

原 著

世界における水銀汚染懸念地域の毛髪水銀測定

藤村成剛 松山明人 中村邦彦

国立水俣病総合研究センター，基礎研究部，毒性病態研究室

Measurement of hair mercury in areas concerned with mercury pollution around the world

Masatake Fujimura, Akito Matsuyama, Kunihiro Nakamura

National Institute for Minamata Disease, Department of Basic Medical Science, Toxicologic Pathology Section

要約

英文ホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレット配布によって、水銀汚染懸念地域の毛髪募集についての国際的な宣伝を行った。その結果、世界11ヶ国（仏領ギアナ、ベネズエラ、コロンビア、ブラジル、ボリビア、インドネシア、フィリピン、カザフスタン、ベニン、韓国、中国）より問い合わせがあり、2004年から2014年の間に約3000の毛髪サンプルを入手することができた。得られた毛髪について総水銀濃度の測定を行った結果、仏領ギアナ・マローニ川流域およびブラジル・アマゾナス州の住民に比較的高濃度の水銀曝露（総水銀の平均毛髪濃度 \cong 10 ppm）があることを見出した。仏領ギアナについては、さらに毛髪のメチル水銀含有量、現地調査による汚染魚の水銀濃度および住民の魚介類摂取量の測定を行った結果、水銀汚染魚摂取によるメチル水銀の内部曝露があることが明らかになった。

(臨床環境 25 : 34 - 38, 2016)

《キーワード》水銀汚染懸念地域，毛髪水銀，内部曝露

Abstract

We gave publicity of call for hair samples in areas concerned with mercury pollution using by our English homepage and the distribution of leaflets at international congresses. It followed that we got approximately 3000 hair samples from 11 countries including the French Guiana, the Venezuela, the Colombia, the Brazil, the Bolivia, the Indonesia, the Philippine, the Kazakhstan, the Benin, the South Korea, and the China between 2004 and 2014. Among all hair samples, hair samples from Maroni river basin, French Guiana and Amazonas state, Brazil showed relatively high mercury concentration

受付：平成28年4月12日 採用：平成28年4月13日

別刷請求宛先：藤村成剛

〒867-0008 熊本県水俣市浜4058-18 国立水俣病総合研究センター，基礎研究部，毒性病態研究室

(average total hair mercury concentration \cong 10 ppm). In hair samples from French Guiana, we analyzed methylmercury concentration. Furthermore, we made a field survey in Maroni river basin, in order to clarify the mercury concentration of mercury-polluted fishes and the fish intake in the residents. Finally, we found the internal exposure to methylmercury due to the intake of mercury-polluted fishes in the residents of Maroni River basin, French Guiana. (Jpn J Clin Ecol 25 : 34 - 38, 2016)

《Key words》 Areas concerned with mercury pollution, Hair mercury, Internal exposure

緒言

水銀はこれまで、生活に有用な化学物資として扱われてきたが、有用な反面、扱いによっては生物へ悪影響をおよぼす。一言に水銀といっても種類があり、その化学形状と特性によって大きく“金属水銀”，“無機水銀”，“有機水銀”の3つに分けることができる。なお、有機水銀の一種であるメチル水銀は自然界でできる唯一の有機水銀である。これらのうち、最も人体への健康被害をもたらすのは、メチル水銀である。メチル水銀は魚介類の摂取によって消化管から取り込まれ、血液脳関門を通過して脳神経系に移行する。さらに、胎盤を容易に通過するため、母親のメチル水銀は胎児に蓄積され、胎児の神経系に多大な障害をもたらす。

水銀汚染による人体への健康被害は、水銀汚染食物の摂取および水銀鉱山での労働等によって引き起こされる。このような健康被害は先進国よりも開発途上国で起こりやすいが、開発途上国では水銀測定機器およびその測定技術が十分ではない場合があり、水銀汚染の把握が難しいのが現状である。メチル水銀は、食物などから体内に取り込まれた後、尿などから排出されていくとともに一定の割合で毛髪や爪に蓄積する。毛髪中に含まれる水銀量は比較的簡便に測定可能で、人体へのメチル水銀曝露量を把握する上で有効である。そこで、英文ホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレットの配布により、国立水俣病総合研究センターにおける毛髪水銀測定の宣伝を行うことによって、現地在住者または現地訪問者からの水銀汚染懸念地域住民の毛髪送付について働きかけ、毛髪水銀値測定による水銀汚染状況についての把握を試みた。なお、国立水俣病総合

