

March 2022

東南アジアにおける
伝統的小規模金採掘時の水銀使用の影響 (I)
**Research on mercury residual effects in Artisanal
Small-scale Gold Mining in Southeast Asia (I)**

高 樋 さ ち 子
近 藤 良 彦
林 武 司
坂 本 龍 太
竜 野 真 維
I Gede Putu Wirawan

Research Institute of Economic Science

College of Economics, Nihon University

東南アジアにおける伝統的小規模金採掘時の水銀使用の影響 (I)

Research on mercury residual effects in Artisanal Small-scale Gold Mining in Southeast Asia (I)

高樋 さち子	日本大学経済学部経済科学研究所	研究員*
近藤 良彦	秋田大学大学院理工学研究科	准教授**
林 武司	秋田大学教育文化学部	教授***
坂本 龍太	京都大学東南アジア地域研究研究所	准教授****
竜野 真維	京都大学東南アジア地域研究研究所	連携研究員*****
I Gede Putu Wirawan	Udayana University Department of Agricultural Biotechnology	Professor*****

要旨

1945-50年に水俣病が発症してから約70年以上が過ぎようとしている。同時期には胎児性水俣病という胎盤を通して水銀汚染の被害となり、水俣病という障害を持ち生まれてくる状況となった。そしていまでも水俣病患者の苦悩と苦闘は続いている。国内ではメチル水銀汚染は存在することはないものの、しかし地球上では、特に開発途上国では、未だに水銀を大量に使用し、その水銀が自然界に被害を発生している状況である。従って、人、生物に有害な影響を与えるレベルになり水銀汚染が拡大している。

近年の国際市場における金の価格高騰と比例して発展途上国の伝統的小規模金採掘の活動が一段と活性化している。そこで本研究ではインドネシア共和国において、伝統的小規模金採掘使用時に住民の水銀汚染からの健康被害の回避策、水銀で汚染された自然環境の浄化、修復の方策、水銀を利用しない金採掘手法の開発、また、将来にわたり持続的・安全・安心な生活形成をするための方針の提言である。この研究目的から今までの水銀汚染に関するインドネシア共和国、ロンボック島、スンバワ島の試料収集、実験、健康被害に関する文献レビューを試みた。

Key word: mercury pollution, methylmercury,

Artisanal and Small-scale Gold Mining (ASGM), environmental and health assessment,
Monitoring methods, Minamata Convention

1.背景

現在、自然活動や人為的な活動として大気中に排出される全水銀量は、年間約5,500~8,900tとされ、この人為的な排出量は全体の約30%を占める。他の排出量10%は地質活動、60%は一度放出されて土壌表面、海洋に長期にわたり蓄積された水銀が再放出されたものである。これにより、自然的発生抑制より人為的排出を削減することは、将来において環境における水銀循環を削減する方策に重要とされる。他方、地域別にみると水銀の人為的排出量の多い地域はアジア地域の開発途上国であり、特に、金採掘作業からの水銀汚染は世界的な「環境犯罪」として問題視されている。この地域だけで全世界排出量の約50%を占めている。(図1)

この点から、今までの水銀に関するインドネシア、ロンボック島、スンバワ島の試料収集、実験と健康被害に関する文献レビューを試みた。

*takahi.sachiko@nihon-u.ac.jp

**y_kondo@gipc.akita-u.ac.jp

***thayashi@ed.akita-u.ac.jp

****sakamoto65@cseas.kyoto-u.ac.jp

*****tatsunomai@gmail.com

*****jgpwirawan@unud.ac.id

United National Environment Programme は、図 1 から地球規模での水銀の循環モデルは、主に環境区分及び経路、自然的、人為的に大気、土壌、水域へ放出された水銀がこれらの区分間を移動する経路となっている。

