

ニカラグア共和国

保健省

環境天然資源省

ニカラグア自治大学水資源研究センター

ニカラグア共和国
水銀調査・分析能力向上プロジェクト
事業完了報告書

平成 29 年 11 月
(2017 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

環境省 国立水俣病総合研究センター
株式会社テクノ中部

環境
JR
17-122

目 次

I. プロジェクトの基本情報	1
1. 国名	1
2. プロジェクト名	1
3. プロジェクト実施期間（計画および実績）	1
4. 背景	1
5. 上位目標およびプロジェクト目標	2
6. プロジェクト実施機関	2
II. プロジェクトの結果	3
1. プロジェクトの結果	3
1-1 日本側投入（計画および実績）	3
1-1-1 専門家	3
1-1-2 機材	3
1-1-3 本邦研修	4
1-2 ニカラグア国投入（計画および実績）	5
1-2-1 カウンターパート	5
1-2-2 環境水銀分析ラボの改修	6
1-2-3 執務室・会議室	6
1-2-4 プロジェクト運営費	6
1-2-5 調査用船舶	6
1-2-6 調査用車両	7
1-3 活動（計画および実績）	7
1-3-1 成果 1 に対する活動	7
1-3-1-1 活動 1-1 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀サンプリング・分析手法を習得する	7
(1) 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀サンプリング	7
ア. 水	7
イ. 毛髪	7
ウ. 魚	7
エ. 土壌、底質	7
(2) 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀分析手法	8
ア. 既存の分析機器（DMA-80、HG-3500V）の動作および精度の確認	8
a. CIRA/UNAN-Managua 保有の DMA-80	8
b. 保健省保有の DMA-80	8
c. HG-3500V	9

d. HG-201	9
イ. 湿式灰化－還元気化原子吸光光度法（循環－開放送気方式）（NIMD 法）による水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀分析手法の習得	9
ウ. 分析手順の改善	11
a. 塩化第一スズ溶液の作成法	11
b. 粉末試料、高含水底質試料等のメスフラスコへの導入	11
エ. CIRA/UNAN-Managua 所有の DMA-80 を用いた魚肉、底質、毛髪中の総水銀分析手法の習得	11
a. 魚肉および底質中の総水銀分析技術の評価	12
b. 毛髪中の総水銀分析技術の評価	13
c. DMA-80 の測定管理方法について	14
d. 保健省保有 DMA-80 を用いた魚肉、毛髪 底質中の総水銀分析手法の習得	15
1-3-1-2 活動 1-2 CIRA/UNAN-Managua の環境水中の総水銀分析値に係る信頼性を評価し、現状の総水銀分析手順における問題点を抽出し、改善する	18
(1) CIRA/UNAN-Managua の環境水中の総水銀分析値に係る信頼性の評価	18
ア. 総水銀の分析に使用しているガラス機器等の保管状況、試薬の品質および在庫量の確認	18
イ. 検量線の評価	19
(2) 総水銀分析手順における改善	20
ア. 検量線の改善	20
イ. 溶存態水銀国際認証標準物質（BCR-579）を用いた分析値の信頼性評価	21
ウ. DORM-2 を用いた溶存態総水銀分析における精度管理	22
エ. 検出下限値	23
オ. 同一湖水試料を用いた溶存態総水銀分析結果比較	23
カ. 添加回収試験	23
キ. 保健省のカウンターパートに対する水試料中の総水銀分析技術指導	24
1-3-1-3 活動 1-3 精度管理法を含めた水、底質、魚肉、毛髪中の総水銀分析マニュアルを作成する	25
1-3-1-4 活動 1-4 魚肉、毛髪中のメチル水銀サンプリング・分析手順を習得する	25
(1) 魚肉、毛髪中のメチル水銀サンプリング	25
(2) 魚肉、毛髪中のメチル水銀分析手順	25
ア. 魚肉	25
イ. 毛髪	26
1-3-1-5 活動 1-5 CIRA/UNAN-Managua の魚肉、毛髪中のメチル水銀分析値に係る信頼性を評価し、改善のための対策をする	26

(1) CIRA/UNAN-Managua が保有しているガスクロマトグラフの動作および精度の 確認.....	26
(2) ECD 装置の出力改善.....	27
ア. 放射線源への汚れの付着.....	28
イ. カラムの汚染.....	28
ウ. 6890N のメンテナンスの実施とその効果.....	28
(3) 毛髪中のメチル水銀分析値に係る信頼性評価.....	29
ア. 毛髪測定用実験器具および試薬の汚染.....	29
イ. 信頼性評価.....	29
(4) 魚肉中のメチル水銀分析値に係る信頼性評価.....	30
ア. 魚肉測定用実験器具および試薬の汚染.....	30
イ. 標準溶液の保存期間の短縮.....	30
ウ. 信頼性評価.....	30
1-3-1-6 活動 1-6 魚肉、毛髪中のメチル水銀分析マニュアルを作成する	31
1-3-2 成果 2 に対する活動.....	31
1-3-2-1 活動 2-1 調査エリアを設定する.....	31
1-3-2-2 活動 2-2 パイロット調査エリアにおける気象、水文、水利用、漁村、魚類、 漁獲量、魚の流通等の情報を収集する.....	33
(1) 気象、水門情報.....	33
ア. 地質.....	33
イ. 地図.....	33
ウ. 気象、水文情報.....	35
(2) 水利用.....	38
(3) 漁村、漁獲量.....	38
ア. 漁村.....	38
イ. 漁獲量.....	40
1-3-2-3 活動 2-3 調査エリアにおける総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質、魚肉） を策定する.....	41
(1) 総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）の策定。.....	41
ア. 第 2 次総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）の策定.....	44
イ. 第 3 次総水銀汚染概要調査計画（底質）の策定.....	44
ウ. 第 4 次総水銀汚染概要調査計画（底質）の策定.....	46
(2) 総水銀汚染概要調査計画（魚肉）の策定.....	47
1-3-2-4 活動 2-4 総水銀汚染概要調査（湖水、底質、魚肉）を実施する.....	47
(1) 湖水・底質調査結果.....	47

ア．調査日程	47
イ．調査結果	48
a. 湖水	48
b. 底質	53
(2) 魚	56
ア．試料調達実績	56
イ．調査結果	57
1-3-2-5 活動 2-5 住民を対象とした水銀曝露調査計画を策定する	57
1-3-2-6 活動 2-6 水銀曝露調査（毛髪）を実施する	57
(1) 調査概要	57
(2) メチル水銀曝露による住民の健康リスク評価	58
ア．解析対象データ	58
イ．試料数・濃度分布・平均濃度	58
ウ．健康状態との関係	61
エ．結論	64
1-3-2-7 活動 2-7 水銀曝露調査結果に基づき毛髪中の総水銀濃度が一定以上の試料についてメチル水銀濃度を測定する	64
1-3-2-8 活動 2-8 人体への危険を評価し、水銀汚染調査報告書を作成する	64
1-3-3 成果 3 に対する活動	64
1-3-3-1 活動 3-1 保健省、環境省及び CIRA/UNAN-Managua の担当者に対し、化学物質としての水銀の特徴、人体へのリスク、人体に影響を及ぼす仕組みに関する知識を伝える	64
1-3-3-2 活動 3-2 水資源・水産資源利用に係る関連法規及び体制を確認する	65
(1) 法規	65
(2) 体制	68
1-3-3-3 活動 3-3 他国における水銀による環境汚染防止に対する法規制等を収集し、解析する	69
1-3-3-4 活動 3-4 他国における水銀による健康影響の予防に関する情報を収集し解析する	69
1-3-3-5 活動 3-5 収集した情報に基づきニカラグアの現況を踏まえ、取組みの基本方針が提案される	74
(1) ニカラグア政府に対する取組みの検討方法	74
(2) 取組みの検討手順	74
(3) 取組み	74
2 プロジェクトの達成度	75
2-1 成果および指標	75

2-2 プロジェクト目標および指標	77
3. PDM 改定記録	77
4. その他	77
4-1 環境社会配慮	77
4-2 ジェンダー、平和構築、貧困	77
III. 合同評価結果.....	78
1. 妥当性	78
2. 有効性	78
3. 効率性	78
4. インパクト	78
IV. プロジェクト完了後の上位目標達成に向けて	80
1. 上位目標達成見込	80
2. 上位目標達成に向けたニカラグア国の活動計画表および実施体制	80

I. プロジェクトの基本情報

1. 国名

ニカラグア共和国

2. プロジェクト名

水銀調査・分析能力向上プロジェクト

3. プロジェクト実施期間（計画および実績）

計画：2015 年 10 月から 2017 年 9 月（2 年間）

実績：2015 年 10 月から 2017 年 9 月（2 年間）

4. 背景

ニカラグアは、首都マナグアに面するソロトラン湖（面積1,053 km²）、中米最大のコシボルカ湖（面積8,144 km²）を有する、水資源に恵まれた国である。同国の太平洋側地域における飲料水需要は年間4,199.41百万m³、供給能力は同4,266.35百万m³であり（国家水文計画／給水力年間計画2003）、この水の供給においても、両湖が重要な役割を担っている。

しかしながら、1967年から1992年までソロトラン湖の湖岸で操業していた苛性ソーダ工場からの廃水を通して約40トンの金属水銀及び無機水銀がソロトラン湖に流出したことが確認されているため、残留水銀による汚染が懸念されている。水俣病に代表されるとおり、水銀は最も有毒な汚染物質の一つであるため、水の供給源となり、住民の生活の場とも隣接する両湖の水銀汚染の顕在化は、同国にとって非常に憂慮される事態となる。

この状況に対し、ニカラグア自治大学水資源研究センター（Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/ Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua、以下CIRA/UNAN-Managua）が、2003 年から2007 年にかけて我が国の国立水俣病総合研究センター（National Institute for Minamata Disease、以下NIMD）の協力を受けて試験的な調査を実施したところ、ソロトラン湖底質中に、無機水銀から水俣病の発生原因となる有機水銀への移行が高濃度に確認された。またソロトラン湖周辺にはモモトンボ火山など幾つかの活火山があり、ここからも自然由来の水銀が環境中へ放出されている可能性も否定できない。そのため、速やかにソロトラン湖下流域の汚染状況の全容を把握する必要がある。

こうした状況下、JICAは2014年にソロトラン湖下流域における適切な水質管理のための課題を明らかにすることを目的に、「ニカラグア国水質保全に係る情報収集・確認調査」を実施し、現状把握と課題分析を行った。

ニカラグア政府は、2014 年 8 月、水銀分析の信頼性向上とソロトラン湖下流域において懸念される水銀汚染状況の把握、およびモニタリングの実施体制整備にかかる支援を目的とした技術協力プロジェクト「水銀汚染モニタリング能力向上プロジェクト」をわが国政府に要請した（その後、詳細計画策定調査にて案件名称は「水銀調査・分析能力向上プロジェクト」に変更、以下、本プロジェクト）。この要請は日本政府により採択され、JICA は 2015 年 4 月、詳細計画作成調査団を派遣し、先方政府と協力の枠組みについて協議し、2015 年 7 月合意文書を締結した。

5. 上位目標およびプロジェクト目標

上位目標： ソロトラン湖（マナグア湖）及びコシボルカ湖のティピタパ川河口域において水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源利用がなされる。

プロジェクト目標： 水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源の利用及び管理に向けた取り組みの基本方が明らかになる。

6. プロジェクト実施機関

- ニカラグア自治大学水資源研究所（CIRA/UNAN-Managua）
- 保健省
- 環境天然資源省

II. プロジェクトの結果

1. プロジェクトの結果

1-1 日本側投入（計画および実績）

1-1-1 専門家

水銀分析、水銀汚染管理、水銀暴露リスク、水質調査計画、水質管理分野の専門家 4 名がワークプランに基づきニカラグア国において活動を行った。ワークプランにおける現地派遣時期および派遣期間および実績を図 1 に示し、専門家個々の派遣時期の詳細を添付資料 1 に示す。

	年 月	2015			2016												2017								
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
プロジェクト実施期間	計画																								
	実績																								
松山 明人 (総括/水銀分析/水銀汚染管理)	計画																								
	実績																								
蜂谷 紀之 (水銀暴露リスク)	計画																								
	実績																								
原口 浩一 (水銀分析)	計画																								
	実績																								
水野 輝海 (水質調査計画/水質管理)	計画																								
	実績																								

図 1 専門家の派遣計画および派遣実績

1-1-2 機材

現地調達機材および本邦調達機材は、それぞれ 2016 年 1 月、2016 年 5 月に CIRA/UNAN-Managua に搬入され、組み立ておよび動作確認が行われた後、2016 年 6 月 28 日に全ての機材の引き渡し完了した。機材の詳細は、添付資料 2 参照。



ドラフトチャンバー



超低温冷凍庫



HG-201

1-1-3 本邦研修

人体の毛髪および魚肉中に含まれるメチル水銀の分析能力向上を目的として、NIMD において 3 名の CIRA/UNAN-Managua 所属のカウンターパート（ベルタ・フィエーロ、ハビエラ・メンデス、レオナル・モラレス）に対し 2016 年 4 月 5 日～4 月 20 日まで研修を実施した。

なお、当初研修実施予定期間は 2016 年 4 月 5 日～5 月 10 日であったが、4 月 14 日に発生した熊本地震により研修員の安全確保のため 4 月 20 日に終了した。このため、当初計画した毛髪および魚肉中に含まれるメチル水銀の分析手順の習得の内、実施できたのは、毛髪中のメチル水銀分析手順だけとなった。当初目標とした研修成果と実際の成果を表 1 に示す。また、研修計画および実績は、添付資料 3 参照。

表 1 当初目標とした成果と実績

当初目標とした成果	実績
1. 毛髪に含まれるメチル水銀の分析方法の化学的根拠が理解される。	● 毛髪中のメチル水銀分析を実験室内で実施し、分析方法の化学的根拠について説明した。
2. 魚の筋肉可食部中に含まれるメチル水銀の分析方法の化学的根拠が理解される。	● 未実施
3. ECD-GC の測定原理及び分離カラム特性が理解される。	● ECD-GC の測定原理とカラム分離特性について講義した。
4. 電子捕獲検出器 (ECD) の機械的構造が理解されると共にメンテナンス技術が習得される。	● NIMD が所有する ECD 本体を一部解体し、構造を説明した。 ● 維持管理に重要なポイントについても説明した。
5. 毛髪および魚肉について、試薬調整等を含め、1 人で分析が出来る。	● 研修員各自が毛髪のメチル水銀標準試料 (NIES CRM No. 13) を用いてメチル水銀を分析した結果、1 名を除き分析値が認証値内に入った。

なお、実施できなかった成果 2「魚の筋肉可食部中に含まれるメチル水銀の分析方法の化学的根拠が理解される」は、現地活動期間中に行なった。また、帰国後、2016 年 5 月 25 日に CIRA/UNAN-Managua において研修員による研修報告が行われた。



本邦研修



帰国報告会

1-2 ニカラグア国投入（計画および実績）

1-2-1 カウンターパート

プロジェクト開始時点で13名のカウンターパートが配置されたが、1名が異動により変更となった。カウンターパートの所属、氏名および変更履歴を表2に示す。

表2 カウンターパートリスト

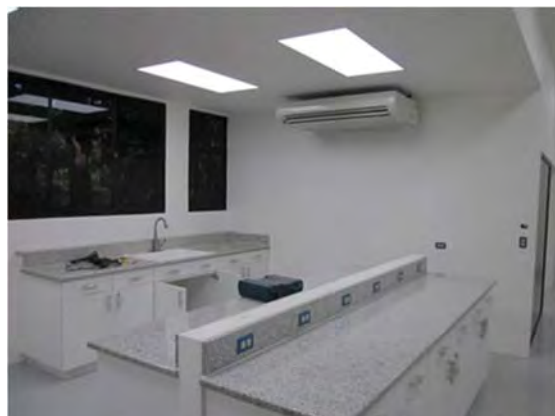
所 属	氏 名	備 考
保健省		
環境健康部	ルス マリーナ ロサーノ シャバリラ (Luz Marina Lozano Chavarria)	
	マリッツァ デル ソコロ オバンド サラサル (Maritza del Socorro Obando Salazar)	
健康管理部	ジャクリーン ベロテラン メヒア (Jackeline Berroterán Mejía)	
国家診断・標準 センター	ミリアム クリスチーナ ロマリバ チャモロ (Miriam Cristina Somarriba Chamorro)	
	フアン アントニオ エルナンデス ロペス (Juan Antonio Hernández López)	
	エリアス モイセス ウマーニャ アブルート (Eliás Moisés Umaña Aburto)	
環境天然資源省		
化学安全部	マリア ガブリエラ アバルカ マルチネス (María Gabriela Abarca Martínez)	
	アニバル アントニオ ゴンザレス スニガ (Aníbal Antonio González Zúñiga)	
CIRA/UNAN-Managua		
環境水銀研究室	フランシスコ ホセ ピカード パボン (Francisco José Picado Pavón)	
	ベルタ アマリナ フィエーロ コレア (Bertha Amalia Fierro Correa)	
	レオナール アントニオ モラレス フローレス (Leonard Antonio Morales Flores)	
	ハビエラ デ ヘスス メンデス ドーニャ (Xaviera de Jesús Méndez Doña)	
研究開発部	ヘイディー ロレダーナ カルデロン パルマ (Heyddy Loredana Calderón Palma)	2016年12月カウンターパートから除外

1-2-2 環境水銀分析ラボの改修

CIRA/UNAN-Managua の環境水銀分析ラボが改修された。



改修前の環境水銀分析ラボ



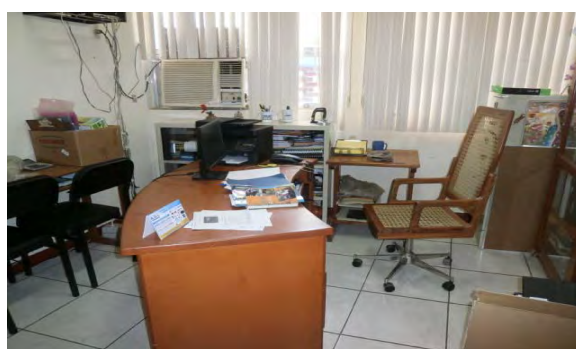
改修後の環境水銀分析ラボ

1-2-3 執務室・会議室

CIRA/UNAN-Managua および保健省内に専門家執務室が提供され、必要に応じて会議室も提供された。



CIRA/UNAN-Managua 内の専門家執務室



保健省内の専門家執務室

1-2-4 プロジェクト運営費

カウンターパート機関はカウンターパートの人件費を負担し、CIRA/UNAN-Managua は、水銀分析技術指導に必要な試薬、分析室の電気、水道料金、魚肉中の総水銀分析用の試料調達費を負担した。

1-2-5 調査用船舶

CIRA/UNAN-Managua は、総水銀汚染概要調査に必要な調査用船舶を提供した。



CIRA/UNAN-Managua 保有の調査用船舶

1-2-6 調査用車両

CIRA/UNAN-Managua および保健省は、専門家の活動に必要な車両を提供した。

1-3 活動（計画および実績）

1-3-1 成果 1 に対する活動

1-3-1-1 活動 1-1 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀サンプリング・分析手法を習得する

(1) 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀サンプリング

ア. 水

バンドーン式採水器、ベラー式採水器を見せながら説明した。実際の採水時における各部の役割と構造について説明し、維持管理方法についても説明した。

イ. 毛髪

今回のトレーニングに参加した 6 名（フランシスコ環境水銀研究室室長、フィエーロ研究員、メンデス研究員、モラレス研究員（以上 4 名は CIRA/UNAN-Managua 所属）、エルマンデス技師（保健省所属）、ウマーニャ技師（保健省所属））の参加者同士で毛髪を採取させた。採取された毛髪を 25ml 容のバイアル瓶に移し、解剖用の細切はさみを用いて細切させた。

ウ. 魚

実際の魚を用いて、試料の取り方を実演し、試料の採取の仕方について詳しく説明した。魚試料の水銀濃度評価方法については、乾燥試料あたりの評価ではなく湿潤試料で評価することも合わせて説明した。

エ. 土壌、底質

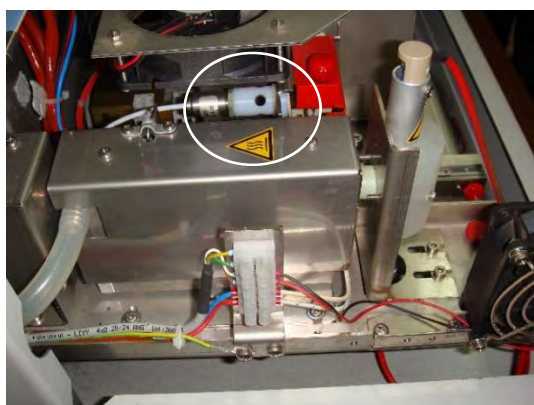
打ち込み型（重力式）底質採取装置を用意し、具体的に見せて説明した。実際の採水時における各部の役割と構造について説明し、維持管理方法についても説明した。

(2) 水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀分析手法

ア. 既存の分析機器（DMA-80、HG-3500V）の動作および精度の確認

a. CIRA/UNAN-Managua 保有の DMA-80

CIRA/UNAN-Managua の DMA-80 は、2008 年 2 月に導入され、導入後 8 年を超えていることから、2015 年 11 月に稼働状況を確認したところ動作が不安定となっていた。その原因を追究した結果、内部のアマルガメーターの劣化による可能性が大きいと判ったので、カウンターパートに対し、新品と交換するように進言した。その後、機械動作、感度ともに安定していたのでアマルガメーターを交換せずに使用していたが、2016 年 10 月に故障した温度センサーを 2017 年 2 月に交換した際にアマルガメーターも交換した。



温度センサー



アマルガメーター（ケースの内部）

DMA-80 のメーカーから提供されているマニュアルは、内容的にはあまり詳細ではなく、メンテナンス法についても記載されているが、高温加熱による汚染除去法のみが記載されるにとどまっている。

b. 保健省保有の DMA-80

保健省保有の DMA-80 は、2014 年 2 月に導入されており、2015 年 12 月に状態を確認した。この DMA-80 は CIRA/UNAN-Managua 所有の物に比べ新しく燃焼効率を向上させるための酸素発生装置が装備されており、通常の構成では必要となる酸素タンクを必要としない。本装置を用いて、試験的に国際認証標準物質である DORM-2（認証値 $4.64 \pm 0.26\text{ppm}$ ）を 3 回繰り返して分析したところ、分析値は、5.8、5.8、4.9ppm となり、1 回のみ認証値内に入った。



CIRA/UNAN-Managua 保有 DMA-80



保健省保有 DMA-80

c. HG-3500V

HG-3500V 型総水銀分析計は、2006 年 1 月に NIMD が供与した機材であり、プロジェクト開始当初、問題なく作動していたが、2016 年 5 月に経年劣化によるガス循環用ポンプの不具合が見つかった。このガス循環用ポンプは、既に生産中止となっていることから、以後 HG-3500V は使用しないこととした。



HG-3500V

d. HG-201

2016 年 5 月、供与機材として、HG-201 型セミオート総水銀分析計が導入された。本分析計は、HG-3500V 型総水銀分析計に比べコンパクトであり感度も高く、塩化第二スズ溶液が自動的に反応容器内に添加されることが特徴である。

HG-201 のガラス製四方コックは、密閉性が高く円滑に回転しないことがあるため、四方コックの表面にグリセリンを塗布し滑りやすくした。また、本装置使用後に当該コックをそのままにしておくと本装置で用いる水酸化ナトリウムにより、コックのガラス表面が溶け、接触しているガラス製の受け側と固まってしまう恐れがあるため、使用後は必ず四方コックの受け側と挿入側（四方コック）の間に紙をはさみガラスが直接接触しないよう指導した。



HG-201



四方コック

イ. 湿式灰化－還元気化原子吸光光度法（循環－開放送気方式）（NIMD 法）による水、魚肉、毛髪、底質中の総水銀分析手法の習得

2015 年 10 月から 11 月にかけて NIMD 法による総水銀分析手法の研修を行った。分析手法に加え、CIRA/UNAN-Managua の環境水銀研究室内に設置されている HG-3500V 型総水銀分析計の内部構造に

についても詳細に説明した。本体にセットされている感度調整ダイヤルおよびアナログレコーダの感度調整ダイヤルとの関係について説明した。更に、本体の感度調整ダイヤルだけでなく、本体内部にセットされているスリット調整ダイヤルの構造とその効果についても説明した。また、実際に本体のカバーを取り外し、内部の反応セルを見せて、その構造と問題点ならびにセルが汚染した時の洗浄方法等についても説明した。

国際認証標準物質として DORM-2（魚肉）、BCR-580（底質）および NIES CRM No. 13（毛髪）の分析結果を表 3 および表 4 に示す。なお、分析操作は、フィエーロ研究員、メンデス研究員、モラレス研究員の 3 研究員が個別に行った。分析手法を習得したかどうかは、各国際認証標準物質を連続 2 回分析し、分析値がそれぞれの認証値の範囲内であった場合に習得しと判断した。

表 3 はモラレス研究員の分析結果であるが、他 2 名も各自の総水銀分析値が認証値内に入っていた。

表 3 DORM-2 および BCR-580 の総水銀分析値（HG-3500V 型）

単位：ppm

認証物質	1 回目	2 回目	認証値
DORM-2	4.52	4.53	4.64 ± 0.26
BCR-580	130.57	129.83	132 ± 3

表 4 NIES CRM No. 13 の総水銀分析値（HG-201 型）

単位 ppm

分析者	1 回目	2 回目	認証値
フィエーロ研究員	4.24	4.26	4.42 ± 0.20
メンデス研究員	4.27	4.28	
モラレス研究員	4.34	4.51	

底質の国際認証標準物質である BCR-580 の総水銀濃度の認証値は、132 ± 3ppm であるが、2007 年から 2008 年にかけて上下水道公社の委託により CIRA/UNAN-Managua が実施したソロトラン湖の水質調査（CONTRATO DE CONSULTORÍA PARA LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE MANAGUA（LXR 006-2006））における底質中の最も高い総水銀濃度は、2.36ppm であり、BCR-580 の総水銀濃度の値よりかなり低いため、環境中の総水銀濃度に近い底質の国際認証標準物質 IAEA-158（認証値 0.132 ± 0.014ppm）を用いた分析技術の評価も行った。フィエーロ研究員、モラレス研究員の分析結果を表 5 に示す。