研究センターによる世界の毛髪水銀測定はこれまで、ベネズエラ，コロンビア，仏領ギアナ，ブラジル¹⁻⁴⁾における水銀曝露量状況の把握に役立ってきた。

材料と方法

1. 毛髪採集

2004年から2014年にかけて、英文ホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレット(図1)配布を通じて、国立水俣病総合研究センター(国水研)における毛髪水銀測定について世界に向けた国際的な周知・広報を行った。問い合わせがあった現地協力者とEメールを用いて連絡を取り、現地情報(被毛髪採取者の魚類摂取、水銀鉱山での労働実績、および水銀含有化粧品の使用状況等)を得るとともに水銀汚染地域住民の毛髪を送付してもらった。なお、本研究におけるデータの開示については、現地協力者の了承を得ている。

2. 毛髪水銀量測定

送付された毛髪を細断/秤量し、MA-2000(日本インスツルメンツ)を用いた加熱気化法(燃烧法)によって総水銀量の測定を行った。また、総水銀量が10 ppmを超えた仏領ギアナ・マローニ川流域の毛髪サンプルについては、塩酸によってメチル水銀を抽出した後、G-3800(ヤナコ)を用いた電子捕獲検出式ガスクロマトグラフィー法によってメチル水銀量を測定した³⁾。

3. 曝露状況の推定

食事などによって体内に吸収された水銀の一部は毛髪に蓄積され、その化学形態としては殆ど(90%以上)メチル水銀として存在することから、毛髪中のメチル水銀含有率は内部曝露の指標とな

National Institute for Minamata Disease
 TOP > Call for hair samples

National Institute for Minamata Disease studies on the mercury-pollution in developing countries. Hair is clearly the most suitable material for estimation of methylmercury exposure.

We collect hair samples of inhabitants living in a doubtful mercury-polluted area in developing countries to determine the mercury content.

Mercury content in hair will be analyzed by a flameless atomic absorption spectrometer in the institute and the mercury data will be sent to you promptly.

We measure mercury content of samples for free.
 We also need the identification number, sex and age of a participant, and sampling site.

Please send us hair samples prepared according to an attached paper
 "INSTRUCTIONS FOR HAIR SAMPLING".

We use the hair samples only for mercury determination. For more information, please contact to:
 Dr. M. Fujimura
 at Department of Basic Medical Sciences,
 National Institute for Minamata Disease,
 Minamata, 4058-18 Hama, Kumamoto, 867-0008, Japan.
 E-mail:fujimura@nimd.go.jp

図1 毛髪水銀募集についてのホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレット

る。そこで、仏領ギアナ・マローニ川流域の毛髪サンプルについて、メチル水銀量/総水銀量を算出した。さらに、現地からの情報（魚類摂取、水銀鉱山での労働実績、および水銀含有化粧品の使用状況）から考察して、水銀汚染原因の推察を行った。

4. 現地調査

内部曝露が確認された仏領ギアナ・マローニ川流域については、さらに2008年に現地調査を行い、汚染魚の水銀濃度および住民の魚介類摂取量の調査を行った。

結果

1. 世界11ヶ国における水銀汚染懸念地域の毛髪サンプルについての総水銀濃度測定結果

世界11ヶ国（仏領ギアナ、ベネズエラ、コロンビア、ブラジル、ボリビア、インドネシア、フィリピン、カザフスタン、ベニン、韓国、中国）における水銀汚染懸念地域の毛髪サンプル（約3000サンプル）について総水銀濃度の測定を行った。測定の結果、仏領ギアナ・マローニ川流域およびブラジル・アマゾナス州の住民に比較的高い水銀曝露（総水銀の平均毛髪濃度 \cong 10 ppm）があることを見出した（表1）^{3,4)}。また、コロンビアおよびベネズエラを含む他の地域については、比較的低

