解 説

[Jpn. J. Toxicol. Environ. Health
衛生 生 化 学
41 (2) 107-115 (1995)]

—Reviews—

アマゾン河流域の水銀汚染

赤木洋勝

国立水俣病研究センター

Mercury Pollution in the Amazon, Brazil

HIROKATU AKAGI

Department of Epidemiology, National Institute for Minamata Disease, 4058-18
Hama, Minamata, 867, Japan

Mercury pollution due to gold mining activities in Amazonian region has become a matter of worldwide concern in recent years.

To assess the extent of mercury pollution and its health effects, the four years' collaborative study between our Institute and Federal University of Rio de Janeiro has been started in 1992 as a part of Global Environmental Research Project in the Environment Agency of Japan. This paper outlines the results of our preliminary study on mercury pollution mainly in Tapajos river basin, where can be considered the oldest and most productive gold mining area in Amazon. Human hair and blood as well as fish samples were collected from gold mining area and five fishing villages and analyzed for total mercury and methylmercury with new methods recently developed in our laboratory. The results to date showed that the inhabitants of fishing villages near gold mining area were more exposed to methylmercury than those far from gold mines. A few hair samples tested had methylmercury levels greater than 50 ppm, the minimum threshold value for methylmercury poisoning. Analysis of hair samples from gold miners and workers in gold shops showed that they were mainly contaminated with inorganic mercury. From these analytical results, together with mercury analysis in fish as well as human blood samples, the mercury pollution mechanisms in the study area are also discussed.

Keywords — mercury pollution; methylmercury; human exposure; Amazon; alluvial gold

1 背景

1992年6月、リオ・デ・ジャネイロで開催された地球サミット（国連環境開発会議）でアマゾン河流域の水銀汚染の問題が表面化し、今や世界的関心事となっている。この問題は砂金の抽出に使用される金属水銀の環境への放出によるもので、同様な問題はタンザニア、フィリピン、インドネシア、ベトナム等の国々でも顕在化しつつあり、現在公表されているだけでも金採掘に携わる労働者の総数は400—500万人にも上る。¹⁾

アマゾン流域における金採掘が始まったのは古く

1603年といわれ、それが活発に行われるようになったのは1956年パラ州タパジョス川流域のクユ・クユで広大な砂金層が発見されてからのことである。さらに1970年代の後半には、金価格の上昇に加えてブラジル国内の経済不況、インフレーション等の要因が重なってアマゾン全域に及ぶ大規模なゴールドラッシュへと移行していった経緯がある。現在、アマゾンでは2000ヶ所を超える金採掘現場（ガリンポ、Fig. 1）があり、金採掘労働者（ガリンペイロ）の数は公式発表によると65万人とされているが、不法侵入者が多く、これを含めると実際には100—120

Fig. 1. Maps of Goldmining Spots and Study Areas

万人と推定されている。

このガリンペイロがアマゾンの奥地に分け入って引き起こしている問題は金採掘に伴う水銀汚染だけではない。無差別な森林破壊、河川汚染などによって生態系を著しく変化させ、さらには暴力行為、疾病（マラリア、エイズ等）の媒介等により原住民の生命、生活を脅かすところまできており深刻な事態となっている。

アマゾン河流域のガリンペイロの活動によってこれまで環境に放出された水銀量は2000tともいわれているが、最近の調査研究によれば、ガリンポでの金採掘過程で損失する水銀量はアマゾン全域で年間平均約100tで、そのうち50—60%は大気中に残りの40—50%は河川に放出されると報告されている。^{2,3)} 金属水銀蒸気として大気中に移行した水銀は最終的には雨と共に地表に降下することになるが、その大気中での滞留時間は0.7—2年⁴⁾と長いため、気象条件によっては相当な汚染の拡がりが見込まれる。

アマゾンの水銀汚染において特に重要なのは、自然界での無機水銀から生物濃縮性の高いメチル水銀への変化であり、したがって、金属水銀を直接扱っているガリンペイロへの無機水銀による被害もさることながら、河川流域に沿って生活し、水系に食糧を依存する地域住民へのメチル水銀による被害も懸

