

## 産業廃棄物処分場周辺地区住民の無機水銀曝露調査

### 尿中水銀濃度、自覚症状ならびに腎機能

アリサワ ヨウキチ タカハシ タツヤ ナカノ アツヒロ リウ ショウ チェ  
 有澤 孝吉\* 高橋 達也\* 中野 篤浩<sup>2\*</sup> 劉 暁 潔\*  
 サイトウ ヒロシ タシザワ ミキオ ユバ タカシ  
 齋藤 寛\* 滝澤 行雄<sup>3\*</sup> 木場 隆司\*

**目的** 本調査の目的は、長崎県内の一産業廃棄物処分場の周辺地区住民における無機水銀曝露およびその健康影響の有無を検討することである。この地区では、1975年より下水道汚泥および安定型産業廃棄物が埋め立て処分されており、1997年7月以来、浸出水・河川水から環境基本法に基づく「人の健康の保護にかかわる環境基準」を超える総水銀（0.0006-0.0020 mg/l）が検出されている。また、処分場に最も近い井戸（現在は使用されていない）からも無機水銀が検出された。

**方法** 1998年11月～12月、長崎県 K 町の産業廃棄物処分場周辺地区（以下汚染地区）の10歳以上住民48人（男性25人、女性23人、11-91歳）および対照地区住民49人（男性27人、女性22人、10-82歳）を対象として、無機水銀曝露の健康影響に関連する自覚症状、職業的水銀曝露、魚介類の摂取頻度、飲料水の種類、生活習慣などに関する質問紙調査を行った。また、早朝尿中の総水銀濃度、総蛋白濃度および N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase (NAG) 活性を測定した。

**結果** 汚染地区の男性では、「手がふるえることがありますか」および「すぐいらいらすることがありますか」の2項目で有訴者割合が対照地区に比べて有意またはほぼ有意に高かった（*P*-値は、それぞれ0.02, 0.10）。また、「疲れやすいですか」との質問についても、地区間で回答の分布にやや差が認められた（*P*-値=0.07）。一方、女性では、両地区間で自覚症状の出現割合に有意差は認められなかった。男女を合わせて、ロジスティック回帰分析により性・年齢を補正した場合、汚染地区では「すぐいらいらすることがある」と答えた人の割合は有意に高く（Prevalence odds ratio=2.43, 95%信頼区間1.01-5.85）、「疲れやすいですか」との質問に「いいえ」と答えた人の割合は有意に低かった（Prevalence odds ratio=0.34, 95%信頼区間0.13-0.90）。「手がふるえることがありますか」との質問については、対照地区で有訴者がいなかったため、回帰係数の推定は不可能であった。しかし、早朝尿中総水銀濃度（ $\mu\text{g/g creatinine}$ ）の幾何平均値（および95%信頼区間）は、汚染地区では男性0.66（0.48-0.91）、女性0.96（0.70-1.33）、対照地区では男性0.81（0.60-1.09）、女性0.83（0.57-1.22）であり、男女とも地区間で有意差は認められなかった。また、尿中総水銀が工場労働者で中枢神経系への影響が認められているレベル（約30  $\mu\text{g/g creatinine}$ ）を超えた人は、両地区とも存在しなかった。尿中総蛋白濃度および NAG 活性にも、男女とも地区間で有意差は認められなかった。

**結論** 汚染地区において無機水銀の曝露量が増加していることを示す証拠は得られなかった。したがって、上記の自覚症状の出現頻度の差は、無機水銀曝露の直接の影響によるものではないと結論した。今後、発生源対策によって生活用水の汚染をできるだけ防止すること、水源の水質をモニタリングしていくこと、そして最終的には上水道の設置などによって安全な生活用水が確保できるようにすることが必要であると考えられる。

**Key words** : 廃棄物処理, 水銀汚染, 質問紙調査, 尿中総水銀, 腎機能

\* 長崎大学医学部衛生学教室

\* 国立水俣病総合研究センター基礎研究部

\* 国立水俣病総合研究センター

連絡先：〒852-8523 長崎市坂本 1-12-4

長崎大学医学部衛生学教室 有澤孝吉

## I 緒 言

1997年7月、長崎県内の一産業廃棄物処分場の周辺地区において、無機水銀による環境汚染の存在が明らかとなった<sup>1,2)</sup>。この産業廃棄物処分場では、1975年より下水道汚泥および安定型産業廃棄物（建設廃材、金属くず、廃プラスチック類、ガラスくずおよび陶器くず）が埋め立て処分されてきた。1997年7月に周辺の浸出水・河川水から環境基本法に基づく「人の健康の保護にかかわる環境基準」（0.0005 mg/l以下）を超える総水銀（0.0006 mg/l）が検出され、その後の1997年8月～1998年8月の調査でも、浸出水・河川水から0.0006-0.0020 mg/lの総水銀（すべて無機水銀）が検出された。また、処分場に最も近い井戸（現在は使用されていない）からも無機水銀（0.0009-0.0014 mg/l）が検出された。

無機水銀による健康影響としては、職業性水銀蒸気曝露による神経系障害（振戦, mercurial erethism, 末梢神経伝導速度の遅延）、口腔粘膜障害（歯肉炎, 口内炎）および腎臓障害（蛋白尿, ネフローゼ症候群, 酵素尿）などが、また、塩化第二水銀による急性近位尿管壊死が知られてい

