



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	小規模金採掘における水銀の環境汚染（パプア・ニューギニア、ワウ・ブロロ地区の事例）
Author(s)	川村, 哲司; Kolinjim, D.; Simi, F.
Description	第5回衛生工学シンポジウム（平成9年11月6日（木）-7日（金） 北海道大学学術交流会館） . 7 事例報告 . 7-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 295-300
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7750
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-7-6_p295-300.pdf



7-6

小規模金採掘における水銀の環境汚染

(パプア・ニューギニア、ワウ・プロロ地区の事例)

川村 哲司 (青年海外協力隊: Environmental Research & Management Centre,
The Papua New Guinea University of Technology)
D. Kolinjim and F. Simi (Wau Ecology Institute)

1. 背景

モロベ州ワウ・プロロ地区は、パプア・ニューギニア（以下、PNG）の本島であるニューギニア島北東部に位置する（図1）。ワウ・プロロ地区の背後にはクーバー山脈が控えており、そこから流れ出る幾つかのクリークを源流とするプロロ川、ワトゥットゥ川はマーカム川へ合流する。マーカム川はPNG第2の都市レイを通り抜け、フオン・ガルフへと注いでいる。この流域の上流部では現地住民による金採掘風景が至る所で観察できる（図2）。

PNGでは1888年以来、国内の各地で金鉱が次々と発見されて来ており、国内の主要な産業の一つとなっている。ワウ・プロロ地区においても、1920年代にエディー・クリーク、ナミエ・クリークでの金鉱の発見により、企業レベルの大規模な金採掘業者が進出した。それに加え、入植者、流域住民による個人レベルでの小規模金採掘事業も盛んになり、ゴールドラッシュを引き起こした。