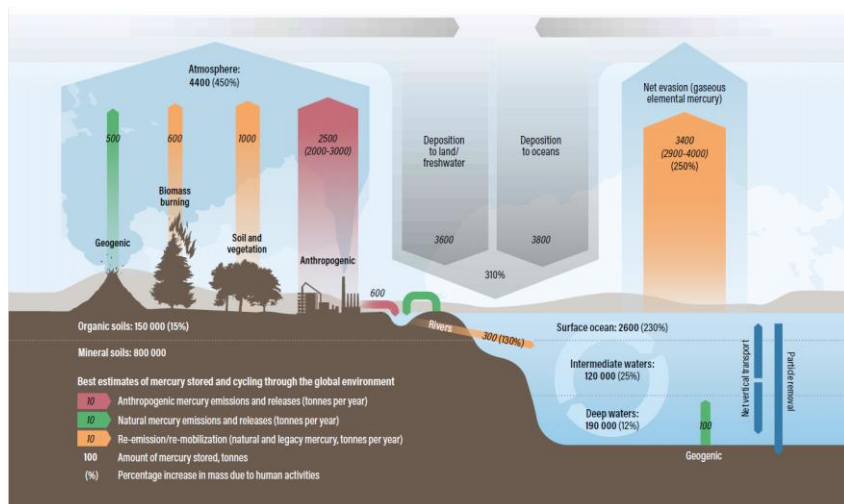


図 1 地球規模での水銀の循環モデル
出典：UNEP Global Mercury Assessment 2018 p.8

2018 年、水銀の大気への排出量は人間の生産活動によるものが年間 2220^t と推定されている。年間総水銀排出量(この総排出量には人間の生産活動、自然界からの排出及び環境からの再放出を含む)の約 30%となっている。その人間の生産活動として伝統的小規模金採掘によるものが最大値を占めている。

地域的にみると、表 1 から水銀の排出量では東南アジアが全体の約 40%、人間の生産活動つまり伝統的小規模金採掘からの水銀放出である。

表 1 地域別水銀排出量の割合

	Sector group (emissions, tonnes)				Regional total (range), tonnes	% of global total
	Fuel combustion	Industry sectors	Intentional-use (including product waste)	Artisanal and small-scale gold mining		
Australia, New Zealand & Oceania	3.57	4.07	1.15	0.0	8.79 (6.93-13.7)	0.4
Central America and the Caribbean	5.69	19.1	6.71	14.3	45.8 (37.2-61.4)	7.1
CIS & other European countries	26.4	64.7	20.7	12.7	124 (105-170)	5.6
East and Southeast Asia	229	307	109	214	859 (685-1430)	38.6
EU28	46.5	22.0	8.64	0.0	77.2 (67.2-107)	3.5
Middle Eastern States	11.4	29.0	12.1	0.225	52.8 (40.7-93.8)	2.4
North Africa	1.36	12.6	6.89	0.0	20.9 (13.5-45.8)	0.9
North America	27.0	7.63	5.77	0.0	40.4 (33.8-59.6)	1.8
South America	8.25	47.3	13.5	340	409 (308-522)	18.4
South Asia	125	59.1	37.2	4.50	225 (190-296)	10.1
Sub-Saharan Africa	48.9	41.9	17.1	252	360 (275-445)	16.2
Global inventory	533	614	239	838	2220 (2000-2820)	100.0

出典：UNEP Global Mercury Assessment 2018 p.12

2.インドネシア、西スンバワ島の伝統的小規模金採掘の現状ーアマルガム法

医師 Deddy Zulkamaen, and Nila Kumia Ramdani が、西スンバワ島 Bran Rea 地区において 2012 年から 2015 年の期間に先天性異常児の出生が約 5%を占めている報告がされた。同地区では 2008 年から金の抽出に水銀を利用している。

集落に入ると、採掘した金鉱石を粉砕する拡販するドラム「ガロンドン」(図 2) が回転する大きな音、ガラガラと聞こえ、インタビューをする声も聞き取れないくらいの騒音です。



図 2 Milling input 7.5cc Mercury



図 3 Amalgam Mercury + Gold



図 4 Combustion by gas burner



図 5 Gold 110g

図 2 のドラムに金鉱石と一緒に 7.5cc(ペットボトルのキャップ)の水銀を投入して、4 時間位、粉砕する。図 3 の金が水銀に付着してアマルガムとなる。このアマルガムの水銀を除去する作業、つまりバーナーで直接燃焼する(図 4)と水銀が大気中に揮散させて、海綿金という粗金だけが残ることとなる。その残った金を集めて金塊にする。(図 5)

アマルガムの燃焼の多くは屋外で行われるため大気中に揮散させた水銀の蒸気は、周辺の自然環境の汚染源となる。加えて、このバーナーで燃焼させる作業従事者も高濃度の水銀の蒸気に曝露することとなる。