表 5 IAEA-158 中に含まれる総水銀濃度分析結果（HG-201 型）

単位：ppm

	1 回目	2 回目	認証値
メンデス研究員	0.139	0.128	0.132 ± 0.014
フィエーロ研究員	0.140	0.145	
モラレス研究員	0.142	0.143	

CIRA/UNAN-Managua のカウンターパート全員の分析値が認証値の範囲に収まっており、総水銀濃度が 0.1ppm 程度の底質試料の分析技術も習得できたと判断した。

以上の結果、CIRA/UNAN-Managua のカウンターパート全員が NIMD 法による魚肉および毛髪中の総水銀分析手法を習得したと考える。

なお、水試料中の総水銀分析手順の習得については、1-3-1-2 項の「活動 1-2 CIRA/UNAN-Managua の環境水中の総水銀分析値に係る信頼性を評価し、現状の総水銀分析手順における問題点を抽出し、改善する」に記載する。

ウ. 分析手順の改善

a. 塩化第一スズ溶液の作成法

本溶液を通常調製する場合、塩酸溶液中に塩化第 1 スズの所定量を溶解させ、窒素ガスを用いて 30 分以上通気し、試薬に含まれる元素状水銀を除去することが重要である。しかし、現状の CIRA/UNAN-Managua の水銀環境研究室には窒素の通気設備が用意されていないことから、窒素の代わりに空気を用いて通気することを提案した。空気は HG-3500V および HG-201 装置の最終段で過マンガン酸カリウム溶液によって洗浄された装置内循環空気を用いることとした。これにより、窒素ガスを用いなくても、十分に試薬を調製することが可能となった。

b. 粉末試料、高含水底質試料等のメスフラスコへの導入

粉末試料や高含水底質試料を NIMD 法により分解処理する場合、通常、試料の秤量は、分解容器として用いる 50ml 容メスフラスコを天秤に乗せ、初期重量をゼロとし、試料を直接メスフラスコに入れて行う。この場合、メスフラスコ内側に付着した試料が、十分分解されず誤差の原因となる。

これを改善するため、薬包紙 1 枚を 4 つ切りにした各小シート 1 枚を天秤に乗せて初期重量をゼロとし、この上に試料を正確に秤量する。秤量後は試料をシートでくるみ、そのままメスフラスコ内へ投入し通常の強酸による分解操作を行うと誤差をなくすることができる事を指導した。

また、薬包紙が入手できなければオブラート（でんぷん紙）を用いてもよいことを教えた。



従来の秤量方法



改善後の秤量方法



改善前と改善後の試料

エ. CIRA/UNAN-Managua 所有の DMA-80 を用いた魚肉、底質、毛髪中の総水銀分析手法の習得

CIRA/UNAN-Managua および保健省のカウンターパートとも DMA-80 の操作方法は装置導入時にメーカー代理店の技術者から指導を受けていたので、技術指導においては、魚肉および毛髪の国際

認証標準物質を用いた総水銀分析技術の評価および DMA-80 の日常の維持管理方法の習得とした。

a. 魚肉および底質中の総水銀分析技術の評価

DMA-80 を用いた場合の分析結果について以下に示す。国際認証標準物質としては、DORM-2 および BCR-580 を用いて評価した。以下表 6 にその結果を示す。計算は水分含有量 5%として計算している。

なお、この時の分析操作は、保健省より参加しているエルマンデス技師およびウマーニャ技師が個別に行ったもので、表 6 の分析結果はウマーニャ技師の分析結果である。CIRA/UNAN-Managua 所有の DMA-80 ではあるが、国際認証標準物質について十分な分析結果を示した。本結果より上記の両名は、DMA-80 における総水銀分析手法を習得したと判断した。また CIRA/UNAN-Managua から参加している他 3 名も、本機の操作および分析手法については十分に習熟しており、国際認証標準物質に対しても上記と同様に十分満足できる分析結果を得ていることから、DMA-80 を用いた総水銀分析についても問題はないと考える。

表 6 DORM-2 および BCR-580 の総水銀分析値 (DMA-80)

単位：ppm

認証物質	1 回目	2 回目	認証値
DORM-2	4.62	4.34	4.64±0.26
BCR-580	128.81	131	132±3

また、実際の魚肉中の総水銀分析において DORM-2 を同時に分析することによって分析値の確認を行うようにした。表 7 に魚肉中の総水銀分析時に同時に分析された DORM-2 の分析結果を示す。

表 7 DORM-2 の分析値 (DMA-80)

単位：ppm

日付	2016/5/16	2016/5/18	2016/5/23	2016/6/1	2016/6/6	2016/6/11
分析値	4.77	4.79	4.75	4.81	4.72	4.77

更に、無作為に抽出した魚 10 試料について CIRA/UNAN-Managua および NIMD との間で総水銀分析結果を比較した結果、図 2 に示すとおり相関係数 ($r=$) 0.982 が得られ、双方の研究室における総水銀分析結果には高い相関性があることがわかった。

なお、CIRA/UNAN-Managua においては DMA-80 による分析が行われ、NIMD では HG-201 型総水銀分析計を用いた NIMD 法により分析が行われた。

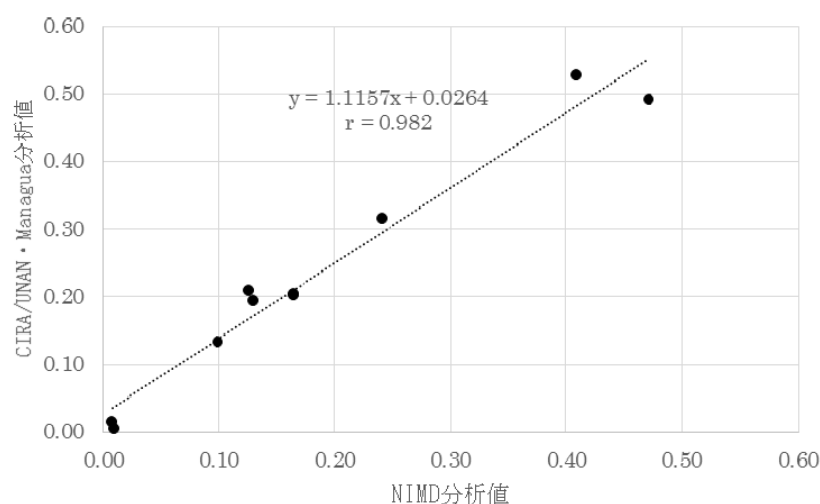


図2 魚試料中における総水銀濃度分析値の比較

以上の結果より、魚肉中の総水銀分析手順は習得されたと判断された。

b. 毛髪中の総水銀分析技術の評価

2016年6月に毛髪の国際認証標準物質である NIES CRM No. 13 を用い、CIRA/UNAN-Managua 所有の DMA-80 による総水銀分析値を確認した。分析は日を変えて3回行われ、各回2試料が分析された。分析はモラレス研究員が行った。その結果を表8に示す。本結果より全ての分析データが認証値内に収まっていた。

表8 DMA-80 による NIES No. 13 の総水銀分析結果

単位:ppm

	NIES CRM No. 13		平均	認証値
1回目	4.48	4.32	4.40	4.42±0.20
2回目	4.26	4.53	4.39	
3回目	4.54	4.42	4.48	

また、無作為に抽出した毛髪10試料をについて CIRA/UNAN-Managua および NIMD との間で、総水銀分析結果を比較した結果、結果を図3に示すとおり相関係数 ($r=$) 0.990 が得られ、双方の研究室における総水銀分析結果には高い相関性があることがわかった。

なお、CIRA/UNAN-Managua においては DMA-80 による分析が行われ、NIMD では日本インスツルメント社製の MA-3000 型総水銀分析計を用いて分析が行われた。

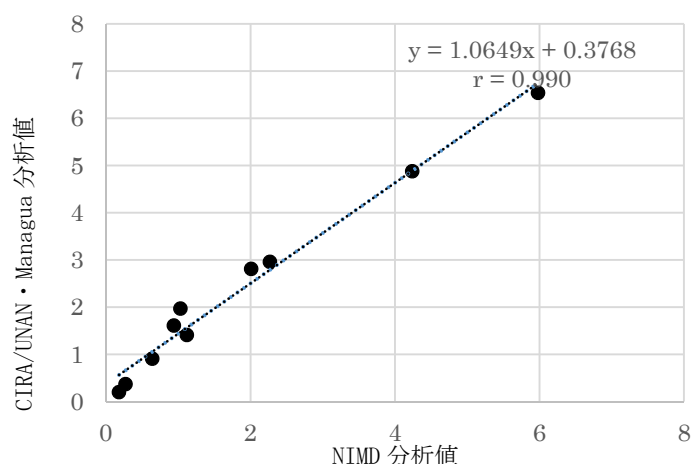


図3 毛髪試料中の総水銀分析値の比較

更に、CIRA/UNAN-ManaguaにおいてDMA-80を用いて毛髪中の総水銀を分析する場合、NIES CRM No. 13 も同時に分析し、分析値の精度管理を行っている。表9にメチル水銀曝露調査において採取された毛髪試料の分析時に同時に分析されたNIES CRM No. 13の分析結果を示す。

表9 メチル水銀曝露調査において採取された毛髪試料と同時に分析されたNIES CRM No. 13の総水銀値

単位：ppm

日付	2016年				平均値	認証値
	8月2日	8月3日	8月4日	8月5日		
分析値	4.22	4.25	4.43	4.27	4.29	4.42±0.20

以上の結果から、メチル水銀曝露調査において採取された毛髪試料中の総水銀濃度の信頼性が高いことが確認された。

c. DMA-80の測定管理方法について

DMA-80はイタリア製の総水銀分析専用の装置で、その性能は高く評価されており世界中で実績がある。本装置の特徴は、化学分解や試薬による試料の前処理が不要で試料をそのまま測定することができ、高濃度水銀から低濃度水銀まで幅広く対応可能で、高濃度検量線、低濃度検量線の2種類を必ず同時に作成し保存するようになっている。実際には専用インテグレータ内部で各試料の水銀濃度にあわせて自動的に検量線が選択され計算される仕組みとなっている。

一方、高濃度水銀によって内部が汚染されるとベースラインが不安定となり、安定化するまで時間を要する。2016年6月に高濃度の水銀を含む底質を測定した結果、本体内部およびニッケルボートが汚染された。図4に汚染されてから安定になるまでの水銀濃度の経時変化を示す。

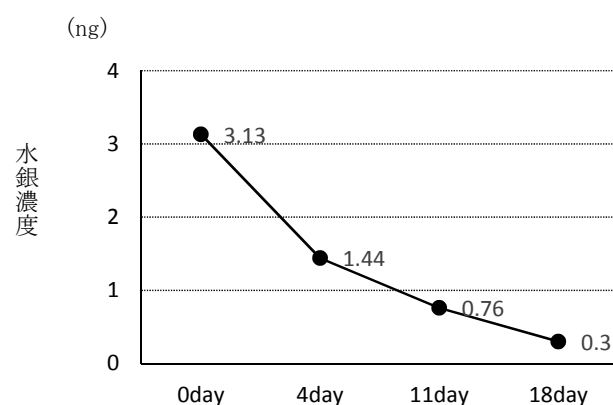


図4 DMA-80のブランク値が安定化するまでの経時変化

上図よりブランク値が安定するまで、今回のケースではおよそ3週間弱の日数を要した。今後測定が予定されている試料は魚筋肉可食部及び毛髪であるので、どちらも総水銀濃度 ppm のレベルであると予想される。従って、ブランク値が0近くにまで下がらなくても装置がほぼ安定化した状態、即ち、空焼きの状態で概ね0.5ngを下回れば、仮に0.1gの魚肉中に0.5ngの誤差(0.005ppm)があっても、分析精度上大きな問題とはならない。従って、本図より、CIRA/UNAN-Managuaに設置されているDMA-80による測定管理基準ブランク値を暫定的に0.5ngに設定した。また本結果をスペイン語のガイドラインにまとめた。ただし、総水銀濃度が0.01ppm(10ppb)以下の試料を分析する場合、ブランク値を0.1ng以下にするよう指導した。

d. 保健省保有DMA-80を用いた魚肉、毛髪 底質中の総水銀分析手法の習得

2016年11月に魚肉、毛髪 底質の国際認証標準物質を用いて、保健省が所有しているDMA-80による総水銀分析値の精度評価を行った。DMA-80の操作は、保健省のエルマンデス技師およびウマーニャ技師が行った。分析結果を表10に示す。魚肉、毛髪 底質の国際認証標準物質は、それぞれDORM-4(認証値 0.410 ± 0.055 ppm)、NIES CRM No. 13(認証値 4.42 ± 0.20 ppm)、IAEA-158(認証値 0.132 ± 0.014 ppm)。

表10 保健省所有のDMA-80を用いた国際認証標準物質の分析値

単位:ppm

分析回数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均値	標準偏差	認証値
国際認証物質	DORM-4 (魚肉)	0.41	0.4	0.41	0.44	0.43	0.54					0.44	0.05	0.410 ± 0.055
	NIES CRM No. 13 (毛髪)	4.22	4.66	4.95	4.26	5.09	4.95	5.02	4.79	5.18	5.2	4.83	0.35	4.42 ± 0.20
	IAEA- 158 (底質)	0.18	0.18	0.15	0.15	0.18	0.16	0.15				0.16	0.02	0.132 ± 0.014

この結果より、魚肉を除く毛髪および底質の国際認証標準物質が認証値の範囲内に入っていないことが明らかとなった。DMA-80 が加熱分解による水銀測定装置である事を考慮すると、原因として以下に示す 4 項目の可能性が考えられた。

- 検量線の精度
- 天秤の精度
- 測定後の残留水銀による分析装置内の汚染
- DMA-80 で測定する試料の量

検量線は、異なる濃度の水銀溶液を用いて作成されるため、水銀溶液の濃度の正確さが検量線の精度に影響する。従って、保健省のカウンターパートが作成した検量線の精度は、保健省のカウンターパートが調製した水銀溶液の濃度の正確さを求めることで評価した。具体的には、CIRA/UNAN-Managua のカウンターパートによって調製された正確な濃度の水銀溶液と保健省のカウンターパートが調製した同じ濃度の水銀溶液を保健省所有の DMA-80 で測定し、その吸光度を比較した。

保健省所有の DMA-80 は、3 個の吸光セル（低濃度（0.5 - 10 ng）、中濃度（10 - 20ng）、高濃度（20 - 1500 ng））を有しており、各吸光セルに応じた測定濃度範囲に対応した検量線を作成することが必要であるため、3 種類の検量線の評価が必要となる。

吸光度の比較は、保健省のカウンターパートによって作成された数本ある検量線の中で、比較的精度が高いと判断された検量線（2016 年 3 月作成）の作成に用いられた 10 種類の濃度の水銀溶液と CIRA/UNAN-Managua のカウンターパートによって調製された同じ濃度の水銀溶液で行った。各濃度における吸光度を表 11 に示す。

表 11 吸光度比較

水銀重量 (ng)	低濃度吸光セル		中濃度吸光セル		高濃度吸光セル	
	保健省調製 水銀溶液	CIRA/UNAN- Managua 調製 水銀溶液	保健省調製 水銀溶液	CIRA/UNAN- Managua 調製 水銀溶液	保健省調製 水銀溶液	CIRA/UNAN- Managua 調製 水銀溶液
0.5	0.07	0.07				
1	0.15	0.16				
2	0.32	0.30				
5	0.73	0.66	0.30	0.30		
10			0.51	0.50		
20				0.83		
50					0.04	0.04
100					0.08	0.08
200					0.15	0.14
500					0.37	0.31

吸光度を比較した結果、保健省および CIRA/UNAN-Managua のカウンターパートによって調製された水銀溶液の吸光度に顕著な差異はなかったことから、DMA-80 本体の安定性および保健省のカウンターパートによって調製された水銀溶液から求められた検量線の精度に問題はないと判断した。

DMA-80 用として通常使用している天秤の精度については、マイクロピペット ($20\mu\text{L}$ から $200\mu\text{L}$ の可変型) で採取した $50\mu\text{L}$ (0.5g) および $100\mu\text{L}$ (0.1g) の水の重量を測定したところ、測定結果は、それぞれ $0.0497\pm0.0002\text{g}$ 、 $0.0995\pm0.0005\text{g}$ であり、十分な秤量精度を有していると判断された。

測定後の残留水銀による分析装置内の汚染については、サンプルボートに試料を乗せない状態で測定前後の吸光度の値を複数回比較した結果、値には大きな差はなく、吸光度も $0.005\sim0.008$ と低い値で安定していたことから、分析装置内部は水銀で汚染されていないと判断した。

一般的に検量線を用いて分析値を求める場合、分析に用いる試料の量は、求める物質の量が検量線の信頼性の高い中央付近の値であることが望ましい。従って、DMA-80 で測定する場合、試料の適正な量は、試料に含まれる水銀の量が各検量線の中央の値の付近になるよう試料の量を決定することが必要であるが、保健省のカウンターパートは、分析試料中の水銀量に関係なく、約 10mg の試料を DMA-80 で分析していた。保健省のカウンターパートが各吸光セルの検量線作成に用いた水銀溶液の範囲および各国際認証標準物質 10mg 中に含まれる水銀量を表 12 に示す。

表 12 DMA-80 の各吸光セルの検量線の範囲および国際認証標準物質 10mg 中に含まれる水銀量
単位：ng

吸光セル		検量線の 濃度範囲	国際認証物質 10mg 中の水銀量（理論値）		
種 類	測定可能範囲		IAEA-158 （底質）	DORM-4 （魚肉）	NIES CRM No. 13 （毛髪）
低濃度	0.5 - 10	0 - 5	1.32	4.1	44.2
中濃度	10 - 20	0 - 10			
高濃度	20 - 1500	20 - 500			

この表から、魚肉の国際認証標準物質 10mg 中には理論上 4.1ng の水銀が含まれている（実際には 10% 以下の水分が含まれているため、更に水銀絶対量は少なくなる）。この水銀量で用いられる検量線は低濃度吸光セルのものであり、検量線の中央部付近の値であることから信頼性のある結果が得られているが、毛髪および底質 10mg 中の水銀量はそれぞれ、 44.2ng 、 1.32ng であり、低濃度吸光セルおよび高濃度吸光セルに適用される各検量線の低濃度側の端部であるため、信頼性の低い値となったと思われる。

そこで、試料中に含まれる水銀量が適用される検量線の中央部に近くなるよう試料の採取量を算出し、分析したところ、全ての分析値が認証値の範囲内にはいった。表 13 に試料量の相違による水銀分析値の違いを示す。

表 13 試料量の相違による水銀分析値の違い

国際認証標準物質		試料採取量					認証値 (ppm)
		10mg	20mg	30mg	40mg	50mg	
NIES CRM No. 13 (毛髪)	分析値 (ppm)			4.43	4.22	4.22	4.42±0.20
	水銀量理論値 (ng)			132.6	176.8	221	
IAEA-158 (底質)	分析値 (ppm)	0.218	0.133	0.126	0.139		0.132±
	水銀量理論値 (ng)	1.32	2.64	3.96	5.22		0.014

濃度が未知の試料の場合、1 試料に対し試料量を一定量とその半分の量の 2 種類とすることで、最終的に双方の分析結果がほぼ同じ数値を示せば、その値を採用できる。これが大きくずれるようであれば、試料量を変更し再分析する。

1-3-1-2 活動 1-2 CIRA/UNAN-Managua の環境水中の総水銀分析値に係る信頼性を評価し、現状の総水銀分析手順における問題点を抽出し、改善する

(1) CIRA/UNAN-Managua の環境水中の総水銀分析値に係る信頼性の評価

ア. 総水銀の分析に使用しているガラス機器等の保管状況、試薬の品質および在庫量の確認

CIRA/UNAN-Managua の環境水銀研究室は表 14 に示すガラス器具を保有しており、それらのガラス器具は、研究室内に保管されている。

表 14 保有ガラス器具

ガラス器具名称	保有量 (個、本)	ガラス器具名称	保有量 (個、本)
2L 分液ロート	10	メスフラスコ 1000ml	6
100ml 分液ロート	5	5ml メスピペット	20
50ml ビーカ	12	10ml メスピペット	25
100ml ビーカ	3	2ml メスピペット	20
250ml ビーカ	15	10ml ホールピペット	20
600ml ビーカ	3	9ml ホールピペット	6
1L ビーカ	3	20ml ホールピペット	5
コルベン 250ml	5	10ml スピッツ	50
共栓メスシリンダー250ml	3	10ml 丸底スピッツ	20
メスシリンダー50ml	6	50ml 遠沈管	50
メスシリンダー200ml	7	リビュウレット 5ml	2
メスフラスコ 250ml	3	リビュウレット 10ml	1
メスフラスコ 200ml	3	水サンプル用保存ビン 2L	60
メスフラスコ 500ml	10	その他 試薬ビン等	多数
メスフラスコ 50ml	70		

また、2015 年 12 月現在、CIRA/UNAN-Managua の環境水銀研究室は、表 15 に示す試薬を有していた。

表 15 保有試薬量

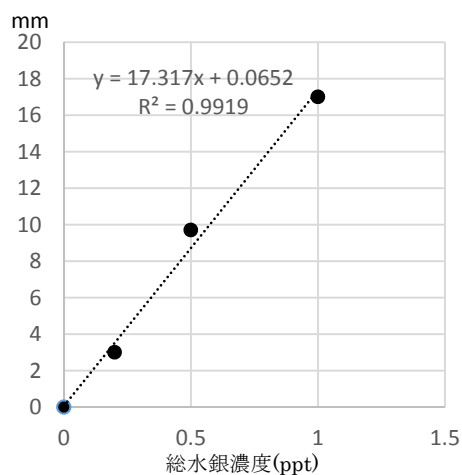
試薬名称	保管量	試薬名称	保管量
高純度 塩酸	3.5L	EDTA	0.8kg
高純度 硝酸	2.5L	高純度 塩酸ヒドロキシルアミン	1.0kg
高純度 硫酸	2.5L	高純度 塩化第 1 スズ	0.8kg
高純度 過塩素酸	2.5L	高純度 トルエン	4L
高純度 水酸化ナトリウム	1.5kg	ジチゾン	0.5kg

試薬のほぼ全てはメルク社製で統一されており品質面における問題はなかった。劣化の早い試薬は、低温フリーザー内に保管され、その他の試薬については研究室内に遮光保存されており保管上の問題もなかった。

イ. 検量線の評価

水試料中の溶存態総水銀を正確に測定するためには、安定かつ正しい検量線を毎回確実に作成しなければならない。これまでの水銀分析に関する主たる担当者であったフィエーロ研究員、メンデス研究員に NIMD 法を用いて別々の日に個々に検量線を作成したところ、図 5 に示す結果を得た。水銀濃度は一般的な湖沼や海域等の溶存態総水銀濃度を想定し、ブランク、0.2 ppt、0.5 ppt、1.0 ppt とした。

メンデス研究員の検量線



フィエーロ研究員の検量線

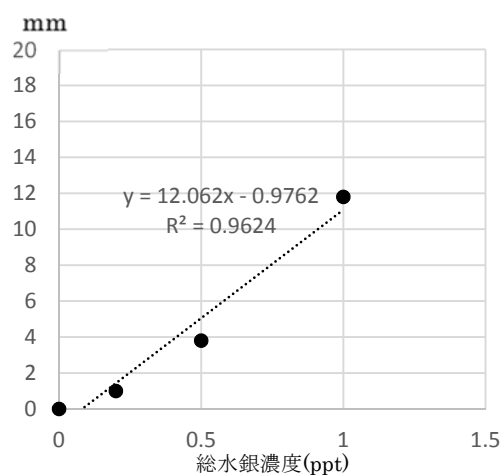


図 5 初回の水試料検量線作成結果

図 5 に示すように、二人の結果が極端に異なった。一般に濃度検定用の検量線の場合、直線性を示す単回帰において相関係数 (R) は、0.995 以上が望ましい。メンデス研究員が初回に作成した検量線の相関係数は 0.996 ($0.9919^{1/2}$) と 0.995 を上回ったが、フィエーロ研究員の作成した検量線の相関係数は、0.981 ($0.9624^{1/2}$) であった。

(2) 総水銀分析手順における改善

ア. 検量線の改善

上記メンデス研究員とフィエーロ研究員の作成した検量線における相関係数の差の原因を検討した結果、オートピペットを用いて試料を採取する際の操作や試薬の調製方法等において両研究員の間に幾つかの相違が明らかになったことから、それらの相違について説明し、分析結果の信頼性を担保するためには、僅かな操作にも十分注意しなければならないことを教えた。

一方、第1次現地派遣期間中に研究員の分析手順以外にも以下に示すように分析室の空調機器および分析に使用する蒸留水の品質が分析値の信頼性に影響を及ぼしている可能性があることが明らかになった。

- 分析室内に設置されたエアコンの送風が分析操作をしている過程で直接ガラス容器に当たっており、空気中の粉じんが水溶液中に溶け込み水銀の微量汚染を引き起こしていた可能性がある。
- 検量線を作成するにあたり、多量の蒸留水を使用する容器に溜められた個々の蒸留水は、清浄度が異なっており、一部の蒸留水には微量水銀汚染が認められた。これが検量線の精度に関するバラツキの大きな原因になっている可能性が大きいと思われた。

分析値の信頼性に影響を及ぼす可能性のある上記要因を取り除くため、空調機については水銀抽出操作過程でのエアコンの使用を中止し、蒸留水については、使用前に必ず総水銀濃度分析計を用いて、蒸留水中に微量水銀の汚染がないかどうかを確かめるようにすることとした。

これらの点に留意して二人同時に同じ試薬を用いて再度検量線を作成したところ図6に示す結果となった。両検量線とも相関係数(R)は0.999以上であり、直線性に問題はなかった。