その後、この地区での金の産出量が

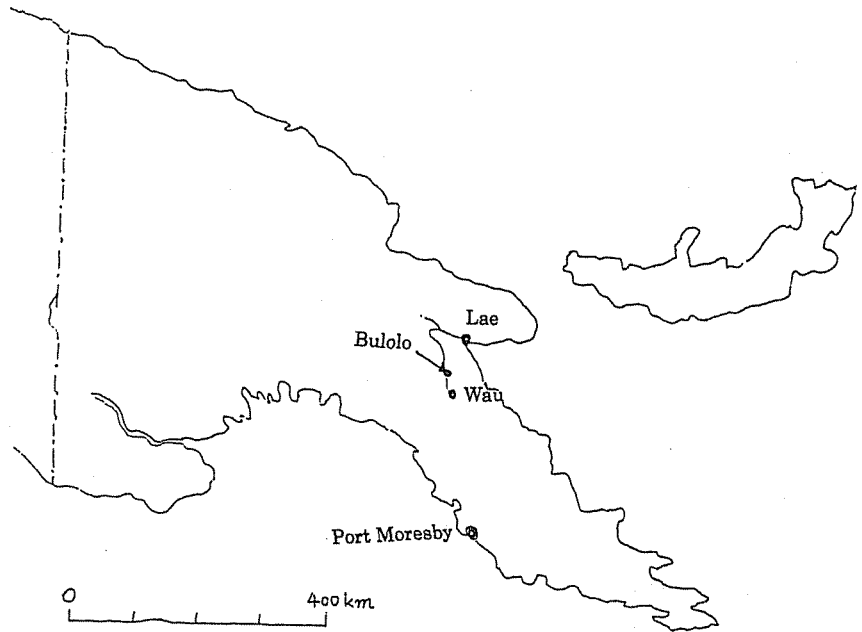


図1 PNGの地図

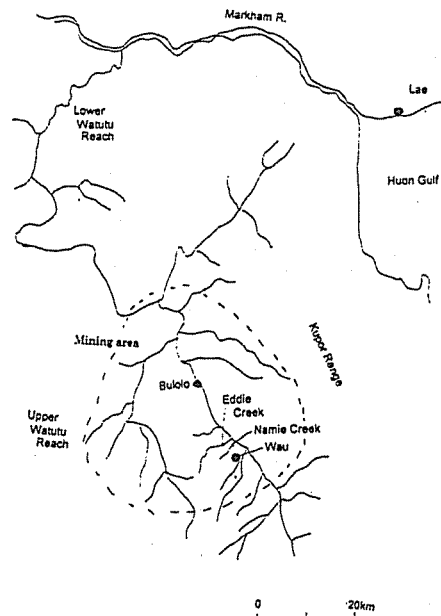


図2 ワウ・プロロ地区の概況

減少したため、ほとんどの大規模金採掘業者が撤退してしまい、当時のゴールドラッシュによる加熱ぶりは影を潜めている。しかし、大掛かりな道具を必要としない小規模金採掘は、農業以外に特別な現金収入手段を持たない流域住民にとっては有効な現金獲得手段であるため、今尚盛んである。しかし、当地の小規模金採掘では水銀を利用したアマルガム法が普及しているため、人体への健康影響も含めた周辺環境への影響が懸念されている。

ここでは、PNGで行われている典型的な小規模金採掘の実際と、金精製時に使用される水銀が周辺環境へ実際のどの程度の影響を及ぼしているのかについて報告する。

加えて、PNGという国情と地域性を考慮して、この課題に対する効果的な対策について考察する。

2. 小規模金採掘の実際

小規模金採掘はかつては北海道をはじめとする日本国内各地でもポピュラーなものであった。その後、産出量の減少、他産業の発達などに伴い衰退してしまっただが、フィリピン、インドネシア、ポリビア・ベネズエラ・ブラジルのアマゾン川流域をはじめとする中南米地域、そしてPNGなど世界中の各地で今尚盛んである。金の採掘方法には地域、規模、採掘される金の状態などにより若干の違いはあるが、基本的には以下の手順でおこなわれている⁽¹⁾。

①砂金があると思われる川底の砂利を掘り起こし、採取する。②絨毯を底に敷いた箕に採取した砂利を水流と共に流す。この時、砂金と重い黒砂は絨毯にトラップされる。③トラップされた砂金混じりの黒砂を深皿に水で流し込む。④深皿を回転させるようにして揺らす。砂金は密度が大きいので、重い黒砂と共に底に溜まる。⑤水と上部に溜まった軽い黒砂をできるだけ取り除き、皿の中に水銀を流し込む。⑥水銀と砂金を含んだ黒砂をよくかき混ぜる。⑦水銀は不純物をよけて砂金を溶かし、金とのアマルガムを形成する。⑧再び水を深皿に注ぎ入れ、回転させるようにして揺らす。金と水銀のアマルガムは完全に黒砂から分離し、皿の底に溜まる。⑨水、泥を完全に洗い流し、残ったアマルガムを動物の皮または布にくるむ。⑩布をきつく絞り、余分な水銀は再利用のため回収し、残ったアマルガムは焚き火にかける。⑪アマルガムに含まれる水銀は蒸発し、高純度の金が残る。

3. 水銀汚染のメカニズム

環境中で無機水銀がどのようなプロセスを経て有機化していくか細部に至るまでは明らかにされていないが、一般に自然界に放出された無機水銀は次のようなサイクルを経ると考えられている(図3)。

まず、常温気化、アマルガム加熱によって水銀蒸気が大気中へ拡散し、大気中のオゾン、紫外線、湿気等の作用により酸化が促進される。酸化されることにより、水への溶解性が増大⁽²⁾した水銀は降雨を通じて土壌へ堆積、沈殿し、土壌有機物と結合する。そして大部分は嫌気性微生物によりメチル化され、一部は無機水銀として放出される。それらが食物連鎖を通じて生物濃縮されていくのである⁽³⁾。水銀の酸化、有機化には、熱帯の気候条件が大きく寄与している⁽³⁾。

環境中に放出された水銀は上述したプロセスで、以下のように健康へ影響を及ぼしていく⁽⁴⁾。

①金採掘従事者の直接暴露による無機水銀中毒患者の発生(常温気化、アマルガム加熱による吸入、素手で取り扱う事による経皮からの侵入)、②環境に放出された無機水銀の有機化、③食物連鎖を通じての魚などへの蓄積、④有機水銀に汚染された食物の消費による人体への蓄積、⑤有機水銀中毒患者の発生