2-1 環境問題アプローチ 調査地点

小規模金採掘作業場の周辺の土壌と水の採取をした。
小規模金採掘時のアマルガムの燃焼による大気への揮散した水銀、金鉱物資源の粉碎のドラムの洗浄水の流出、河川への排水などによる環境汚染が広範囲に拡大している。

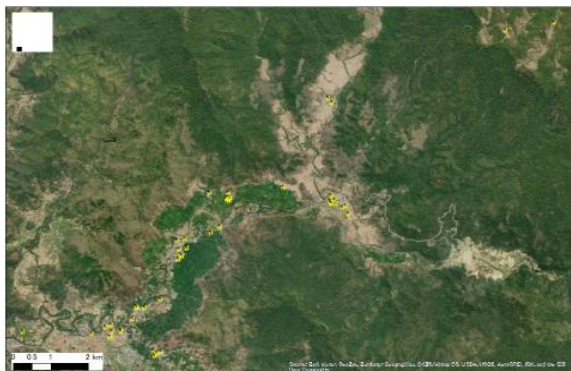


図6 2019年 土壌・水採取
(areaC Sumbawa)



図7 2019年 土壌・水採取
(areaC Sumbawa)

2-2 経済アプローチ

小規模金採掘作業を家族企業（親戚と関係者）として行っている家長にインタビュー調査を実施し、同時に、毛髪採取を行った。インタビュー調査の主な内容は、小規模金採掘作業の開始年、家族構成、出身地、設置費用、ランニングコスト、労働者数、毎月の収入、貯蓄額、労働者への給与などである。また、主食は近隣の河川、湖水の魚介類、鶏類を中心としている。



図8 2016年 個別家計インタビュー
(area B Sumbawa)

インタビュー対象者の前仕事は、「以前はバリ島で土産店経営していた。小規模金採掘業に従事している、寝ないで作業をすればその分、金を入手できる」、「元は小学校の英語の先生をしていた。その給料を元手に金採掘業を始めた。」

他の島からの移住者が多い小規模金採掘作業は、過酷な労働であるが、多額の資本がなくても容易に金採掘作業が開始できる。その作業のために、多くの現地労働者が従事し、金抽出に大量の水銀が使用されている。

他地域からの移住者が多いため、住民票が作成できない、2.3 で検討している健康被害回避の一手段としての住民全員の健康診断は容易ではない。

2.3 健康問題アプローチ

2015年現地家族へのインタビュー調査を進め、家族構成、特に子供の人数に疑問を持った。近くの診療所で医師と会うことができ、この下記の報告書を入手した(先天性異常児の出生が約5%を占めている)ことで健康被害が発生していることに着目した。

Deddy Zulkamaen, and Nila Kumia Ramdani “Kejadian Bayi-bayi Dengan Kelainan Kongenital Di Wilayah Puskesmas Brang Rea”. August 24th, 2015. (Bahasa Indonesia)

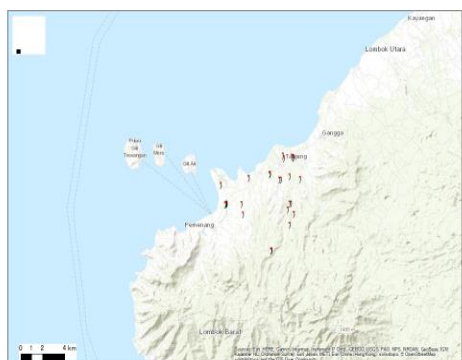


図9 2020年 ロンボック島 area A

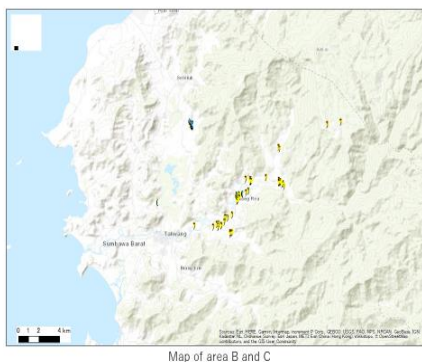


図10 2020年 西スンバワ島 area B C



図11 毛髪・臍帯採取
(area A Lombok)

