

令和元年6月26日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2014～2018

課題番号：26257301

研究課題名(和文) モンゴルの地下資源開発、特に金採掘に伴う水銀汚染の実態とその影響評価

研究課題名(英文) Development of underground resources in Mongolia, especially the mercury pollution assessment caused from gold mining

研究代表者

永淵 修 (Nagafuchi, Osamu)

福岡工業大学・その他部局等・客員教授

研究者番号：30383483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,100,000円

研究成果の概要(和文)：大規模鉱山とオルホン川流域の環境媒体中の水銀および微量金属の調査ならびにヒト健康リスク評価を行った。大規模鉱山周辺の遊牧民が使用する井戸水からヒ素が検出された。オルホン川流域のボロ-鉱山内の井戸水から一部高濃度水銀(44ng/L)が検出されたが大部分は5ng/L以下の低濃度であった。シヨローン鉱床跡地からの河川の流下過程では水銀とヒ素の汚染が確認された。また、ニンジャの村での聞き取り調査では、水銀は使用せずに精錬を行っているとのことであったが、比重分別処理後の廃水の水銀濃度は1,300ng/Lを超えており、その廃水をためているラグーンの水銀濃度は800ng/Lと明らかに水銀の使用が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外モンゴルの鉱山(大小規模)周辺では、遊牧民の井戸水に劣化が発生していることが明らかになった。また、その水を飲用に用いる家畜への影響が実際に起きているとの聞き取り調査結果もあり、官民一体となった早急な対策が急務であることが明らかになった。また、ニンジャ村における水銀汚染についてヒト健康リスク評価を実施した結果、金精錬小屋のみならず周辺の居住区でも水銀による吸入由来リスクがあることが分かった。外モンゴルでは、水銀の使用が禁止されているが、小規模金採掘地区ではまだまだ違法に水銀が使用されており、それに直接携わる作業者さらにその家族へのリスクが考えられ、水銀を使用しない金精錬法の情宣活動が重要である。

研究成果の概要(英文)：Huge scale gold mining with several companies has been conducted. They said, mercury was not used for refining. We have been there this July, and take samples. Near the mining site, the nomad and their livestock lives and angry about the mining. The nomad lady said, because of the water use in mining site, small lake has gone. In addition, the land and land-cover has been destroyed. On the other hand, with artisanal small-scale gold mining (ASGM) areas, the miners said that they had not been used mercury, and they had only been used water and nitric acid for refining. However, obviously high mercury concentration was observed at the ore refining house and near the sites.

Focused on the ASGM sites, we did risk screening evaluation of atmospheric mercury. Not only peoples who working at small refining house, but also the residents in the village may at risk.

研究分野：環境科学

キーワード：水銀 微量金属 レアアース フッ素イオン 硝酸イオン ヒト健康リスク hazard quotient

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

UNEP は 2001 年より水銀の毒性・残留性を考慮し水銀規制に関する国際的合意を目指して活動を開始した。2005 年には、水銀に関する Decision 23/9 を採択し、各国政府機関に対して環境への水銀放出量と健康リスクの削減を求めた。さらに 2009 年には、水銀の排出を国際協力で削除する条約の制定を 2013 年までに目指すことを決定し、2013 年 10 月に水俣条約として締結され、2016 年に発効の見通しとなった。条約が発効すると、加盟する途上国は、水銀がどこで排出されているかの記録を作り、その水銀の使用削減を図らねばならない。一方、モンゴルには石炭、金、銅、ウラン、レアメタル・レアアースなどの豊富な地下資源に恵まれており、多種の鉱物がある。ところが、この 10 年間、現在モンゴル全域の 17 県の 49 村において 107 か所の地区で人力(大部分が鉱業の専門知識を持たない人々が鉱物資源を稚拙な道具を用いて採掘している。これを小規模金採掘という)により金を中心とした鉱物資源を採掘している。このような人力で採掘している割合は、金 86.8%、石炭 2.2%、蛍石 0.73%、すず 0.14%、鉄 0.38%、岩塩 0.04%、宝石やその他の鉱物 9.71%となっており、金採掘が圧倒的比率を占めている。金鉱の採掘では水銀が多量に使用され、環境が水銀で汚染されるとともに、作業員やその家族、周辺に住む人々の健康に影響を及ぼすと懸念される。実際に、申請者らのインドネシアの調査では、大気・河川水・底質・魚等から比較的高濃度の水銀が検出されており、このまま水銀の大気や水系への排出が続けば、呼吸による暴露、飲料水や生物濃縮を経た食物からの暴露を経て住民の健康影響が懸念される状況となる。(業績: 4,5,8,35,39,42,45)。モンゴルにおいても水銀の使用量、放出量およびヒト影響評価を行うことは重要な課題であり、数年後の水俣条約の発効を考慮すると早急にモンゴル側の環境中水銀に係る人材育成も緊急の課題となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者らが、開発・改良したサンプリング手法を用いて、小規模金採掘の比率の高いモンゴル・オルホン川流域で環境媒体中(大気、水、土壌等)水銀濃度を明らかにし、環境中水銀の動態解析を行うこと、 のデータからモンゴル国内における小規模金採掘・精錬で使用されている水銀量の把握および放出量を推定すること、 小規模金採掘による排出される水銀によるヒトおよび家畜の健康影響評価を行うこと、 人文科学分野による聞き取り調査等を行い、地域社会への影響を明らかにすること、 水銀に特化した環境調査法・分析法・リスク評価法を相手国に技術移転を行い、途上国独自で水銀の物質収支及び水銀削減ができるように支援することを目的とする。