る<sup>3)</sup>。しかし、無機水銀の低濃度長期経口曝露の人体影響については不明な部分が多い。

職業性水銀曝露のない一般集団においては、無機水銀の曝露は食事（とくに魚・魚製品）および歯科アマルガムによるものが主であり、曝露のモニタリング指標としては、尿中の総水銀濃度が用いられる<sup>3,4)</sup>。一方、血球中総水銀濃度<sup>5)</sup>および毛髪中総水銀濃度<sup>6)</sup>は、日本人においては魚介類からのメチル水銀の摂取量を反映する面が大きい。

1998年8月、地域住民の健康に対する不安<sup>2)</sup>に対処するため、長崎市、K町および長崎大学は住民健康診断協議会を設置し、同年11-12月に調査を実施した。本論文では、地域住民の自覚症状、尿中総水銀濃度および腎機能について報告する。

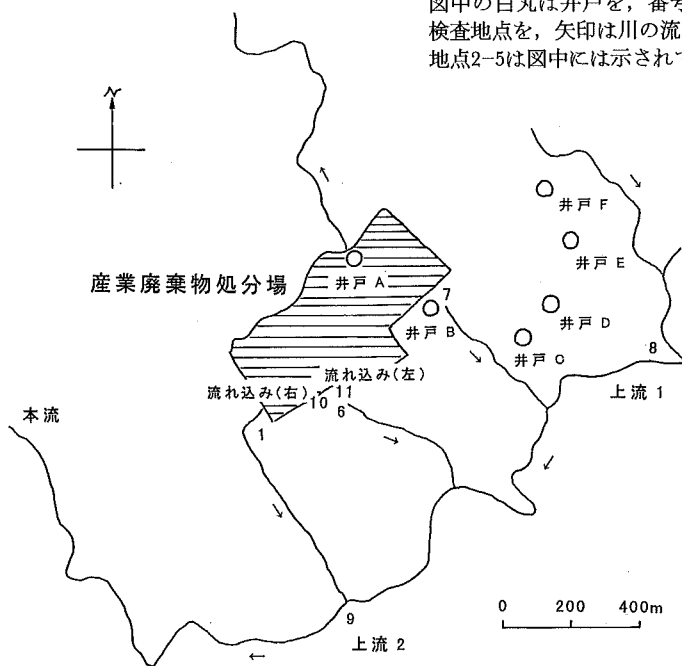
## II 対象と方法

### 1. 対象地域および集団

図1に、問題となった産業廃棄物処分場（長崎県K町）およびその周辺の地図を示した。この処分場周辺の浸出水・河川水（図1の6, 7, 10, 11）からは、環境基準を超える総水銀が繰り返し検出されている。しかし、カドミウム, シアン,

図1 産業廃棄物処分場および周辺の地図

図中の白丸は井戸を、番号（1, 6-11）は水質の検査地点を、矢印は川の流れを示す。なお、検査地点2-5は図中には示されていない。



鉛, 6価クロム, 砒素, アルキル水銀についてはいずれも基準以内であった。その後, 処分場内数カ所からのボーリング水の水質検査の結果, 高い総水銀濃度 (0.0007-0.0076 mg/l) が検出され, この処分場が水銀汚染の源であると結論された。また, この処分場では医療廃棄物の焼却と汚泥の堆肥化も行われており, 悪臭・煙に対する周辺住民の苦情がある。

上記産業廃棄物処分場の周辺地区 (以下汚染地区), および汚染地区から約5 km 離れ, 無機水銀による環境汚染がなく, 地理的条件 (特に海岸からの距離) および生業活動が汚染地区と類似した地区 (以下対照地区) を対象とした。汚染地区では上水道がなく, 住民は井戸水・河川水を生活用水としているが, 水源として使われている井戸 (図1のC, D, E, F) からは, これまでのところ2カ月に1回の検査で無機水銀は検出されていない。なお, 水銀が検出された井戸は図1のBであり, 現在は使用されていない。また, 汚染が見つかった河川は, 以前より降雨時にしばしば濁りが発生したため, 生活用水として使われてこなかった。一方, 対照地区では町営の簡易水道が設置されている。両地区とも自然界で獲れた淡水魚を大量に摂取する習慣はない。

対象者は, 上記の二地区に居住する10歳以上の全住民であり, 参加者は, 汚染地区が48人 (男性25人, 女性23人), 対照地区が49人 (男性27人, 女性22人) であった。参加割合は, 両地区それぞれ100%および87.5%であった。ただし, 汚染地区の女性1人は, 不在のため質問紙調査のみの参加であった。

## 2. 質問紙調査

現在地での居住年数, 身長, 体重, 職業, 喫煙・飲酒習慣, 魚介類の摂取頻度, 職業的水銀曝露の有無, 飲料水の種類, 歯の治療状況, 既往歴および無機水銀による健康影響に関連する自覚症状6項目について, 自記式の質問紙調査を行った。魚の1回摂取量は, 刺身1人前, 白身切り身1切れ, あじ中1匹またはぶり切り身1切れ程度とした。また, いか, たこ, 貝の1回摂取量は, たこ足1/4または貝のみそ汁1杯分程度として聞いた。質問紙は, 汚染地区では著者らが各家庭を回って配付し, 対照地区ではこの調査についての事前説明会の際に配布した。回収は, 汚染地区は配布の

翌日, また対照地区は配布の10日後, いずれも早朝尿回収時に行った。なお, 両地区とも未回答の項目が目立ったため, 地区の代表者を通じて再度質問紙を配布し, 追加記入の後, 再回収した。質問紙には, データは集団としてのみ集計され, 個人の秘密は固く守られることを明記した。調査は1998年11月~12月に行った。