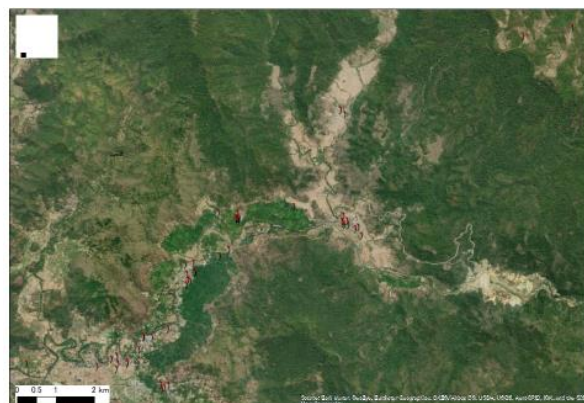


図12 毛髪・臍帯採取
(area B C Sumbawa)

毛髪の試料(環境省『水銀分析マニュアル』より)

外部からの無機や水銀蒸気の曝露が無い場合、毛髪中水銀のほとんどがメチル水銀の形態であるため、総水銀を測定することによってメチル水銀の曝露評価が可能である。ただし、金採掘者や金精錬に携る人々では金属水銀や水銀蒸気による汚染を受けている可能性が高いため、毛髪中総水銀と同時にメチル水銀を測定することによって真のメチル水銀曝露評価が可能となる。

臍帯の試料(環境省『水銀分析マニュアル』より)

1970年代以前の臍帯については、当時外用薬として汎用されていた赤チン(マーキュロクロム)の塗布により多量の無機化された水銀を含んでいる場合が多く、曝露評価のためにはメチル水銀の測定が不可欠である。また、開発途上国においても近年まで利用されていた。この場合、保存臍帯を水に浸して膨潤させ、血液その他の付着物を除いて水洗後、風乾し分析用試料とする。全調査位置を図13に示す。

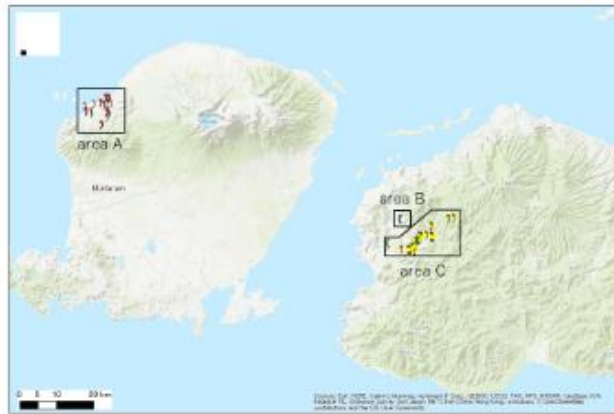


図 13 ロンボック島 area A スンバワ島 area B C

3.水銀を使用しない金採掘の代替技術の試み Borax 法

2017年西スンバワ島 Taliwang・Seteluk 地区で実施したホウ砂使用金回収実験を行った。

インドネシアなどでの小規模金採掘場で行われている水銀を用いた金精製法に代わり、ホウ砂（Borax：四ホウ酸ナトリウム十水和物 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）を用いた金精製法の実証実験を行った。

鉱石 3Kg をロッドミル（粉砕機 図 2）により湿式粉砕で微細化した後、薄流選別装置を用いて濃縮金画分を得る。未乾燥の濃縮金画分にホウ砂(Borax)を加え坩堝に移した後、バーナーで加熱(図 4)し金含有サンプル 50 mg（金濃度：16.5 ppm）を得た(図 14)。

得られた金含有サンプルの蛍光 X線解析による含有成分を表 2 に示す。この結果より、粒子の周囲には金の存在は見られないが、粒子中では金が約 80 %、銀が約 20 %であったことから、ホウ砂使用した金の回収は十分に有用なものと推測される。

一般的に、ホウ砂は濃縮金画分重量の 10 %の量が必要とされており、今回の実験では金の濃縮画分を約 5g と考えると、ホウ砂は約 500mg 使用されたと予測できる。

