

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

吉 田 稔*・亀 尾 聡 美**
佐 藤 洋***

目 次

1. はじめに
2. 小規模金鉱山における水銀蒸気曝露による鉱夫の健康影響
3. 小規模金鉱山における小児の水銀曝露問題
4. おわりに

1. はじめに

水俣病が発生して以来、水銀による環境汚染に伴う健康被害は世界各国の大きな関心事になった。とくに、アマゾン川流域における金採掘に伴う水銀汚染はブラジルのみならず世界的に大きな社会問題となりつつある。この問題は金の抽出に使用される金属水銀が直接、環境中に放出され、その地域のみならず河川を汚染することである。しかも、水中で無機水銀からメチル水銀への有機化が起こり、食物連鎖を通じて魚介類への蓄積が生じる。このメチル水銀による汚染が食糧源を魚介類に依存するアマゾン川流域の住民に対し健康被害をもたらすと懸念されている¹⁾。金採掘地域の水銀汚染はアマゾン川流域に留まらず、アフリカ、アジア、東欧

の金産出国でも同様な問題を抱えている^{2),3)}。

発展途上国での金採掘事業は手掘で、その多くは小規模金採掘地で行われている。手掘採掘は過酷な労働であるが、資本がなくとも容易に金の生産ができるため多くの労働者が従事し、金の抽出に大量の水銀が使用されている。1998年以降、小規模金鉱山における手掘りによる金の採掘量は金の総生産量の20~30%と推定され、年間500~800トン生産される。今や小規模金鉱山における金採掘は中南米、東南アジア、アフリカなどの50カ国以上の発展途上国で行われている。金の抽出には安価な方法である水銀アマルガム法が用いられ、ここで使用される水銀が環境汚染や金鉱山周辺の住民や鉱夫の健康に影響を及ぼしている。この背景には高い金の価格と発展途上国の長く続く貧困が小規模の金鉱山での水銀アマルガム法による金採掘を激増させる要因となっている^{4),5)}。国際労働機関(ILO)は小規模金鉱山で働く鉱夫は1,100~1,300万人で、うち女性が250万人、子供が25万人含まれていると推定している(Table 1)。多

* 八戸大学人間健康学部

** 東北大学大学院医学系研究科, 社会医学講座・環境保健医学分野

*** 東北大学大学院医学系研究科, 社会医学講座・環境保健医学分野

くの子供は家族の家計と助けるため両親と共に働いている⁶⁾。

発展途上国の多くは、金の抽出に水銀使用を禁止する法律を制定しているも関わらず、水銀は今なお小規模の金鉱山で広く使われている。小規模金鉱山では金1gを産出するのに水銀が1~2g利用され、その多くは回収されることなく環境中に放出される。水銀の放出量は毎年生物圏に年約1,000トンそして大気圏に約300トンと推定されている。金産出に使用している水銀の主な消費国は中国で年間200~250トン、次いでインドネシアで年間100~150トンである。その他の国ではブラジル、コロンビア、ペルー、フィリピン、ベネズエラ、ジンバブエが金生産に年間に約10~30トンの水銀を消費している⁷⁾。発展途上国における水銀の大量な消費は金の価格に対し、水銀の価格の安価さが小規模金鉱山の増加を招く要因の一つとなっている (Fig. 1)。小規模金鉱山での大量の水銀の使用は鉱山周辺

の生態系の破壊し、その環境汚染はさらに拡大している。金鉱山周辺の飲料水、土壌、堆積物、尾鉱(選鉱屑)、魚介類の水銀濃度は国際的な基準を上回っており、周辺住民への健康影響も危惧されている⁸⁾。ここでは、小規模金鉱山で働く鉱夫およびその周辺の住民および小児の水銀による健康影響の現状について述べる。

2. 小規模金鉱山における水銀蒸気曝露による鉱夫の健康影響

金抽出に対する水銀アマルガム法の使用は、水銀と取り扱う鉱夫や鉱山周辺で生活を営む住民も水銀蒸気に曝露されことになる^{9),10)}。Fig. 2に小規模金鉱山における典型的な水銀アマルガム法による金抽出法を示す。水銀は主に選鉱、燃焼、精錬の工程で、環境中に放出される。とくに金-水銀アマルガムの燃焼時には周辺の大気中水銀濃度は250,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達する。水銀による金鉱石のアマルガム化そしてそのアマルガムの燃焼による水銀蒸気曝露による健康影響に関する疫学的な事例は多くはない。金-水銀アマル

Table 1. Employment in artisanal mining (From ILO, 1999).