念されている。前者は職業性の曝露によるもので、対策を講じることによって防止可能であるが、後者に対する対策は容易でなく、新たな大きな問題へと発展する可能性を秘めている。また、地域によってはこの両者が混在することも考えられる。しかしながら、広大なアマゾンの水銀汚染に関する調査研究はまだ緒についた段階で、これまでいくつかの研究グループによって主要なアマゾン河支流の住民の毛髪、魚類等を対象とした汚染調査が進められているものの、⁵⁻⁹⁾ 調査データは総水銀としての値であり、環境中で変換されたメチル水銀のデータが乏しいのが実状である。アマゾンの場合のように、現在でも莫大な量の金属水銀による汚染が継続している状況下では、単に総水銀としての汚染評価だけでなく、メチル水銀を考慮に入れた汚染の実態を把握することは、アマゾン河流域における水銀汚染の機構解明、モニタリングシステムの構築、さらには汚染防止対策に資するためにも極めて重要な課題である。

筆者等はこうした観点から、アマゾン河流域で最も古くから金採掘が行われているTapajós川流域(Fig. 1)を中心に、ブラジル・リオ・デ・ジャネイロ連邦大学の協力を得て、平成4年度より環境庁地球環境研究総合推進費による調査研究を進めている。

そこで、本稿ではアマゾン河流域における金採掘

の現状とそれに伴って生じている汚染の実態について、これまでの筆者らの調査結果に基づいて概説する。

2 Tapajos 川流域における金採掘法

Tapajos 川流域には現在約 800ヶ所のガリンポがあり、その多くは熱帯雨林の中にある。ガリンポでの金の精錬のやり方や規模は様々であるが、大別して、河川周辺の低地に大きな穴を掘って堆積層中に含まれる金を採取する低地ガリンポと、浚渫機を装備した筏を用いて河川の底質から金を採取する筏ガリンポの2種がある。

低地ガリンポでは5—6人がグループを形成し、おおよそ次のような手順で金の採掘が行われている。

- (1) 堆積層周辺の森林を伐採し表土を露出させる。
- (2) 水圧を利用して堆積層に穴を掘りながら、その泥状物を別のポンプで汲み上げる (Fig. 2)。
- (3) 泥状物を、絨毯を敷きつめた木製の流し樋の斜

Fig. 2. A Goldfield in Lowlands

水圧を利用して堆積層を崩しながら泥状にしたものをポンプで汲みあげる

Fig. 3. Gravimetric Concentration of Alluvial Gold in the Lowland Goldfields

泥水がこの流し樋に沿って流れる間に金の粒子が底部に敷きつめた絨毯の網目に溜まる

面に沿って落下させる。この間に比重の大きい金粒子は絨毯の繊維の目の中に溜まる (Fig. 3)。

(4) 絨毯をはずし、溜まった金粒子をドラム缶内で洗い落とし、金の濃縮物を得る。(2)―(4)の工程は7—8日毎に繰り返され、この操作に伴う河川の汚濁も重大な問題となっている。

(5) 金の濃縮物に金属水銀を加えて(金1kgに対し2—7kg)素手で攪拌し、アマルガムを形成させる。

(6) アマルガムを摺り鉢状をした皿に移し、水中で揺り動かしながら、比重の差により底に溜まったアマルガムを選別する。この操作過程で水銀の一部が損失し、周囲の河川を汚染する。

(7) アマルガムを布に移し、これを絞って過剰の水銀を除くと、流動性を失ったアマルガムが布上に残る。

(8) アマルガムをバーナーで焼く。水銀が大気中に揮散し、海綿金とよばれる粗金を得られる。この粗金の形でガリンペイロから金仲買業者の手に渡る。

(9) 粗金には5—15%の水銀が残存しているため、金仲買業者はこれを更に加熱処理し金の純度を高める。加熱処理工程は多くの場合、加熱により揮散した水銀蒸気をそのまま屋外へ追い出すだけの簡単な換気扇付のフードの中で行われている (Fig. 4)。

一方、筏を用いるガリンポでの金採掘作業は上記のものに比べて規模が大きく、川の中での操業だけに河川の汚濁は相当なものである (Fig. 5)。

船上には大型の木製流し樋とポンプが設置されており、川底の砂を吸い上げて上記と同様に絨毯を敷きつめた流し樋に沿って流下させ、比重選鉱法による金の分離が行われる。その後の作業過程は上記の場合と同様である。

いずれの場合も、ガリンポでの水銀の回収はほとんどなされておらず、使用された水銀は上記の(5)―(7)のアマルガム分離の過程で周囲の水環境中に流出し、(8)の金の燃焼過程では水銀蒸気が大気中に蒸散して汚染を起こすことになる。さらに、町の金仲買店に持ち込まれた後も、(9)の過程で残りの水銀による屋内や屋外の空気汚染が起こることは容易に想像される。