今後、作業に応じてホウ砂は適量加え加熱後、金含有サンプルが坩堝の底部に溶融する時間の検討を行い、短時間で十分な金の量を得られる条件の検討が必要である。

表2 Borax 法による金粒子の蛍光 X 線分析

Elemental name	mass (%)	
	Bare metal part	Coated part
Boron (B)	ND	ND
Carbon [C]	ND	22%±8%
Calcium (Ca)	Less than 5%	14%±8%
Nitrogen (N)	Less than 2%	ND
Oxygen (O)	ND	42%±9%
Sodium (Na)	ND	12%±5%
Magnesium (Mg)	ND	0.5%±0.2%
Aluminum (Al)	ND	2%±1%
Silica (Si)	ND	4%±1%
Potassium (K)	ND	Less than 0.2%
Calcium (Ca)	ND	0.5%±0.2%
Titanium (Ti)	ND	Less than 0.2%
Iron (Fe)	ND	1%±0.5%
Silver (Ag)	19%±3%	ND
Gold (Au)	78%±5%	ND

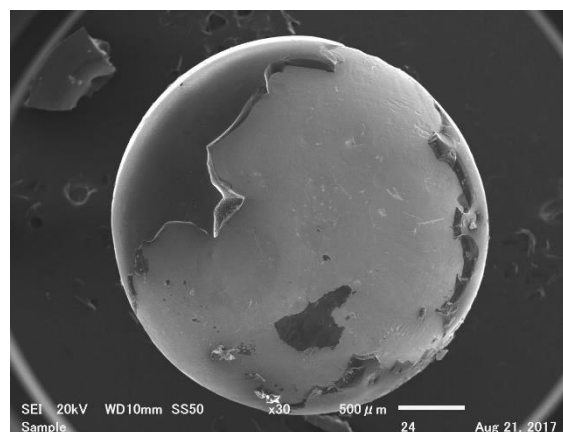


図14 SEM画像金が78% 銀が19%含有

分析機器：EDX付走査電子顕微鏡（日本電子(株)製 JSM-6010LA）2017年8月21日

*分析対象項目は周期表で B5～U92 であり、分析結果は検出された元素の合計を 100%とした相対質量%です。

*NDは検出下限値未満、未満は定量下限値未満を示します。

*±□%の□は測定値(n=5)の標準偏差に包含係数(k=2)を乗じたものです。

地金のおよその元素組成は金78%、銀19%で、地金から微量の炭素、窒素が検出したが、有機物による汚染や金・銀の特性 X線ピークによる妨害である可能性がある。被膜のおよその元素組成はホウ素 10～30%、酸素 30～50%であるため、ホウ酸 (H3BO3)を主成分としていと考えられる。

4.水銀汚染土壌の浄化技術 - Low Cost-Low Technology- phytoremediation 法

有害金属の土壌汚染サイトからの浄化方法は、汚染土壌を他の場所に移動して新規の客土を投入することである。これは短期間で実施できるが、費用を要する点が欠点である。

最近ではバイオレメディエーションという生物学的な手法があり、生物機能を利用して汚染土壌を回復する環境技術の一つである。また、このバイオレメディエーションの中で、生物の持つ機能を利用したファイトレメディエーションの技術があげられる。経済的に安価にできる長所があるが、浄化に要する時間が長時間に及ぶことである。加えて、水銀を吸着した植物を安価に処理する方法が解決できない点である。

Reference 20) 21) 22)では 水銀利用の小規模金採掘現場であるインドネシア、東ジャワ Wonogiri 地区でファイトレメディエーションの方法を利用して、Sweet Sorghum の栽培し、汚染土壌に含まれる水銀の吸

着実験を試みた論文である。汚染土壌から水銀を吸着した植物は通常の植物より生育が約 50%であった。水銀吸着をした植物を目視できる点が長所である。

また、この水銀を吸着した植物の処理方法が開発されれば植物浄化技術がより発展できると期待される。

最後に

2013 年 10 月に熊本県熊本市及び水俣市で開催された外交会議で、採択・署名が行われ、2017 年 5 月 18 日付けで、締約国数が我が国を含めて 50 か国に達し、2017 年 8 月 16 日「水銀に関する水俣条約」が発効となった。その後、率先して水銀の使用の削減方針を推進し、地球上で水俣病同様の健康被害が起きないことを予測できる。しかし、United National Environment Programme から、地球規模の水銀汚染問題に対して、特に 50 か国以上の開発途上国において汚染が拡大しているため緊急に取り組む必要性を提唱している。