## 3. 尿の採取および分析

早朝一番尿を, 30%硝酸で洗浄したポリエチレン製500 ml 容器にて採取した。総水銀濃度は, 杉山元製の水銀分析計 Model 2537 に水銀分析用加熱気化装置 MV-250R を接続し, 金アマルガム法で測定した。測定の精度を確保するため, 尿試料5-8本につき1本の標準液を測定し, そのつど検量線を引き直した。また, 測定の確度を調べるため, 標準試料 (National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Material 2670, elevated level, U.S.A.) を測定した。参照値  $105 \pm 8 \mu\text{g/l}$  に対し, 測定値は平均  $108.7 \mu\text{g/l}$  (標準偏差8.0, 変動係数7.4%) であった。尿中総蛋白はトネイン TP (Coomassie brilliant blue G-200 法, 大塚アッセイ) を, 尿中 N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase (NAG) 活性は Sodium-m-cresolsulfonphthalenyl N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminide を基質とする比色法 (NAG テストシオノギ, 塩野義製薬) を, また, 尿中クレアチニン濃度は Jaffe 法を用いてそれぞれ測定した。これらの3項目については, 尿試料10本につき1本の標準液を測定し, 最初からの測定値のずれが5%を超えた場合は測定をやり直した。また, 8人の対象者について小分けした同一サンプルをブラインドで複数回測定し, 変動係数の中央値を求めたところ, 総蛋白, NAG およびクレアチニンでそれぞれ6.0%, 8.8% および1.1% であった。

## 4. 統計解析

尿中濃度は, すべてクレアチニン補正值で表し, 正規分布に近づけるために常用対数変換後に解析した。地区間の比較の際, 計量データはその分布に応じて Student t-test または Wilcoxon rank sum test を用いて検定した。計数データは, Fisher の直接確率法または Wilcoxon rank sum test を用いて検定を行った。地区別の有訴者割合の差を性・年齢を補正して, 多重ロジスティック回帰分析を用いて検討した。統計解析は, SAS (Ver-

sion 6.12)<sup>7)</sup>を用いて行い、*P*-値はすべて両側のものを示した。

### Ⅲ 結 果

調査対象者の性・年齢分布および特徴を表1-3に示した。男性では、年齢の中央値(および範囲)は、汚染地区が59(11-91)歳、対照地区が42(11-82)歳であり、汚染地区の方がやや高かったがその差は統計的に有意ではなかった(表1)。現在地での居住年数は、汚染地区の方が長い傾向があった(*P*-値=0.09, 表2)。また、喫煙習慣では、汚染地区で現在喫煙すると答えた人が多い傾向があった(*P*-値=0.08)。身長、体重、職業構成、飲酒習慣、魚の摂取頻度およびいか、たこ、貝の摂取頻度には、地区間で有意差は認められなかった。職業性水銀曝露があると答えた人は、両地区ともに1人のみであった。飲料水については、汚染地区では91.7%が「井戸水または河川水」と答えたが、対照地区では85.2%の人は「その他」であった。この「その他」は、町営の簡易水道をさすと思われる。

女性では、現在地での居住年数は、汚染地区の方が長い傾向があった(*P*-値=0.09, 表3)。また、体重は、汚染地区の方が対照地区より有意に軽かった(*P*-値=0.03)。年齢、身長、職業構成、喫煙・飲酒習慣、魚の摂取頻度およびいか、たこ、貝の摂取頻度には、有意差は認められなかった。職業性水銀曝露があると答えた人は、両地区とも存在しなかった。飲料水は、汚染地区では

95.7%の人が「井戸水または河川水」であったが、対照地区では86.4%の人が「その他」と回答した。

無機水銀曝露に関連する既往歴では、口内炎、歯肉炎、腎臓病の既往を持つ人は男女とも少なく、また、地区間で有意差は認められなかった(表4, 5)。一方、自覚症状については、男性の全項目において汚染地区の有訴者割合が対照地区に比較して高い傾向があり、「手がふるえることがありますか」、「すぐいらいらすることがありますか」、「疲れやすいですか」の3項目で回答の分布に有意またはほぼ有意な差が認められた(*P*-値は、それぞれ0.02, 0.10, 0.07)。女性でも、「物忘れをすることがありますか」の質問を除いて汚染地区の有訴者割合がやや高い傾向があったが、いずれの項目も地区間で有意差は認められなかった。

次に、男女をあわせて、多重ロジスティック回帰分析により性および年齢(連続量)を補正した場合、「すぐいらいらすることがありますか」の質問で、汚染地区の方が対照地区より有訴者割合が有意に高かった(Prevalence odds ratio=2.43, 95%信頼区間1.01-5.85)。また、「疲れやすいですか」との質問についても、「いいえ」と答えた人の割合が汚染地区で有意に低かった(Prevalence odds ratio=0.34, 95%信頼区間0.13-0.90)。「手がふるえることがありますか」との質問については、対照地区において有訴者がいなかったため、回帰係数の推定は不可能であった。