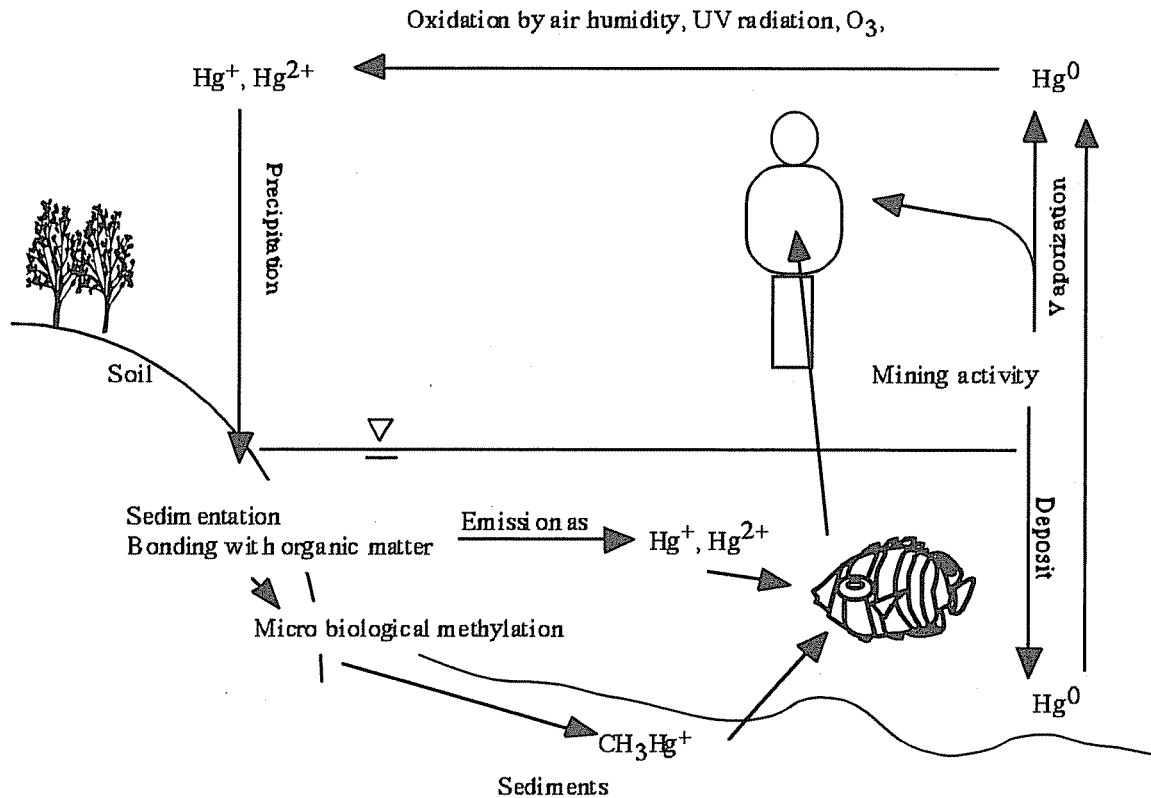


図 3 自然界における水銀の循環

4. 研究方法

1995年から1997年にかけて、ニューギニア島北東部モロベ州において、小規模金採掘が特に盛んなプロロ川、ワトゥットゥ川の本流及び支流、そして両河川が流れ込むマーカム川下流、マーカム川の注ぐフオンガルフにて調査を行った。

過去の調査地点、アクセスのし易さ、ある程度の規模を保っている事などを考慮して流域付近に点在している集落を起点に魚、底泥、毛髪をサンプリングした。集落、及び採掘現場では聞き取り調査も行った。

魚は体長、体重を測定した後に測定時まで冷凍保存した。魚の尾ビレ付近の筋肉中の水銀濃度を測定し、結果は湿重量で算出した。

底泥は室温で48時間風乾した後、105℃で2時間乾燥させて水分含量を測定。各調査地点で3~5個サンプリングし、その平均値をその地点の濃度とした。水銀濃度は風乾重量ベースで算出した。