また、本調査対象国インドネシア共和国政府は、これらの水銀に関する課題を国内及び国際的に重要な課題と捉え、2017 年 9 月 22 日に水銀及び水銀化合物の人為的な排出及び放出から人の健康及び環境を保護することを目的とした「水銀に関する水俣条約」を批准した。しかし、現在インドネシア国内では、水銀を使用した小規模金採掘場が 2000 か所以上と言われ、金の価値が高騰しているため増加の一途である。ジョコ・ウィドド大統領によると、環境と人体への影響(慢性的無機水銀中毒に曝露している)に配慮し、水銀の使用禁止を決断した。インドネシア政府関連省庁に対して金鉱山の管理や水銀の危険性の周知徹底を図るよう指示し、水銀の管理政策を強化している。

インドネシア政府の水銀使用禁止政策と現地の金抽出のための水銀使用との乖離を埋めるべく国際環境技術政策を水俣先進国としての日本が緊急に提言する必要がある。

次年度以降の研究計画：

調査地域：インドネシア共和国ロンボック島、スンバワ島

・現地入手した臍帯の水銀含有量は原子吸光法を利用した水銀測定装置を用いて総水銀量の測定を行い、また Gas Chromatography-Mass Spectrometer を用いてメチル水銀量の測定を行う。

この上記の水銀測定装置はサンプルに含まれている全ての水銀種を金属水銀として、その量を測定するものである。メチル水銀を抽出して測定することはできないが、水銀の総量を測定するためとても重要である。

一方、Gas Chromatography-Mass Spectrometer は微量な有機化合物又は有機金属の定性・定量分析ができる装置である。金属を測定することは困難であるが、メチル水銀の測定は可能である。そのため、これら 2 種類(原子吸光法を利用した水銀測定装置・Gas Chromatography-Mass Spectrometer)の測定装置を用いて、総水銀量とメチル水銀量を併記した詳細な水銀分布を明らかにする予定である。

当初、各サンプルを日本へ持ち込み分析を行う予定であったが、現在の国内および国際的な状況では人の移動、また現地インドネシアでは MTA(Message Transfer Agent)作成処理が困難な状況である。そのため、代替計画としてインドネシア国内の政府系研究機関等で所有している各種分析装置を使用し、測定を行うこととする。

・環境汚染の試料採取(土壌、水、稲、魚類、野菜)、インタビュー調査は、健康被害地域と連携するため同調査地点とする。

付記

・本論文内の使用ソフトウェア

・ESRI社 ArcGIS Desktop 10.5.1

ベースマップ

・地形図：World Topographic Map

・衛星画像：World Imagery

・本研究内容についてインドネシア国立ウダヤナ大学で講義を行っている。

Topic "Gold mining and mercury pollution in the Sumbawa area"

Undergraduate : Agricultural Biotechnology ; water, land, and plant pollutions

Master course : Genetic Engineering; identification of some mutation in plant and microbes in water and land pollution

Doctor course : Environmental Biotechnology ; DNA mutation in the environmental pollutions

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会 二国間交流事業・共同研究 インドネシア共和国・共同研究 (DG-RSTHE(DGHE)) 2015-2017FY 「インドネシアにおける水銀利用による伝統的金採掘時の水銀利用による環境汚染の持続的回復と産業発展」、科学研究費補助金 基盤研究(B) JP25301001 2019FY 「東南アジアにおける水銀使用時による持続的環境汚染修復と健康被害回避に関する研究」、京都大学東南アジア地域研究研究所 共同利用・共同研究拠点「東南アジアの研究の国際共同研究拠点 2017-2018FY」の助成を受けたものである。

秋田大学名誉教授 村田勝敬先生、環境省 国立水俣病総合研究センター 坂本峰至先生、原口浩一先生には、水銀汚染による健康被害、環境汚染についての分析手法、特に、臍帯の分析について専門知識をもとにアドバイスをいただきここに謝意を申し上げます。

本研究データ整理、処理など協力いただきました秋田大学教育文化学部技術部総括技術長 成田堅祝様には御礼を申し上げます。

インドネシア共和国、ロンボック島、スンバワ島でインタビュー調査、試料採取に協力していただきました現地の皆様に心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。