3. 研究の方法

外モンゴルおよび内モンゴルにおいてフィールド調査をメインに地下資源開発による水銀を主とした環境汚染物質による環境媒体への暴露調査およびヒト健康リスク評価を行った。外モンゴルでは、水銀およびヒ素汚染について河川、井戸水の調査を行い、大規模金採掘、石炭採掘現場では大気中水銀、ラグーン、井戸水について調査を行い、小規模金採掘現場では、大気中およびラグーン中の水銀調査を行った。さらに、小規模金採掘地域では、HQ 比を用いた水銀吸入暴露によるリスク評価も行った。

4. 研究成果

外モンゴル、内モンゴルともに井戸水の汚染が深刻であることが明らかになった。特に、F、NO₃⁻、As の汚染が進行している。F と As は自然由来と考えられ、NO₃⁻ は窒素同位体比の分析結果から家畜の糞尿由来であることが明らかになった。飲料水からの経口由来リスクで F について、その処理方法を検討した。モンゴルでは、無尽蔵にある羊の骨を用いた羊骨炭を作成し、その中を通過するだけで、ほぼ F を除去することができた。この方法については、内モンゴルのある村の副村長さんが日本を訪問された折、塩ビ管でできた簡易な除去装置を寄付した。しかし、帰国してからの村民の反応は、家族のような存在の羊の骨を使った処理装置から得られる水を飲用とすることに抵抗を示し、なかなか前に進まない状況である。現在のところ、このリスクを軽減するには、冬季の雪と他の季節の降雨を集めることで飲用にし、リスク削減を目指すことが現実的であることがわかった。

外モンゴルの水銀汚染については、小規模金採掘現場の大気および水の汚染である。大気の吸入リスクについては、小規模金採掘現場のみならず周辺地域も HQ 比による評価でリスク有と判断された。さらに、ウランバートルの石炭燃焼による水銀汚染も非常に大きな問題として今後の環境政策課題として浮上してくることが窺われた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10 件)

- 1) 永淵修・中澤暦・篠塚賢一、鉛同位体比を用いた射撃場直下ため池の鉛汚染原因調査、水環境学会誌、42(1)、33-42、2019 年(査読有)
- 2) 鮎川和泰・永淵修・中澤暦・篠塚賢一・横田久里子・北淵浩之・手塚賢至・手塚田津子・斎藤俊浩・田辺雅博、ヤクシマカワゴロモの生息域とその一次生産が渓流水質へ与える影