濃度の水銀曝露であることが明らかになった^{1,2)}。

2. 仏領ギアナ・マローニ川流域における毛髪の水銀含有量、汚染魚の水銀濃度および現地調査による住民の魚介類摂取量の測定

総水銀量が10 ppmを超えた仏領ギアナ・マローニ川流域の毛髪サンプル（n=52）についてメチル水銀量を測定した結果、平均メチル水銀量/総水銀量は、94.5%であった³⁾。また、マローニ川の魚類について水銀濃度を測定したところ、居住者が摂取している Hulluwi, Piraie, Hoke の筋肉中水銀濃度が高値を示した（表2）。さらに、住民37人について魚類摂取量を調査した結果、毛髪水銀濃度と年齢に相関関係は無い（ $R^2=0.041$ ）が、魚類摂取量との間に相関関係がある（ $R^2=0.373$ ）ことを確認した（図2）。

考察

これまでの毛髪水銀量測定によって、仏領ギアナ・マローニ川流域およびブラジル・アマゾナス州の住民に比較的高濃度の水銀曝露（総水銀の平均毛髪濃度 \cong 10 ppm）があることを見出した。水銀汚染懸念事項（図1）から考察すると、これらの居住地区では金採掘と魚食習慣が重なっている。金採掘において使用された金属水銀の一部は河川に流出し、特殊な細菌の働きによってメチル

表1 世界11ヶ国における水銀汚染懸念地域の毛髪サンプルについての総水銀濃度測定結果

国	地域	水銀汚染懸念事項	平均毛髪水銀値 (総水銀, ppm)
仏領ギアナ	河川域 (Maroni 川)	金採掘, 魚類摂取	男: 9.4 (n=153), 女: 9.9 (n=234)
ベネズエラ	都市部 (Bolivar)	魚類摂取	男: 1.5 (n=89), 女: 1.2 (n=76)
コロンビア	沿岸域 (Sandander)	金採掘	男: 2.6 (n=122), 女: 0.5 (n=263)
ブラジル	河川域 (Amazonas)	金採掘, 魚類摂取	男: 11.0 (n=71), 女: 8.3 (n=97)
ボリビア	沿岸域 (Sorata)	金採掘	男: 0.7 (n=23), 女: 1.4 (n=30)
インドネシア	沿岸域 (Kereng Pangi, Manado, Halmahara)	金採掘	男: 5.9 (n=92), 女: 2.7 (n=81)
フィリピン	沿岸域 (Benguet, Quezon, Paracale)	金採掘	男: 2.6 (n=141), 女: 0.9 (n=167)
カザフスタン	河川域 (Nura 川, Ertis 川)	水銀使用化学工場	男: 0.7 (n=137), 女: 0.4 (n=236)
ベニン	沿岸域	魚類摂取	男: 2.4 (n=41), 女: 3.5 (n=54)
韓国	都市部 (Soul)	魚類摂取	男: 0.8 (n=153), 女: 1.1 (n=152)
中国	都市部 (北京, 上海)	魚類摂取	男: 0.5 (n=134), 女: 0.5 (n=122)

表2 仏領ギアナ・マローニ川流域における魚類の水銀濃度 (文献 3) の Table 2 を改変)

科	種	現地名	サンプル数	筋肉中総水銀 (ppm) [平均値 (最小値-最大値)]
Pimelodidae	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Hulluwi	6	0.33 (0.24-0.44)
Serrasalimide	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Piraie (Pene)	3	0.40 (0.34-0.46)
Doradidae	<i>Platydoras constantus</i>	Hoké	1	0.32
Ageneiosidae	<i>Ageneiosus brevifilis</i>	Mitala	1	0.18
Doradidase	<i>Doras micropus</i>	Agonosu	1	0.11
Characidae	<i>Astyanax/Moenkhausia</i> spp.	Yaya (Otululu, Opi)	1	0.18