地区別の尿中総水銀濃度( $\mu\text{g/g creatinine}$ )の

表1 調査対象者の性、年齢分布

年齢(歳)	男 性			女 性		
	汚染地区	対照地区	<i>P</i> -値	汚染地区	対照地区	<i>P</i> -値
中央値(範囲)	59(11-91)	42(11-82)	0.19 <sup>a)</sup>	59(11-84)	50(10-81)	0.35
10-19	3( 12.0)	6( 22.2)		2( 8.7)	4( 18.2)	
20-29	2( 8.0)	2( 7.4)		2( 8.7)	0( 0.0)	
30-39	3( 12.0)	4( 14.8)		3( 13.0)	6( 27.3)	
40-49	4( 16.0)	5( 18.5)		1( 4.3)	1( 4.5)	
50-59	2( 8.0)	0( 0.0)		4( 17.4)	1( 4.5)	
60-69	4( 16.0)	5( 18.5)		2( 8.7)	3( 13.6)	
70-79	2( 8.0)	4( 14.8)		4( 17.4)	6( 27.3)	
80-99	5( 20.0)	1( 3.7)		5( 21.7)	1( 4.5)	
合計	25(100.0)	27(100.0)		23(100.0)	22(100.0)	

<sup>a)</sup> Wilcoxon rank sum test.

表2 汚染地区および対照地区の調査対象者の特徴 (男性)

	汚染地区	対照地区	P-値
対象者数	25	27	
居住年数 <sup>a)</sup>	41.5(3-55)	39(6-50)	0.09 <sup>d)</sup>
身長 (cm) <sup>b)</sup>	160( 9 )	163(11 )	0.36 <sup>d)</sup>
体重 (kg) <sup>b)</sup>	58.0(11.2)	58.9(13.2)	0.79 <sup>d)</sup>
職業 (%)			0.18 <sup>e)</sup>
	農業	10(37.0)	
	学生	4(14.8)	
	サラリーマン	8(29.6)	
	自営業	3(11.1)	
	無職	2( 7.4)	
喫煙 (%)			0.08 <sup>e)</sup>
	吸わない	16(61.5)	
	現在吸う	8(30.8)	
	止めた	2( 8.0)	
飲酒 (%)			0.78 <sup>e)</sup>
	飲まない	11(42.3)	
	現在飲む	15(57.7)	
	止めた	0( 0.0)	
魚の摂取 (%)			0.13 <sup>e)</sup>
	2-3 回/日	1( 3.8)	
	1 回/日	8(30.8)	
	5-6 回/週	6(23.1)	
	2-4 回/週	6(23.1)	
	1 回/週	4(15.4)	
	1-3 回/月	0( 0.0)	
	ほとんど食べない	1( 3.8)	
いか, たこ, 貝の摂取 (%)			0.58 <sup>e)</sup>
	1 回/日	2( 7.7)	
	5-6 回/週	1( 3.8)	
	2-4 回/週	0( 0.0)	
	1 回/週	5(19.2)	
	1-3 回/月	15(60.0)	
	ほとんど食べない	3(11.5)	
職業性水銀曝露 (%)			1.00 <sup>e)</sup>
	ない	25(96.2)	
	ある	1( 4.0)	
飲料水 (%)			<0.001 <sup>e)</sup>
	井戸水	0( 0.0)	
	河川水	4(14.8)	
	河川水および井戸水	9(37.5)	
	その他	2( 8.3)	

不明の者は除外した。a) 中央値および範囲。b) 平均および標準偏差。c) Wilcoxon rank sum test. d) Student t-test. e) Fisher's exact test.

分布を図2に示した。汚染地区および非汚染地区における幾何平均値(および95%信頼区間)は、男性ではそれぞれ0.66(0.48-0.91)および0.81(0.60-1.09)、女性ではそれぞれ0.96(0.70-1.33)および0.83(0.57-1.22)であり、男女とも地区間で有意差は認められなかった(表4, 5)。また、尿中総水銀濃度が工場労働者で中枢神経系への影響が認められているレベル(約30 μg/g creati-

nine)を超えた人は、両地区とも存在しなかった。尿中総蛋白、尿中NAG活性についても、男女とも地区間で有意差は認められなかった。また、結果は表に示していないが、共分散分析を用いて年齢を調整した場合でも、いずれの項目にも地区間で幾何平均値に有意差は認められなかった。

表6に、汚染地区における尿中総水銀濃度、総

表3 汚染地区および対照地区の調査対象者の特徴（女性）

	汚染地区	対照地区	P-値
対象者数	23	22	
居住年数 <sup>a)</sup>	22( 4-55)	18.5( 6-44)	0.09 <sup>c)</sup>
身長 (cm) <sup>b)</sup>	148( 7 )	151( 9 )	0.20 <sup>d)</sup>
体重 (kg) <sup>b)</sup>	46.1( 8.1)	54.1( 14.5)	0.03 <sup>d)</sup>
職業 (%)			0.27 <sup>e)</sup>
	農業	5( 23.8)	
	主婦	9( 42.9)	
	学生	4( 19.0)	
	サラリーマン	0( 0.0)	
	自営業	0( 0.0)	
	無職	3( 14.3)	
	その他	0( 0.0)	
喫煙 (%)			0.61 <sup>e)</sup>
	吸わない	21( 95.5)	
	現在吸う	1( 4.5)	
飲酒 (%)			1.00 <sup>e)</sup>
	飲まない	19( 86.4)	
	現在飲む	3( 13.6)	
	止めた	0( 0.0)	
魚の摂取 (%)			1.00 <sup>e)</sup>
	2-3回/日	0( 0.0)	
	1回/日	5( 23.8)	
	5-6回/週	3( 14.3)	
	2-4回/週	6( 28.6)	
	1回/週	2( 9.5)	
	1-3回/月	5( 23.8)	
	ほとんど食べない	0( 0.0)	
いか, たこ, 貝の摂取 (%)			0.66 <sup>e)</sup>
	1回/日	1( 4.8)	
	5-6回/週	1( 4.8)	
	2-4回/週	0( 0.0)	
	1回/週	3( 14.3)	
	1-3回/月	12( 57.1)	
	ほとんど食べない	4( 19.0)	
職業性水銀曝露 (%)			—
	ない	20(100.0)	
飲料水 (%)			<0.001 <sup>e)</sup>
	井戸水	0( 0.0)	
	河川水	3( 13.6)	
	河川水および井戸水	0( 0.0)	
	その他	19( 86.4)	

不明の者は除外した。a) 中央値および範囲。b) 平均および標準偏差。c) Wilcoxon rank sum test. d) Student t-test. e) Fisher's exact test.