3 金採掘に伴う水銀汚染とその評価法

このような金属水銀汚染の結果として現地の住民や生態系にどのような影響が現れるかが現在の最大に関心事である。とくに、環境中に放出された無機水銀は自然界でメチル水銀に変化し、食物連鎖を通して人体に蓄積されることはよく知られているところ

Fig. 4. Re-burning Process for Purification of Gold in Goldshops

Fig. 5. Goldmining using Dredging Craft

ろであり、このメチル水銀による汚染の把握が重要な課題となっている。事実、これまで報告された各国の研究グループによる人体毛髪水銀値をみても、いずれも総水銀値であるが、例えば、パラ州 Carajas, Cumaru 及び Cachoeiro の金採掘地域で 0.25–15.7 ppm, 1.5–13.7 ppm (平均 5.1) 及び 2.0–69.0 ppm (平均 11.5) が検出されている⁹⁾ のに対し、アマゾン南西部の Madeira 川流域及び Tapajós 川流域の地域住民ではそれぞれ 0.2–40.0 ppm (平均 9.2) 及び 10.0–31.8 ppm (平均 18.7),⁶⁾ またパラ州の Tocantins 川上流に位置する Tukurui ダ

ム付近の住民の毛髪水銀値は 4–240 ppm (平均 47.0) と高く、毛髪水銀値と魚の摂取量との間に正の相関があったことも報告されている。⁹⁾ これらの結果は金採掘に起因する水銀による汚染がガリンポ周辺に止まらず、そこから隔たった地域住民にまで及んでいることを示している。しかし、これらの地域住民はともかくとして、特にガリンペイロを含めてガリンポ及びその周辺に居住する人々の毛髪水銀値については、水銀によって汚染された魚の摂取によるものと単純に評価することは出来ない。ガリンポの周辺で生じている金属水銀蒸気の汚染により毛髪への吸着がおこる可能性があるからである。したがって、ここでの水銀による人体や生態系の汚染の実態を正しく把握するためには、毛髪をはじめとする各種試料中に含まれる水銀含量のみならず、無機水銀と有機水銀のメチル水銀を分別して評価することが重要な課題となっているが、現実にはすべての試料中に含まれる微量のメチル水銀を分離分析することは容易ではなく、従来の検出限界を大幅に改善した精度の高い分析手法の導入が望まれている。

筆者らは、これまで生物・生体及び環境試料を対象に、ジチゾン抽出–ECD ガスクロマトグラフィー (ECD–GLC) 法による新しいメチル水銀分析法並びに湿式灰化–冷原子吸光法による高感度で効率の高

Chart 1. Outline of the Analytical Procedures for Methylmercury in Biological and Environmental Samples

Chart 2. Analytical Procedure for Methylmercury in Human Hair

い総水銀分析法の開発を進めるとともに、可能な限り各種試料に共通して適用できるように統合化を試みてきた。¹⁰⁾ これまでに得られた水銀の人体及び環境汚染モニタリングのためのメチル水銀の分析法をChart 1 及び 2 に示す。また、これらの手法はすでに一般住民の剖検例の主要臓器中水銀分析にも適用され、その有用性が確認されている。^{11,12)}

毛髪試料についてはChart 1 に示す方法と異なる簡便な手法を得ることができた。すなわち、数mg—数十mgの試料を2N HClに浸漬して100°C、5分間加熱処理後、HCl層の一部をベンゼンで抽出してECD-GLCで測定するという方法である (Chart 2)。

一方、総水銀については、バックグラウンドレベルの水銀をも高精度にかつ迅速に測定しうる手法を確立すべく、とくに試料の前処理を含む試験溶液の調製法及び水銀測定のための還元気化方式に改良を加え、さらにマイコン制御による測定操作の自動化を試み、Fig. 6 に示す独自の装置を試作した。

本装置による測定は1分以内で完了し、0.5 ngの水銀をも精度よく検出することができる。また、最終的に得られた、試験溶液調製法をChart 3 に示す。

これらの手法を用いて、これまでTapajos川流域住民の毛髪、血液のほか魚類を収集し、調査を行ってきたので、^{14,15)} その結果に基づいて汚染の現状を以下に概説することとする。