Continent	Number of miners (million)
Asia/Pacific	6.7-7.2
Africa	3.0-3.7
Latin America	1.4-1.6
Developed countries	0.4-0.7
Total	11.5-13.2

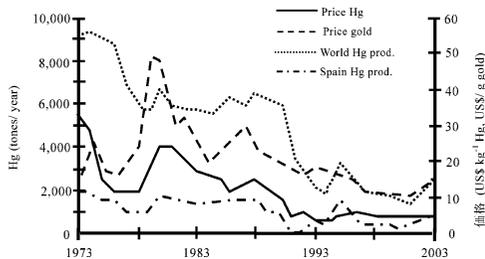


Figure 1. Mercury production in the world and in Spain, and index-corrected prices of Hg and gold in the world market over three decades⁷⁾.

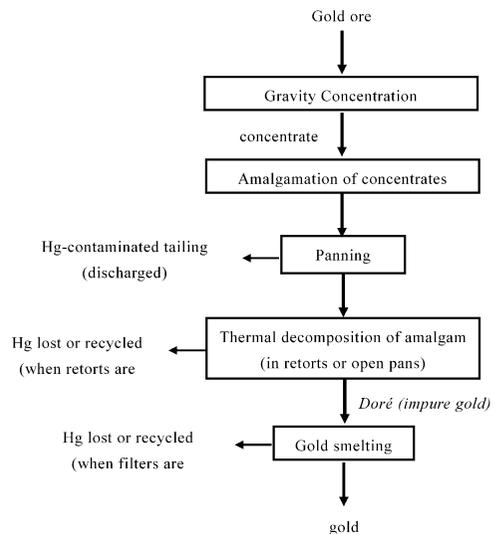


Figure 2. Methods used in artisanal mining operations to extract gold with mercury⁷⁾.

ガム化に携わる鉱夫について、Donoghue¹¹⁾はクイーンズランドの砂鉱金鉱で働き始めた19歳の男性に手指の振戦と疲労感が出現し、彼の尿中水銀濃度は143 $\mu\text{g}/\text{l}$ であったと報告している。しかし、この仕事から離れて7週間後には尿中水銀は32 $\mu\text{g}/\text{l}$ まで低下し、振戦も消失している。ベネズエラの金鉱山の調査では、鉱夫の多くは尿中水銀がWHOの基準50 $\mu\text{g}/\text{l}$ を超えており、幾人かに、胃炎、嘔気、性的機能の不全、頭痛、異常行動などの水銀中毒症状が出現している⁷⁾。一方、Rojas, et al.¹²⁾はEl Callao 金鉱山(ベネズエラ)周辺で働く鉱夫40名を対象とした調査では、水銀曝露量がWHOの基準値0.05 mg/m^3 を越えた鉱夫の割合は17.9%、また尿中水銀は24.1%、毛髪中水銀では48.3%の鉱夫が生物学的許容濃度を越えていたが、精神神経的、胃腸、呼吸循環、皮膚などの症状の頻度は、水銀曝露濃度との間に関連性は認められなかったと述べている。唯一、尿中N-アセチル- β -グルコシニダーゼ活性が尿中水銀と関連性が見られている。小規模金鉱山で働く鉱夫の健康問題として、平均寿命の減少、気管支、肺、胃そして肝臓がんの死亡率の増加や肺結核、珪肺症、胸膜疾患の罹患率の増加、マラリアや細菌性ウイルス性疾患の増加、騒音性難聴の増加などが問題視されている。HIV感染や過剰なアルコール摂取や喫煙は既存の健康問題を悪化させる傾向にあるが、金鉱山鉱夫の生体試料中の水銀濃度が高値にかかわらず、コホート研究では水銀による著しい健康問題は見られていないとの報告もある¹³⁾。

金-水銀アマルガムから金を精製する際にはトーチを用いて燃焼する (Fig. 3)。特に室内での水銀アマルガムのトーチによる燃焼は重篤な急性水銀中毒の原因となる。フィリピンにおいて金-水銀アマルガム2 kgをトーチで燃焼し、その8時間後に死亡した事例も報告されている¹⁴⁾。

水銀による汚染は金鉱山周辺のみならず、金の取引店でも見られている。水銀アマルガムか



Figure 3. Miner burning amalgam in an open pan²⁵⁾.