蛋白濃度, NAG 活性および自覚症状スコア (無機水銀曝露に関連する自覚症状が「ある」または「ときどきある」と答えた個数の合計) の相関を示した。尿中総水銀濃度と総蛋白濃度および NAG 活性との関連は弱く, 相関係数は男性でそれぞれ0.30および0.30, 女性でそれぞれ0.14および0.26であった。また, 尿中総水銀と自覚症状スコアとの間にほとんど相関は認められなかった

(Spearman 順位相関係数, 男性 = 0.08, 女性 = 0.21)。

#### IV 考 察

水銀化合物の曝露を評価する際, その化学型および吸収, 代謝, 分布, 排泄を考慮する必要がある。無機水銀は, 飲料水中では主として  $Hg^{2+}$  の形で存在すると考えられる。 $Hg^{2+}$  の消化管から

表4 汚染地区および対照地区における既往歴, 自覚症状および尿所見 (男性)

		汚染地区	対照地区	P-値
対象者数		25	27	
既往歴 (%)				
口内炎	ない	24(96.0)	27(100.0)	0.48 <sup>a)</sup>
	ある	1(4.0)	0(0.0)	
歯肉炎	ない	21(84.0)	24(88.9)	0.70 <sup>a)</sup>
	ある	4(16.0)	3(11.1)	
腎臓病	ない	24(96.0)	26(96.3)	1.00 <sup>a)</sup>
	ある	1(4.0)	1(3.7)	
自覚症状 (%)				
手がふるえることがありますか。	ない	20(80.0)	27(100.0)	0.02 <sup>a)</sup>
	ときどきある	3(12.0)	0(0.0)	
	よくある	2(8.0)	0(0.0)	
すぐいらいらすることができますか。	ない	15(60.0)	22(81.5)	0.10 <sup>a)</sup>
	ときどきある	7(28.0)	5(18.5)	
	よくある	3(12.0)	0(0.0)	
夜, 眠れなくて困ることがありますか。	ない	17(68.0)	22(81.5)	0.41 <sup>a)</sup>
	ときどきある	7(28.0)	5(18.5)	
	よくある	1(4.0)	0(0.0)	
物忘れをすることができますか。	ない	14(56.0)	17(63.0)	0.63 <sup>a)</sup>
	ときどきある	8(32.0)	9(33.3)	
	よくある	3(12.0)	1(3.7)	
食欲はありますか。	ある	16(64.0)	20(74.1)	0.65 <sup>a)</sup>
	普通	8(32.0)	7(25.9)	
	あまりない	1(4.0)	0(0.0)	
疲れやすいですか。	いいえ	6(24.0)	15(55.6)	0.07 <sup>a)</sup>
	普通	14(56.0)	8(29.6)	
	はい	5(20.0)	4(14.8)	
尿中総水銀 ( $\mu\text{g/g creatinine}$ )		0.66(0.48-0.91)	0.81(0.60-1.09)	0.33 <sup>b)</sup>
尿中総蛋白 ( $\text{mg/g creatinine}$ )		69(47-101)	74(58-93)	0.77 <sup>b)</sup>
尿中 NAG ( $\text{IU/g creatinine}$ )		3.0(2.2-4.1)	2.9(2.2-3.8)	0.87 <sup>b)</sup>

不明の者は除外した。

尿中濃度は, 幾何平均および95%信頼区間を示す。

<sup>a)</sup> Fisher's exact test. <sup>b)</sup> Student t-test.

の吸収率は10%以下と低いが, 吸収された  $\text{Hg}^{2+}$  は腎臓に最も多く蓄積する<sup>4)</sup>。食事中的総水銀の大部分はメチル水銀であるが, メチル水銀は体内で無機化され, 無機化された水銀も腎臓に多く蓄積する<sup>5)</sup>。また, 魚介類に含まれる総水銀のいくらかは無機水銀であるために, 魚介類および魚肉製品からの摂取が無視できない<sup>3)</sup>。尿中総水銀の無機水銀曝露のモニタリング指標としての有用性は, 主として金属水銀蒸気に曝露された工場労働者について検討されており, 曝露が続いている場合は空气中水銀濃度と高い相関があることが明らか

かにされている<sup>4)</sup>。

本調査において, 尿中総水銀濃度の幾何平均値は汚染地区, 対照地区とも  $0.7-1.0 \mu\text{g/g creatinine}$  であり, 地区間で差は認められなかった。職業性水銀曝露のほとんどない集団における尿中総水銀濃度の幾何平均値は, 集団によってばらつきは大きい<sup>6)</sup>が, 約  $1-5 \mu\text{g/g creatinine}$  であると報告されている<sup>9)</sup>。今回の結果はそれとほぼ同じか, やや低い値であった。また, 尿中総水銀濃度に影響を及ぼす可能性のある魚介類の摂取頻度にも両地区で差は認められなかった。以上の事実か