4 Tapajos川流域における水銀汚染の現状

これまで入手した毛髪試料は、Fig. 1 に示す種々の地域で1989年8月以降収集されたもので、主にガリンペイロ、金仲買業者、漁民等を対象とした。各試料毎に総水銀及びメチル水銀の分析結果をTable

Fig. 6. Semi-automated Mercury Analyzer

sample (in 50 ml measuring flask)

HNO₃-HClO₄ (1+1), 2 ml
H₂SO₄, 5 ml
allowed to stand for 5 min.
H₂O, 1 ml
heated at 230–250°C for 20 min.

digested sample

cooled down to room temperature
made up to 50 ml with H₂O

sample solution, 0–20 ml

10% SnCl₂, 1 ml

A. A. S.

Chart 3. Analytical Procedure for Total Mercury in Biological and Environmental Samples

1 に示した。

金属水銀蒸気直接曝露されているガリンペイロや金仲買業者の中に最高113 ppmという高い総水銀値を示すものがみられるが、これらの人々の毛髪中メチル水銀値は極端に低く、ガリンペイロにおける総水銀中メチル水銀の占める割合は平均でわずか5%程度であり、大部分は外部からの吸着によるものと解釈される。この毛髪への無機水銀汚染は水銀蒸気の直接付着、手指からの汚染のほか、気道から吸収される無機水銀が汗と共に排出されて吸着がおこることも考えられるが、いずれにしてもメチル水銀による人体汚染の格好の指標である毛髪中水銀値を総水銀のみで評価すると誤った判断を下すことになりかねないという例である。

一方、ガリンポから遠く離れた漁村の住民につい

TABLE I. Concentrations of Total Mercury and Methylmercury in Human Hair Collected from Various Locations in the Study Area

Sample origin (Sampling date)	N	T-Hg (ng/mg)		MeHg (ng/mg)		% (Mean) (MeHg/T-Hg)
		Mean±S. D.	(Min. —Max.)	Mean±S. D.	(Min. —Max.)	
Workers in cold shop (1989)	4	15.4±11.3	(6.8— 31.3)	2.1± 1.2	(1.1— 3.8)	13.6
Goldminers (1989)	7	22.2±40.7	(0.5—113.1)	1.2± 0.7	(0.2— 2.5)	5.4
Former goldminers (1989)	13	3.4± 2.3	(0.8— 9.4)	1.3± 0.9	(0.6— 3.4)	38.2
Ponta de Pedras (Mar. 1992)	10	10.2± 2.2	(6.1— 12.6)	9.4± 2.5	(4.6— 12.0)	91.1
Brasilia Legal (Mar. 1992)	37	14.1±10.3	(0.8— 42.6)	14.1±10.3	(0.8— 42.6)	88.9
Rainha (Mar. 1992)	11	15.8± 8.9	(2.4— 31.1)	15.0± 8.5	(1.9— 29.4)	94.1
Jacareacanga (May, 1992)	48	16.6±10.5	(1.4— 46.0)	15.2±10.5	(1.1— 49.9)	88.4
Brasilia Legal (Jul. 1992)	19	35.9±36.8	(7.2—151.2)	30.5±31.5	(6.1—132.6)	84.9
Tres Bocas in Amapa State (1992)	11	28.0±13.3	(8.4— 53.8)	26.3±13.0	(6.1— 50.3)	92.0
Rio de Janeiro <i>a</i>						
No regular fish diet	20	1.7 ± 0.6	(0.9— 3.1)			
Common fish diet	15	5.4 ± 3.0	(1.5— 13.0)			

a: Malm, O. *et al.* *AMBIO*, 19, 11 (1990).

ては、最も遠い Ponta de Pedras 村では比較的低い値を示しているが、いずれの漁村でも毛髪中総水銀とメチル水銀に近い値を示し、毛髪中水銀の大部分はメチル水銀の形であることがわかる。これらの結果はリオ・デ・ジャネイロでの魚の常食者の平均値¹⁾ 5.4 ppm や日本人の正常値 1—5 ppm に比べて異常に高く、流域全体にわたるメチル水銀汚染が起きていることを示すと同時に、金属水銀が環境中に放出された後にメチル水銀に変換されることを如実に物語っている。とくに高値を示したのは Brasilia Legal でメチル水銀値として最高 132 ppm にも達した。この付近には入江や湖が多く、その周辺に集落が散在し、近辺の魚類を捕獲して生活していることを考えると、河川に比して水の滞留時間が長いために底質中に有機質が堆積し、無機水銀のメチル化が起りやすく、さらに生成したメチル水銀がさほど希釈されることなく魚類等の生物に比較的高濃度に蓄積されている可能性が強い。Table I の中で、この地域の住民の毛髪水銀値は 3 月と 7 月とでは大きな差異がみられるが、これは 7 月が乾季中であり、魚食量が増加したことによると考えられるが、この原因についてはさらに検討する必要がある。Tapajos 水系ではないが、Amapa 州の Doras Bocas 湖の周辺に住む人々の毛髪調査の結果でもメチル水銀として最高 50.3 ppm の値が得られており、今後はこうした環境科学的側面の調査研究を進める必要があらう。