毛髪は採取後中性洗剤で軽く洗い、蒸留水ですすいだあと室温で風乾した。その後、密閉して分析時まで室温で保存した。水銀濃度は風乾重量で算出した。

聞き取り調査は金採掘従事者を中心に、金採掘のキャリア、頻度、魚の消費量と頻度、健康状態に関する質問などを行った。

サンプルは加熱気化による金アマルガム方式で捕集した水銀ガスを冷原子吸光法で測定した。

5. 調査結果

5.1 魚

図4に各地点で採取した魚の体内中の水銀濃度の平均値と最大値を示す。WHOの基準である0.5ppmを上回るサンプルがワトゥットゥ川下流で確認されている。採掘活動現場から離れた下流域で最高値を示すサンプルが確認されたことは、食物連鎖を通じた生物濃縮が進行していることを示唆している。金採掘の影響がマーカム川下流、フオンガルフ沿岸にまで影響を及ぼしているかどうかはこのデータからは確認できなかった。

5.2 底泥

図5に示す地点で採取した。金採掘の影響がほとんどないと考えられるプロロ・ワトゥットゥ川、マーカム川流域とその河口を除いた地点の平均値22.4ppbがこの地域におけるバックグラウンドレベルと考えられる。一方、採掘現場直後では300ppbを超える水銀濃度が検出された。下流約100mでは71.1ppbであった。水銀がアマルガム残さとして河川中に廃棄されると、水中では拡散しにくく流動性も低い金属水銀は廃棄された場所にとどまり易いため採掘現場付近は高濃度の水銀値を示す。フオンガルフのFishery's Officeの前で59.9ppbと比較的高い値を示しているがここは漁船、中型輸送船が出入りしているためその影響によるものと考えられる。

5.3 毛髪

1994年にFujimoto, Kolinjimらがワウ・プロロ地区の流域住民の毛髪中水銀濃度の分析を行っている⁽⁵⁾がそれによると金採掘の行われていない地域の平均濃度は0.60ppmで、バックグラウンド値と考えられ、今回の非採掘従事者の値と良く一致している(表1)。

今回調査した集団の平均毛髪中水銀濃度は非採掘従事者(n=11)で0.57ppm、採掘従事者(n=27)で1.92ppmであり、

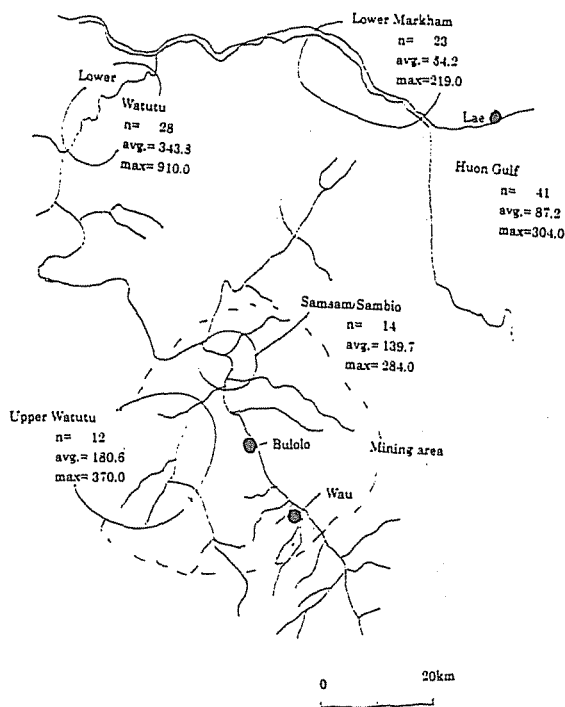


図4 ワウ・プロロ地域の魚の水銀濃度(ppm)

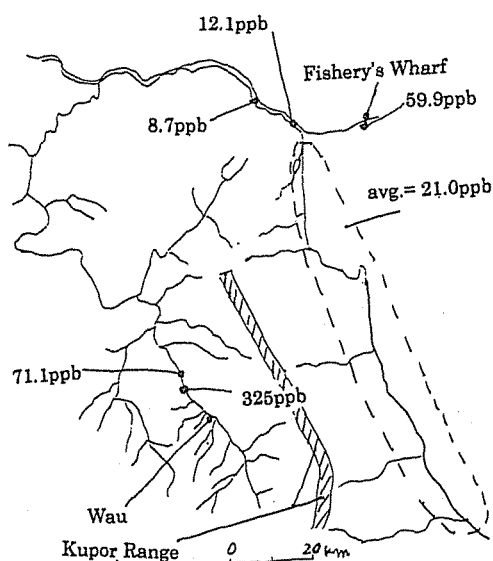


図5 ワウ・プロロ地域の底泥の水銀濃度

表1 ワウ・プロロ住民の毛髪中水銀濃度

	Miner	Non-miner
n	27	11
Min.	0.09ppm	0.32ppm
Avg.	1.92ppm	0.57ppm
Max.	12.28ppm	0.95ppm