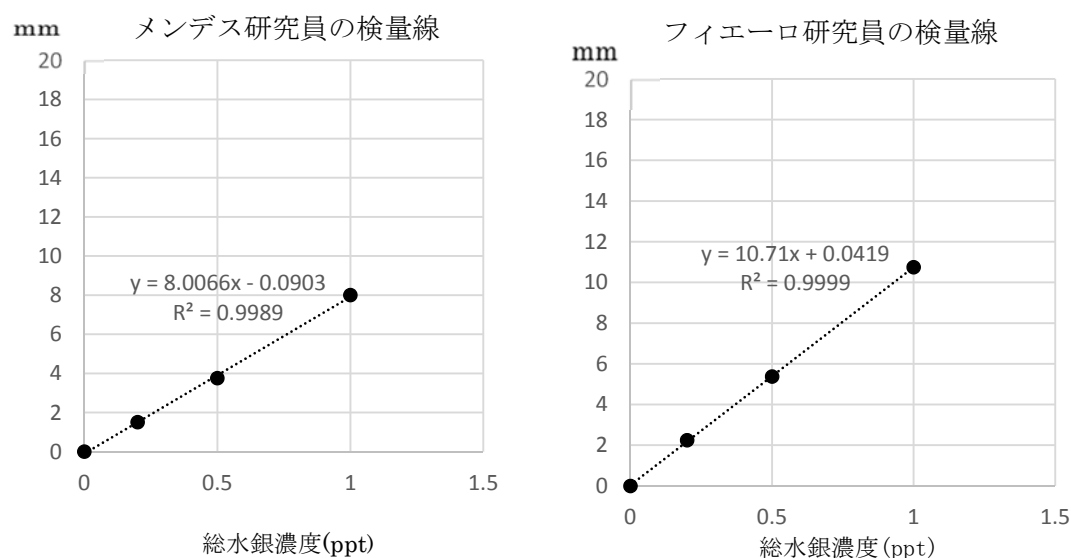


図6 2回目の水試料検量線作成結果

ただし、初回に比べると単回帰式の傾きが初回と2回目の分析時で大きく異なっていた。特にメンデス研究員の場合、初回の17.317が2回目には8.0066と著しく異なった。フィエーロ研究

員の検量線の傾きも初回の 12.062 が 2 回目には 10.71 と相違を示した。

そこで、上記 4 種の検量線でどの検量線がもっとも信頼性が高いかについて検討した。検定方法は NIMD 法によるジチゾン抽出ではなく、直接標準溶液を酸で分解し測定した検量線を基準にし、この基準高さから水試料検量線の各濃度に対する計算上のピーク高さを求め、NIMD 法で抽出した検量線の各濃度高さと比較した（基準となる検量線は、DORM-2 の総水銀濃度を正確に定量できている）。結果を以下表 16 に示す。本結果は水試料中の水銀をジチゾン 10ml で抽出し、最終的に 8ml を採取しているので計算上、実際の数値（ピーク高さ mm）を 1.25 倍している。

表 16 DORM-2 による検量線（STD）との相違

濃 度	DORM-2 検量線ピーク高さ (mm)	フィエーロ研究員		メンデス研究員	
		初回	2 回目	初回	2 回目
ブランク	0	0	0	0	0
0.2 ng	3	1.25	2.8	3.25	1.8
0.5 ng	7.5	4.75	6.7	11.6	4.6
1.0 ng	15	14.7	13.4	21.25	10

本結果より、2 回目のフィエーロ研究員の結果が DORM-2 をベースとした検量線と全く同一の結果ではないが、この水銀濃度域（ppt レベル）での通常の化学分析の範囲内としては満足し一致していると判断できる結果となった。この時（2 回目）のフィエーロ研究員の検量線の傾きは 10.71、メンデス研究員の傾きは 8.00 である。通常、検量線法による濃度検定では最小二乗法が用いられるため、式から求めた数値には少なくとも±20%程度の誤差が含まれていると考えられる。そこでピーク高さ 5 mmを仮に用いた濃度計算結果で、二人の検量線から得られた水銀濃度についてその差を簡易的に検証してみると次のようになる。2 回目のフィエーロ研究員およびメンデス研究員の検量線の場合、5 mmの高さはそれぞれ 0.46ng、0.63ng となり、その平均値は 0.55ng となる。この平均値の±20%の水銀濃度範囲は 0.44ng から 0.66ng であり、フィエーロ研究員およびメンデス研究員の検量線から得られた結果は、上記水銀濃度範囲に入っていることから、上記二つの分析値（0.46ng, 0.66ng）には大きな差ないと考えられる。従って、今回の結果から、初回に比べ分析 2 回目に傾き値が減じたのではなく、初回のメンデス研究員の検量線の傾きが高めであった可能性が大きいことがわかった。現状の結果として、本濃度レベルでの検量線作成に関し、上述で説明したような問題点を改善した結果、ほぼ安定した分析結果が同時に二人から得られるようになった。

ただし、個人の技量差等によるデータのばらつきの可能性は残されていることから、毎回カウンターパートが作成した検量線の精度を確認しながら作業を進めた。

上記の検量線信頼性チェックの方法は、カウンターパートが利用し易いようスペイン語の分析ガイドラインとしてまとめた。

イ. 溶存態水銀国際認証標準物質（BCR-579）を用いた分析値の信頼性評価

2016 年 4 月 8 日から 20 日まで NIMD において実施された本邦研修期間中 BCR-579 を用いた水試料に関する溶存態総水銀分析の信頼性評価が行われた。ソロトラン湖の電気伝導度（EC）は、一

般の湖沼に比べてミリジーメンズレベルとたいへん高いため、信頼性評価には海水中の総水銀に対する国際認証標準物質である BCR-579 を用いた。

溶存態総水銀濃度分析は 4 回繰り返し分析が行われた。分析は二日に分けて行われ、初日はジチゾンによる海水中水銀の抽出までを行い、二日目はジチゾンの精製及び酸分解と水銀濃度の測定が行われた。分析操作は、CIRA/UNAN-Managua における実際の操作に基づき、フィエーロ研究員、メンデス研究員、モラレス研究員の内、2 人がペアで行った。

なお、すべての分析試薬は、研修員が調製したものを使用し、分析操作は手順書を参照することなく行った。分析結果は、表 17 に示すように、4 回の分析値はすべて認証値内であり、分析手順は習熟されていると判断した。

表 17 本邦研修時における BCR-579 の分析結果

						単位 ppt
1 回	2 回	3 回	4 回	平均	標準偏差	認証値
2.38	2.25	1.79	2.25	2.17	0.26	1.9±0.5

更に、2016 年 6 月、CIRA/UNAN-Managua において BCR-579 を用いて溶存態総水銀分析を 2 回、分析日を変えて行った。その結果を表 18 に示す。

表 18 CIRA/UNAN-Managua における BCR-579 の分析結果

					単位 ppt
1 回目	2 回目	平均	標準偏差	認証値	
1.43	2.18	1.81	0.53	1.9±0.5	

この結果から、CIRA/UNAN-Managua の分析室環境においても分析結果は認証値内となっており、水銀分析関する基本的な環境は整っているものと考えられた。

ウ. DORM-2 を用いた溶存態総水銀分析における精度管理

DORM-2 を用いて作成した既知量の総水銀を含む試料を作成し、当該試料中の総水銀濃度を別途作成した検量線から得られた総水銀濃度と比較することにより検量線の精度を確認することとした。具体的には、DORM-2 を分解して $4.64 \pm 0.26 \text{ ng}$ の総水銀を含む溶液試料を作成し、当該試料、湖水試料、検量線作成用試料を同時に分析し、得られた検量線を用いて DORM-2 分解溶液中の総水銀濃度を求めることで検量線の精度を確認した。2016 年 3 月に行った検量線の精度確認結果を表 19 に示す。

表 19 既知濃度の DORM-2 分解溶液を用いた検量線の精度確認

						単位 : ng
分析月日	3 月 9 日	3 月 11 日	3 月 15 日	3 月 18 日	3 月 28 日	3 月 31 日
分析結果	4.42	5.58	4.63	4.59	4.74	4.55

表 19 において 3 月 11 日の測定値が理論値を越えており、この分析操作はやり直しの必要があることが明らかになる。

エ. 検出下限値

以上のような分析室の空調管理、蒸留水の水銀汚染管理および検量線の精度管理により、ブランク値も 2016 年 2 月末の $13 \pm 3.3 \text{ mm}$ ($n=5$) から 2016 年 6 月末には $8.5 \pm 1.4 \text{ mm}$ ($n=6$) に低下した。この結果、検出下限値は、2016 年 5 月に 0.30ppt、2016 年 7 月に 0.24ppt となった。

オ. 同一湖水試料を用いた溶存態総水銀分析結果比較

2016 年 2 月に実施した第 1 次総水銀汚染概要調査においてソロトラン湖で採取された水試料の中で、総水銀濃度の比較的高いものから低いものまで 6 試料を選択し、2016 年 6 月に NIMD における分析結果と相互比較した。試料中の溶存態総水銀の分析手法は双方ともに NIMD 法によることとした。その結果を図 7 に示す。

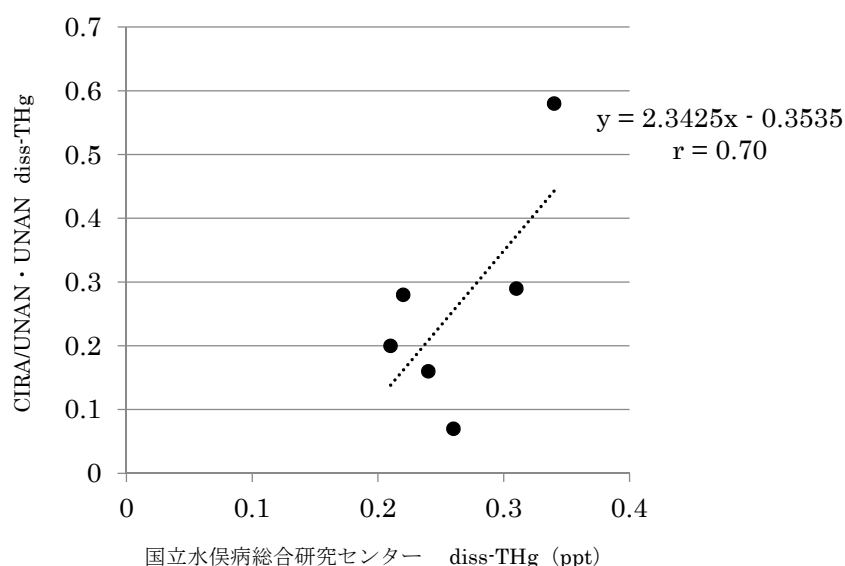


図7 湖水中の溶存態総水銀濃度分析結果比較

本結果より、双方の分析結果には有意な相関関係は認められたが相関係数は $r=0.70$ であった。その理由として、試料中の溶存態総水銀濃度が 1ppt 以下であり、CIRA/UNAN-Managua における分析手法の検出下限値に近いレベルであったこと、また、CIRA/UNAN-Managua と NIMD における分析時期が同じでなく 4 ヶ月経っているなどの要因考えられる。しかしながら、ppt レベルの分析値間に一定の相関関係が確認されたことは、CIRA/UNAN-Managua の水銀分析能力が ppt レベルにまで既に達していることを証明する結果となった。

カ. 添加回収試験

第 1 次総水銀汚染概要調査においてソロトラン湖で採取された水試料に 0.2ng、0.5ng、1.0ng の水銀を添加した試料を分析し添加した水銀の量が正確に測定できているかどうかの試験（添加回収試験）を実施した。添加回収試験の結果を表 20 および図 8 に示す。

表 20 蒸留水およびソロトラン湖水で作成した検量線

単位：mm

分析試料	ピーク高	(ピーク高)－ (ブランク高)	分析試料	ピーク高	(ピーク高)－ (ブランク高)
ブランク(蒸留水)	4	0	ソロトラン湖水	18	0
水銀 0.2ng＋蒸留水	5	1	水銀 0.2ng＋湖水	19	1
水銀 0.5ng＋蒸留水	6.5	2.5	水銀 0.5ng＋湖水	20.5	2.5
水銀 1.0 ng＋蒸留水	9	5	水銀 1.0ng＋湖水	24	6

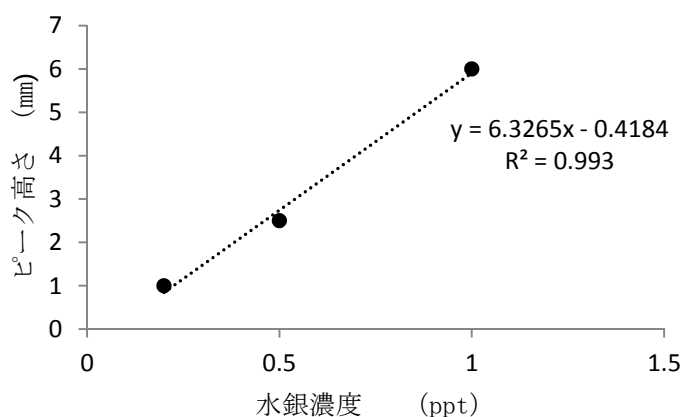


図 8 添加回収試験結果

ソロトラン湖で採取された水に既知濃度の水銀溶液（塩化第二水銀溶液）を添加して分析を行って得られたピークの高さは、蒸留水に同じ濃度の水銀溶液を添加して作成された検量線の各濃度のピーク高さとほぼ同様のピーク高さを得られていることから、信頼性の高い溶存態の総水銀濃度が得られていることが確認された。

キ．保健省のカウンターパートに対する水試料中の総水銀分析技術指導

保健省のカウンターパートに対する水試料中の総水銀分析手順の指導は、CIRA/UNAN-Managua のカウンターパートであるフィエロ研究員とメンデス研究員が行い、日本人専門家は、分析値の精度管理方法の指導を担当した。保健省には、水試料中の溶存態水銀の濃度を高感度に測定できる分析装置が設置されていないため、技術研修は全て CIRA/UNAN-Managua で行なった。研修の最後に保健省のカウンターパートであるウマーニャ技師、エルマンデス技師が個々に分析日時を変えて 5 回作成した検量線を用いて、水銀の国際認証標準物質（DORM-2）の分解溶液中の総水銀量（ $4.64 \pm 0.26\text{ng}$ ）を測定することで検量線の精度を評価した。分析結果を表 21 に示す。

表 21 DORM-2 の総水銀分析結果

	1 回目作 成検量線	2 回目作 成検量線	3 回目作 成検量線	4 回目作 成検量線	5 回目作 成検量線	平均±標準偏差
ウマーニャ技師	4.20	5.10	5.07	4.35	4.00	4.54 ± 0.51
エルマンデス技師	4.42	4.33	4.98	4.30	4.20	4.45 ± 0.31

この結果から、分析結果に多少のばらつきが認められるものの、全体として検量線は一定の精度に達していると判断できる。

また、水試料の国際認証標準物質である BCR-579 中の溶存態総水銀濃度を 2 回別々の日に測定したところ、表 22 に示すとおり両カウンターパートの分析値は 2 回ともに認証値の範囲に入った。この結果、両カウンターパートとも水試料中の溶存態総水銀の基本的な分析手順は習得したと判断した。

表 22 BCR-579 の分析結果

	1 回目	2 回目	平均±標準偏差	単位 ppt 認証値
ウマーニャ技師	1.5	2.1	1.8±0.4	1.9±0.5
エルマンデス技師	2.2	1.5	1.9±0.5	

1-3-1-3 活動 1-3 精度管理法を含めた水、底質、魚肉、毛髪中の総水銀分析マニュアルを作成する

精度管理法を含めた水、底質、魚肉、毛髪中の総水銀分析マニュアルが作成され、マニュアルの内容が CIRA/UNAN-Managua における分析手順として登録された。マニュアルは別冊 1 参照。

登録番号	分析手順
PON-MA-01	全自動水銀分析装置 (DMA-80) による底質、土壌中の総水銀分析標準手順書
PON-MA-02	全自動水銀分析装置 (DMA-80) による魚肉中の総水銀分析標準手順書
PON-MA-03	全自動水銀分析装置 (DMA-80) による毛髪中の総水銀分析標準手順書
PON-MA-04	NIMD 法による溶存態総水銀分析標準手順書
PON-MA-06	NIMD 法による水中浮遊物質中の総水銀分析標準手順書
PON-MA-08	湿式灰化－還元気化原子吸光光度法による底質、土壌中の水銀分析標準手順書
PON-MA-09	湿式灰化－還元気化原子吸光光度法による魚肉中の水銀分析標準手順書

1-3-1-4 活動 1-4 魚肉、毛髪中のメチル水銀サンプリング・分析手順を習得する

(1) 魚肉、毛髪中のメチル水銀サンプリング

2016 年 4 月に NIMD にて実施された本邦研修の中で、毛髪中のメチル水銀の分析方法について、試料採取方法も含め分析研修を行った。試料採取方法は 2015 年 11 月に研修を行った。研修内容は、3 人の研修者間でお互いに毛髪を採取し、25ml 用のバイアルビンに毛髪を入れ細切用の解剖はさみで毛髪を細切した。細切した毛髪試料は、メチル水銀分析用の練習試料として使用した。

(2) 魚肉、毛髪中のメチル水銀分析手順

ア. 魚肉

魚肉中のメチル水銀分析手順の習得はフィエーロ研究員、メンデス研究員、モラレス研究員を対象に CIRA/UNAN-Managua にて 2017 年 2 月に実施した。メチル水銀の分析は NIMD 法を適用して

分析することとした。

最初に前処理の各ステップの原理と操作上の注意点を説明し、試薬の調製練習のため、3名のカウンターパートが独自に前処理に用いる8種類の試薬を調製した。前処理過程の練習には、解剖はさみで細切した魚肉試料を用いて、前処理の各ステップを各自1回練習した。さらに前処理の習熟を計るために、魚肉の国際認証標準物質(DORM-4)を用いてメチル水銀濃度を2回分析した。

前処理に必要な試薬は、毛髪中のメチル水銀分析が1種類なのに対し、魚肉中のメチル水銀分析が8種類であるため、1回目の分析では、操作上の注意点を再度確認しながら、DORM-4の前処理を行った。ガスクロ分析の結果、DORM-4のメチル水銀に関する認証値は 0.355 ± 0.028 ppmであったのに対して、表23に示すとおり、カウンターパート全員が認証値の範囲となった。

表 23 DORM-4 中のメチル総水銀分析値

単位 ppm			
フィエーロ研究員	メンデス研究員	モラレス研究員	認証値
0.38	0.37	0.37	0.355 ± 0.028

ところが、2回目のカウンターパート全員の分析結果は、認証値の3倍高い値であった。この原因は検量線の作成に使用されるメチル水銀-システイン溶液の劣化であることが明らかになった。

新たに調製したメチル水銀-システイン溶液を使用してDORM-4中のメチル水銀を分析した結果、カウンターパート全員が認証値の範囲となった。

イ. 毛髪

2016年4月にNIMDにて実施された本邦研修の中でNIMD法による毛髪中のメチル水銀の分析方法の研修を行った。分析研修に際し、我が国の環境省が作成した水銀分析マニュアル(英語版)における毛髪中メチル水銀分析の項をコピーして配布し、各手順における原理および注意点を説明した。

各自、複数回のメチル水銀分析練習を実施した後に、研修員自身が準備した試薬を用いて毛髪の国際認証標準物質(NIES CRM No. 13)中のメチル水銀濃度を1回分析した。分析結果は表24に示すとおり、メンデス研究員のみ認証値内であった。

表 24 NIES CRM No. 13 中のメチル総水銀分析値

単位 ppm			
フィエーロ研究員	メンデス研究員	モラレス研究員	認証値
3.25	3.76	2.73	3.8 ± 0.4

1-3-1-5 活動 1-5 CIRA/UNAN-Managua の魚肉、毛髪中のメチル水銀分析値に係る信頼性を評価し、改善のための対策をする

(1) CIRA/UNAN-Managua が保有しているガスクロマトグラフの動作および精度の確認

CIRA/UNAN-Managua が現在所有している ECD 付きガスクロマトグラフは米国アジレント社製 6890N 型である。本機はおよそ 10 年前に CIRA/UNAN-Managua によって購入されたもので、既にメ

チル水銀分析用のパックドカラムが長年装着された状態となっている。



6890N

2015 年 11 月、しばらく交換していなかったカラム入り口最上部に充填されていた塩化ナトリウムを交換し、メチル水銀感度の高感度化を図った。図 9 に交換後の塩化メチル水銀のピークを示す。結果として得られたピークは大変安定しており、カラムによるピーク分離性も良く現状として研究室に装備されているアジレント社の 6890N は十分使用に耐えることがわかった。

以下に 6890N のメチル水銀分析条件を示す。毛髪用メチル水銀溶液（トルエン溶液）の標準濃度は 100ng とした。6890N には本トルエン溶液から 5 μ l を注入した。温度条件は加熱槽 155℃、注入ポートおよび検出器温度は 200℃、窒素ガス流量 35ml/min 本体感度はレンジ 1、アッテネーション 0 の最高感度、アナログレコーダのレンジは 0.5V で行った。注入時の ECD 本体ベースラインシグナルは 1600 から 1700 であった。この ECD ベースラインシグナル値をもう少し低い値で安定化させるため、ゼロ値として 1450 シグナルを直接本体装置上で入力し、ベースラインシグナルを低減させ、見かけ上 150 から 250 程度のベースラインシグナルで分析を行った。



図 9 塩化メチル水銀のピーク

(2) ECD 装置の出力改善

6890N は、後述するように毛髪中のメチル水銀を正確に測定できたが、総水銀濃度が 0.01ppm 以下の魚肉可食部中のメチル水銀濃度を正確に測定するためには、現状 1600-1700 を示している 6890N のベースラインの出力値をカラム接続時の期待値である 300 に低下させる必要がある。

ベースライン出力値が高くなる原因としては、1)ECD 検出器内の放射線源への汚れの付着、2)カ

ラム汚染、3) 窒素ガス純度の低さ、4) 窒素ガスボンベから検出器までの配管からのガスリークが考えられる。これらはいずれも ECD 検出器内のイオン電流を不安定にするため、出力値が上昇する。そこで以下の通り対応した。

ア. 放射線源への汚れの付着

ECD 検出器に付着した汚れの多くはサーマルクリーニングで除去できる。6890N の検出器温度 350℃、メイクアップガス流量 60ml/min で 1 時間のクリーニングを行ったが、クリーニングの前後に 6890N 本体ベースラインの出力値（1600 から 1700）の改善は認められなかった。そのため 6890N の ECD 検出器の汚れが原因ではないと考えられた。

イ. カラムの汚染

カラム汚染の有無を検査するため、パックドカラムを取り外した状態での検出器のベースラインを確認した。6890N のベースライン出力値は取り外し前の 1600-1700 から 430 に大幅に低下したので、カラムの汚れが疑われた。一方、カラム以外が正常であればカラム未接続時の出力値はさらに低下するはずであるため、カラム汚染以外にガストラップの劣化による窒素ガス純度の低下や窒素ガスボンベから検出器までの配管からのガスリークも疑われた。

ウ. 6890N のメンテナンスの実施とその効果

6890N、ECD 検出器のベースラインを下げるため、2016 年 6 月にニカラグア国において 6890N のメンテナンス業務を行っている ORGOMA 社に 6890N の状態の診断を依頼したところ、ガス配管、トラップ類の交換が必要であるとの診断結果が提出された。

この診断結果を受け、2016 年 12 月にガス配管、トラップ類を交換した結果、カラムを接続した状態でベースラインが 458 まで低下した。

ベースラインが安定した後、2015 年 11 月に行ったメチル水銀分析と同じ表 25 に示す条件で分析を行ったところ表 26 に示すようにメチル水銀のピーク高さ、リテンションタイムにおいて著しい改善が見られた。

表 25 6890N の作動条件

カラム槽温度	検出器温度	注入口温度	窒素ガス流量
155℃	200℃	200℃	35.9 ml/min

表 26 部品交換による分析性能の改善

単位：mm

	部品交換前	部品交換後
メチル水銀のピーク高さ	27	31
リテンションタイム	20	53

リテンションタイムが長くなったことにより、より高い分離能力が期待できる。また、現在使用しているレコーダの可変レンジもメンテナンス前は、ベースラインのノイズの影響により 0-

500mv が限界であったが、メンテナンス後は、ベースラインのノイズが減少したことにより 0-100mv での使用が可能となった。これにより、メンテナンス前のピーク高さを 5 倍に引き上げることが可能となり、低濃度メチル水銀の試料であっても十分測定することが可能となった。

今回の ECD の出力改善のための一連の対応において、カラムの汚染に関する検証は行われていないが、カラムを新しく交換せずにこれらの結果を得られたことから、ECD の出力低下は、カラム汚染による影響は比較的小さく、むしろ部品の経年劣化によるガスリークやガストラップの劣化が主たる原因であった可能性が大きい。

また、新たに取り付けたガストラップは従来品と異なってトラップの劣化を目視確認ができるため、今後、早めに交換することによってガストラップの劣化による分析性能の低下を防止することが可能となった。

(3) 毛髪中のメチル水銀分析値に係る信頼性評価

ア. 毛髪測定用実験器具および試薬の汚染

塩酸溶出-トルエン抽出法に基づき前処理を行ったブランク試料を、アジレント社製 6890N に注入してメチル水銀濃度を測定した。メチル水銀のピークが出現すると考えられた 4 分後には夾雑ピークは出現することはないと実験器具および試薬の汚染レベルは許容範囲であった (図 10)。