次に、毛髪の先端部から毛根部に至る水銀分布はその長さに応じて過去から現在に至るメチル水銀曝

Fig. 7. Longitudinal Mercury Analyses along the Strands of Hair

露を反映することから、毛髪を 1.5 cm 毎に分割して水銀分析を行った。その結果は Fig. 7 のようで、雨季と乾季のアマゾンの季節によると思われる変動がみられるが、毛髪の成長速度を 1 cm/月と仮定すると、Tapajos 川流域でのメチル水銀汚染は少なくとも 1988 年以前から継続していることが判明した。

また、年毎に幾分上昇する傾向も観察され、汚染が今後どのように推移していくか、注目される。

毛髪中へのメチル水銀の移行は血液を介して行われる。したがって、アマゾンの住民がメチル水銀に

Fig. 8. Correlations between Total Mercury and Methylmercury in Hair and Blood Samples Collected from Jacareacanga (Ja), Vila Sao Martins (VSM) and Vila Novo Sitio (VNS)

Fig. 9. Correlation between Hair Mercury and Blood Mercury in Ja, VSM and VNS

曝露されているということになれば、同一人の毛髪と血中のメチル水銀レベルの間には一定の相関があるはずである。そこで、Jacareacanga (Ja) 及びその近隣の漁村の Vila Sao Martins (VSM), Vila Novo Sitio (VNS) において採取した毛髪と血液(全血)について総水銀とメチル水銀を測定した。毛髪については出来るだけ最近の汚染を把握すべく、毛根部から 3 cm までを試料とした。その結果、ここでの毛髪及び血液中の総水銀とメチル水銀の比はいずれもほぼ 1:1 であり (Fig. 8), 毛髪, 血液ともに水

銀はメチル水銀の形で含まれていることが判明した。さらに毛髪と血液中総水銀について両者の間の相関性を求めたところ、濃度比はこれまで一般住民について得られている 250:1¹³⁾ に極めて近似した値を示した (Fig. 9)。

これらの結果から、純粋に金属水銀に起因するアマゾン河流域の水銀汚染の場合でも、漁村の住民については、大部分環境中で生成されたメチル水銀による曝露を受けており、無機水銀の寄与はほとんどないことが容易に伺われる。この移行経路については、住民の食生活習慣等を加味した今後の疫学調査に待たなければならないが、これらの漁村での生活環境から住民へのメチル水銀移行は魚食によるものと考えてよいであろう。Table II はこれまで入手した魚肉について総水銀及びメチル水銀を分析した結果である。生息水域、魚種、大きさ等により当然水銀値が変動すると思われるが、大多数の魚類がブラジルの基準値 0.5 ppm を超えており、しかもいずれも大部分メチル水銀の形で含まれていることがわかる。

5 おわりに

以上、Tapajos 川流域における水銀汚染と人体汚染の現状を概説した。これまでの調査結果から、ガリンボで乱用され、排出された金属水銀から環境中でメチル水銀が生成し、これが食物連鎖を通して人体への蓄積が起こっていることは疑いないところである。現在までのところ、メチル水銀による、いわゆる典型的な水俣病様症状は見つかっていないが、メチル水銀中毒の最小発症閾値としての毛髪水銀値

TABLE II. Concentrations of Total Mercury and Methylmercury in Fish Collected from Various Locations in the Tapajos River System