ら回収した粗金には水銀がわずかであるが混入している。さらにこの粗金を過熱し、精製することにより、店内の大気中水銀の濃度が上昇することにより、店内の大気中水銀の濃度が上昇する。ブラジルの3つの金取引店の従業員の尿中水銀濃度を測定したところ、最高値はそれぞれの店で79, 160そして1,168 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、しかもブラジルの全土の金取引店の全従業員の22%が50 $\mu\text{g}/\text{l}$ を越える尿中水銀濃度であったと報告されている。このことについて、Bsatos, et al.¹⁵⁾は室内の空調管理はWHOの許容濃度より低い値に抑えることが可能となり、水銀曝露の危険性から回避できると述べている。水銀汚染は金鉱山周辺に止まらず、関連業務にもその影響が及んでいる。

3. 小規模金鉱山における小児の水銀曝露問題

小児の水銀蒸気曝露は今日、先進諸国では、事故を除いて見られない。従って、小児の水銀蒸気曝露による影響に関する医学的及び毒性学的な論文は少ない。しかし、近年のアマゾン小規模金採掘鉱山において、金抽出に使用される金属水銀による環境汚染そしてそれを使用する金鉱夫の水銀蒸気曝露による健康影響とともに小児の健康影響が問題視されている。家庭の事情から両親とともに金採掘を手伝う子供 (図4) や



Figure 4. Gold-amalgamation using mercury by a young gold panner²⁵⁾.

両親が家の中で水銀-金アマルガムの燃焼を行った場合、小児は高濃度の水銀蒸気に曝露され、水銀中毒の危険性が存在する (Fig. 3)。Soni, et al.¹⁶⁾ は 10 g の水銀を用いて金抽出を行ったのち、そのアマルガムを閉めきった部屋で加熱し、本人のみならず妻および子供 2 人 (1 歳の女児と 3 歳の男児) が急性水銀中毒に罹患したことを報告した。症状は成人に比べ、小児において重症であった。曝露 6 時間後、1 歳の女児は急性肺炎による呼吸困難で死亡したが、3 歳の男児は肺炎や心電図に異常が認められたが、その後の治療により軽快している。

同様な事故が粉碎された金鉱石に金属水銀を加え、アマルガム化の工程で発生した。両親と 2 子供が換気の不十分な台所で金抽出を行っており、その隣の部屋には 4 人の子供が住んでいた。家族 8 人が急性水銀中毒症状を呈し、病院に入院したが、重症であった 13 ケ月の子供と母親 38 歳が急性肺炎による呼吸不全で死亡した。家族 8 人の尿中水銀濃度は 35~485 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、血液中水銀は 117~322 ng/ml であり、台所の気中水銀濃度は 0.193 mg/m^3 であった¹⁷⁾。いずれの事例も小規模金鉱山での金抽出工程で発生し、金-水銀アマルガムの燃焼にレトルトを用いてなかったり、水銀を使用するさいの換気が十分でなかったりしたために起こった中毒事例である。

金鉱山周辺に住む小児の水銀曝露とその健康

影響について、Counter, et al.¹⁸⁾ は中南米エクワドルのナンビア地方のアンデス山脈金鉱山に住む子供 80 人の尿および毛髪中の水銀濃度を測定した。尿中水銀濃度は平均 10.9 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、毛髪では平均 6.0 $\mu\text{g}/\text{g}$ で、両者の間に相関関係 ($r = 0.404$, $p < 0.007$) が認められ、しかも尿中および毛髪中水銀濃度ともに幼児よりも 6~14 歳の少年に高い傾向が見られ、これら小児には神経発達および学習障害の危険性を示唆している。Pinheiro, et al.¹⁹⁾ もまたアマゾン流域の村落の子供の水銀曝露について報告している。彼らは 168 名の小児について、性、年齢および地域と毛髪中水銀との関係について調べ、それぞれの地域では、性および年齢と水銀濃度との間に統計的相関は認められなかったとしながらも、毛髪中水銀濃度の高い地域では 10.0 $\mu\text{g}/\text{g}$ を超える小児が 0~1 歳の乳児では 27%、2~6 歳の幼児では 50%、7~12 歳の少年では 65% いることを述べている。小規模金鉱山に採掘活動にとまない、その周辺に住む小児もまた高濃度の水銀に曝露されていることを示唆するものである。