- 響, J. Ecotechnology, 19(1), 1-8, 2018年(査読有)
- 3) 永淵 修・中澤 曆・井上隆信・Rosana Elvince・川上智規・尾坂兼一・金藤浩司 インドネシアスマトラ島ブンクル州における極小規模金採掘・精錬地区の環境媒体中水銀濃度とそのヒト健康リスク評価 環境科学会誌 (31(2)43-58) 2018年(査読有)
 - 4) Toshihiko Matsui, Nobuaki Harai, Katsumi Saitoh, Koyomi Nakazawa, Osamu Nagafuchi Urban-forest differences in relative concentrations of gaseous elemental mercury as measured by passive sampler 環境技術,(46(4), 32-38.) 2017年(査読有)
 - 5) 木下 弾・永淵 修・中澤 曆・横田久里子, 自由対流圏における大気中水銀の起源と輸送経路の関係-富士山体における観測 環境科学会誌 (29,6,285-292) 2016年11月(査読有)
 - 6) Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Okano, K., Osaka, K., Hamabata, E., Tsogtbaatar, J. Choijil, J. Non-carcinogenic risk assessment of groundwater in south Gobi, Mongolia. Journal of Water and Health, 14.6, 1009-1018, 2016, doi: 10.2166/wh.2016.035 (査読有)
 - 7) Koyomi Nakazawa, Osamu Nagafuchi, Tomonori Kawakami Takanobu Inoue, Kuriko Yokota, Yuka Serikawa, Basir Cyio, Rosana Elvince Human health risk assessment of mercury vapor around artisanal small-scale gold mining area, Palu city, central Sulawesi, Indonesia Ecotoxicology and environmental safety 124 155-162 ; DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.042> (124 155-162) 2016年2月(査読有)
 - 8) 永淵 修・横田久里子・中澤 曆・金谷整一・手塚賢至・森本光彦, 2009年5月8日~10日に屋久島で観測された高濃度オキシダントと粒子状物質の起源解析 土木学会論文集 G (環境) 地球環境研究論文集 (71(5)I 217-225) 2015年(査読有)
 - 9) 中澤 曆・堀江清悟・永淵 修・尾坂兼一・西村拓朗, 琵琶湖北部の森林流域から流出する硫酸イオンの動態と起源解析 陸水学雑誌 (76, 11-23) 2015年(査読有)
 - 10) Nagafuchi, O., Nakazawa, K., Okano, K., Osaka, K., Nishida Y., Hishida, N., Hydro chemical characteristics of the Mongolian plateau and its pollution level, Inner Asia, 16, 429-433. 2014. (査読有)

[学会発表](計38件)

- 1) Nakazawa, K., Nagafuchi, o., Inoue, T., Kawakami, T., Rosana, E., Kanefuji, K., Shinozuka, K., Human Health Risk assessment of Mercury Caused from Artisanal Small-scale Gold Mining in Indonesia, ISM Symposium on Environmental Statistics, 2019年3月
- 2) 永淵修・中澤曆・篠塚賢一・木下弾・菱田尚子・西田有規・加藤俊吾, 夏季富士山頂で観測された大気中高濃度水銀の起源解析, 第12回富士山測候所成果発表会, 2019年3月
- 3) 中澤 曆・永淵 修・ウチラルト・安田 裕, モンゴル高原における地下水微量物質によるヒト健康リスク評価とその削減対策, 鳥取大学乾燥地研究センター共同研究発表会, 2018年12月
- 4) 中澤 曆・永淵 修・横田久里子・手塚賢至・田辺雅博・金藤浩司, 屋久島で観測された降水中水銀濃度とその起源, 統計数理研究所共同研究集会 (28-共研 -5003), 2018年10月
- 5) 中澤 曆・永淵 修・篠塚賢一, 自由対流圏における大気中水銀の降水による除去過程及び沈着メカニズム 地球化学会 年会 2018年8月
- 6) K. Kanefuji, K. Koyomi, O. Nagafuchi, Risk analysis of human health among artisanal small-scale gold mining area in Indonesia, The Joint Statistical Meetings, 2018年7月
- 7) 中澤 曆・永淵 修・川上智規・井上隆信・芹川裕加・Basir Cyio・Isrun Nua・Rosana Elvince・篠塚賢一, インドネシア・中央スラウェシ州パルにおける小規模金採掘に由来する水銀蒸気とそのヒトへの健康リスクの推定, 地球惑星科学連合, 2018年5月
- 8) 永淵 修・中澤 曆・川上智規・井上隆信・Rosana Elvince・篠塚賢一, インドネシアにおける小規模金採掘に由来する水銀汚染とそのヒトへの健康リスク, 地球惑星科学連合 2018年5月
- 9) 永淵修・中澤曆・篠塚賢一・手塚賢至・手塚田津子, 屋久島に到達する越境大気の空間分布, 2017 屋久島学ソサエティ, 2017年12月
- 10) 篠塚賢一・永淵 修・中澤 曆・木下 弾・金藤浩司, 伊吹山における大気中水銀の季節変動とその起源 統計数理研究所共同研究集会, 2017年10月
- 11) 中澤 曆・永淵 修・篠塚賢一・Wuqiriletu・金藤浩司・Suqin, 内モンゴルにおける飲料水由来リスクとその削減策 統計数理研究所共同研究集会, 2017年10月
- 12) O. Nagafuchi, K. Koyomi, T. Inoue, T. Kawakami, R. Elvince, Mercury contamination in environmental media from Artisanal Small Gold Mining areas in central Kalimantan, Indonesia and its human health risk assessment, ICMGP2017, 2017年7月
- 13) K. Nakazawa, O. Nagafuchi, Ch. Javzan, J. Tsogtbaata, A. Yoshida, K. Okano, Mercury pollution and its risk originated from the ASGM mining activity in Mongolia, ICMGP2017, 2017年7月
- 14) 永淵修・中澤曆・富士田京子・菱田尚子・木下弾・池田佳祐・奥田昇, 琵琶湖に生息する魚類の水銀濃度とそのヒト健康リスク評価, JpGu meeting, 2017年5月
- 15) 中澤 曆・永淵 修・ウチラルト・金藤浩司, モンゴル草原における地下水由来のヒト健康リスクスクリーニング評価, 第51回 日本水環境学会年会, 2017年3月
- 16) 永淵修・井上隆信・川上智規・Rosana Elvince・中澤曆, インドネシア中央カリマンタン州