本研究遂行にあたり独立行政法人日本学術振興会「科学の健全な発展のために 一誠実な科学者の心得」に従いインタビュー調査、試料採取を実施している。

本研究に係る利益相反はない。

Reference

- 1) Deddy Zulkamaen, and Nila Kumia Ramdani “Kejadian Bayi-bayi Dengan Kelainan Kongenital Di Wilayah Puskesmas Brang Rea”. August 24th, 2015. (Bahasa Indonesia)
- 2) Veiga, Marcello M. .Global Mercury Project, UNIDO Vienna International Center, *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners*, 2004.
- 3) United National Environment Programme, Global Mercury Assessment 2013.
- 4) United National Environment Programme, Global Mercury Assessment 2018
- 5) United National Environment Programme Summary of supply, trade and demand information on mercury, 2006.

- 6) United National Environment Programme Mercury Use in Artisanal and Small Scale Gold Mining, 2008.
- 7) WHO, Preventing Disease through Health Environments, Exposure to Mercury: A Major Public Health Concern, 2007.
- 8) WHO Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community, 2013.
- 9) STATISTIK LINGKUNGAN HIDUP INDONESIA CNVIRONIFCNT STATISTICS OF INDONCSIA 2018 (Bahasa Indonesia)
- 10) HASIL, PENDATAAN USAHA/PERUSAHAAN, LISTRIK, GAS<AIR,BERSIH, DAN LIMBAH 2016- Sencus, Statistics of Indonesia. (Bahasa Indonesia)
- 11) Bose-O'Reilly S, Drasch G, Beinhoff C, et al. Health assessment of artisanal gold miners in Indonesia. *Science of the Total Environment*; 408: Pp.713-725. 2010.
- 12) Krisnayanti BD, Vassura I, Asmara MD, et al. Analysis of Artisanal Small-scale Gold Mining Sector in Sumbawa Barat Regency, Indonesia. *Journal of Health and Pollution* 2016; 6: Pp.26-33, 2016.
- 13) Ask K, Åkesson A, Berglund B, et al. Inorganic mercury and methylmercury in placentas of Swedish women. *Environmental Health Perspectives*; 110: Pp.523-526.2002.
- 14) Bose-O'Reilly S, Lettmeier B, Roider G, et al. Mercury in breast milk- a health hazard for infants in gold mining areas? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 211: Pp.615-623. 2008.
- 15) Grandjean P, Satoh H, Murata K, Eto K. Adverse effects of methylmercury: environmental health research implications. *Environmental Health Perspectives*; 118: Pp.1137-1145. 2010.
- 16) Castilhos ZC, Rodrigues-Filho S, Rodrigues APC, et al. Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. *Science of the Total Environment*; 368: Pp.320-325.2006.
- 17) Boischio AA, Cernichiari E, Henshel D. Segmental hair mercury evaluation of a single family along the upper Madeira basin, Brazilian Amazon. *Cad de Saude Publica* ; 16: Pp.681-686.2000.
- 18) Sakamoto M, Kaneoka T, Murata K, et al. Correlations between mercury concentrations in umbilical cord tissue and other biomarkers of fetal exposure to methylmercury in the Japanese population. *Environmental Research* 2007; 103: Pp.106-111.
- 19) Skerfving S. Mercury in fish - some ecological considerations. *Food and Cosmetics Toxicology*; 10:Pp. 545-556. 1972.
- 20) Sakamoto M, Kaneoka T, Murata K, Nakai K, Satoh H, Akagi H. Correlations between mercury concentrations in umbilical cord tissue and other biomarkers of fetal exposure to methylmercury in the Japanese population. *Environmental Research* ; 103: Pp.106-111.2007
- 21) Desi UTAMI, Sachiko TAKAHI, Irfan Dwidya Prijambada "Uptake of Mercury in Gold Mine Tailing by Sweet Sorghum Inoculated with Cadmium Uptake Enhancing Rhizobacteria" *International Journal of Biosciences and Biotechnology* vol.1 No.II Pp.85-90 ,2013.
- 22) Kokyo Oh, Sachiko Takahi, Irfan Dwidya Prijambada, Ir. Sri Wedhastri, "Phytoremediation of Mercury Contaminated Soils in a Small Scale Artisanal Gold Mining Region of Indonesia" *International Journal of Biosciences and Biotechnology* vol.2 , No.I Pp.14-21,2014.
- 23) Himawan Tri Bayu Murti Petrus, Sachiko Takahi, Fumio Hamada "Alternative Sustainable Technology to Gold Extraction for Artisanal Miners: Non Amalgamation Gold Processing" 8th International Conference Bioscience and Biotechnology, Indonesia, Sep.14-15,2017.
- 24) A D Ferdana, H T B M Petrus, I M Bendiyasa, I D Prijambada, F Hamada, and T.Sachiko, "Study on Sumbawa gold recovery using centrifuge Material Science and Engineerng" Open access, doi:10.1088/1757-889X/285/1/012027, 285, pp. 1-7,2018.
- 25) Himawan Tri Bayu Murti Petrus, I. Made Bendiyasa, Irfan Dwidya Prijambada, Fumio Hamada, and Takahi Sachiko, " Optimization of gold ore Sumbawa separation using gravity method: Shaking table", *Materials and*