採掘従事者が採掘活動による影響を受けていることを示した（有意水準0.05）。採掘従事者の中には最高で12.28ppmを示す被験者がいた。

6. まとめ

WHOの基準値と比較して毛髪中の濃度レベルだけを見ると、「水銀の影響により、環境が著しく汚染されており、中毒を引き起こしている非常に深刻な濃度レベル」にまでは至っていない（WHOの基準値は50ppm）。アンケート調査によれば、金採掘従事者の中には「時折頭痛、吐き気、疲れ易さなどを覚える」と訴える被験者もいたが、それが水銀中毒に由来するものなのかどうかは確認できなかった。フオンガルフ沿岸の魚からも基準値を超えるサンプルは見つからなかった。

しかしながら、内陸のいくつかの魚体からはWHOの基準値を上回る濃度のサンプルが確認されていること、基準値以下ではあるがバックグラウンドレベルと比較して著しく高い毛髪中水銀濃度を示した金採掘従事者が確認されたこと、採掘現場の河川の底泥から比較的高濃度の水銀濃度が検出されたことなどから、未だクリティカルなレベルには達していないものの、金採掘による水銀使用は周辺環境に対して確実に影響している。

魚を多食する我々日本人などと比べ、この国の人々にとって、とりわけ内陸に住む人々にとっては缶詰の魚を週に1回から月に1回食べる程度で、魚を食べることは一般的ではない（現地での聞き取り調査より）。従って、確認された濃度レベルからは、食物連鎖の過程で有機化、濃縮された水銀が人々の健康に影響を与えているとは考えにくい（図6：魚食が一般的な日本人の毛髪中水銀濃度は平均で3.9ppm：Airey, 1983a）。しかしながら、下流域では魚を捕って生計を立てる部族もいること、また、今回調査を行った地点の他にも数多くの採掘現場が存在し、アクセスの困難な集落も数多く存在しているため完全な状況の把握が困難であり、汚染の進行した地域や患者が存在している可能性も残されている。従って、継続的な監視が必要であると考えている。