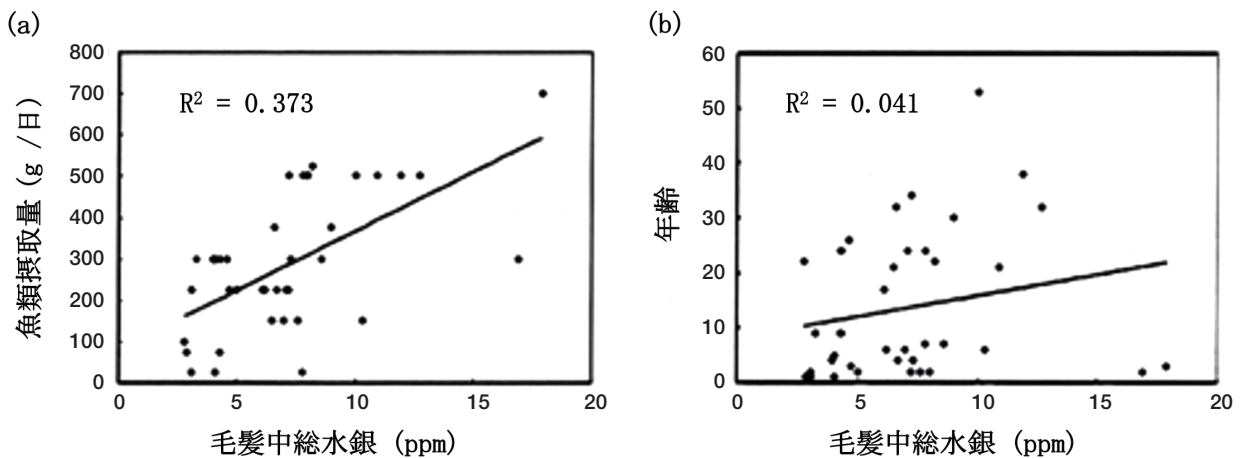


図2 仏領ギアナ・マローニ川流域における毛髪水銀濃度と魚類摂取量の関係 (文献 3) の Fig. 3 を改変)
(a) 毛髪水銀濃度と魚類摂取量の相関図, (b) 毛髪水銀濃度と年齢の相関図

水銀に変化し、食物連鎖によって魚介類に蓄積される。このことから、金採掘によって水銀汚染された魚類を住民が摂取することによって、メチル水銀の内部曝露が生じていることが推察された。

仏領ギアナについてはさらに現地調査を行い、

水銀汚染魚摂取によるメチル水銀の内部曝露であることを明らかにした。毛髪水銀値は最高でも 30 ppm であり³⁾、WHO の定める成人で神経症状出現が疑われる最小値である 50 ppm (1990) には達していないが、胎児影響が疑われる最小値 (日本、

2005) である 11 ppm には達しており、妊婦については注意が必要である。

以上のように、英文ホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレット配布を通じて、多くの地域からの毛髪水銀収集および毛髪水銀測定を実施した中から、仏領ギアナ・マローニ川流域の住民にメチル水銀による内部曝露があることを見出すことができた。さらにこれまでの結果から、英文ホームページにおける広告および国際学会におけるパンフレット配布を通じた毛髪水銀測定が、新たな水銀汚染地域の発見、ひいては世界における水銀汚染地域の把握に繋がる有用な方法であることが示された。

謝辞

本研究における毛髪水銀測定に貢献して頂いた鬼塚歩さん、 測上倫子さん、 田中則子さんに感謝いたします。

引用文献

- 1) Rojas M, Nakamura K, et al. Mercury in hair as a biomarker of exposure in a coastal Venezuelan population. *Invest Clin* 48: 305-315, 2007
- 2) Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B et al. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environ Int* 34: 476-48, 2008
- 3) Fujimura M, Matsuyama A, et al. Mercury contamination in humans in upper Maroni, French Guiana between 2004 and 2009. *Bull Environ Contam Toxicol* 88: 135-139, 2012
- 4) 慶応大学医学部国際医学研究会. 白内障と毛髪水銀濃度の関係について. 第33次派遣団報告書 17-20, 2010

COI

本論文内容には、COI（利益相反）に関する事項は無い。