Engineering and Technology, Open access, doi:10.1063/1.5030292, American Institute of Physics, 1945, pp. 020070-01-07,2018.

- 26) 吉田 稔・亀尾聡美・佐藤 洋「小規模の金採掘鉱山における 水銀汚染による健康影響の現状」『八戸大学紀要』第 35 号 Pp.81-86.
- 27) 吉田 稔・赤木洋勝「発展途上国における金採掘の環境汚染 と環境保全」『環境科学会誌』17(3) Pp.181-189,2004.
- 28) 坂本峰至, 板井啓明, 村田勝敬「メチル水銀の胎児期曝露影響—水俣病から環境保健学研究へ。」『日本衛生学雑誌』72:Pp.140-148, 2017
- 29) 村田勝敬, 嶽石美和子, 島田美幸, 佐藤 洋「メチル水銀の胎児期曝露の生体指標としての臍帯水銀濃度の有用性の検討」『日本衛生学雑誌』62:Pp. 949-959, 2007
- 30) 坂本峰至, 中村政明, 村田勝敬. 「地球規模汚染物質としての水銀とその曝露評価および健康影響」『日本衛生学雑誌』73(3): Pp.258-264,2018.
- 31) 斉藤 貢, 坂本峰至「水銀に関する水俣条約. 環境による健康リスク I 環境問題の基礎」『日本医師会雑誌』146 特別号(2): Pp.67-70.2017.
- 32) 臼杵扶佐子, 坂本峰至 「胎児におけるメチル水銀中毒症. 神経症候群 (第 2 版) IV—その他の神経疾患を含めて—」『日本臨牀』09 Pp.819-822. , 2014.
- 33) 原口浩一「金採掘に伴う金属水銀曝露量評価のための尿中水銀分析」ぶんせき, 2: 72.2018.
- 34) 原口浩一, 松山明人「水銀分析技術の移転 -これまでの途上国支援とこれからの後発開発途上国支援」『環境浄化技術』14: Pp.4-8.2015
- 35) 日本エヌ・ユー・エス株式会社「平成 24 年度 水俣病に関する総合研究(重金属による健康影響に関する総合研究)」平成 24 年度環境省委託業務報告書、2013.
- 36) 日本エヌ・ユー・エス株式会社「平成 23 年度 水俣病に関する総合研究(重金属による健康影響に関する総合研究)」平成 23 年度環境省委託業務報告書、2012.
- 37) 株式会社エックス都市研究所 水銀に関する水俣条約の国内対応検討委員会「水銀に関する国内外の状況等について」環境省委託業務報告書、2014.
- 38) 柴田晴音、竹中千里、富安卓磁、村尾智、世良耕一郎「フィリピンの人力小規模採掘による水銀汚染の実態」『NMCC 共同利用研究成果報文集』23,Pp.65-69,2016.
- 39) 環境省『水銀分析マニュアル』2004
- 40) 国際協力機構 野村興産株式会社『インドネシア国 石油・天然ガス由来の水銀廃棄物の適正処理技術の導入に関する案件化調査 業務完了報告書』2019.

Research Institute of Economic Science
College of Economics, Nihon University

1-3-2 Kandamisaki-cho, Chiyoda-ku, Toyko 101-8360 JAPAN
Phone: 03-3219-3309 Fax: 03-3219-3329
E-mail: keikaken.eco@nihon-u.ac.jp
<http://www.eco.nihon-u.ac.jp/research/economic/>