表5 汚染地区および対照地区における既往歴, 自覚症状および尿所見 (女性)

		汚染地区	対照地区	P-値
対象者数		23	22	
既往歴 (%)				
口内炎	ない	20 (87.0)	18 (81.8)	0.70 <sup>a)</sup>
	ある	3 (13.0)	4 (18.2)	
歯肉炎	ない	20 (87.0)	18 (81.8)	0.70 <sup>a)</sup>
	ある	3 (13.0)	4 (18.2)	
腎臓病	ない	23 (100.0)	22 (100.0)	—
自覚症状 (%)				
手がふるえることがありますか。	ない	20 (87.0)	22 (100.0)	0.23 <sup>a)</sup>
	ときどきある	3 (13.0)	0 (0.0)	
すぐいらいらすることがありますか。	ない	11 (47.8)	14 (63.6)	0.45 <sup>a)</sup>
	ときどきある	11 (47.8)	8 (36.4)	
	よくある	1 (4.3)	0 (0.0)	
夜, 眠れなくて困ることがありますか。	ない	14 (60.9)	15 (68.2)	0.62 <sup>a)</sup>
	ときどきある	8 (34.8)	5 (22.7)	
	よくある	1 (4.3)	2 (9.1)	
物忘れをすることがありますか。	ない	10 (43.5)	10 (45.5)	0.37 <sup>a)</sup>
	ときどきある	10 (43.5)	6 (27.3)	
	よくある	3 (13.0)	6 (27.3)	
食欲はありますか。	ある	10 (43.5)	13 (59.1)	0.68 <sup>a)</sup>
	普通	12 (52.2)	8 (36.4)	
	あまりない	1 (4.3)	1 (4.5)	
疲れやすいですか。	いいえ	3 (13.0)	6 (27.3)	0.47 <sup>a)</sup>
	普通	11 (47.8)	10 (45.5)	
	はい	9 (39.1)	6 (27.3)	
尿中総水銀 ( $\mu\text{g/g creatinine}$ )		0.96 (0.70-1.33)	0.83 (0.57-1.22)	0.55 <sup>b)</sup>
尿中総蛋白 (mg/g creatinine)		86 (50-146)	62 (52-73)	0.23 <sup>b)</sup>
尿中 NAG (IU/g creatinine)		4.3 (2.9-6.5)	3.0 (2.1-4.3)	0.17 <sup>b)</sup>

不明の者は除外した。

尿中濃度は, 幾何平均および95%信頼区間を示す。汚染地区の対象者数=22人。

<sup>a)</sup> Fisher's exact test. <sup>b)</sup> Student t-test.

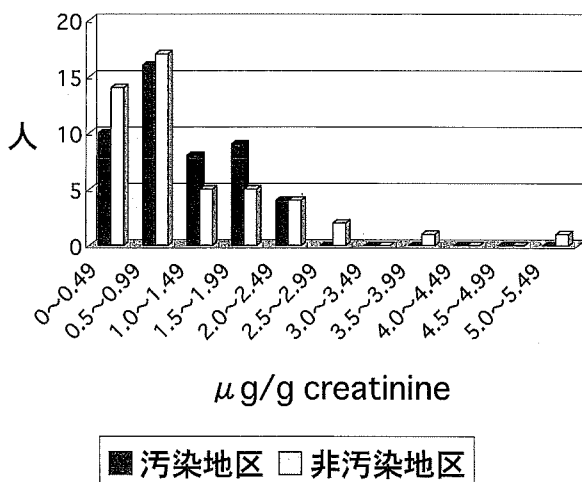
ら, 汚染地域において環境汚染に起因する無機水銀の曝露量の増加はなかったと判断した。

尿中総蛋白濃度および尿中 NAG 活性にも地区間で有意差はみられなかった。これまで, 最も低いレベルの無機水銀曝露で腎糸球体への影響を認めている報告の一つは, Buchet ら<sup>10)</sup>のものであり, 彼らは, 尿中総水銀濃度が  $50 \mu\text{g/g creatinine}$  以上になるとアルブミン, トランスフェリン, IgG などの高分子蛋白の尿中排泄増加がみられたと報告している。化学物質の腎細胞毒性を検出する上で鋭敏な指標とされる尿中 NAG 活性については, 尿中総水銀濃度の平均値または中央値

が  $22-25 \mu\text{g/g creatinine}$  とやや低い集団において尿中の総水銀濃度と NAG 活性との間に有意な正の相関が認められている<sup>11,12)</sup>。しかし, これらの報告で尿中 NAG 活性の異常高値の有病割合が有意に増加していたのは, 尿中総水銀濃度がカットオフレベル  $44-50 \mu\text{g/g creatinine}$  以上の群に限られていた。別の報告<sup>13)</sup>では, 尿中総水銀濃度の平均値が  $18 \mu\text{g/g creatinine}$  の集団で, 尿中アルブミン濃度および尿中 NAG 活性の上昇は認められていない。今回の対象者では, 尿中総水銀濃度の最高値は両地区をあわせても  $5.1 \mu\text{g/g creatinine}$  であり, 上記の報告に比較してかなり低かった。