発育・発達期における水銀曝露の影響について、Counter, et al.²⁰⁾ はエクワドルの金鉱山周辺で水銀蒸気に曝露されている小児を対象に聴性脳幹反応 (BAER) に関する神経生理学的検査を行っている。曝露群の小児 31 人 (平均年齢 10 歳) の血液中水銀濃度は $23.0 \pm 19 \text{ ng}/\text{ml}$ で、対照群の小児 21 人 (平均年齢 9.2 歳) の血液中水銀濃度 $4.5 \pm 2.3 \text{ ng}/\text{ml}$ に比較し、かなり高い値であった。BAER は血液中水銀が高値な小児では神経興奮伝導時間に対照群との間に明らかな差異が見られ、水銀曝露による小児の神経発達障害の危険性を示唆している。同地域の小児の神経耳科検査の結果においてもエレスズム、頭痛、眩暈感、記憶力の低下、運動失調などの水銀曝露に起因する症状の愁訴率が血液中水銀濃度の高値な地区に多いことが報告されている²¹⁾。最近の研究では、エクワドルのナンビアとポートベロ地区の金鉱山に住む 5~7 歳 (平均 8.4 歳) の小児 73 人を対象に血液、尿、毛髪中

水銀濃度とレーヴン色彩マトリックス検査法(RCPM)を用いての知能検査が行われている。小児の水銀濃度は血液で 5.1 ± 2.4 ng/ml, 尿で 13.3 ± 25.9 μ g/l, 毛髪で 8.5 ± 22.8 μ g/gと対照者に比べ、いずれの数値も高値であった。血液中および毛髪中水銀濃度が非常に高い値を示した小児は、RCPMにおいて、対照群に比べ低いスコアであり、水銀蒸気に曝露されている小児は視覚的空間推理において神経認識の欠損を持つことが報告されている²²⁾。

世界中に金採掘を行っている小児そして金鉱山周辺に住む小児が多数おり、これらの小児の多くは直接的あるいは間接的に水銀に曝露されており、常に水銀による健康影響の危険性が存在していることが明らかになった。発育・発達期における水銀曝露はその後の神経行動に大きな影響を与えることが知られており、早急な対策を講じる必要がある。

4. おわりに

世界の小規模金鉱山では、手掘り鉱夫の多くは金生産のために水銀アマルガム法を利用している。ここで使用された水銀はほとんど回収されることなく環境中に放出されている。とくに金-水銀アマルガムを燃焼時には、発生した高濃度の水銀蒸気が作業者のみならず、その家族とくに小児に健康被害を及ぼしている。各国の政府は水銀回収蒸留装置(レトルト)は水銀の回収や健康被害の予防対策に有効であり、その設置を推奨している。ブラジルでは水銀アマルガムの燃焼にレトルトを使用した場合、大気中の水銀濃度は 50 μ g/m³以下であり、レトルトの有効性が実証されている²³⁾。

小規模金鉱山における水銀による環境および健康被害の対策には、金の抽出にレトルトの普及に加えて、水銀を用いない代替法への転換が早急の課題となっている。しかしながら、レトルトによって回収された水銀の再利用には問題があることや水銀を使用しない代替法の装置は

高価なことなどから発展途上国の鉱夫はこれらの技術の導入を嫌う傾向にある⁷⁾。環境中に放出された水銀は生態系で微生物によりメチル化される。このメチル水銀の食物連鎖が新たな健康被害をもたらす²⁴⁾。しかしながら、小規模金鉱山の鉱夫は水銀による環境汚染や健康被害について十分に認識していない。これら鉱夫に対し水銀毒性の啓蒙や水銀を使用しない金採掘方法の導入は、相当な時間と社会変革の努力を必要とすると思われる。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、資料蒐集のために環境省の「平成18年度重金属等の健康影響に関する総合的研究」の研究費を一部使用した。