- における小規模金採掘由来水銀ヒト健康リスク，第 51 回日本水環境学会年会，2017 年 3 月
- 17) 永淵修・横田久里子・手塚賢至・地下まゆみ・中澤暦・森本光彦，屋久島における PM 粒子を含むアジア大陸からの大気汚染，2016 屋久島学ソサエティ，2016 年 11 月
 - 18) 永淵修・横田久里子・中澤暦・手塚賢至・手塚田津子，屋久島における PM 中鉛同位体比の季節変動，2016 屋久島学ソサエティ，2016 年 11 月
 - 19) 永淵修・中澤暦・菱田尚子・横田久里子・金谷整一・手塚賢至・田辺雅博，屋久島の標高別水銀濃度と沈着量評価，2016 屋久島学ソサエティ，2016 年 11 月
 - 20) 中澤暦・永淵修・阿久根卓・横田久里子・手塚賢至，屋久島の渓流水中硫酸イオン濃度の起源の推定，2016 屋久島学ソサエティ，2016 年 11 月
 - 21) 中澤 暦・永淵 修・Wuqiriletu・Suqin・金藤浩司，内モンゴルにおける地下水の水質とそのリスク評価，統計数理研究所共同研究集会 (28-共研 -5004)，2016 年 10 月
 - 22) 中澤暦・永淵修・金藤浩司，発展途上地域の環境汚染に由来するヒト健康リスクの評価，統計関連学会，2016 年 9 月
 - 23) Tsuchihashi, N., Nagafuchi, O., Nakazawa, K., Katoh, S., Yokota, K., Nishida, Y., Yoshida, A., Characteristics of atmospheric mercury and gaseous substances observed at Mt. Fiji monitoring station during 2015, Japan Geoscience Union annual meeting, 2016 年 5 月
 - 24) 中澤暦・永淵修・ウチラルト・陳継群・易津，内モンゴルにおける地下水の水質分布とその環境リスク評価，Japan Geoscience Union annual meeting, 2016 年 5 月
 - 25) Nagafuchi, O., Nakazawa, K., Ch, Javzan, Tsogtbaatar, J., Yoshida, A., Okano, K., Heavy metal pollution in river originated from the mine developing in Mongolia, Japan Geoscience Union annual meeting, Japan Geoscience Union annual meeting, 2016 年 5 月
 - 26) Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Wuqiriletu, Ji-qun Chen, Yi Jin, Distribution of groundwater quality and its environmental risk assessment observed in Inner Mongolia, Japan Geoscience Union annual meeting, 2016 年 5 月
 - 27) Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Okano, K., Osaka, K., Hamabata, E., Ikeda, K., Yoshida, A., Javzan Ch., Jamstram, T., Distribution of ground water quality in South gobi area, Japan Geoscience Union annual meeting, 2015 年 5 月
 - 28) Nagafuchi, O., Yokota, K., Nakazawa, K., Tezuka, K., Tezuka T., Seasonal variation of Pb stable isotope ratio in PM observed in Yakushima Is., Japan Geoscience Union annual meeting, 2015 年 5 月
 - 29) Yoshida, A., Nagafuchi, O., Yokota, K., Nakazawa, K., Osaka, K., Tetsuka, K., Tetsuka, T., Kitabuchi, H., The characteristics of mercury deposition on to forest ecosystem observed in Yakushima Island, Japan Geoscience Union annual meeting, 2015 年 5 月
