2013), October 3, 2013, Holiday Inn Liverpool, Syracuse; New York, USA

25) 黄 毅、簡 梅芳、宮内 啓介、北島 信行、井上 千弘、遠藤 銀朗：ヒ素汚染土壌のヒ素高蓄積植物モエジマシダによる修復、日本生物工学会 2013 年度大会、2013 年 9 月 20 日、広島国際会議場、広島県広島市

26) 宮内 啓介、簡 梅芳、黄 毅、大友 俊介、和泉 卓也、井上 千弘、北島 信行、遠藤 銀朗：津波による土壌のヒ素汚染とその修復への取り組み、2013 年度日本農芸化学会大会、2013 年 3 月 27 日、東北大学川内北キャンパス、宮城県仙台市

27) 黄 毅、井上 千弘、遠藤 銀朗：モエジマシダ体内のヒ素挙動に対するリンの蓄積の影響、2013 年 3 月 25 日、2013 年度日本農芸化学会大会、東北大学川内北キャンパス

28) 遠藤銀朗、簡梅芳、宮内啓介、今野大、本多光太郎、井上千弘、北島信行：東北地方太平洋沖地震津波による土壌ヒ素汚染の

実態とその修復への取り組み、環境バイオテクノロジー学会 2012 年度大会、2012 年 6 月 25 日、京都大学宇治おうばくプラザ、京都府宇治市

(上記以外の学会発表 7 件)

〔図書〕(計 2 件)

1) 遠藤銀朗、他：環境と微生物の辞典、共著、朝倉書店、2014 年 7 月、ISBN 978-4-254-17158-7 C3545

2) 遠藤銀朗、他：地球を救うメタルバイオテクノロジー、共著、成山堂書店、2014 年 6 月、ISBN978-4-425-80001-8

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ipc.tohoku-gakuin.ac.jp/gendo-lab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

遠藤 銀朗 (Endo Ginro)  
東北学院大学・工学部・教授  
研究者番号：80194033

### (2) 研究分担者

宮内 啓介 (Miyauchi Keisuke)  
東北学院大学・工学部・教授  
研究者番号：20324014

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：