図2 地区間の尿中総水銀濃度の比較



したがって、汚染地区において、尿中総蛋白濃度およびNAG活性の上昇がみられなかったことは、これまでの報告と一致していた。なお、汚染地区の女性で尿中総蛋白濃度がやや高かったが、この理由の一つは無機水銀以外の原因によると思われる腎疾患をもつ者（尿中総蛋白>3.5 g/l, 尿中総水銀は0.8 µg/g creatinine）が1人いたためであり、この1人を除くと幾何平均値は68 mg/g creatinineとなった。

自覚症状に関しては、「手がふるえることがありますか」、「すぐいらいらすることがありますか」および「疲れやすいですか」の3項目において、地区間で回答の分布に有意またはほぼ有意な差が認められた。無機水銀中毒でみられる中枢神経系症状には、高濃度曝露による振戦や mercurial erethism（易興奮性、過度の内向性、不眠、いらいら感）などの症状と、長期低濃度曝露の際にみられる軽度の易疲労性、いらいら感、記憶力減退、抑うつなどの症状がある<sup>4)</sup>。このうち、振戦や mercurial erethism などの典型的な中毒症状が認められるのは曝露の非常に強い場合（尿中総水銀濃度>100 µg/g creatinine）に限られる<sup>4,14)</sup>。その他の長期低濃度でみられる症状については、曝露群の中での量・反応関係ははっきりしないが、影響の認められている集団の尿中総水銀濃度は約30~100 µg/g creatinineである<sup>4,15)</sup>。振戦についてのより鋭敏な検査を用いた調査でも、手指振戦の周波数の高値側への偏りなどの影響が報告されて

表6 汚染地区における尿中総水銀濃度、総蛋白濃度、NAG活性および自覚症状スコアの間の相関

	男性 (N=25)			自覚症状スコア
	尿中総水銀	尿中総蛋白	尿中NAG	
尿中総水銀	0.30 <sup>a)</sup> (0.15)	0.30 <sup>a)</sup> (0.14)	0.08 <sup>b)</sup> (0.72)	
尿中総蛋白	0.14 (0.53)	0.65 <sup>a)</sup> (0.0004)	0.34 <sup>b)</sup> (0.10)	
尿中NAG	0.26 (0.23)	0.79 (0.0001)	0.36 <sup>b)</sup> (0.08)	
自覚症状スコア	0.21 (0.34)	0.30 (0.18)	0.16 (0.47)	

a) Pearson correlation coefficient (P-値)。

b) Spearman rank correlation coefficient (P-値)。

いるのは平均尿中総水銀濃度が23 µg/g creatinineの集団であった<sup>16)</sup>。以上の事実および尿中総水銀の分析結果を考慮すると、今回認められた自覚症状の出現頻度の差は、水銀曝露による直接の影響であるとは考えにくい。可能性のある理由としては、環境汚染による健康に対する不安、申告の偏り、あるいは処分場から排出される水銀以外の汚染物質の影響などが挙げられる。

本調査の問題点としては、水銀蒸気曝露に関連する歯科アマルガムの数を実際の診察によって調べていないことが挙げられる。結果には示さなかったが、質問紙による回答では歯科アマルガムを使用している人の割合および歯科アマルガムの数には地区間で差がなかった。しかし、この質問は一般人にはやや難しく、回答の正確性に問題があったために差を検出できなかった可能性も否定できない。また、自覚症状に基づく調査は、無機水銀の神経系に対する影響を検出する上で鋭敏ではなく、また客観性を欠く面がある。しかし、今回は、地区間で尿中総水銀濃度に差がなかったこと、および値そのものも従来より無機水銀による健康影響が報告されているレベルに比べてかなり低かったため、さらに情報を収集することはしなかった。

以上、産業廃棄物処理施設周辺地区住民の尿中水銀濃度、自覚症状ならびに腎機能について述べた。現在、全国各地に産業廃棄物処分場が数多く存在し、廃棄物の不適正処理による環境汚染も問

題になっていること<sup>17)</sup>を考えると、今後、同様の水質汚染が他の地域でも起きる可能性がある。そうした場合、今回の調査は先行事例の一つとして参考になりえるものと考えられる。著者らは、本調査の結果を本年4月の地元の説明会にて報告したところ、住民の間から「安心した」との声が聞かれ、健康に対する不安がある程度は軽減できたと考えている。しかし、今後、発生源対策によって生活用水の汚染をできるだけ防止すること、水源の汚染状況のモニタリングを継続していくこと、そして最終的には上水道の設置などによって安全な生活用水が確保できるようにすることが必要であると考え。

(受付 '99. 6.25)  
(採用 '99.11.25)