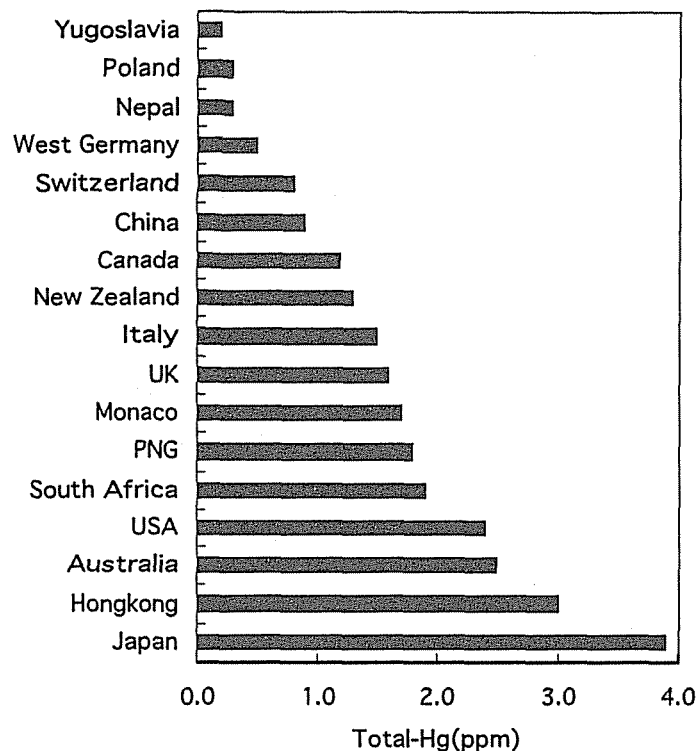


図6 各国毛髪中水銀濃度

現状で問題なのは、金の精製過程において直接曝露により無機水銀蒸気を取り込むことによって引き起こされる健康影響と水銀の周辺環境への影響についての知識が、採掘従事者の間に普及していないことにある。これに対しては、金採掘従事者が水銀の毒性、それによって引き起こされる環境影響、及びその正しい取り扱い方についての正しい知識を持つこと、金採掘従事者を含めた流域住民が周辺環境の保全について高い関心を持つ機会を作ること等が対応策として挙げられる。

水銀の使用に対して法規制による制限を加えたりプライベートな金採掘そのものを規制するという

手段も考えられ、実行している国もある。しかし、それには金採掘にとって替わる現金獲得手段が確立される必要があるし、法による規制はアンダーグラウンドの活動を促し、現状把握をかえって難しくする恐れがある。また、石灰、セレン、活性炭、サトウキビなどの有機物残さなどを用いた汚染現場の浄化法も提案^{(6),(7),(8),(9),(10),(11)}されており、効果を上げている事例もあるが、費用・技術者の不足、インフラ整備、廃棄物の問題等から、途上国では実行に移すのが難しい。このような事情の下では、現地、現場の人々に対する教育、啓発活動に重点を置くことが長い目で見れば一番効果的であろう。

今後は、有機、無機水銀の分別定量による汚染経路の更なる解明と、専門医を交えた継続的な健康調査、環境モニタリングが必要である。並行して、金採掘従事者を含めた流域住民に対する環境教育と啓発活動、金採掘従事者に対する技術的な指導、及び安価で簡単かつ安全性に優れた水銀回収手法を確立、普及させる必要がある。水銀の出所を改善することにより、金採掘従事者に対する直接暴露による健康影響を低減できるだけでなく、周辺環境への影響を抑制することも可能になる。

謝辞

フオンガルフにおけるサンプリングにはモロベ州政府漁業課の方々の協力を得た。また、分析に当たっては University of Technology の National Analysis Laboratory の方々に便宜を図って頂いた。また、本研究は青年海外協力隊の隊員活動の一貫として行われた。関係諸氏の皆様へ感謝します。

参考文献

- (1)Blowers, "Handbook of small scale gold mining for Papua New Guinea", Pacific Resource Publications, New Zealand, 1988.
- (2)化学同人、「水銀」、講談社出版、1976。
- (3)Hintschel T and Priester M, "Mercury contamination in developing countries through gold amalgamation in small scale minning : Some processing alternatives", Project Consult GmbH, Koenigstein, Germany, 1991.
- (4)原田正純、「水俣病と世界の水銀汚染：J-LEC 環境ブックレットシリーズ8」、真教出版、1995。
- (5)Fujimoto M, Kolinjim D, Simi F and Hundang K, "Possible effects of mercury poisoning in the Wau-Bulolo region", Small Scale Mining Workshop, PNG, 1994
- (6)Paulsson and Lundbergh, "Treatment of mercury contaminated fish by selenium addition", Water Air Soil Pollut. 56, 833-841, 1991.
- (7)Lindqvist, Johansson, Aastrup, Andesson, Bringmark, Hovsenius, Hakanson, Iverfeldt, Meili And Tim, "Mercury in the Swedish environment: recent research on cause, consequence and corrective methods", Water Air Soil Pollut. 55, 1-261, 1991.
- (8)Logsdon and Symons, "Mercury removal by conventional water-treatment techniques", Am. Water Works Ass. J. 65, 554-558, 1973.
- (9)Beszediz, "Mercury removal from effluents and wastewaters.", in: The Biogiochemistry of Mercury in the Environment, Noth Holnd Biochemical Press, Amsterdam, pp231-276, 1979.
- (10)Asai and Tomisaki, "Separation of mercury from aqueous mercuric shloride solutions by onion skins", Sep. Sci. Techn. 21, 809-821, 1986.
- (11)Feick and Yeaple, "Control of Mercury Contamination in Freshwater Sediments", U.S. EPA, Report EPA-R2-72-077, Washington DC, 155pp. 1972.