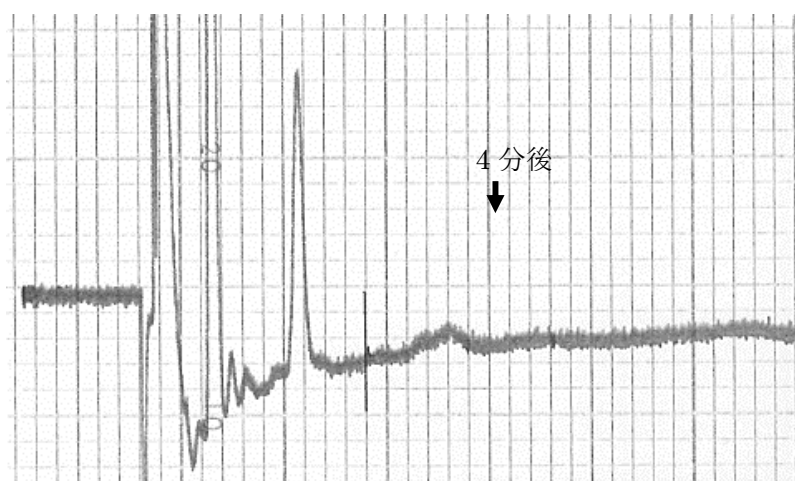


図 10 ブランク試料のベースライン

イ. 信頼性評価

2016 年 4 月の本邦研修時に毛髪の国際認証標準物質 (NIES CRM No. 13) 中のメチル水銀濃度を測定したところ分析結果は、認証値 (3.8 ± 0.4 ppm) 内に収まらなかったが、2016 年 6 月の分析結果は 3.4-3.7 ppm (認証値内) であり、回収率は 97%であった。米国 EPA (米国環境保護庁) は 75-125%を許容範囲としており、結果はこの範囲に収まった。

また、1 回ではあるが、国際認証標準物質 (NIES CRM NO. 13) 10mg に 1000ppm メチル水銀のシステイン溶液 40 μ L (メチル水銀 40ng を含む) を添加した試料を調製し、回収率を確認したところ 108-114%であった。米国 EPA は許容範囲として 75-125%を例示しており、各研究員の結果はこの範囲に収まった。

さらに、上記添加回収試験 2 回の試験結果から求めた相対差異率は、6-17%であり、米国 EPA が例示する許容範囲（25%）以下であった。

なお、相対差異率は、以下計算式によって求めた。

$$\text{相対差異率(\%)} = 100 \times \frac{(\text{1 回目分析結果} - \text{2 回目分析結果})}{(\text{1 回目分析結果} + \text{2 回目分析結果})/2}$$

上記試験結果を表 27 に示す。これらの結果から毛髪中メチル水銀分析技能は向上したと判断した。

表 27 毛髪中メチル水銀分析の正確度および精度評価

	USEPA 許容範囲	フィエーロ 研究員	メンデス 研究員	モラレス 研究員
回収率（正確度）	80-120%	97%	92%	97%
添加回収率（正確度）	75-125%	108%	110%	114%
相対差異率（精度）	<25%	17%	10%	6%

(4) 魚肉中のメチル水銀分析値に係る信頼性評価

ア. 魚肉測定用実験器具および試薬の汚染

ガラス器具として 50 ml 容ネジ蓋式丸底遠沈管および 10 ml 容共栓付円錐型遠沈管およびマニュアルに示した試薬を用いて、ジチゾン抽出法に基づき前処理を行ったブランク試料を 6890N に注入してメチル水銀濃度を測定した。メチル水銀のピークが出現すると考えられた 4 分後には夾雑ピークは出現することはないと実験器具および試薬の汚染レベルは許容範囲であった。

イ. 標準溶液の保存期間の短縮

魚肉の国際認証標準物質（DORM-4）を用いたメチル水銀の分析手順の訓練中にカウンターパート全員の分析結果が認証値の 3 倍高い値となった。

この原因が検量線の作成に使用されるメチル水銀-システイン溶液が劣化であることが明らかになった。メチル水銀-システイン溶液の保存可能期間は通常調製後、冷暗所で 1 か月間であり、マニュアルにもそのように記載されている。今回の訓練に使用されたメチル水銀-システイン溶液は、調製後に 2 週間程度であり、劣化は想定外であった。

今後、劣化したメチル水銀-システイン溶液の使用を避けるため、溶液の調製は分析操作毎に行うよう改め、マニュアルも改訂した。

ウ. 信頼性評価

魚肉の国際認証標準物質（DORM-4）を用いて毛髪中のメチル水銀分析値に係る信頼性評価と同じ方法で分析結果の信頼性を評価した。表 28 に示すように、分析結果は、すべて米国 EPA の許容範囲内であったことから、魚肉中のメチル水銀分析技能も向上したと判断した。

表 28 魚肉中メチル水銀分析の正確度および精度評価

	米国 EPA 許容範囲	フィエーロ 研究員	メンデス 研究員	モラレス 研究員
回収率（正確度）	80-120%	113%	90%	96%
添加回収率（正確度）	75-125%	87%	78%	108%
相対差異率（精度）	<25%	11%	9%	18%

1-3-1-6 活動 1-6 魚肉、毛髪中のメチル水銀分析マニュアルを作成する

魚肉、毛髪中のメチル水銀マニュアルは NIMD 法マニュアル（環境省、水銀分析マニュアル）に基づき作成され、環境水銀研究室の分析環境を踏まえて作成されている。本マニュアルは、CIRA/UNAN-Managua における標準手順書として登録された。

登録番号	分析手順
PON-MA-05	NIMD 法による人の毛髪中のメチル水銀分析標準手順書
PON-MA-07	NIMD 法による魚肉中のメチル水銀分析標準手順書

1-3-2 成果 2 に対する活動

1-3-2-1 活動 2-1 調査エリアを設定する

R/D によって合意された調査エリアであるソロトラン湖およびコシボルカ湖のティピタパ川河口域を 2015 年 11 月 13 日と 14 日に踏査した。踏査は、図 11 に示すソロトラン湖に流入する 5 河川（サン・アントニオ川、パコラ川、ビエホ川、シネカパ川、パパロン川）の河口、モモトンボ火山の前面域およびソロトラン湖からティピタパ川への流出域に設定したサンプル採取予定地点の位置および状況を確認するとともに各サンプル採取予定地点において水深、表層および低層の水温、電気伝導率、pH、溶存酸素濃度を測定した。測定結果を表 29 に示す。また、ティピタパ川、ティピタパ川のコシボルカ湖流入地点におけるサンプル採取予定地点も踏査した。ティピタパ川沿いには長年にわたり自噴する温泉があり、この温泉水がティピタパ川に流入していることから、当該温泉の流入地点周辺において、底質を採取することとした。コシボルカ湖については、ティピタパ川が流入している湿地帯を中心に採水を行うこととした。

この踏査の結果、調査エリアは当初の計画どおりソロトラン湖およびコシボルカ湖のティピタパ川河口域とした。

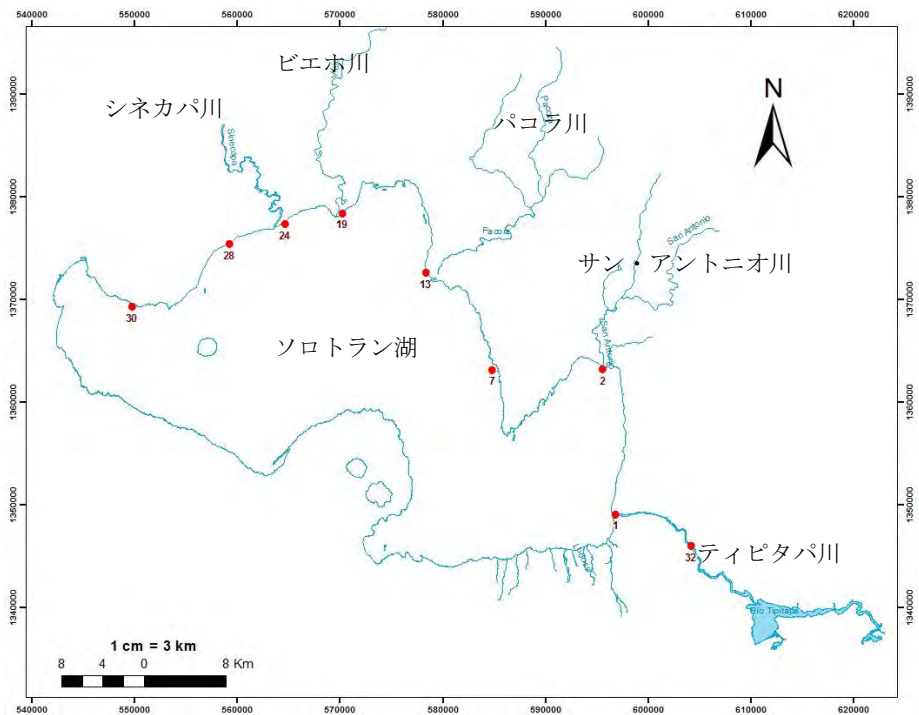


図 11 サンプル採取予定地点

表 29 ソロトラン湖水銀汚染調査地点事前調査結果

調査地点番号	座 標		水深 (m)	測定 場所	水温 (℃)	pH	電気伝導率 (μ S/cm)	溶存酸素 (mg/l)
	E	N						
7	584810	1363133	6.0	表層	29.6	8.9	1527	7.4
				低層	29.1	8.9	1528	6.1
30	549073	1368907	4.3	表層	30.7	8.9	1524	7.8
				低層	30.1	8.9	1523	7.0
24	564588	1377455	2.0	表層	29.8	8.9	1534	8.3
				低層	29.5	8.9	1535	7.9
19	570245	1378448	1.2	表層	30.1	8.9	1536	7.9
				低層	30.0	9.0	1537	7.9
1	596882	1349138	1.4	表層	28.9	9.0	1531	8.1
				低層	29.3	7.2	1539	1.0
2	595561	1363264	1.2	表層	29.4	9.0	1527	7.5
				低層	29.3	9.0	1527	7.5
28	559186	1375472	1.5	表層	29.8	8.9	1521	8.3
				低層	29.6	9.0	1521	8.2
13	578323	1372697	1.0	表層	29.1	8.9	1531	8.2
				低層	29.1	8.9	1532	8.8
32	604318	1346179	未測定					

1-3-2-2 活動 2-2 パイロット調査エリアにおける気象、水文、水利用、漁村、魚類、漁獲量、魚の流通等の情報を収集する

(1) 気象、水門情報

ア. 地質

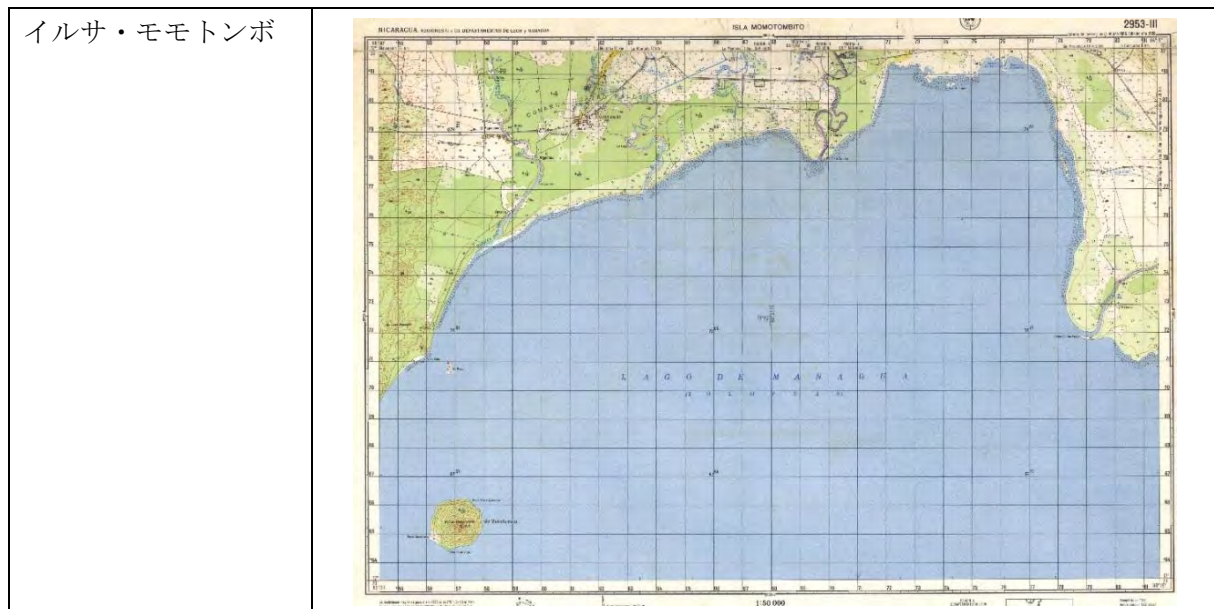
インターネット上で公開されている以下の文献および報告書を収集、整理した。

- Petr HRADECKY, 2011, Introduction to the special volume “Subduction-related igneous activity in Central America – its nature, causes and consequences”, Journal of Geoscience, 56(2011).
- S.-A. Elming, P. Layer and K. Ubieta, “A palaeomagnetic study and age determination of Tertiary rocks in Nicaragua, Central America”, Geophys. J. Int. 147(2001).
- Sten-Ake Elming and Thorkild Rasmussen, 1997, Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America, Geophys. J. Int. 128(1997).
- Actualización del Mapa de Faltas Geológicas de Managua, Instituto Nicaragua de Estudios Territoriales (INETER), 2002.
- Geología Regional de Nicaragua, Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua, 2000

これらの文献および報告書から、ニカラグア国の地質は、太平洋沿岸平地、ニカラグアくぼ地、中央アメリカ高地、大西洋沿岸平地に区分されており、パイロット調査エリアはニカラグアくぼ地に属し、漸新世から更新世の沖積層および火山岩で構成されていることが明らかになった。

イ. 地図

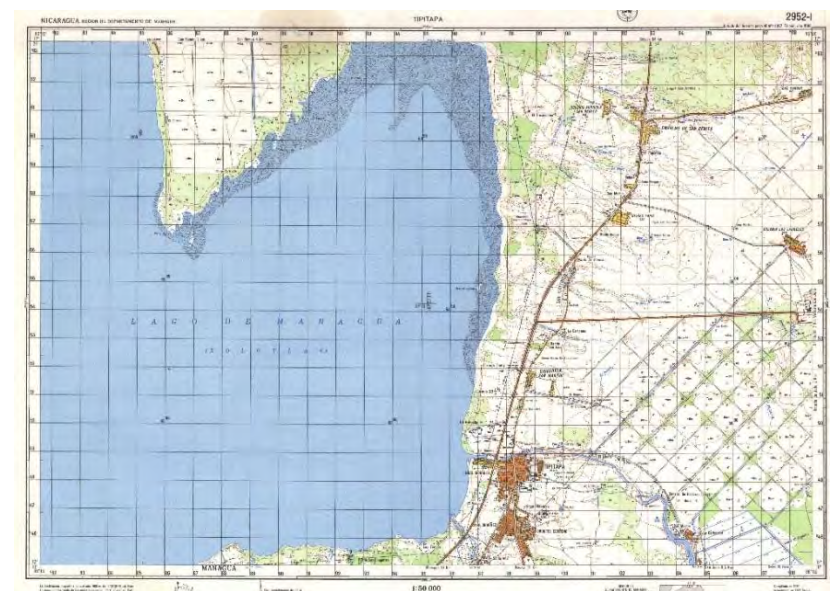
国土地理院が作成した以下に示すソロトラン湖沿岸部、ティピタパ川からコシボルカ湖北部の縮尺 1/50000 の地図およびソロトラン湖の深浅測量図を入手した。



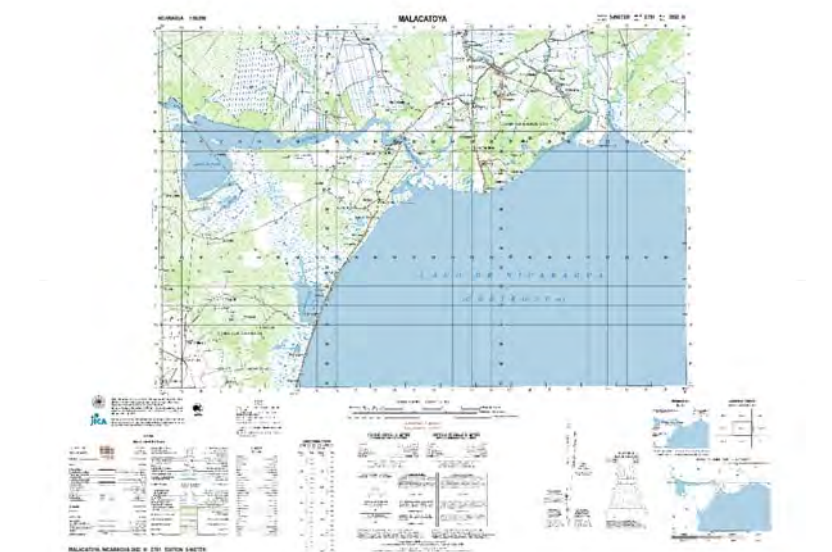
マテアレ



ティピタパ



マラカトヤ



ソロトラン湖深浅
測量図



ウ. 気象、水文情報

国土地理院から以下気象、水文情報を入手した。

- マナグア空港気象観測所における 2009 年 1 月から 2017 年 1 月までの降水量
- マナグア空港気象観測所における 1970 年 1 月から 2015 年 12 月までの風向・風速データ
- パコラ川、シネカパ川、ビエホ川の 2010 年から 2015 年までの流量
- 1999 年から 2015 年までのティピタパ川の流量
- 2009 年 1 月から 2017 年 1 月までのソロトラン湖の水位

これらの情報を基にソロトラン湖の湖面の標高と降水量の関係を調査したところ、ソロトラン湖の湖面の標高が 2012 年以降低下傾向にあることが明らかになった。ソロトラン湖の湖面の標高が 39.19m を超えると湖水がティピタパ川に流入するため、2010 年 3 月以降ティピタパ川に流入していたソロトラン湖の湖水は 2015 年 3 月に流入が停止し、現地踏査を行った 2015 年 11 月時点においても湖水の流入は観察されなかった。また、ソロトラン湖の湖面標高は雨季の終わりに最大になるが、最低になるのは乾季の終わりではなく雨季の初めにずれる事も明らかになった。湖水面の標高と降水量の関係を図 12 に示す。

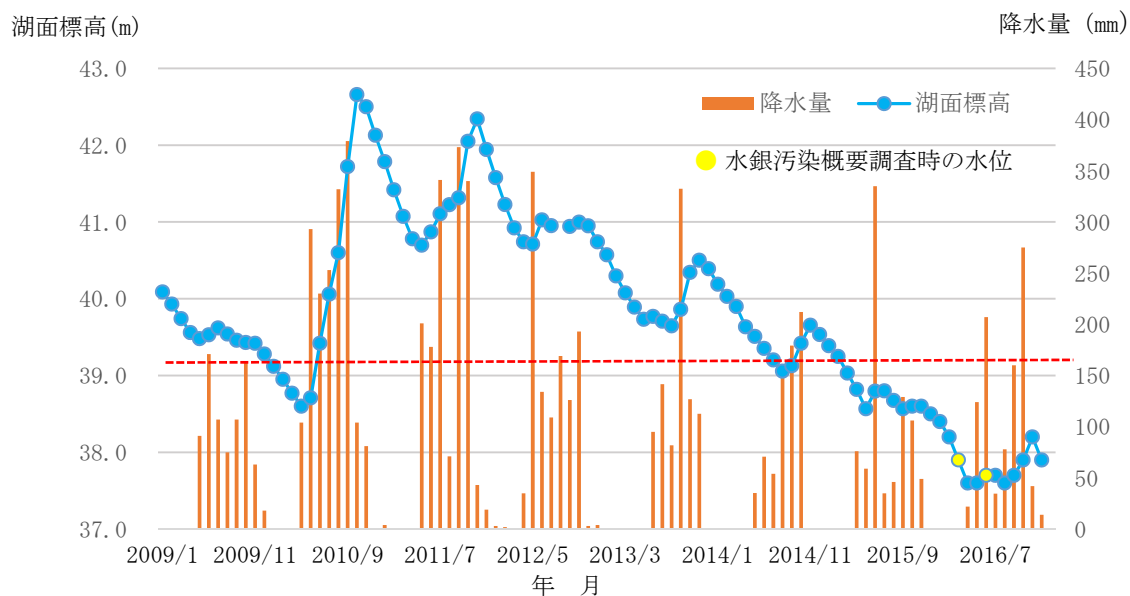


図 12 ソロTRAN湖の湖面標高と降水量



2011 年 6 月撮影



2016 年 5 月撮影

2010 年 1 月から 2014 年 12 月までのシネカパ川の流量とマナグア空港における降水量を図 13 に示す。この図からシネカパ川の流量と降水量に一定の相関関係が見られた。また、ビエホ川の流量は、図 14 に示すとおり、上流に水力発電所があるため降水量よりも水力発電所の運転に伴う放水量に影響される。

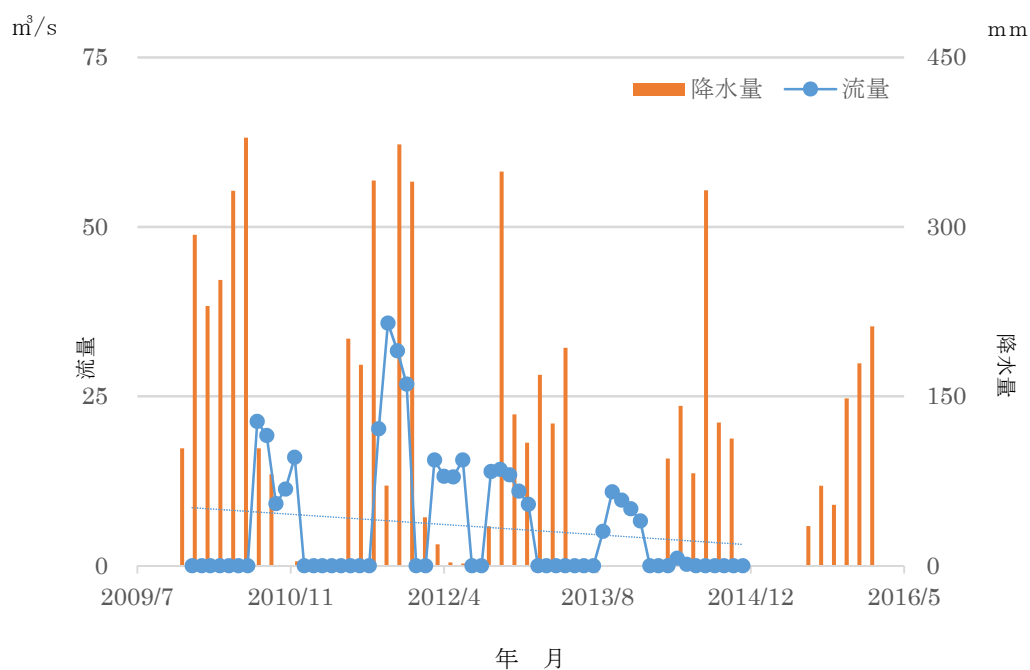


図 13 シネカパ川の流量

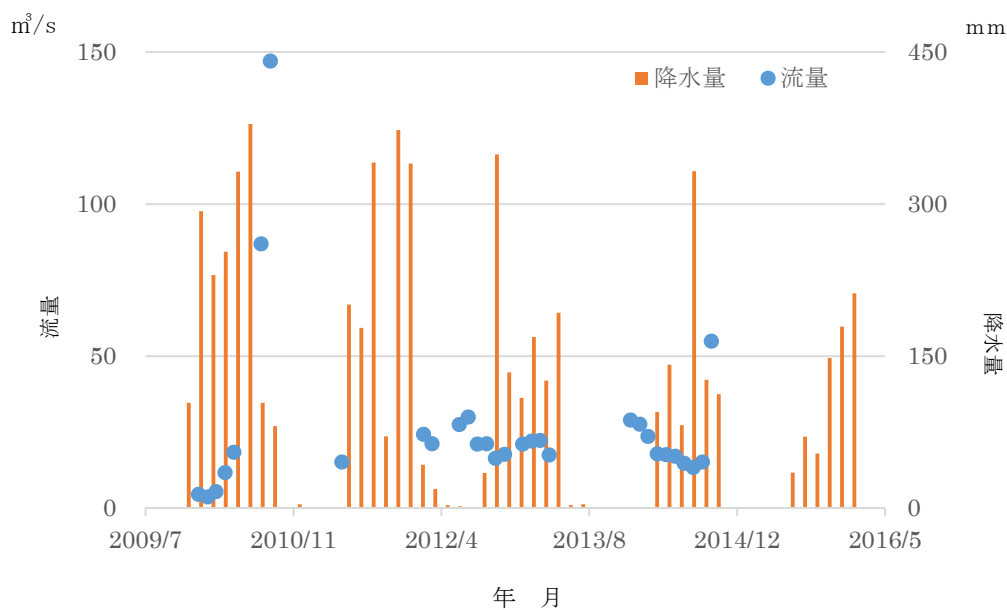


図 14 ビエホ川の流量

パコラ川の流量観測は、2012 年 1 月から開始されたが、表 30 に示すとおり乾季の観測は行われておらず、雨季の流量も非常に少ない。

表 30 パコラ川の流量

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2012 年	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.3	0.0	0.0
2013 年	0.0	-	-	-	-	-	-	-	2.9	0.2	0.1	0.0

出典：国土地理院

(2) 水利用

上下水道庁は、水利用目的に応じて公共水域を 6 類型に区分し水質基準を定めているが、河川や湖沼に対し類型が指定されていないため、ソロトラン湖の水利用目的も定められていない。また、ソロトラン湖は飲料水源には指定されておらず、同湖を水源とする灌漑設備も整備されていないため農業用水としても利用されていない。

(3) 漁村、漁獲量

ア. 漁村

ソロトラン湖沿岸部における主要な漁村は、マナグア県に 5 か所（マテアレ、ティピタパ、サン・アントニオ、サン・ラモン、サンフランシスコ・リブレ）、レオン県に 4 か所（クアトロ・パロス、エル・パパロナル、プエルト・モモトンボ、ナガロテ）ある。

ほとんどの漁民は手漕ぎボートに 1～2 名が乗って行う投げ網漁であるが、近年、船外機付ボートも増加している。ソロトラン湖には漁業権が設定されていないため、漁民は湖内のどの場所でも漁が可能であるが、手漕ぎであるため湖岸から平均 5～10Km の範囲で漁を行っている。図 15 にソロトラン湖において漁業を営んでいる漁村の位置を示し、表 31 に 7 漁村において実施した聞き取り調査結果を示す。