文 献

- 1) 赤木洋勝：アマゾン河流域の水銀汚染，衛生化学，41：107-115，1995。
- 2) 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，17：181-189，2004。
- 3) 吉田 稔，赤木洋勝：タンザニア・ビクトリア湖周辺の金採掘現場における環境問題，公衆衛生，67：795-798，2003。
- 4) ILO. Social and labor issues in small-scale in mines. Reports for the tripartite meeting on social and labor issues in small-scale in mines, Geneva, 17-22 May. International Labor Office, 1999.
- 5) Hilson G. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: restructuring the policy and research agendas. Science of the Total Environment. 362：1-14，2006。
- 6) GMP. Removal of barriers to introduction of clearance artisanal gold mining and extraction technologies. GMP News, n. 01. Jan, 2003.
- 7) Veiga M.M., Maxson P.A. and Hylamder

- L.D. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *J. Clearance Production*, 14: 436-447, 2006.
- 8) Eisler R. Mercury hazards from gold mining to humans, plants, and animals. *Rev Environ Contam Toxicol*. 181: 139-98, 2004.
- 9) WHO—World Health Organization. Environmental health criteria 118: inorganic mercury. pp 29-pp 33. Geneva, Switzerland, 1991.
- 10) Hinton J.J., Veiga M.M. and Veiga A.T.C. Clean artisanal gold mining: A utopian approach? *J. Clearance Production*, 11: 99-115, 2003.
- 11) Donoghue A.M. Mercury toxicity due to the smelting of placer gold recovered by mercury amalgam. *Occup. Med.*, 48: 413-415, 1998.
- 12) Rojas M., Drake P.L. and Roberts S.M. Assessing mercury health effects in gold workers near El Callao, Venezuela. *J Occup Environ Med*. 43: 158-65, 2001.
- 13) Eisler R. Health risks of gold miners: a synoptic review. *Environ Geochem Health*. 25(3): 325-45, 2003.
- 14) de Lacerda, L.D. and Salmons, W. Mercury from Gold and Silver Mining: Chemical Time Bomb? pp.146, Springer, Berlin, 1998.
- 15) Bastos W.R., Fonseca M.F., Pinto F.N., et al. Mercury persistence in indoor environments in the amazon region, Brazil. *Environ. Res*. 96: 235-238, 2004.
- 16) Soni J.P., Singhania R.U., Bansal A., et al. Acute mercury vapor poisoning. *Indian Pediatrics*, 29: 365-368, 1992.
- 17) Solis M.T., Yuen E., Cortez P.S., et al. Family poisoned by mercury vapor inhalation. *Am J Emerg Med*. 18: 599-602, 2000.
- 18) Counter S.A., Buchanan L.H. and Ortega F. Mercury levels in urine and hair of children in an Andean gold-mining settlement. *Int J Occup Environ Health*. 11: 132-137, 2005.
- 19) Pinheiro M.C., Crespo-Lopez M.E., Vieira J.L., et al. Mercury pollution and childhood in Amazon riverside villages. *Environ. Int*. 33: 56-61, 2007.
- 20) Counter S.A. Neurophysiological anomalies in brainstem responses of mercury-exposed children of Andean gold mine. *JOEM*. 45: 87-95, 2003.
- 21) Counter S.A., Buchanan L.H., Ortega F., et al. Elevated blood mercury and neuro-otological observations in children of the Ecuadorian mines. *J. Toxicol. Environ Health A*. 65: 149-63, 2002.
- 22) Counter S.A., Buchanan L.H. and Ortega F. Neurocognitive screening of mercury-exposed children of Andean gold miners. *Int. Ocuup. Environ. Health*. 12: 209-214, 2006.
- 23) Oliveira L., Hylamder L.D. and Castro e Silva E. Mercury behavior in a tropical environment—the case of small-scale gold mining in Poconé, Brazil. *Environmental Practices*, 6: 13-26, 2004.
- 24) Grandjean P., White R.F., Nielsen A., et al. Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environ Health Perspect*. 107: 587-591, 1999.
- 25) Veiga M.M. Interventions to reduce mercury pollution in artisanal gold mining sites: the GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project. *NIMD Forum 2006II*, Minamata City, 28-29, Nov., 2006.