## 文 献

- 1) 長崎新聞記事 (1997年12月16日)。
- 2) 長崎新聞記事 (1998年2月19日)。
- 3) Clarkson TW, Hursh JB, Sagar PR, et al. Mercury. Clarkson TW, Friberg L, Nordberg GF, Sagar PR Eds. *Biological Monitoring of Toxic Metals*, New York and London: Plenum Press, 1988; 199-246.
- 4) World Health Organization. *Environmental Health Criteria 118 Inorganic Mercury*, Geneva: WHO, 1991.
- 5) Sakamoto M, Nakano A, Kinjyo Y, et al. Present mercury levels in red blood cells of nearby inhabitants about 30 years after the outbreak of Minamata Disease. *Ecotoxicol Environ Safety* 1991; 22: 58-66.
- 6) Suzuki T, Hongo T, Yoshinaga J, et al. The hair-organ relationship in mercury concentration in contemporary Japanese. *Arch Environ Health* 1993; 48: 221-229.
- 7) SAS Institute, Inc. SAS/STAT software: Changes and enhancements through Release 6.12. Cary, N. C. SAS Institute, Inc., 1997.
- 8) Matsuo N, Suzuki T, Akagi H. Mercury concentration in organs of contemporary Japanese. *Arch Environ Health* 1989; 44: 298-303.
- 9) Hongo T, Abe T, Ohtsuka R, et al. Urinary mercury monitoring of university staff and students occasionally exposed to mercury vapor. *Ind Health* 1994; 32: 17-27.
- 10) Buchet JP, Roels H, Bernard A, et al. Assessment of renal function of workers exposed to inorganic lead, cadmium or mercury vapor. *J Occup Med* 1980; 22: 741-750.
- 11) Langworth S, Elinder CG, Sundquist KG, et al. Renal and immunological effects of occupational exposure to inorganic mercury. *Br J Ind Med* 1992; 49: 394-401.
- 12) Cardenas A, Roels H, Bernard AM, et al. Markers of early renal changes induced by industrial pollutants. I Application to workers exposed to mercury vapor. *Br J Ind Med* 1993; 50: 17-27.
- 13) Piikivi L, Ruokonen A. Renal function and long-term low mercury vapor exposure. *Arch Environ Health* 1989; 44: 146-149.
- 14) Rosenman KD, Valciukas JA, Meyers BR, et al. Sensitive indicators of inorganic mercury toxicity. *Arch Environ Health* 1986; 41: 208-215.
- 15) Roels H, Gennart JP, Lauwarys R, et al. Surveillance of workers exposed to mercury vapour: Validation of a previously proposed biological threshold limit value for mercury concentration in urine. *Am J Ind Med* 1985; 7: 45-71.
- 16) Chapman LJ, Sauter SL, Henning RA, et al. Differences in frequency of finger tremor in otherwise asymptomatic mercury workers. *Br J Ind Med* 1990; 47: 838-843.
- 17) 廃棄物処理をめぐる今日の問題状況. 産業技術会議編. 1999年度版 産業と地球環境—地球環境危機と持続可能なシステムの構築—. 東京 1999; 4-14.

POTENTIAL EXPOSURE TO INORGANIC MERCURY  
IN PEOPLE LIVING NEAR A SEWAGE SLUDGE DUMPING SITE:  
URINARY EXCRETION OF MERCURY, SUBJECTIVE  
SYMPTOMS AND RENAL FUNCTION

Kokichi ARISAWA\*, Tatsuya TAKAHASHI\*, Atsuhiro NAKANO<sup>2\*</sup>, Xiao Jie LIU\*,  
Hiroshi SAITO\*, Yukio TAKIZAWA<sup>3\*</sup>, Takashi KOBAYASHI\*

**Key words:** Kidney function, Mercury pollution, Questionnaire survey, Urinary mercury, Waste disposal

**Objective** The purpose of this study was to evaluate the presence of exposure to inorganic mercury and its health effects among people living near a sewage sludge dumping site in Nagasaki Prefecture, Japan. In this area, sewage sludge and industrial waste have been dumped since 1975, and total mercury levels exceeding the water quality standards (0.0006–0.0020mg/l) have been detected in seeping water and river water since July 1997.

**Methods** The population for the present study comprised 48 subjects (aged 11–91 years) living near a sewage sludge dumping site and 49 subjects (aged 10–82 years) living in a non-polluted area. In November and December 1998, subjective symptoms of inorganic mercury exposure, history of occupational exposure to inorganic mercury, frequency of fish intake, sources of drinking water and other health habits were inquired by a self-administered questionnaire. Total mercury and total protein levels and N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase (NAG) activity in morning urine specimens were also measured.

**Results** Among males, the proportion of subjects who complained of tremor in the hands ( $P=0.02$ ) and increased irritability ( $P=0.10$ ) was higher in the polluted area than in the control area. In addition, the proportion of those who did not report being easily fatigued was lower in the polluted area than in the control area ( $P=0.07$ ). Among females there was no significant difference in the prevalence of self-reported symptoms related to the central nervous system disturbance between the two areas. After adjustment for gender and age using logistic regression analysis, the prevalence of increased irritability was significantly higher ( $P=0.05$ ) and the proportion of those who did not report being easily fatigued was significantly lower ( $P=0.03$ ) in the polluted area than in the control area. However, there was no significant difference in the geometric mean of urinary total mercury concentration ( $\mu\text{g/g creatinine}$ ) between the polluted area (0.66, 95% confidence interval [CI] 0.48–0.91 for men and 0.96, 95% CI 0.70–1.33 for women) and the control area (0.81, 95% CI 0.60–1.09 for men and 0.83, 95% CI 0.57–1.22 for women). There was no individual whose total mercury concentration in urine exceeded 30  $\mu\text{g/g creatinine}$ , at which level of urinary total mercury toxic effects on the central nervous system have been reported in industrial workers. There was also no significant difference in the geometric means of urinary total protein level and NAG activity.

**Conclusion** There was no evidence of excessive exposure to inorganic mercury among residents in the polluted area. Thus, we concluded that the difference in the prevalence of subjective symptoms was not due to the direct effect of exposure to inorganic mercury. To prevent the contamination of water by taking measures against pollution sources, monitoring of the quality of drinking water, and finally to secure safe water supply by public waterworks are required.

\* Department of Preventive Medicine and Health Promotion, Nagasaki University School of Medicine

<sup>2\*</sup> Department of Basic Medical Sciences, National Institute for Minamata Disease

<sup>3\*</sup> National Institute for Minamata Disease