漁船および漁の捕獲状況



図 15 ソロトラン湖沿岸域の主な漁村

表 31 ソロトラン湖沿岸の主要漁村における漁業の現状

	クアトロ・パロス	エル・パパロナル	ブエルト・モモトンボ	サンフランシスコ・リブレ	ティピタパ	マテアレ	ペンウォルト排水口 北側
漁 師 数	57 人	77 人	87 人	約 150 人	約 100 人	40 人	18 人
漁船隻数	20 隻 (内船外機付 2 隻)	38 隻 (内船外機付 1 隻)	50 隻 (内船外機付 10 隻)	100 隻 (内船外機付 15 隻)	40～50 隻	20 隻 (内船外機付 15 隻)	9 隻 (エンジン付なし)
漁 獲 高	24 万 Lb*/年 乾季：200～300Lb/日 雨季：700～800Lb/日	30 万 Lb/年) 調査当日：400Lb	500～700Lb/日	仲買人が 3 名おり、その内 1 名の買い取り量は、3,000Lb/週	200Lb/日	60Lb/日	60Lb/日
魚 種	グアポーテ、ティラピア、モハラ、グアビーナ						
漁 場	シネカパ川下流～湖沿岸	パパロン川下流～湖沿岸	モモトンボ前面～モモトンビート島	サンフランシスコ・リブレ沿岸、船外機付ボートは湖全体	ティピタパ前面	沖合 10Km 以上	沖合 3Km 程度
漁民からの 買い取価格 (C\$/Lb)	グアポーテ:C\$17/Lb ティラピア:C\$10/Lb モハラ:C\$8/Lb	グアポーテ:C\$16/Lb ティラピア:C\$13/Lb モハラ:C\$10/Lb				モハラ：C\$50-60 /12 尾 グアビーナ:C\$200/12尾	モハラ:C\$60/12 尾 ティラピア:C\$15/Lb
販売方法	漁民から組合長が買い取り、3 日毎にチナンデガ市の市場に持ち込み、市場の魚屋と輸出業者に販売。	漁民から組合長が買い取り、チナンデガ市の市場に持ち込み、市場の魚屋と輸出業者に販売。 漁獲量が多い時は、NICAFIX（水産加工業者）、輸出業者が買い付けに来る。	仲買業者が漁民から買い取り、チナンデガ市の市場に持ち込み、市場の魚屋と輸出業者に販売。	仲買業者が漁民から買い取った魚に対し、ティピタパ、マナグアから買い付けに来る。 ホンジュラス向けの輸出業者も週 1 度買い付けに来る。 船外機付ボートを持った漁師はティピタパやサン・ラモンで販売することもある。	仲買業者が漁民から買い取り、マナグア市内のオリエンタル市場等に持ち込む。 サン・ラモンからも漁師が魚を売りに来るため、買い取り量は約 1,000Lb/日。	魚屋（10 人）への販売。	魚屋（10 人）への販売。
村民数	約 500 人	約 890 人	約 5,000 人	約 11,000 人	-----	-----	-----

*Lb:ポンド (1 ポンド≒0.453Kg)

イ. 漁獲量

水産庁は、漁業を行っている県に同庁の職員である漁業監督指導員（インスペクター）を配置し、主要な漁村を訪問し、魚種別漁獲高等の調査を行い、本庁で集計し公表している。しかし、十分な人数のインスペクターが配置されておらず、一部の地域では、市町村の職員にインスペクターの業務を委嘱している。レオン県には水産庁が 4 名のインスペクターが配置され、漁獲量調査を行っているが、インスペクターの業務を県内の市町村に委嘱しているマナグア県では、漁獲量情報は収集されていない。

従って、水産庁が公表しているソロトラン湖の漁獲量はレオン県の主要な漁村における漁獲量となっており、ソロトラン湖全体の漁獲量は把握されていない。水産庁が公表している 2011 年から 2015 年までのレオン県の主要漁村における魚種ごとの漁獲量を表 32 に示す。

表 32 レオン県の主要漁村漁獲量

単位: ポンド

漁 村	魚 種	年				
		2011	2012	2013	2014	2015
クアトロ・パロス	グアビーナ	0	0	0	0	5,000
	グアポーテ	0	0	13,400	16,200	7,172
	モハラ	0	0	2,500	20,100	21,154
	ティラピア	0	0	2,500	50,600	15,930
	計	0	0	18,400	86,900	49,256
エル・パパロナル	グアビーナ	0	0	0	0	21,980
	グアポーテ	0	10,950	16,200	25,500	8,615
	モハラ	0	800	20,100	16,600	32,410
	サバロ	0	0	0	800	0
	ティラピア	0	14,900	50,600	35,500	21,250
	計	0	26,650	86,900	78,400	84,255
モモトンボ	バグレ	0	0	0	0	16,089
	グアビーナ	0	0	0	0	160
	グアポーテ	0	0	0	48,210	1,420
	モハラ	0	0	0	28,450	15,450
	ティラピア	0	0	3,400	70,960	84,805
	計	0	0	3,400	147,620	117,924
サンフランシスコ・リブレ	バグレ	0	0	0	0	2,849
	モハラ	0	0	0	0	2,133
	ティラピア	0	0	0	0	500
	計	0	0	0	0	5,482

出典：水産庁

ソロトラン湖で操業している漁民は集荷業者（仲買人）や地域の魚屋、輸出業者に獲った魚を売る。クアトロ・パロス、サンフランシスコ・リブレ、エル・パパロナルの集荷業者（仲買人）は、チナンデガの市場に持ち込み、魚屋、輸出業者に販売する。また、エルサルバドルやホンジュラスへの輸出業者にも直接販売する。ティピタパの集荷業者（仲買人）はマナグア、マサヤ、グラナダ、チョンタレス、ボアコ、エステリの市場に持ち込み、地域の魚屋に販売する。



漁民が魚を持ち込む集荷業者（ティピタパ）



漁民から直接魚を買付ける集荷業者（マテアレ）

表 33 にソロトラン湖を含む国内で獲られた淡水魚の一部を含む淡水魚のホンジュラス、米国への輸出量を示す。

表 33 淡水魚の輸出量

単位：ポンド

輸出先	魚種	2013 年	2014 年
ホンジュラス	グアポーテ	25,803	4,004
	マチャカ	20,450	2,004
	モハラ	84,904	8,107
	ロパロ	1,300	2,200
	サバロ	19,500	136,644
	ティラピア	139,461	4,004
	計	291,418	156,963
米国	ティラピア	1,266	1,450
合 計		292,684	158,413

出典：水産庁

1-3-2-3 活動 2-3 調査エリアにおける総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質、魚肉）を策定する

(1) 総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）の策定。

調査エリア設定のための事前調査および過去に実施された調査結果に基づき、総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）を策定した。なお、当該計画における調査時期および調査地点の選定については、以下の点に留意して策定した。総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）は添付資料 4 参照。

調査時期

調査時期は、ソロトラン湖の水位の高い時期および低い時期の2回とした。具体的には、表34に示すように2009年から2015年までのソロトラン湖の水位が最高および最低になる月を調査し、1月～2月（最高）と5月～8月（最低）に各1回とした。

表34 ソロトラン湖の年別最大・最低標高月

		2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
最大	月	1月	10月	11月	1月	1月	1月	1月
	標高(m)	40.1	42.7	42.3	41.2	40.6	40.2	39.4
最小	月	12月	4月	5月	5月	8月	8月	9月
	標高(m)	39.3	33.6	40.7	40.7	39.6	39.1	38.6

出典：国土地理院の情報を基にプロジェクトが作成

調査地点

湖水サンプル採取地点は、表35に示す選定基準に基づき、湖全体に配置した。湖水および底質サンプル採取場所を図16に示す。

表35 湖水サンプル採取地点選定理由および該当地点番号

湖水サンプル採取地点選定基準	サンプル採取地点番号
1. 外部からの水銀の流入を確認する地点	
1-1 流入河川の河口	2, 13, 19, 24, 28
1-2 自然由来の水銀（湧水）の流入地点	30, 31
1-3 湖に隣接する廃棄物処分場前面	8
2. 水銀汚染源	
2-1 旧化学工場（ペンウォルト）の排水流入地点	15
3. 湖から水銀の流出を確認する地点	1, 32, 33, 34
4. 湖の水銀濃度分布を把握する地点	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29

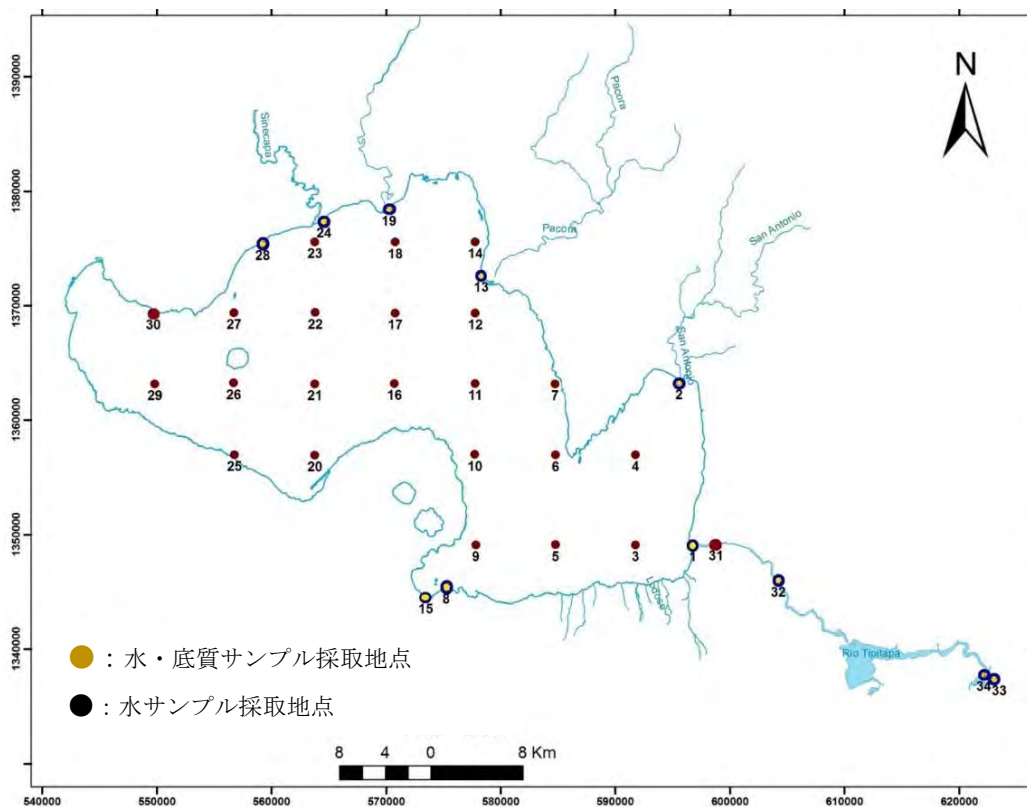
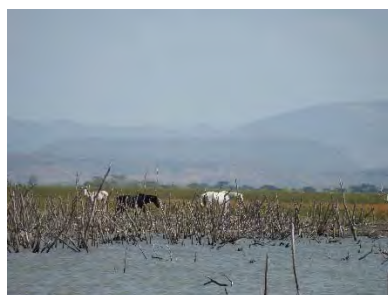


図 16 サンプル採取地点



8：廃棄物処分場の前面



13：パコラ川河口



15：旧化学工場の排水流入地点周辺



30：モモトンボ火山前面



32：ティピタパ川



32：ティピタパ川のニカラグア湖
流入地点

なお、35 で示されるサンプル採取地点は、ティピタパ川に沿った保養施設内において温泉が湧き出している場所。



保養施設



35: サンプル採取地点 (温泉源)



31: 温泉水がティピタパ川に流れ込む地点

ア. 第2次総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）の策定

第1次調査結果に基づき、以下を考慮し第2次総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）を策定した。第2次総水銀汚染概要調査計画は添付資料5参照。

- ソロトラン湖中央部の底質中の総水銀濃度分布を把握するため、サンプル採取地点番号16、17、20、21、22において底質試料を採取する（図17）。
- ソロトラン湖湖水の浮遊物質中の水銀濃度分布を把握するため、サンプル採取地点番号3、5、7、11、16、21、26、29において採取した水試料中の総水銀濃度を測定する（図18）。
- ティピタパ川の水量がほとんどないため、温泉水がティピタパ川に流入するサンプル採取地点番号31での試料採取は行わない

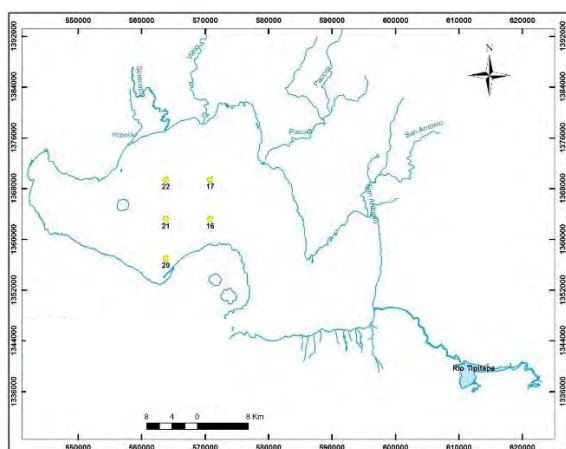


図17 湖中央部の底質中総水銀濃度調査地点

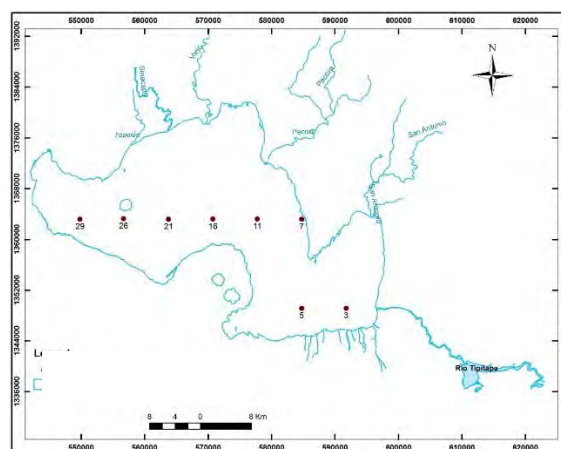


図18 総水銀濃度調査地点

イ. 第3次総水銀汚染概要調査計画（底質）の策定

第1次および第2次総水銀汚染概要調査結果から、図19の矢印で示す旧化学工場（ペンウォルト）の排水が流入していた地点周辺の底質中の総水銀濃度が他の試料採取地点より高いことが明らかになった。

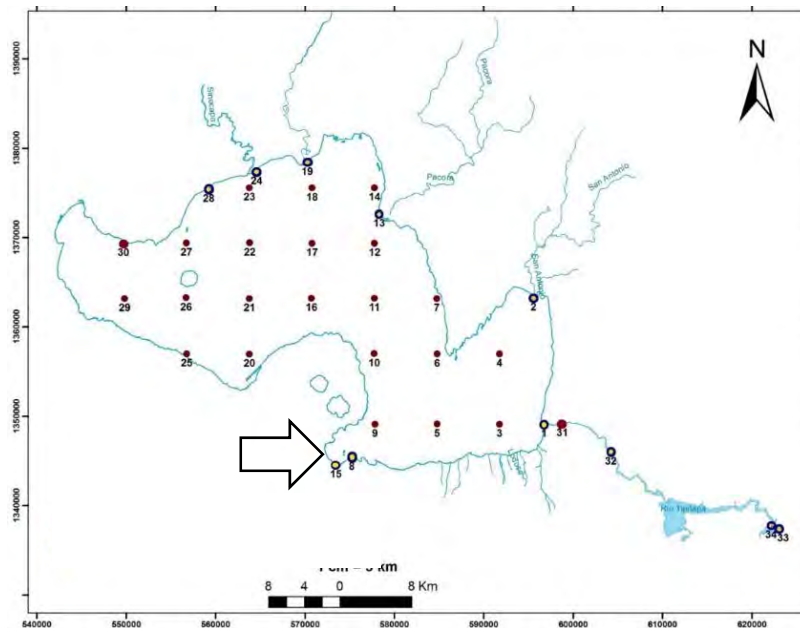


図 19 旧化学工場（ペンウォルト）からの排水が流入していた地点周辺

工場排水に含まれていた水銀の底質における分布状況を調査するため、2016 年 9 月、旧化学工場（ペンウォルト）の排水が流入していたと思われる地点周辺調査を行った。この調査の結果、水銀濃度は、図 20 に示すように湖岸から約 300m の地点で最高（20.3ppm）となり、それ以遠は値が低下していた。

この調査結果に基づき、第 3 次水銀汚染概要調における調査範囲を旧化学工場（ペンウォルト）の排水口を中心に南北約 900m、東西約 1400m とし、その範囲に 100m メッシュを設定して、54 地点で底質を採取することとした。調査範囲およびサンプル採取地点を図 21 に示す。

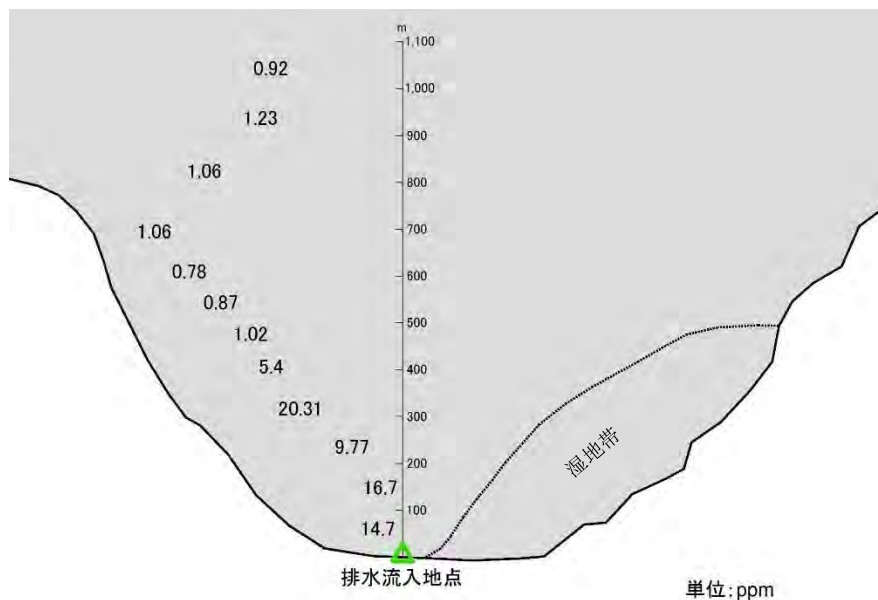
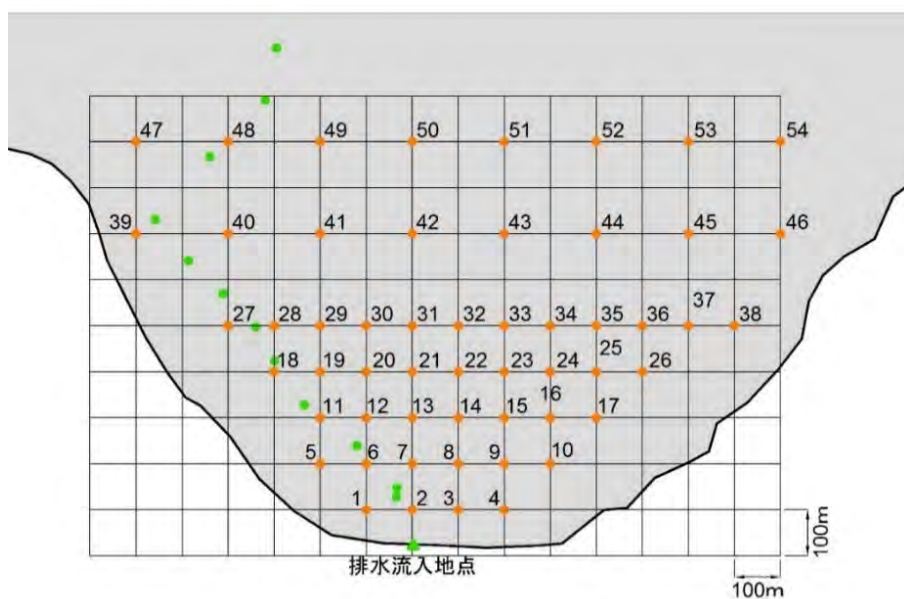


図 20 予備調査結果



注：緑で示す点は予備調査地点

図 21 第 3 次総水銀汚染概要調査（底質）地点

また、自然由来の水銀源を調査するため、図 22 に示すモモトンボ火山裾野の温泉、モモトンボ火山に流入する河川水およびモモトンボ火山南側の湖岸において湖水および底質を採取することとした。

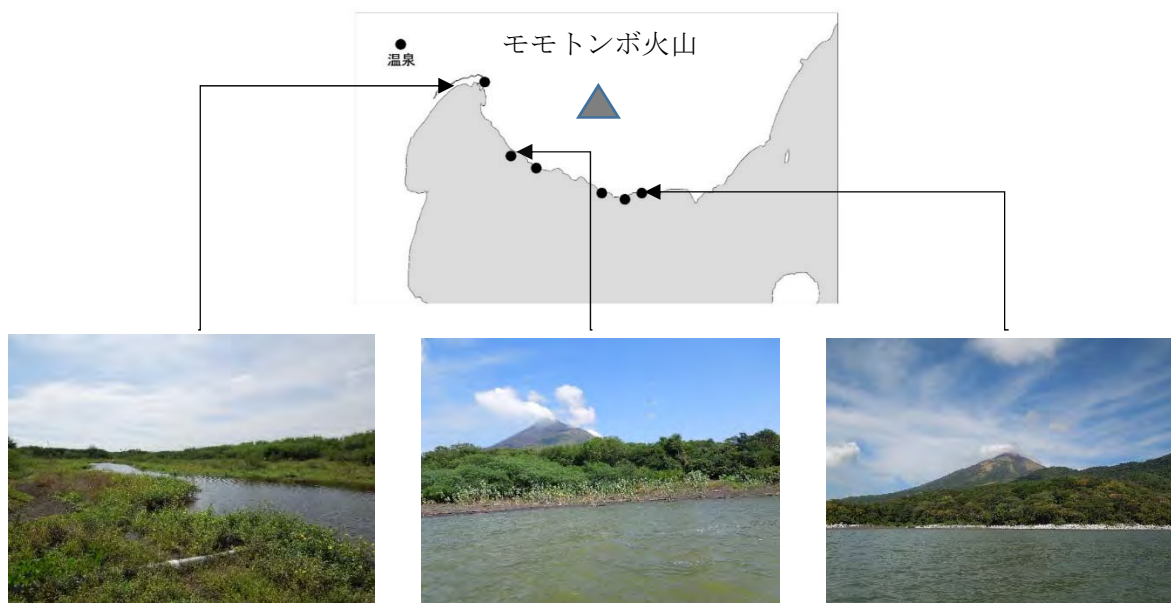


図 22 モモトンボ火山裾野の底質サンプル採取地点

ウ．第 4 次総水銀汚染概要調査計画（底質）の策定

総水銀汚染概要調査は当初 3 回のみ計画されていたが、第 3 次総水銀汚染概要調査の結果、水銀濃度が 54.6ppm、132ppm と著しく高い値を示す地点が見つかったため、これら 2 地点周辺の水銀濃度調査を第 4 次総水銀汚染概要調査として実施することとした。調査範囲を図 23 に示す。

また、第 3 次総水銀汚染概要調査において湖内まで繁殖していた植物のため、試料を採取することができなかった 8 地点においても試料を採取することとした。



図 23 第 4 次総水銀汚染概要調査範囲

(2) 総水銀汚染概要調査計画（魚肉）の策定

ソロトラン湖において食用に採取される魚の魚肉中に含まれる総水銀濃度を調査するため、以下概要の総水銀汚染概要調査計画（魚肉）を策定した。総水銀汚染概要調査計画（魚肉）は添付資料 6 参照。

魚種	4 種類（グアポーテ、グアビーナ、モハラ、ティラピア）
入手頻度	毎月（2015 年 12 月から 2016 年 12 月）
試料数	各種類 10 尾以上/月
入手場所	ティピタパ、サンフランシスコ・リブレ

1-3-2-4 活動 2-4 総水銀汚染概要調査（湖水、底質、魚肉）を実施する

(1) 湖水・底質調査結果

ア. 調査日程

第 1 次、第 2 次、第 3 次および第 4 次総水銀汚染概要調査計画に基づき表 36 に示す日程で調査を実施した。

表 36 総水銀汚染概要調査（湖水、底質）実施年月日

調査次	実施期間	サンプル採取地点数	採取試料数		水位* (標高m)
			湖水	底質	
第 1 次調査	2016 年 2 月 2 日～10 日	35	53	11	38.38
第 2 次調査	2016 年 6 月 1 日～8 日	34	52	14	37.70
第 3 次調査	2016 年 12 月 1 日	46	0	46	38.12
	2016 年 12 月 6 日	5	5	5	38.12
	2016 年 12 月 9 日	2	2**	0	38.12
第 4 次調査	2017 年 2 月 10 日	14	0	14	37.67

* : 国土地理院観測データ

** : モモトンボ火山裾野の温泉水、河川水



第1次調査における水試料採取作業



第1次調査における底質試料採取作業



第3次調査における底質試料採取作業

なお、第2次総水銀汚染概要調査においてニカラグア湖の水位低下により、ティピタパ川がニカラグア湖に流入する33および34に調査船が達することができず、サンプルを採取することはできなかった。サンプルは33および34の近くで調査船が侵入可能な場所で採取した。