Origin	Name	Weight (g)	T-Hg (ng/mg)	MeHg (ng/mg)	% (MeHg/T-Hg)
Teles Pires river (near Alta Floresta)	Piranha	400	0.29	0.29	100.0
	Daurada	2 700	0.60	0.57	95.0
	Piraiba	22 000	3.82	3.29	86.1
	Jau	23 000	0.61	0.58	95.1
	Jau	24 000	0.75	0.70	93.3
	Jau	25 000	1.03	0.82	79.6
	Jau	32 000	0.39	0.36	92.3
	Jau	32 000	0.39	0.36	92.3
Rato river	Peixe-cachorro	100	1.60	1.60	100.0
	Mandube	290	0.53	0.54	101.9
	Aruana	515	0.28	0.24	85.7
	Traira	6 000	0.95	0.83	84.4
Tapajos river (near Brasilia Legal)	Acara	160	0.17	0.15	88.2
	Tucunare	570	1.16	1.12	96.6
	Pescade	910	0.41	0.36	87.8
	Apapa	1 040	0.60	0.52	86.7
	Pacu	1 430	0.10	0.09	90.0
Tapajos river (near Itaituba)	Pescada	200	0.56	0.52	92.9
	Apapa	450	0.54	0.46	85.2
	Filhote	4 000	1.00	0.95	95.0
Tapajos river (near Santarem)	Apapa	390	0.39	0.37	94.9
	Pirarucu	20 000	0.08	0.07	87.5

50 ppm を上まわる住民もあり、とくに感受性の高い妊婦への影響を考えると由々しい状況にある。

ブラジル側でもガリンポ周辺での污染源対策を模索中であるが、これに加えて金採掘に伴う水銀汚染がむしろ大気や河川を通して広く及んでいる可能性を考慮し、人体及び生態系への影響を含めた実態の把握が急務であろう。そのためには無機水銀のみならず、メチル水銀による汚染の程度、拡がり等を重

視した組織的かつ長期にわたって調査しうるモニタリングシステムを早急に構築する必要がある。また、アマゾン河流域における水銀汚染に関連して、現地での無機水銀からメチル水銀への変換に関する調査研究も重要な課題であり、当面は比較的濃厚な汚染が予想される湖沼等を対象に調査を進める必要があらう。

引用文献

- 1) A. Jernelöv, C. Ramel, *Ambio*, **23**(2), 166 (1994).
- 2) W.C. Pfeiffer, L.D. Lacerda, *Environ. Technol. Letters*, **9**, 325 (1988).
- 3) L.D. Lacerda, W.C. Pfeiffer, A.T. Ott, E.G. Silveira, *Biotropica*, **21**, 91 (1989).
- 4) O. Lindquist, "Mercury in the Swedish Environment," Kluwer Academic Press, 1991.
- 5) W.C. Pfeiffer, L.D. Lacerda, O. Malm, C.M.M. Souza, E. Silveira, W.R. Bastos, *Sci. Total Environ.*, **87**, 233 (1989).
- 6) O. Malm, W.C. Pfeiffer, C.M.M. Souza, R. Reuther, *Ambio*, **19**, 11 (1990).
- 7) L.A. Martinelle, J.R. Ferreira, B.R. Forsberg, R.L. Victoria, *Ambio*, **17**, 252 (1988).
- 8) R. Fernandes, A.F. Guimaraes, E.D. Bidone, L.D. Lacerda, W.C. Pfeiffer, "Proc. Control of Pollution by Hg in the Amazon," Belem, 1989.
- 9) M. Lodenius, Proc. International Symposium on Epidemiological Studies on the Effect of MeHg, Kumamoto, 1992.

- 10) H. Akagi, H. Nishimura, "Advances in Mercury Toxicology," ed. by T. Suzuki, N. Imura, T.W. Clarkson, Plenum Press, New York, 1991.
- 11) N. Matsuo, T. Suzuki, H. Akagi, *Arch. Environ. Health*, **44**, 298 (1989).
- 12) T. Suzuki, T. Hongo, J. Yoshinaga, H. Imai, M. Nakagawa, N. Matsuo, H. Akagi, *Arch. Environ. Health*, **48**, 221 (1993).
- 13) WHO, "IPCS – Methylmercury – Environmental Health Criteria 101," 1990.
- 14) H. Akagi, O. Malm, Y. Kinjo, M. Harada, F.J.P. Branches, W.C. Pfeiffer, H. Kato, *Sci. Total Environ.* in press (1994).
- 15) H. Akagi, O. Malm, F.J.P. Branches, Y. Kinjo, Y. Kashima, J.R.D. Guimaraes, R.B. Oliveira, K. Haraguchi, W.C. Pfeiffer, Y. Takizawa, H. Kato, *Water, Air, & Soil Pollution*, in press (1994).