 - 30) 永淵修・横田久里子・中澤暦・手塚賢至，屋久島山岳部における PM 中鉛同位体比からみた長距離越境輸送の同定 山岳大気研究発表会 2015 年 3 月
 - 31) 永淵 修・横田久里子・中澤 暦・加藤俊吾・西田友規・菱田尚子・木下 弾，富士山測候所で観測された汚染大気ブルーム中水銀の Hg/CO 比を用いた起源解析，山岳大気研究発表会 2015 年 3 月
 - 32) 横田久里子・永淵 修・中澤 暦・手塚 賢至・金谷整一・池田佳祐・北淵浩之，屋久島における粒子状物質の動態とその長距離輸送の評価，屋久島ソサエティ研究発表会，2014 年 12 月
 - 33) 永淵 修・横田久里子・尾坂 兼一・中澤 暦・手塚賢至・前田健作，屋久島西部森林域における燃料電池と太陽電池を用いた大気採取システムの実証試験結果—PM2.5 の評価，屋久島ソサエティ研究発表会，2014 年 12 月
 - 34) 中澤 暦・永淵 修・金谷整一・横田久里子・手塚賢至・手塚田津子・西田友規，屋久島森林域における大気中ガス濃度の経年変化と樹木への影響，屋久島ソサエティ研究発表会，2014 年 12 月
 - 35) NAGAFUCHI, Osamu, YOKOTA, Kuriko, KATO, Syungo, OSAKA, Ken'ichi, NAKAZAWA, Koyomi, KOGA, Masaru, HISHIDA, Naoko, NISHIDA, Yuki, Origin of atmospheric gaseous mercury using the Hg/CO ratio in pollution plume observed at Mt. Fuji Weather Station, Japan Geoscience Union annual meeting, 2014 年 5 月
 - 36) NAGAFUCHI, Osamu, YOKOTA, Kuriko, NAKAZAWA, Koyomi, HISHIDA, Naoko, IKEDA, Keisuke, Change for chemical component of rime ice in two decades, Japan Geoscience Union annual meeting, 2014 年 5 月
 - 37) Nagafuchi, O., Yokota, K., Osaka, K., Nakazawa, K., Tetsuka, K., Maeda, K., Demonstration test of atmosphere sampling system using combination of solar and fuel battery at Western part of Yakushima, Japan Geoscience Union annual meeting, 2014 年 5 月
 - 38) Nakazawa, K., Horie, S., Nagafuchi, O., Osaka, K., Takuro, N., Exploring the sources of sulfur ion deposition and runoff in forest watersheds on the northern side of Lake Biwa, Japan Geoscience Union annual meeting, 2014 年 5 月

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：島村一平

ローマ字氏名：Shimamura Ippei

所属研究機関名：滋賀県立大学

部局名：人間文化学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20390718

研究分担者氏名：岡野寛治

ローマ字氏名：Okano Kanji

所属研究機関名：滋賀県立大学

部局名：環境科学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：90074088

研究分担者氏名：尾坂兼一

ローマ字氏名：Osaka Ken'ichi

所属研究機関名：滋賀県立大学

部局名：環境科学部

職名：助教

研究者番号(8桁)：30455266

研究分担者氏名：金藤浩司

ローマ字氏名：Kanefuji Koji

所属研究機関名：統計数理研究所

部局名： データ科学研究系
職名：教授
研究者番号(8桁): 40233902

研究分担者氏名：横田久里子
ローマ字氏名：Yokota Kuriko
所属研究機関名：豊橋技術科学大学
部局名： 工学(系) 研究科(研究院)
職名：准教授
研究者番号(8桁): 60383486

研究分担者氏名：大槻恭一
ローマ字氏名：Otsuki Kyoichi
所属研究機関名：九州大学
部局名： 農学研究院
職名：教授
研究者番号(8桁): 80183763

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。