イ. 調査結果

a. 湖水

第1次および第2次総水銀汚染概要調査における溶存態水銀濃度をそれぞれ表37、図24、図25に示す。

表 37 第 1 次および第 2 次総水銀汚染概要調査結果（水温、pH、電気伝導率、溶存態総水銀濃度）

サンプ ル 採 取 地 点番号	第 1 次調査（2016 年 2 月）								第 2 次調査（2016 年 6 月）							
	水温 (℃)		pH		電気伝導率 (μ S/cm)		総水銀濃度 (ppt)		水温 (℃)		pH		電気伝導率 (μ S/cm)		総水銀濃度 (ppt)	
	表層	低層	表層	低層	表層	低層	表層	低層	表層	低層	表層	低層	表層	低層	表層	低層
1	27.8	--	9.3	--	1,600	--	3.51	--	29.0	--	9.6	--	1,538	--	0.29	--
2	25.8	--	9.3	--	1,618	--	0.76	--	30.4	--	9.6	--	1,670	--	<1d **	--
3	26.5	26.5	9.3	9.2	1,585	1,501	2.35	2.91	31.8	29.9	9.6	9.5	1,659	1,657	0.29	0.70
4	26.2	26.1	9.3	9.2	1,596	1,600	0.47	0.64	30.9	29.7	9.6	9.6	1,644	1,647	0.29	<1d **
5	26.9	26.5	9.3	9.2	1,595	1,591	0.97	0.30	31.1	30.0	9.6	9.5	1,645	1,651	1.30	0.36
6	26.3	26.5	9.3	9.3	1,605	1,604	0.59	0.42	32.5	30.0	9.5	9.5	1,675	1,676	<1d **	<1d **
7	26.3	26.1	9.3	9.3	1,610	1,611	0.75	--	30.4	--	9.5	--	1,658	--	<1d **	--
8	26.4	--	9.3	--	1,582	--	0.34	--	33.9	--	9.7	--	1,598	--	<1d **	--
9	26.9	26.4	9.3	8.6	1,591	1,556	0.42	0.50	32.7	30.2	9.6	9.4	1,659	1,662	<1d **	<1d **
10	26.4	26.5	9.2	9.1	1,583	1,552	<1d*	0.96	32.9	29.8	9.6	9.5	1,674	1,676	<1d **	0.43
11	26.6	26.5	9.2	9.2	1,584	1,584	0.42	<1d *	31.1	29.4	9.5	9.4	1,667	1,679	<1d **	0.25
12	26.9	26.7	9.2	9.2	1,584	1,584	0.43	<1d *	31.1	30.0	9.1	9.5	1,660	1,667	0.48	<1d **
13	27.3	--	9.3	--	1,617	--	0.47	--	31.4	--	9.6	--	1,574	--	0.58	--
14	26.7	--	9.3	--	1,591	--	0.31	--	31.1	--	9.5	--	1,633	--	<1d **	--
15	26.6	--	9.3	--	1,583	--	1.38	--	34.2	--	9.7	--	1,540	--	0.36	--
16	26.6	26.6	9.2	9.2	1,584	1,585	<1d *	<1d *	30.6	29.8	9.5	9.4	1,675	1,676	<1d **	0.74
17	26.7	26.6	9.2	9.2	1,584	1,584	0.47	0.39	30.5	30.0	9.5	9.5	1,669	1,670	<1d **	0.41
18	27.2	26.8	9.2	9.2	1,585	1,585	<1d *	0.67	30.5	30.1	7.5	9.5	1,670	1,670	<1d **	<1d **
19	27.1	--	9.3	--	1,621	--	<1d *	--	31.0	--	9.4	--	852	--	1.63	--
20	26.3	26.3	9.2	9.2	1,584	1,584	<1d*	<1d*	30.0	29.9	9.5	9.4	1,676	1,674	3.10	<1d **

21	27.0	26.5	9.2	9.2	1,584	1,585	<1d*	<1d*	30.6	29.9	9.5	8.9	1,676	1,673	0.40	<1d**
22	27.5	26.7	9.2	9.2	1,584	1,585	<1d*	0.58	30.1	29.8	9.5	8.0	1,669	1,603	<1d**	0.43
23	28.1	27.0	9.2	9.3	1,584	1,588	1.24	<1d*	30.1	30.0	9.5	9.5	1,668	1,670	0.57	<1d**
24	27.5	--	9.3	--	1,570	--	<1d*	--	31.8	--	9.5	--	1,665	--	0.52	--
25	25.6	--	9.3	--	1,590	--	<1d*	--	32.3	--	9.5	--	1,664	--	<1d**	--
26	26.6	26.6	9.2	8.8	1,589	1,586	<1d*	<1d*	31.4	29.9	9.5	9.5	1,667	1,671	<1d**	2.14
27	27.0	26.9	9.3	9.1	1,586	1,569	<1d*	<1d*	30.8	30.0	9.6	9.5	1,662	1,673	0.92	<1d**
28	27.5	--	9.3		1,512	--	<1d*	--	29.7	--	9.9	--	1,494	--	<1d**	--
29	27.0	27.0	9.3	8.0	1,585	1,584	<1d*	<1d*	32.0	30.1	9.5	9.5	1,662	1,667	<1d**	<1d**
30	27.3	--	9.3	--	1,586	--	<1d*	--	33.0	--	9.6	--	1,657	--	<1d**	--
31	33	--	8.0	--	1,128	--	11.04	--	--	--	--	--	--	--	<1d**	--
32	27.5	--	9.4	--	648	--	2.77	--	30.5	--	9.2	--	655	--	<1d**	--
33	24.1	--	8.9	--	336	--	0.33	--	--	--	--	--	--	--	--	--
34	25.2	--	9.0	--	362	--	1.39	--	--	--	--	--	--	--	--	--
35	57	--	8.0	--	1,611	--	66.60	--	--	--	8.6	--	1,647	--	80.00	--
36									31.8	--	9.6	--	1,661	--	<1d**	--

*:検出下限値（0.30ppt）以下

**:検出下限値（0.24ppt）以下

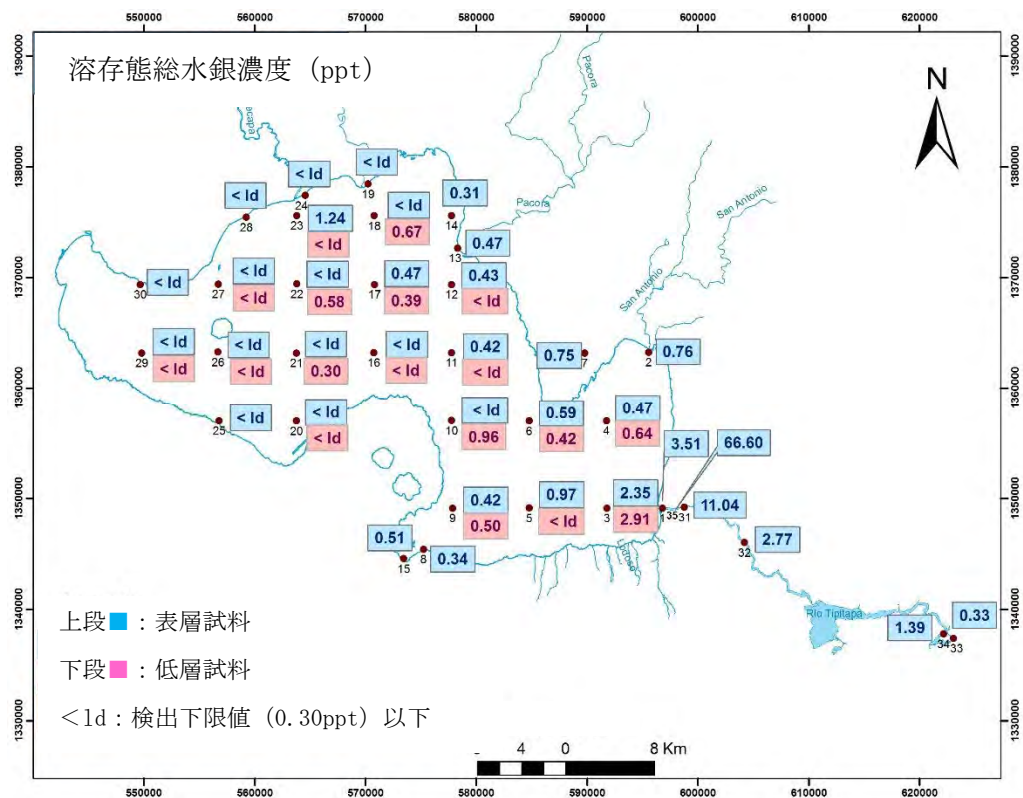


図 24 第 1 次総水銀汚染概要調査における溶存態総水銀濃度

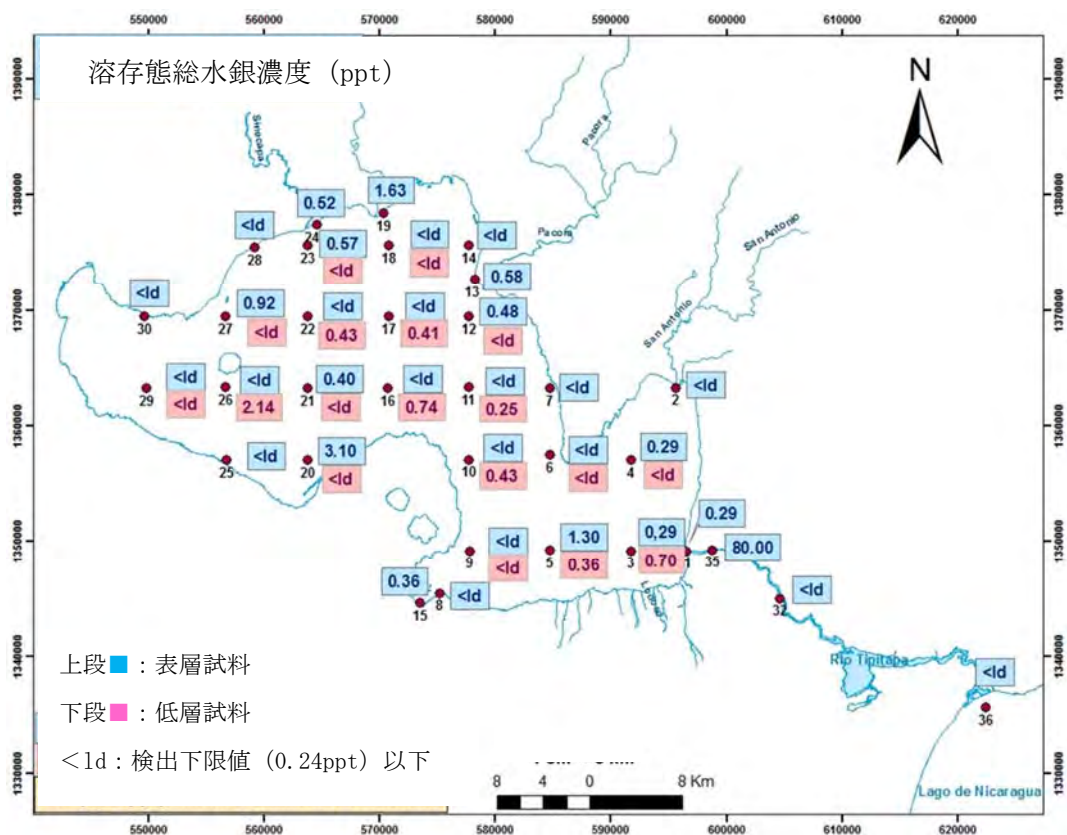


図 25 第 2 次総水銀汚染概要調査における溶存態総水銀濃度

これらの調査結果からソロトラン湖、ティピタパ川、ティピタパ川のニカラグア湖流入地点における水はアルカリ性の電解物質を多く含み、ソロトラン湖の湖水中の溶存態総水銀濃度は、最も高い値を示した温泉水（サンプル採取地点番号 35）における濃度 80.00ppt でも世界保健機関（WHO）の飲料水水質ガイドラインにおける基準値（1000ppt）の 1/13 であった。また、湖面の水位変化による溶存態水銀濃度への影響は認められなかった。

ソロトラン湖の水位の高い時期に実施された第 1 次調査によって得られた浮遊物質中の総水銀濃度は、表 38 に示すとおり、すべての調査地点において、水位の低い時期に実施された第 2 次調査の結果より高い値を示した。また、溶存態総水銀と浮遊物質中の総水銀の濃度を合わせた無ろ過の湖水中の総水銀濃度は、最も高い値（26.50ppt）でも WHO の飲料水水質ガイドラインにおける基準値の約 1/38 であった。なお、表 38 の無ろ過の湖水中の総水銀濃度計算において溶存態総水銀の濃度が検出下限値以下の場合、無ろ過の湖水中の総水銀濃度は、溶存態総水銀濃度の各分析時の検出下限値に浮遊物質中の総水銀濃度を加えた値とした。湖水中の総水銀濃度を図 26 に示す。

表 38 湖水中の総水銀濃度

単位：ppt

試料採取 地点番号	第 1 次調査(2016 年 2 月)			第 2 次調査(2016 年 6 月)		
	溶存態水銀 濃度 ①	浮遊物質中 総水銀濃度 ②	無ろ過の湖 水中の総水 銀濃度 ①+②	溶存態水銀 濃度 ①	浮遊物質中 総水銀濃度 ②	無ろ過の湖 水中の総水 銀濃度 ①+②
3	2.35	4.90	7.25	0.29	3.13	3.42
5	0.97	25.53	26.50	1.30	3.35	4.65
7	0.75	8.17	8.92	<1d (0.24)	2.83	3.07
11	0.42	5.27	5.69	<1d (0.24)	1.64	1.88
16	<1d (0.30)	5.73	6.03	<1d (0.24)	2.53	2.77
21	<1d (0.30)	4.13	4.43	0.40	1.49	1.89
26	<1d (0.30)	6.93	7.23	<1d (0.24)	1.48	1.72
29	<1d (0.30)	5.27	5.57	<1d (0.24)	1.68	1.92

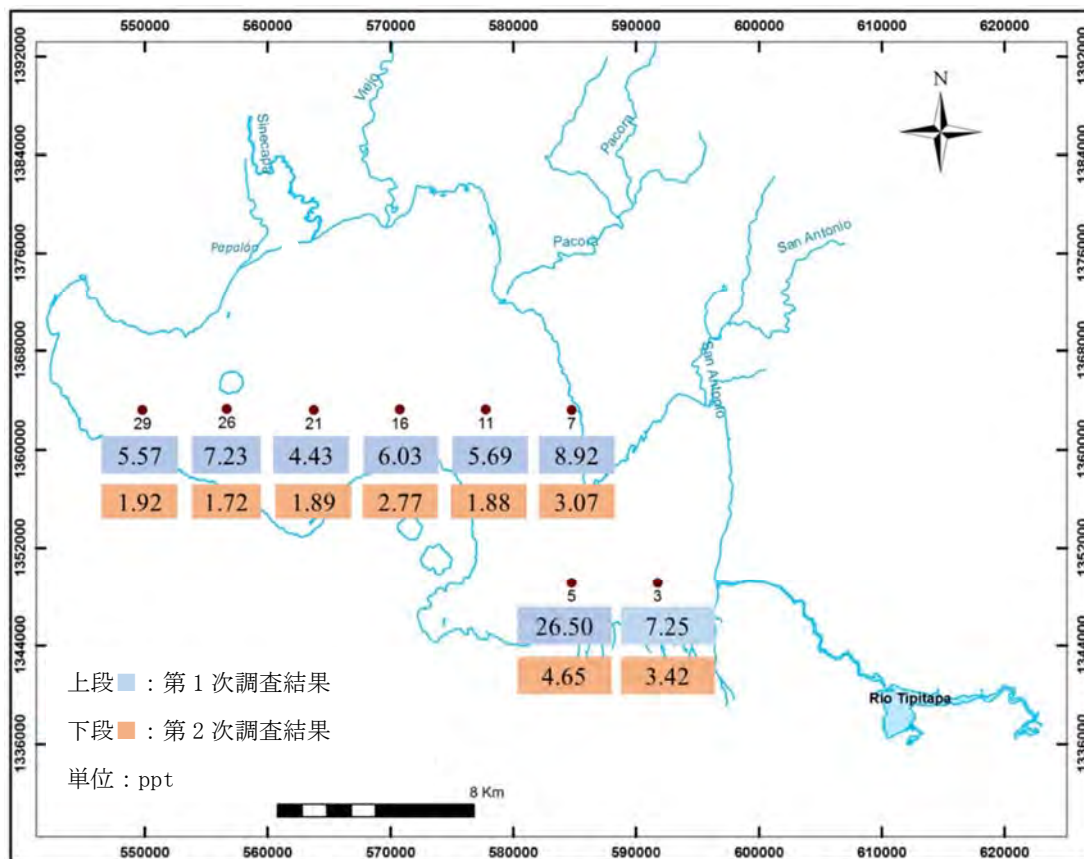


図 26 無ろ過の湖水中の総水銀濃度

b. 底質

第 1 次および第 2 次総水銀汚染概要調査における底質中の総水銀濃度をそれぞれ表 39 および図 27 に示す。これらの調査の結果、以下が明らかになった。

- ソロトラン湖中心部、ティピタパ川およびティピタパ川のニカラグア湖流入地点の底質中の総水銀濃度は水銀に対するクラーク数(0.2ppm)と同程度もしくはそれ以下であった。
- ソロトラン湖に流入する河川の河口域における総水銀濃度は湖中心部の底質中の総水銀濃度と同程度または、それ以下であり、上流からの水銀の流入は確認できなかった。
- 廃棄物処分場から水銀が浸出しているとしても水銀の湖底への堆積は確認できなかった。
- 旧化学工場（ペンウォルト）の排水口周辺の底質に含まれる総水銀濃度は他の水域よりも高い値を示した。

表 39 底質中の総水銀濃度

単位：ppm

調査地点番号	総水銀濃度		調査地点番号	総水銀濃度	
	第 1 次調査	第 2 次調査		第 1 次調査	第 2 次調査
1	0.13	0.21	21	--	0.17
2	0.02	0.03	22	--	0.01
8	0.13	--	24	0.01	0.02
13	0.01	0.003	28	0.01	0.004
15	11.59	12.97	32	0.07	0.08
16	--	0.13	33	0.02	--
17	--	0.06	34	0.06	--
19	0.01	0.01	36	--	0.003
20	--	0.01			

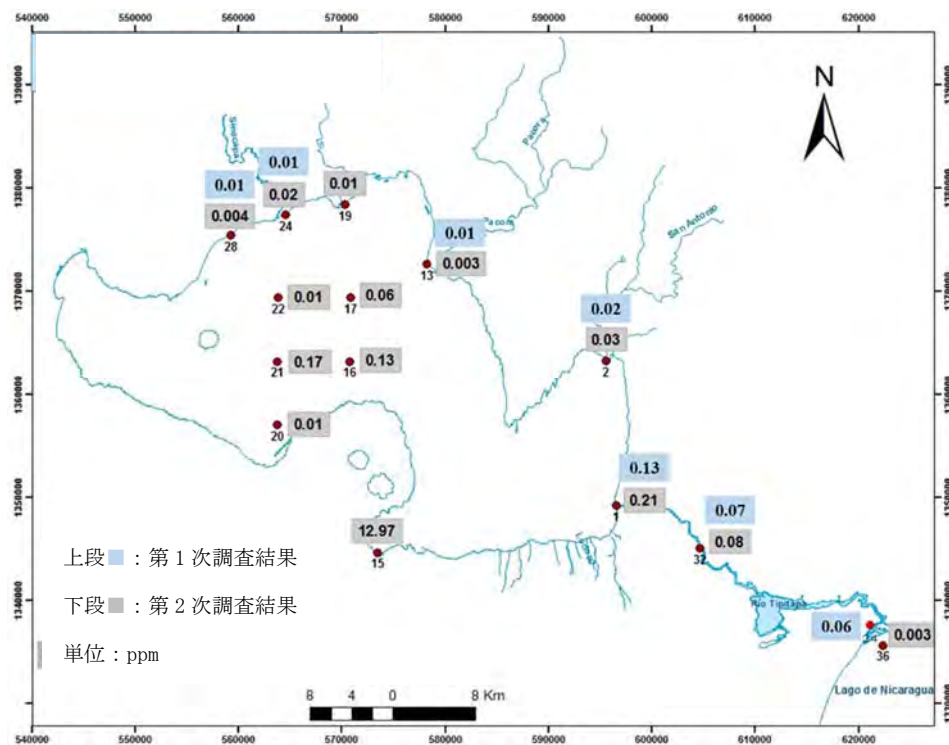


図 27 底質中の総水銀濃度

また、第 3 次および第 4 次調査の結果、湖岸から約 400m 沖まで 10ppm 以上の水銀が検出され、特に旧化学工場（ペンウォルト）の排水口の西側には、50ppm を越す水銀が検出された。旧化学工場（ペンウォルト）の排水口周辺水域の底質中に含まれる水銀濃度分布をおよび水銀濃度コンターを図 28、図 29 に示す。

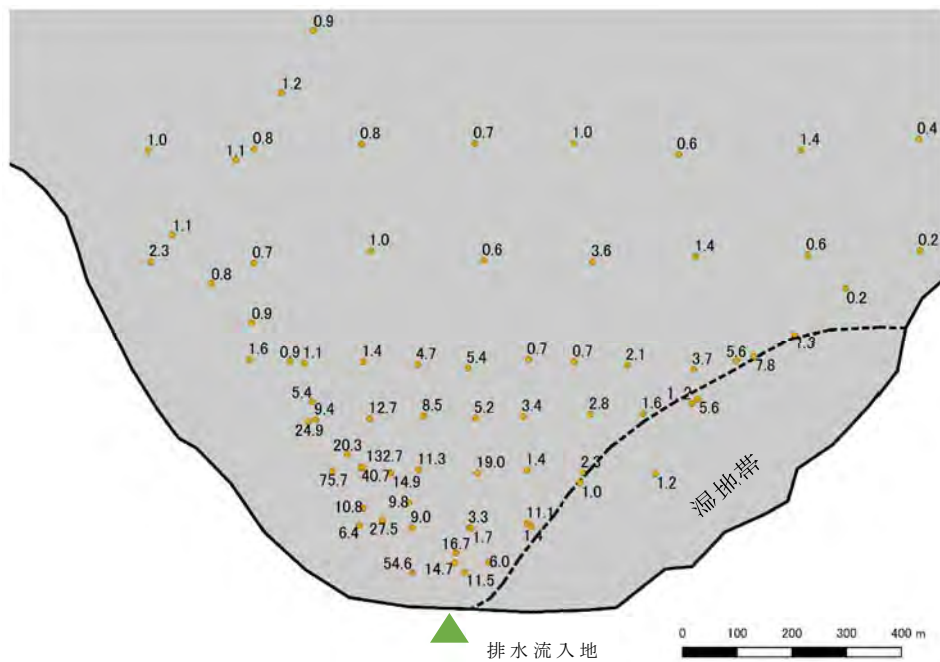


図 28 底質中の総水銀濃度分布

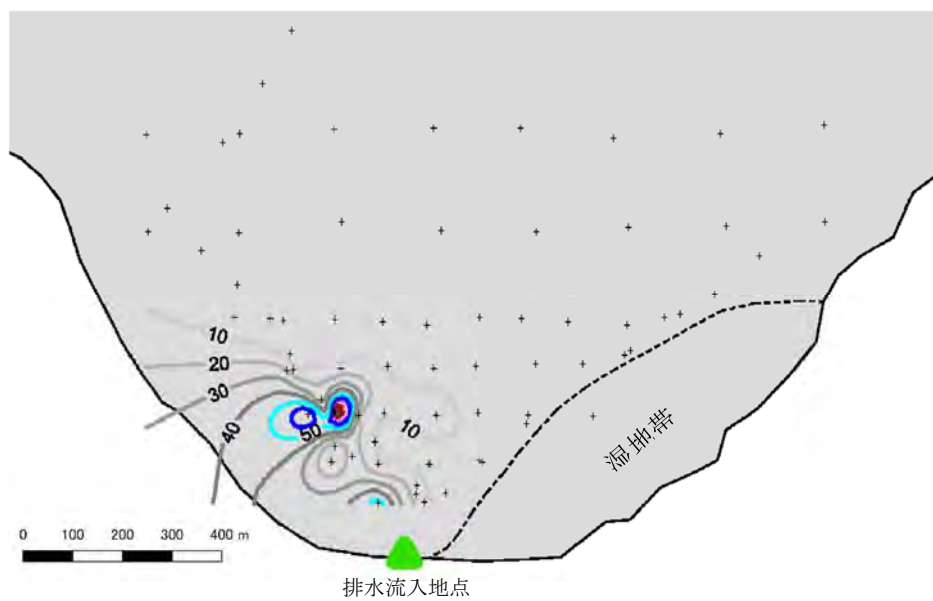


図 29 底質中の総水銀濃度コンター（単位：ppm）

さらに、モモトンボ火山裾野において採取した水および底質試料中の総水銀濃度を図 30 に示す。

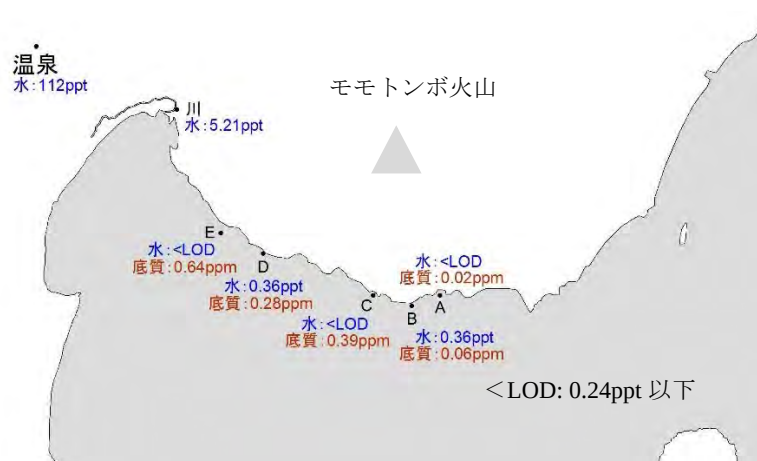


図 30 モモトンボ火山裾野において採取した水および底質試料中の総水銀濃度

調査の結果、モモトンボ火山周辺の温泉からは比較的高い濃度の水銀が検出されたが、河川水および湖水中の総水銀濃度は湖の中心部で採取された試料と同程度の濃度であり、火山周辺の湧き水の影響は認められなかった。湖岸の底質も火山からの噴出物や湧水に含まれる水銀の影響が認められなかった。

(2) 魚

ア. 試料調達実績

総水銀汚染概要調査計画（魚）に基づき、2015 年 12 月から 2016 年 12 月まで毎月ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレの魚集荷業者から 4 種類（グアポーテ、グアビーナ、モハラ、ティラピア）の魚を合計 629 匹調達した。各月の魚種別の調達数を表 40 に示す。

表 40 魚試料の調達実績

	ティピタパ				サンフランシスコ・リブレ			
	グアポーテ	グアビーナ	ティラピア	モハラ	グアポーテ	グアビーナ	ティラピア	モハラ
2015 年 12 月	5	8	0	13	8	6	0	7
2016 年 1 月	0	8	0	8	8	8	8	8
2016 年 2 月	8	8	0	8	8	8	8	8
2016 年 4 月	12	12	0	12	12	12	12	12
2016 年 5 月	4	7	6	7	6	7	7	7
2016 年 6 月	1	6	0	6	6	6	6	6
2016 年 7 月	0	6	0	6	6	6	0	6
2016 年 9 月	0	15	0	18	18	17	1	17
2016 年 11 月	12	0	0	12	10	10	10	10
2016 年 12 月	0	24	0	24	22	20	16	20
合計	42	94	6	114	104	100	68	101



ティピタパの魚集荷業者での調達



サンフランシスコ・リブレの魚集荷業者での調達

イ. 調査結果

魚種別の総水銀濃度および日本の魚介類に対する水銀の規制値（0.4ppm）を超えた魚種別の割合を表 41 に示す。なお、ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレの魚集荷業者には地元付近で獲れた魚だけでなく別の水域で取れた魚も持ち込まれるため、試料調達先別の魚の総水銀濃度の比較は行わなかった。

表 41 魚種別の総水銀濃度および日本の魚介類の水銀の暫定規制値（0.4ppm）を超えた割合

	グアポーテ	モハラ	グアビーナ	ティラピア
平均値 (ppm)	0.465	0.251	0.230	0.018
0.4ppm を超えた試料割合 (%)	56.2	14.4	2.9	0.0

1-3-2-5 活動 2-5 住民を対象とした水銀曝露調査計画を策定する

ソロトラン湖で捕獲した魚を摂取している住民を対象に、毛髪水銀濃度をバイオマーカーとしてメチル水銀曝露状況を推定するとともに、魚介類摂取を通じて曝露するメチル水銀による健康リスク評価のための疫学的資料を得ることを目的とした水銀曝露調査計画を策定した。水銀曝露調査計画書は添付資料 7 参照。

1-3-2-6 活動 2-6 水銀曝露調査（毛髪）を実施する

(1) 調査概要

保健省の協力を得て、ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレにおいて事前に書面によるインフォームドコンセントが得られた 1,345 名（男性 557 名、女性 788 名）を対象に問診調査票を用いた聞き取り調査および毛髪中の水銀調査を行った。表 42 に調査概要を示す。

表 42 水銀暴露調査実施概要

調査地域	調査実施年月日	調査対象者		
		男性	女性	計
ティピタパ	2015 年 11 月 3 日～6 日	421	602	1023
サンフランシスコ・リブレ	2016 年 6 月 6 日、7 日	130	165	295

(2) メチル水銀暴露による住民の健康リスク評価

ア. 解析対象データ

ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレにおいて実施された暴露調査で得られた毛髪水銀濃度データおよび問診調査票結果に加え，これら調査に付随してマナグア市内で採取・調査した毛髪および調査票のデータ（27 検体）を総合して集計・解析した。

イ. 試料数・濃度分布・平均濃度

リスク評価の解析対象は 1,345 で，うち女は 788，男は 557 であった（表 43）。対象者の性年齢別分布を図 31 に，毛髪水銀濃度の分布を図 32 に示す。対数変換した毛髪水銀濃度の分布（図 33）は，主要 2 集団における分布の違いを反映して低濃度側に裾がやや広がったが，毛髪水銀濃度の分布はほぼ対数正規分布に従うと見なして以下の解析を行った。

表 43 全対象者の性別参加数および年齢および毛髪水銀濃度

性	n	年齢			毛髪水銀濃度 (ppm)				
		AM	min	max	AM	min	med	max	GM
女	788	28.8	0	93	0.94	0.013	0.55	15.4	0.49
男	557	25.8	0	91	1.35	0.022	0.64	13.2	0.59
計	1345	27.6	0	93	1.11	0.013	0.59	15.4	0.53

AM：算術平均

GM：幾何平均

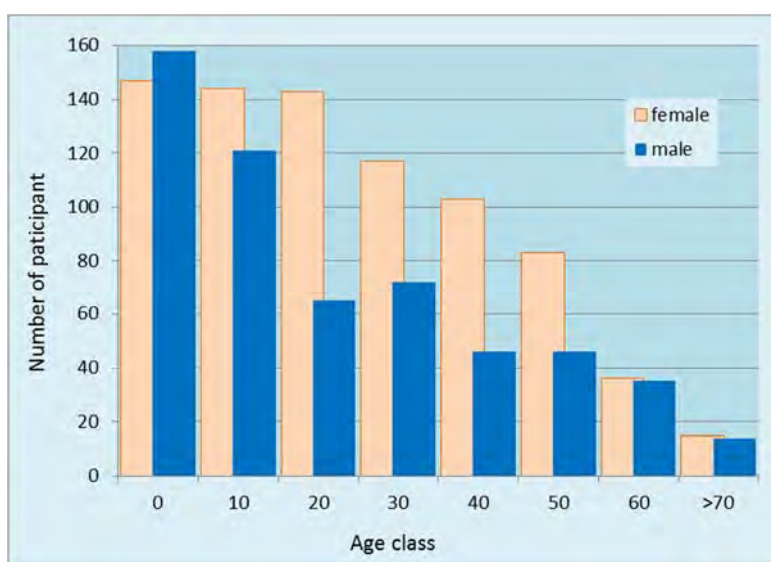


図 31 毛髪水銀調査全対象者の年齢階級別分布

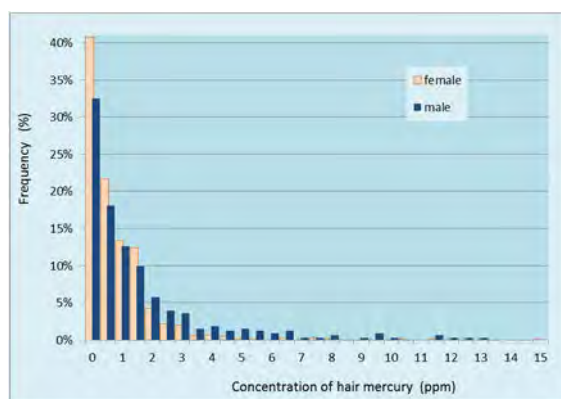


図 32 毛髪水銀濃度分布

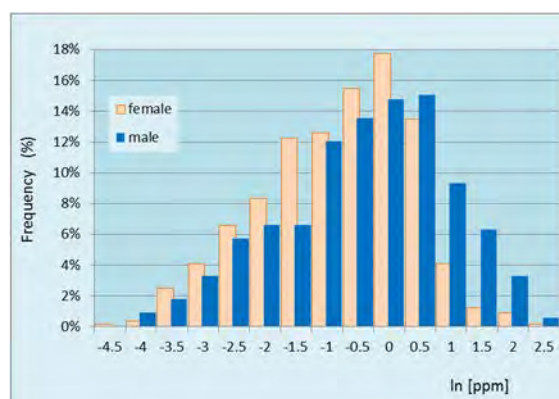


図 33 対数変換した毛髪水銀濃度の分布

表 43 より、対象者の平均年齢は女 28.8 歳、男 25.8 歳であった。毛髪水銀濃度の幾何平均は全対象者で 0.53 ppm、女 0.49 ppm、男 0.59 ppm、中央値は全対象者で 0.59 ppm、女 0.55 ppm、男 0.64 ppm で、幾何平均とはわずかなずれが認められた。参考までに、日本の一般集団の毛髪水銀濃度の幾何平均は、男 2.5 ppm、女 1.6 ppm で、これに比較してニカラグア調査の濃度はかなり低かった。毛髪水銀濃度（幾何平均）は図 34 に示すように、年齢によって変化し、これは魚介類の摂取傾向が年齢とともに変化するためと考えられる。

図 35 に示すように、毛髪水銀濃度は魚介類の摂取頻度に依存していた。これをさらに詳細に検討するため、性別・年齢・魚介類摂取頻度・居住地（ティピタパおよび サンフランシスコ・リブレ）を独立変数とする重回帰分析により、毛髪水銀濃度の規定因子を調べた。その結果、表 44 に示すように、年齢、魚介類摂取頻度およびサンフランシスコ・リブレが毛髪水銀濃度と有意の正の相関を示した。

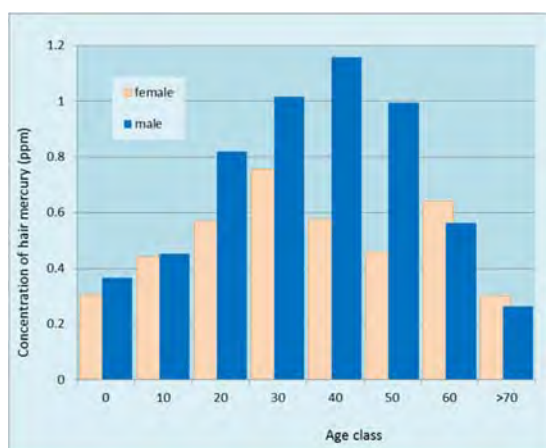


図 34 年齢階級別毛髪水銀濃度

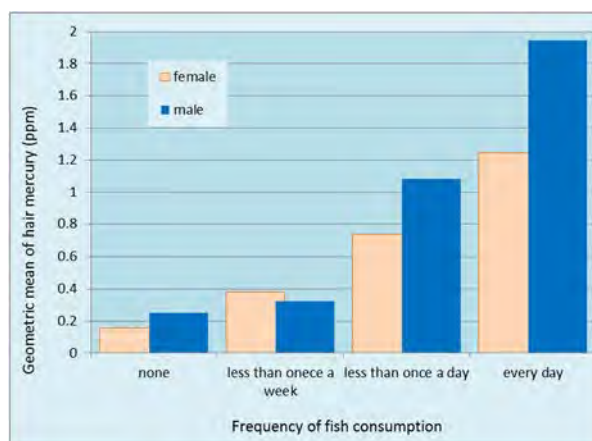


図 35 魚摂取頻度別毛髪水銀濃度（15 歳以上）

表 44 毛髪水銀濃度規定因子

調整因子	性 (男)	年齢	魚介類摂取頻度	居住地 (ティピタパ)	居住地 (サンフランシスコ・ リブレ)
偏回帰係数 (95%CI)	ns	0.006 (0.003-0.002)	0.459 (0.378-0.541)	ns	0.821 (0.390-1.251)

解析対象：全年齢 (n = 1345)

偏回帰係数 (partial regression coefficient)

95%CI: 95%信頼区間 (95% confidence interval), ns: not significant

メチル水銀の各種参照値（基準値）レベルの暴露に相当する毛髪水銀濃度に対して、これを超過する頻度を表 45 に示す。感覚障害の最大無作用レベルである毛髪水銀 50 ppm を超過したものではなく、胎児発達影響の最大無作用レベル（の最小値）である毛髪水銀 11 ppm を超過したものも 0.5% と非常に低かった。一方、耐容摂取量レベルに相当する毛髪水銀濃度である 2.2 および 2.8 ppm に対する超過頻度はそれぞれ、11.8%（全女 8.6%，出産年齢の女 10.7%，男 16.3%），8.6%（全女 5.2%，出産年齢の女 6.8%，男 13.3%）であった。また、米国 EPA の RfD にほぼ相当する 1.0 ppm の超過頻度は 35.4%（全女 33.2%，出産年齢の女 39.4%，男 38.4%）であった。なお、日本の一般集団における各超過頻度（男女合計）は、11 ppm：1%，5 ppm 10%，2.8 ppm 35%，2.0 ppm：48%，1.0 ppm：86%で、本調査結果と比較して 2 倍～4.1 倍高い。

表 45 各種参照値相当の毛髪水銀濃度に対する超過者頻度

集団	毛髪水銀濃度 (ppm)					
	0< (total)	1.0<	2.2<	2.8<	5.0<	11<
女	788	262	68	41	11	2
	100%	33.2%	8.6%	5.2%	1.4%	0.3%
女, 15～49 歳	429	169	46	29	8	1
	100%	39.4%	10.7%	6.8%	1.9%	0.2%
男	557	214	91	74	32	5
	100%	38.4%	16.3%	13.3%	5.7%	0.9%
全集団	1345	476	159	115	43	7
	100%	35.4%	11.8%	8.6%	3.2%	0.5%

1.0 ppm: 米国 EPA の耐容摂取量 (RfD、0.7 $\mu\text{g/kg/週}$) の暴露に相当する毛髪水銀濃度

2.2 ppm: JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on food Additives) の耐容摂取量(1.6 $\mu\text{g/kg/週}$)の暴露に相当する毛髪水銀濃度

2.8 ppm: 日本の食品安全委員会の(妊娠期)耐容摂取量(2.0 $\mu\text{g/kg/週}$)の暴露に相当する毛髪水銀濃度

5.0 ppm: 感覚障害に基づく旧耐容摂取量(3.4 $\mu\text{g/体重 kg/週}$)の暴露に相当する毛髪水銀濃度

11 ppm: 妊娠中に胎児発達影響が増加し始める毛髪水銀濃度

ウ. 健康状態との関係

健康・身体状況では 30 歳以上の参加者 567 例について、糖尿病・高血圧・神経症状 14 項目の自覚症状の有無、2 項目の調査者所見およびこれら自覚・他覚 16 項目の陽性項目数をアウトカムとして、多変量解析により毛髪水銀濃度との相関性を検討した。このとき交絡因子として、糖尿病・高血圧の有無、性別、年齢および漁業従事、居住地(ティピタパおよび サンフランシスコ・リブレ)で調整し、陽性項目数については重回帰分析による偏回帰係数を求め、陽性項目数以外のアウトカムについては多重ロジスティック回帰分析による調整オッズ比を求めた。この結果は表 46 に示すように、毛髪水銀濃度は陽性項目数に対して有意に負の回帰係数を示した。また、「物忘れ」、「手の震え」、「まっすぐ歩けない」の調整オッズ比は有意に 1 より小さい値を示した。すなわちこれら 4 項目では、毛髪水銀濃度が高いほどそのリスクが減少することを示していた。同様に、漁業従事者では「臭いがわかりにくい」の調整オッズ比が有意に 1 より小さかった。毛髪水銀濃度については、前述したように感覚障害の最大無作用量を超えた例はなく、さらに、神経症状と負の相関性を示したことは、メチル水銀暴露量が十分低い場合には、魚介類の摂取による栄養素摂取等がこれら健康状態に便益効果をもたらしている可能性を示唆している。なお、比較的低い毛髪水銀濃度が見かけ上の便益効果を示す例は、妊娠中の毛髪水銀濃度と新生児の出生時体重などでも報告されている(Miyashita et al, 2015, Sci Total Environ, 533, 256 など)。

表 46 健康状態に対する各因子の偏回帰係数あるいは調整オッズ比 *

項目	解析法	性（男）	年齢	漁業従事者	糖尿病	高血圧	毛髪水銀濃度 (対数)
糖尿病	ロジスティック回帰	ns	1.054 (1.027 / 1.081)	ns		7.666 (3.589 / 16.376)	ns
高血圧	ロジスティック回帰	0.404 (0.233 / 0.703)	1.038 (1.021 / 1.055)	ns	7.311 (3.436 / 15.557)		ns
陽性愁訴項目数	重回帰	ns	0.029 (0.009 / 0.049)	ns	1.181 (0.288 / 2.075)	1.307 (0.755 / 1.858)	-0.227 (-0.424 / -0.030)
疲れやすい	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	2.775 (1.807 / 4.261)	ns
臭いがわかりにくい	ロジスティック回帰	ns	ns	0.122 (0.015 / 0.991)	ns	ns	ns
味が分かりにくい	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	2.408 (1.107 / 5.236)	ns
目まい	ロジスティック回帰	0.513 (0.327 / 0.806)	ns	ns	ns	2.203 (1.449 / 3.351)	ns
頭痛	ロジスティック回帰	0.558 (0.359 / 0.867)	ns	ns	ns	2.661 (1.690 / 4.190)	ns
物忘れ	ロジスティック回帰	ns	1.015 (1.000 / 1.031)	ns	ns	ns	0.852 (0.733 / 0.990)
手足のしびれ	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	2.701 (1.274 / 5.728)	2.296 (1.518 / 3.475)	ns
手足の感覚異常	ロジスティック回帰	ns	1.033 (1.014 / 1.053)	ns	ns	ns	ns
口唇周辺の痺れ	ロジスティック回帰	0.377 (0.146 / 0.974)	ns	ns	ns	2.253 (1.181 / 4.299)	ns

項目	解析法	性（男）	年齢	漁業従事者	糖尿病	高血圧	毛髪水銀濃度 （対数）
手の震え	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	ns	0.767 (0.622 / 0.946)
まっすぐ歩けない	ロジスティック回帰	ns	1.024 (1.002 / 1.047)	ns	ns	ns	0.658 (0.523 / 0.829)
口のもつれ	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	ns	ns
口のもつれ （調査者所見）	ロジスティック回帰	3.364 (1.223 / 9.251)	ns	ns	ns	ns	ns
聞こえにくい	ロジスティック回帰	ns	1.042 (1.020 / 1.065)	ns	ns	ns	ns
聞こえにくい （調査者所見）	ロジスティック回帰	ns	1.045 (1.017 / 1.073)	ns	ns	ns	ns
耳鳴り	ロジスティック回帰	ns	1.017 (1.001 / 1.033)	ns	ns	ns	ns

一方、これら以外の調整項目では、糖尿病と高血圧の相互に強い相関が検出されたほか、高血圧は神経症状の陽性項目数、および、しびれなど神経症状 6 項目と正の相関を示し、糖尿病は陽性項目数および「手足のしびれ」と正の相関を示した。また、年齢は糖尿病・高血圧のほか神経症状では陽性項目数、および感覚異常など 6 項目の自覚・他覚症状と正の相関が検出され、さらに性別では 4 項目で女のリスクが、1 項目では男のリスクが有意に高かった。これら一般的な健康リスク因子の影響が検出されたことは、本調査結果に基づくメチル水銀暴露の健康リスク評価の妥当性を補強するものと考えられる。なお、対象を 15 歳以上とした解析においてもほぼ同様の傾向が認められた（データ未掲載）。

エ. 結論

漁村地区を含むソロトラン湖の周辺住民の毛髪水銀濃度及び問診調査の結果、住民におけるメチル水銀暴露による健康リスクは極めて小さいと考えられる。

1-3-2-7 活動 2-7 水銀暴露調査結果に基づき毛髪中の総水銀濃度が一定以上の試料についてメチル水銀濃度を測定する

水銀暴露調査時に採取された毛髪中の総水銀濃度が 10ppm を越えた 9 試料中のメチル水銀濃度を測定した結果、食物摂取（魚）による内部暴露であることがわかった。分析結果を表 47 に示す。

表 47 メチル水銀分析結果

試料番号	調査対象地域	総水銀濃度 (ppm)	メチル水銀濃度 (ppm)
1	ティピタパ	11.65	11.0
2	ティピタパ	10.04	11.0
3	ティピタパ	15.44	16.4
4	ティピタパ	13.20	13.2
5	サンフランシスコ・リブレ	12.72	7.1
6	サンフランシスコ・リブレ	11.82	12.3
7	サンフランシスコ・リブレ	12.13	8.7
8	サンフランシスコ・リブレ	11.76	9.8
9	サンフランシスコ・リブレ	10.95	12.8

1-3-2-8 活動 2-8 人体への危険を評価し、水銀汚染調査報告書を作成する

総水銀汚染概要調査およびメチル水銀暴露調査をまとめた水銀汚染調査報告書を作成した。

1-3-3 成果 3 に対する活動

1-3-3-1 活動 3-1 保健省、環境省及び CIRA/UNAN-Managua の担当者に対し、化学物質としての水銀の特徴、人体へのリスク、人体に影響を及ぼす仕組みに関する知識を伝える

2016 年 9 月 21 日に開催された第 3 回テクニカルコミッティーにおいて蜂谷専門家から保健省、

環境天然資源省および CIRA/UNAN-Managua の担当者および政府に対する取り組み案検討ワーキンググループのメンバーである農牧保護衛生庁、国家毒物登録規制委員会からの出席者を含めた 24 名に対し、化学物質としての水銀の特徴、人体へのリスク、人体に影響を及ぼす仕組みに関する知識を伝えた。発表資料は添付資料 8 参照



第 3 回テクニカルコミッティーにおける蜂谷専門家の発表

1-3-3-2 活動 3-2 水資源・水産資源利用に係る関連法規及び体制を確認する

(1) 法規

活動 3-5 実施のため、組織されたワーキンググループのメンバーによって表 48 に示す水資源・水産資源利用に係る関連法規が収集された。

表 48 水資源・水産資源利用に係る関連法規

1	法律185	CODIGO DEL TRABAJO (CON SUS REFORMAS, ADICIONES E INTERPRETACIÓN AUTENTICA	改正労働法典（改定・追加箇所、信頼できる解釈を含む）
2	総説	COMPENDIO DE LEGISLACION MARINO-COSTERA CENTROAMERICANA CONVENIOS INTERNACIONALES Y NORMATIVA REGIONAL	中央アメリカ海洋沿岸域に対する国際条約および規制概要
3	総説	COMPENDIO DE LEGISLACION Marino-costera DE NICARAGUA	ニカラグア国の海洋沿岸域に対する法律概要
4	総説	COMPENDIO JURÍDICO AMBIENTAL	環境法概要（ニカラグア湖沿岸地方自治プログラム）
5	総説	Compendio Jurídico de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua	ニカラグア国の環境および天然資源に関する法の概要

6	総説	Conceptos y Fundamentos Jurídicos Dogmáticos de la Justicia Constitucional	憲法上の正義についての規範的概念・法的原理
7	憲法	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA	ニカラグア国憲法
8	令 01- 2007	REGLAMENTO DE ÁREAS PROTEGIDAS DE NICARAGUA	ニカラグア国の保護区地域に関する規則
9	令 28- 2012	Decreto de deforma al decreto No. 9-2005, Degramento de la pesca y acuicultura	政令第 9-2005 号改正令、漁業および養殖に関する規則
10	令 33-95	DISPOSICIONES PARA EL CONTROL CONTAMINACION PROVENIENTES DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, INDUSTRIALES Y AGROPECUARIAS	家庭、工業、農業廃水の排出による 汚染の管理のための規則
11	令 76- 2006	SISTEMA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL	環境評価システム
12	令 100- 2001	Establece los lineamientos de politices el uso sostenible de las recursos pesqueros y acuicolas	漁業資源および水産資源の持続可 能な利用に関する政策策定ガイド ライン
13	令 1320	CREACIÓN DE RESERVAS NATURALES EN EL PACÍFICO DE NICARAGUA	ニカラグア太平洋沿岸域における 自然保護区の設置
14	総説	Derecho Ambiental en Centroamerica Tomo I (IUCN)	中央アメリカの環境法 第 1 巻 (IUCN)
15	解説	El marco jurídico ambiental	環境に関する法的枠組み
16	法律 28	Estatuto de ley de autonomia de las regiones de la costa atlantica	大西洋岸地域自治法の規定
17	法律 40	LEY DE MUNICIPIOS	市町村法
18	法律 217	LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES	環境および天然資源一般法
19	法律 445	LEY DE RÉGIMEN DE PROPIEDAD COMUNAL DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS Y COMUNIDADES ÉTNICAS DE LAS REGIONES AUTÓNOMAS DE LA COSTA ATLÁNTICA DE NICARAGUA Y DE LOS RÍOS BOCAY, COCO, INDIO Y MAÍZ	ニカラグア大西洋岸及びポカイ、コ コ、インディオ、マيسの自治区の 先住民族集落及び、少数民族共同体 における共同所有形態に関する法 律
20	法律 528	Ley No. 453 con reformas incorporadas de la ley No. 528	第 453 法の改正法 財政的公平法
21	法律 489	Ley de Pesca y Acuicultura	漁業および養殖業法

22	法律 585	ley de veda para el corte, aprovechamiento y comercializacion del recurso forestal	森林資源の伐採、利用、販売禁止期間に関する法律
23	法律 612	LEY DE REFORMA Y ADICIÓN A LA LEY No. 290, LEY DE ORGANIZACIÓN, COMPETENCIA Y PROCEDIMIENTOS DEL PODER EJECUTIVO	第 290 法「行政府の組織、権限、手続きに関する法律」改正・追加法
24	法律 613	LEY DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD A LAS PERSONAS DEDICADAS A LA ACTIVIDAD DE BUCEO	潜水作業者の保護と安全に関する法律
25	法律 620	LEY GENERAL DE AGUAS NACIONALES	国家水一般法
26	法律 678	LEY GENERAL DEL INSTITUTO NICARAGUENSE DE LA PESCA Y ACUICULTURA	ニカラグア水産庁法
27	法律 797	LEY REFORMA AL ARTICULO 111 DE LA LEY No. 489, “LAY DE PESCA Y ACUICULTURA” Y DE REFORMA AL ARTICULO 126 DE LA LEY No. 453	第 489 法「漁業及び養殖業に関する法」第 111 条の改正及び、第 453 法 126 条の改正に関する法律
28	法律 822	LEY DE CONCERTACIÓN TRIBUTARIA	税金に関する法律
29	法律 854	Ley de Reformas Parcial a la Constitución Política de República de Nicaragua	ニカラグア共和国憲法の一部改定に関する法律
30	国家技術基準	NTON para el Manejo de Desecho Sólidos no Peligrosos	非危険固形廃棄物の管理に関する国家技術基準
31	国家技術基準	NTON para Regular el Sistema de Tratamientos de Aguas Residuales y su Reuso	排水処理システムおよび排水の再利用の規制に関する国家技術基準
32	法律施行規則	Reglamento a la Ley de 489 de Pesca y Acuicultura	第 489 法「漁業及び養殖業に関する法」施行規則
33	法律施行規則	REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES	環境および天然資源法施行規則
34		Ordenamiento de las pesquerias de Langosta Espinosa en el Caribe (1)	カリブ海におけるイセエビ漁の管理規則
35		Implementacion de Sistema Satelital de Embarcaciones Pesqueras	漁業衛星システムの導入
36	OPS 03-10	Prohibir la Práctica del Aleteo del Tiburon en los Paises Parte del SICA	中央アメリカ統合システム（SICA）加盟国におけるフカヒレ漁の禁止

37	OSP 05-11	Prohibir el Aleteo del Tiburon	フカヒレ漁の禁止
38	OSP 001-2013	Reglamento OSPESCA OIRSA No. 001-2013 Prevencion Control y Erradicacion de enfermedades en el Camaron	OSPESCA OIRSA 第001-2013号規則 エビの病気予防および管理規則
39	OSP 07-2014	Tiburon Ballena	ジンベイザメ
40	OSP-06-13	Sobre el uso adecuado de Dispositivos Excluidores de Tortugas Marinas (DETs)	海がめ除去装置の適正使用に関して
41	法律	LEY GENERAL DEL INSTITUTO NICARAGÜENSE DE LA PESCA Y ACUICULTURA	ニカラグア水産庁法

(2) 体制

水資源・水産資源利用には国家水総局、環境天然資源省、保健省、ニカラグア上下水道庁、ニカラグア上下水道公社、水産庁、農牧保護衛生庁が関与している。各機関の役割を表 49 に示す。

表 49 水資源・水産資源利用に係る政府機関および役割

政府機関	役割
国家水総局	水資源管理に関する政策策定
環境天然資源省	- 公共水域の水質保護、保全に関する政策策定 - 公共公共水域に排出する排水の管理
保健省	- 飲料水の水質検査 - 人の健康に影響を与える水産物の管理、規制
ニカラグア上下水道庁	- 上下水道事業に関する政策策定 - 公共水域の分類 - 公共水域に排出する排水の基準策定
ニカラグア上下水道公社	- 上下水道事業の運営 - 飲料水の水質管理 - 下水処理場からの排水管理
水産庁	- 漁業政策策定 - 水産資源管理
農牧保護衛生庁	水産物の安全管理

1-3-3-3 活動 3-3 他国における水銀による環境汚染防止に対する法規制等を収集し、解析する

9 カ国（英国、カナダ、オランダ、米国、日本、ドイツ、オーストラリア、ニュージーランド、中国）、2 国際機関（WHO、欧州連合（EU））および 1 地域調整委員会（中央アメリカ・パナマ・ドミニカ共和国の飲料水と衛生に関する地域調整委員会（CAPRE））における水銀に対する大気、飲料水を含む水質、土壌、底質の基準を収集、解析し、2016 年 9 月 21 日に開催された第 3 回テクニカルコミッティーにおいて紹介した。表 50 に収集した諸外国の水銀に対する基準値を示す。

1-3-3-4 活動 3-4 他国における水銀による健康影響の予防に関する情報を収集し解析する

10 カ国（オーストラリア、ニュージーランド、カナダ、ノルウェー、デンマーク、英国、アイルランド、日本、メキシコ、米国）、2 国際機関（国際食品規格委員会、欧州委員会（EC））における魚介類水銀規制値および摂取注意事項を収集、解析し、2016 年 9 月 21 日に開催された第 3 回テクニカルコミッティーにおいて紹介した。表 51 に収集した諸外国の魚介類水銀規制値および摂取注意事項を示す。

表 50 諸外国および国際機関の水銀に対する基準値

国・国際機関	物 質	淡水	底質	土壌	大気
英国	水銀	0.05 μ g/l (内陸水、溶存態)			0.25 μ g/m ³ 年平均値、予測レベル
カナダ	水銀	0.026 μ g/l	海域：0.13 mg/kg (乾燥重量) 淡水：0.17 mg/kg (乾燥重量)	農地：6.6 mg/kg (乾燥重量)	
オランダ	水銀	0.05 μ g/l (<10m) 0.01 μ g/l (>10m) (地下水・目標値)	0.3 mg/kg (乾燥重量)	0.3 mg/kg (乾燥重量)	
アメリカ	水銀・メチル水銀	急性：1.4 μ g/l 慢性：0.77 μ g/l	海域：0.41 mg/kg (ワシントン州) 淡水に対する基準値なし		大気環境基準なし
WHO	水銀		海域：20-100 μ g/kg		1 μ g Hg /m ³ (年平均値)
日本	水銀	溶存態淡水：0.5 μ g/l	浚渫基準：>25mg/kg 0.1mg/kg (乾燥重量)	溶出量基準：0.5 μ g/l 以下 かつアルキル水銀は検出 されないこと 含有量基準：>15 mg/kg	水銀（水銀蒸気） >40 ng Hg /m ³ (年平均値) 指針値
EU	水銀および水銀化合物	溶存態：0.05 μ g/l 全：1.0 μ g/l			
ドイツ	水銀	0.05 μ g/l			
オーストラリア	水銀	99%保護：0.06 μ g/l	0.01 mg/kg		
ニュージーランド	水銀	99%保護：0.06 μ g/l			
中国	水銀	地下水：0.5 μ g/l 農業用水：1.0 μ g/l		自然保護区：0.15 mg/kg 耕地・牧場：0.3-1.0 mg/kg (pH 依存) 林地・鉱山近隣：1.5 mg/kg	
CAPRE	水銀	飲料水：1 μ g/l			

表 51 各国・国際機関の魚介類水銀規制値および摂取注意事項

国	販売魚介類の水銀規制値		注意事項	
	機関 年	基準値	機関 年	内 容
オーストラリア	オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関(FSANZ)	販売魚 1.0 mg/kg : 水銀濃度の高い魚 (メカジキ、クロマグロ 等) 0.5 mg/kg : その他の魚種	オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関 2004 年	一般：ほとんどの魚について週に 2～3 回。一回あたりの摂取量は 150 g (あるいは冷凍魚で 2 片)、ただし 6 歳までの子どもは一回 75 g。メカジキ、マカジキは週 1 回まで。 妊婦、妊娠を考えている女性、年少の子ども：健康的な食品として様々な種類の魚を食べるのが良い。メカジキ、マカジキについては 2 週間に 1 回までとし、この間、ほかの魚は食べない。ナマズは、週に 1 回までとし、この間ほかの魚は食べない。
ニュージーランド				
カナダ	保健省 2002	総水銀 0.5 mg/kg, 但しメカジキ、生／冷凍マグロ（缶詰以外）を除く。	保健省 2002 年改定	メカジキ、生／冷凍マグロ（除缶詰）の摂取について 一般：週 1 回まで。 妊婦・出産年齢女性・幼児：月 1 回まで。 カナダ食品ガイドに従い、週に数回は魚を食べるとよい。
国際食品規格委員会	コーデックス Alimentarius Commission 2005	魚のメチル水銀： 大型肉食魚：1 mg/kg, その他の魚：0.5 mg/kg	註）大型肉食魚（案）；カツオ、マカジキ、タイ、メカジキ、マグロ等	
EC	欧州委員会 2001, 2002	0.5 mg/kg（湿重量） 自然界で水銀を蓄積する特定種については 1 mg/kg	特定種：, カツオ、マカジキ、メカジキ、マグロ等	

アイルランド			食品安全局 (FSAI) 2004 年	妊婦，授乳中の母親，出産年齢の女性，幼児：メカジキ，マカジキを食べないようにし，マグロについては生のマグロステーキは週 1 回まで、8 oz のツナ缶は週に 2 回まで。これ以外の魚はバランスのとれた食品として食べ続けるべき。 上記以外の人：メカジキ、マカジキについては週 1 回まで。マグロについては制限の必要なし。 すべての人は週 1～2 回魚を食べるべきで，うち 1 回はサケのような油分の多い魚がよい。
日本	厚生省 1973	平均総水銀濃度：0.4 ppm 平均メチル水銀濃度：0.3 ppm ただし，内水面水域およびマグロ類には適用しない。内水面水域で汚染がある場合，およびマグロ類多食者には食生活指導を行う。	厚生労働省 2005 年	妊婦，妊娠の可能性のある人：クジラ（イルカ）2 種は 2 か月に 1 回あるいは 2 週間に 1 回まで。 メカジキ，クロマグロなど 7 種は週に 1 回まで マカジキ，ミナミマグロなど 7 種は週に 2 回まで いずれも 1 回 の摂取量は 80 g
メキシコ		魚介類（冷蔵・冷凍品）の水銀濃度は 1 ppm を超えてはならない 缶詰ではメチル水銀で 0.5 ppm を超えてはならない。		
ノルウェー			食品衛生監視局 (SNT) 2003 年	授乳中の母親：クジラは食べない 妊婦：カジキ，マグロは避けるほうがよい
デンマーク			獣医・食品管理局 2004 年	妊娠を考えている女性，妊婦，授乳中の母親，14 歳未満の子ども：マグロ，スズキ，メカジキは週に 100 グラム未満

英国		魚介類水銀規制値は EC 基準による	食品基準庁 2004 年	妊婦，妊娠を考えている人，16 歳以下の子ども：サメ，メカジキ，マカジキを食べてはいけない。 妊婦，妊娠を考えている女性：ツナ缶は週 4 缶まで，マグロステーキは週 2 回まで。 16 歳以上の人：サメ，メカジキ，マカジキは週 1 回まで。週に少なくとも 2 回は魚を食べ，うち一回は油分の多い魚がよい
米国	アメリカ食品医薬品局	メチル水銀規制値：1 ppm	アメリカ食品医薬品局、米国環境庁 2004 年	妊娠の可能性のある人，妊婦，授乳中の母親，幼児： ・メカジキなど 4 種は食べてはいけない ・水銀濃度の低い魚は週に 12 オンス (340 g) (平均的には週に 2 回) までいろいろな種類を食べること。 ビンナガマグロは週に 6 オンス (170 g) までとする。 ・地域の湖畔や川・海岸で個人が釣る魚については，各地域の勧告に注意する。特に注意事項がない場合，週に 6 オンス (平均的には週一回) までとする。 幼児については量を減らす。

1-3-3-5 活動 3-5 収集した情報に基づきニカラグアの現況を踏まえ、取組みの基本方針が提案される

(1) ニカラグア政府に対する取組みの検討方法

ニカラグア国における水銀による水質汚濁防止および魚介類の水銀含有量に係る法律、規制、ソロトラン湖における漁業に関する情報収集ならびに水銀汚染の現況を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理に対する政府への提案の検討は、カウンターパート機関である CIRA/UNAN-Managua、保健省、環境天然資源省に加え、水産庁、農牧衛生保護庁、国家毒物登録規制委員会の関係者によるワーキンググループを設置して行った。

(2) 取組みの検討手順

取組みは、ソロトラン湖の水資源および水産資源の保護に関する法律、制度に関する情報の収集、水銀に対する規制、基準の検討、プロジェクトによって実施されたソロトラン湖の総水銀汚染概要調査結果に基づき以下の手順でまとめた。

- ① ソロトラン湖の総水銀汚染概要調査に基づくソロトラン湖の水資源および水産資源の保護に関する法律、制度における問題点の洗い出し
- ② ①で洗い出した問題点の課題としての整理
- ③ 課題解決のための取組みの検討

(3) 取組み

水資源管理

- ソロトラン湖の水質に影響を及ぼす全ての自然由来の潜在的水銀源の特定・特徴付け、特にモモトンボ火山からの水銀を含む湧水および人為由来の水銀源の調査の実施。
- 本プロジェクトにおける調査結果を踏まえ、湖水、底質および魚の水銀濃度に対するモニタリングの実施。
- 法律第 620 号「国内水域一般法」に基づきソロトラン湖の水利用可能分野の決定および「水域の分類に関する規則 (NTON 05-007-98)」に基づく公共水域の分類。
- 「水域の分類に関する規則 (NTON 05-007-98)」においてソロトラン湖における水銀に対する規制の必要性の検討。
- 監視プログラム（モニタリング）を通じて、政令第 77-2003 号「ソロトラン湖への処理システムからの生活排水の放出の放出を規制する規定に関する政令」において水銀に対する最大許容排出量の制定による下水処理場からソロトラン湖に排出される水銀の管理。
- ソロトラン湖において法律第 620 号「国内水域一般法」に定められた水銀に対する水質モニタリングの実施。
- 水銀に対する土壌および底質基準の制定に向けた科学技術調査の実施。

水産資源管理

- 湖全体の信頼性のある漁獲量の把握のため、ソロトラン湖沿岸の市役所と役割委譲協定を

結び、魚の販売量に関する記録の作成および定期的な更新。

- ソロトラン湖で採れた魚の摂食による水銀暴露の状況をより正確に把握するため、プエルト・モモトンボ、エル・パパロナル、クアトロ・パロス、マテアレ等の漁業地域およびペンウォルト周辺地域の漁師や集荷業者から魚を購入し、魚肉中の総水銀およびメチル水銀の調査の実施。
- ティピタパのラ・ボカナとサンフランシスコ・リブレの漁業地区の漁師や集荷業者から既に入し、総水銀の調査を行った魚肉中のメチル水銀の調査の実施。

メチル水銀暴露による健康リスク低減

- 水銀暴露リスク低減のため、ソロトラン湖の食用魚類に対する水銀の基準値の制定の必要性の検討。
- プエルト・モモトンアボ、エル・パパロナル、クアトロ・パロス、マテアレ等のコミュニティーにおける漁業従事者およびその家族に対する水銀暴露調査の実施。
- 水銀暴露を抑制するような生活形態を提案するため、ソロトラン湖において漁業を営む住民およびその家族の食生活における魚の調理方法、摂取量に関する調査の実施。
- 胎児の発達影響の予防および栄養摂取のための適切な魚の摂取方法、摂取量に関する情報の普及。

水銀に対する水俣条約

- 「水銀に関する水俣条約」批准国としての国内法の整備。

ニカラグア政府に提出した提言は添付資料 9 参照

2 プロジェクトの達成度

2-1 成果および指標

表 52 に示すとおりすべての成果に対する指標を達成した。

表 52 成果の達成度

成 果	指 標	指標の達成度
成果 1 水銀分析値の信頼性が向上する。	各種、分析カテゴリーに適合した国際認証物質（魚、底質等）を分析し、総水銀分析値が各認証値の中に入る。	全てのカウンターパートは、水銀に対する水、魚、底質、毛髪の国際認証物質の分析値が認証値の範囲となった。
成果 2 水銀汚染状況が把握される。	漁村を主体とした調査で、1,000 人程度の住民の水銀暴露の状況が明らかになる。	ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレの住民 1,334 名を対象に実施された水銀曝露調査により水銀曝露の状況が明らかになった。
	ソロトラン湖の環境試料（魚、水質等）における平均的水銀濃度が把握される。	- 湖の水位の高い時期および低い時期における湖水中の溶存態総水銀濃度および底質中の水銀濃度の分布が明らかになった。 - 魚肉中の水銀濃度測定は、計画値（約 600 尾）に対して 629 尾。
成果 3 水銀汚染の現況を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理における課題が明らかになる。	10 か国の水、土壌、底質、大気、魚分野における情報収集結果が解析される。	9 か国、4 国際機関の土壌、底質、大気、魚分野における環境基準が収集された。
	ソロトラン湖の水質モニタリング計画が提案される。	ソロトラン湖の水、底質および魚の水銀モニタリング計画案が作成され、プロジェクトカウンターパートからニカラグア政府に提出された。
	ソロトラン湖の魚に関するモニタリング計画が提案される。	ソロトラン湖の水、底質および魚の水銀モニタリング計画案が作成され、プロジェクトカウンターパートからニカラグア政府に提出された。

2-2 プロジェクト目標および指標

プロジェクト目標「水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源の利用及び管理に向けた取組みの基本方が明らかになる」は、指標の達成状況から達成されたと判断される。

プロジェクト目標指標	達成状況
2 つ以上の取組み案がプロジェクトカウンターパートからニカラグア政府に提出される。	ソロトラン湖の水銀汚染の現状を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理に向けたニカラグア政府の取組みに関する提案が作成され、プロジェクトカウンターパートからニカラグア政府に提出された。

3. PDM 改定記録

PDM Ver. 1 (11. 18. 2015)において、成果 1 に対する指標が「各種、分析カテゴリーに適合した国際認証物質（魚、底質等）を分析し、総水銀分析値が各認証値の中に入る）」であるが、成果 1 の活動において底質の分析手法の習得に関する活動が含まれていなかったため、表 53 に示すとおり、活動 1-1 および活動 1-3 に底質のサンプリング・分析手法の習得および分析マニュアルの作成に関する活動を追加した。改定した PDM Ver. 2 は 2017 年 12 月 5 日に開催された第 2 回合同調整委員会において承認された。

表 53 PDM 改定内容

改定前 (Ver. 1 (18. 11. 2015))	改定後 (Ver. 2 (5. 12. 2016))
活動 1-1 水、魚肉、毛髪中の総水銀サンプリング・分析手法を習得する	水、底質、魚肉、毛髪、中の総水銀サンプリング・分析手法を習得する
活動 1-3 精度管理法を含めた水、魚肉、毛髪中の総水銀分析マニュアルを作成する	精度管理法を含めた水、底質、魚肉、毛髪、中の総水銀分析マニュアルを作成する

4. その他

4-1 環境社会配慮

特になし。

4-2 ジェンダー、平和構築、貧困

特になし。

III. 合同評価結果

2017 年 7 月 28 日に開催された第 3 回合同調整委員会において行なわれた本プロジェクトに対する合同評価の結果を以下に示す。

1. 妥当性

妥当性は高いと評価される。

ニカラグア国は、2017 年 8 月 16 日に発効した「水銀に関する水俣条約」の締約国である。本プロジェクトは、同条約第 16 条に規定される「健康に関する側面」において推奨される「水銀の影響を受けるおそれのある人々の特定・保護のための戦略・プログラムの作成・実績」および第 19 条に規定される「研究・開発モニタリング」に資する。

2. 有効性

有効性は高いと評価される。

プロジェクト目標「水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源の利用及び管理に向けた取り組みの基本方が明らかになる」は、プロジェクトで策定した「水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源の利用及び管理に向けた取り組み案」が 2017 年 7 月 28 日に開催された第 3 回合同調整委員会において保健省および環境天然資源省に提出されたことにより達成された。

3. 効率性

効率性は高いと評価される。

- 成果 1、2、3 全てが達成された。
- 専門家の専門分野（水銀分析、水銀汚染管理、水銀暴露リスク評価、水質調査計画、水質管理）は適切であり、派遣日数（延べ 685 日間）も各成果の達成に対し適切であった。
- 供与機材（水銀分析計、ドラフトチャンバー、超低温冷凍庫、ガラス機器等）は、成果 1 の達成に必要な最小限であり、有効に活用された。
- 本邦研修は、研修期間中に発生した熊本地震の影響により研修期間が短縮されたため、当初の目標は達成されなかった。

4. インパクト

- プロジェクト終了時に正および負のインパクトは発生していない。
- 2017 年 7 月 28 日に開催された第 3 回合同調整委員会において保健省および環境天然資源省よりソロトラン湖の水銀汚染の現状を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理に向けた活動計画が発表され、保健省主催により 2017 年 8 月 3 日開催されるセミナーにおいて、保健省および環境天然資源省からソロトラン湖の水銀汚染の現状を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理に向けた活動計画がニカラグア政府関係者に紹介されることから上位目標「ソロトラン湖（マナグア湖）及びコシボルカ湖のティピタパ川河口域において水銀汚染状

況を踏まえた水資源・水産資源利用がなされる」達成の可能性は高い。

5. 持続性

持続性は高いと評価される。

- CIRA・UNAN-Managua は、分析技術の継承に必要な人材は確保する。
- CIRA・UNAN-Managua は、環境水銀室の維持に必要な費用を継続的に確保する。

合同評価の最後にプロジェクト・ダイレクターから以下コメントがあった。

- 本プロジェクトによって明らかになったこと、今後、明らかにすべきことを整理した上で、この先ニカラグア政府が行なうべきことを検討すること。
- メチル水銀暴露調査に協力した被験者に対し、調査結果を開示すること。

IV. プロジェクト完了後の上位目標達成に向けて

1. 上位目標達成見込

保健省主催により 2017 年 8 月 3 日に開催された本プロジェクトの成果紹介に関するニカラグア国内セミナーにおいて保健大臣から本プロジェクトにおいて策定され、ニカラグア政府に提出された「水銀汚染の現況を踏まえた水資源・水産資源の利用及び管理に関する取組み案」の実施に対し強い意思が示されたことから、上位目標「ソロトラン湖（マナグア湖）及びコシボルカ湖のティピタパ川河口域において水銀汚染状況を踏まえた水資源・水産資源利用がなされる」の達成見込みは高い

2. 上位目標達成に向けたニカラグア国の活動計画表および実施体制

2017 年 7 月 28 日に開催された第 3 回合同調整委員会において保健省から「ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に関する取組み案」で提案されている「クアトロ・パロス、マテアレ等のコミュニティのソロトラン湖の漁師やその家族に対する水銀暴露調査の実施」に対する実施計画が以下のとおり紹介された。

活 動	年				
	1	2	3	4	5
1. 水銀研究委員会の設置および水俣条約における国際約束の実施	×				
2. 地域コミュニティを訪問し調査の実施に向け政府、地方自治体、保健省、漁業組合、住民との調整	×				
3. 調査地域の漁民およびその家族のみならず一般住民の生活・社会状況および漁場、漁法、食用魚種の調査	×				
4. 調査およびサンプリング手順訓練（過去に実施した調査手順の変更）		×			
5. 魚の消費量調査（秤を用いて魚の正確な消費量を測定）		×			
6. 特定の地域における毛髪試料の採取		×			
7. CIRA/UNAN-Managua の支援を受け保健省国家診断・標準センターにおいて毛髪試料の分析		×	×	×	
8. 毛髪の実験結果と魚の摂取量の検討				×	
9. 調査結果に基づきソロトラン湖の魚の摂取に関するアドバイザリーの作成					×
10. 人の健康および環境に対する水銀の影響、水銀暴露リスク低減、魚の摂取による栄養効果に関する保健指導員の育成				×	×

また、同合同調整委員会において環境天然資源省から上記取組み案で提案されている「水銀に対する土壌および底質基準の制定に向けた科学技術調査の実施」に対する実施計画が以下のと

おり紹介された。

活 動	年						
	1	2	3	4	5	6	7
1. 政府内関係機関による水銀委員会の設置	×						
2. ソロトラン湖の水域区分の確定	×	×					
3. ソロトラン湖における水銀源（自然由来、人為的）の 特定		×	×				
4. ソロトラン湖における水銀特性調査		×	×				
5. ソロトラン湖の水銀濃度のベースライン調査とデー タベースの構築			×	×	×		
6. ソロトラン湖において得られた水銀に関するデータ の解析				×	×		
7. ソロトラン湖における水銀濃度（基準値）の決定						×	×

添付資料

添付資料 1: 専門家派遣実績

添付資料 2: 供与機材

添付資料 3: 本邦研修計画・実績

添付資料 4: 総水銀汚染概要調査計画（湖水、底質）

添付資料 5: 第 2 次総水銀汚染概要調査計画

添付資料 6: 総水銀汚染概要調査計画（魚）

添付資料 7: メチル水銀暴露調査計画

添付資料 8: 「化学物質としての水銀の特徴、人体へのリスク、人体に影響を及ぼす仕組みに関する知識」（テクニカルコミッティー発表資料）

添付資料 9: 水銀汚染の現況を踏まえた水資源・水産資源の利用および管理に対する政府への提案

添付資料 10: PDM（PDM のすべてのバージョン）

添付資料 11: R/D、M/M、合同調整委員会議事録

添付資料 12: モニタリングシート

別 冊

1. 総水銀およびメチル水銀分析マニュアル

- | | |
|-----------|---------------------------------------|
| PON-MA-01 | 全自動水銀分析装置（DMA-80）による底質、土壌中の総水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-02 | 全自動水銀分析装置（DMA-80）による魚肉中の総水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-03 | 全自動水銀分析装置（DMA-80）による毛髪中の総水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-04 | NIMD 法による溶存態総水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-05 | NIMD 法による人の毛髪中のメチル水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-06 | NIMD 法による水中浮遊物質中の総水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-07 | NIMD 法による人の魚肉中のメチル水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-08 | 湿式灰化－還元気化原子吸光光度法による底質、土壌中の水銀分析標準手順書 |
| PON-MA-09 | 湿式灰化－還元気化原子吸光光度法による魚肉中の水銀分析標準手順書 |

2. 総水銀汚染概要調査報告書

3. 専門家アンケート

専門家派遣実績

専門家氏名	担当業務	派遣期間（派遣日数）
松山 明人	総括/水銀分析/水銀汚染管理	2015 年 10 月 6 日～2015 年 12 月 8 日（64 日間）
		2016 年 5 月 18 日～2016 年 7 月 1 日（45 日間）
		2016 年 9 月 15 日～2016 年 9 月 28 日（14 日間）
		2016 年 11 月 14 日～2016 年 12 月 19 日（36 日間）
		2017 年 1 月 15 日～2017 年 2 月 27 日（44 日間）
		2017 年 5 月 22 日～2017 年 6 月 5 日（15 日間）
蜂谷 紀之	水銀暴露リスク評価	2015 年 10 月 6 日～2015 年 11 月 25 日（51 日間）
		2016 年 5 月 18 日～2016 年 7 月 1 日（45 日間）
		2016 年 9 月 15 日～2016 年 9 月 28 日（14 日間）
		2016 年 11 月 28 日～2016 年 12 月 10 日（13 日間）
原口 浩一	水銀分析	2016 年 6 月 1 日～2016 年 7 月 1 日（31 日間）
		2017 年 2 月 1 日～2017 年 2 月 27 日（27 日間）
水野 輝海	水質調査計画/水質管理	2015 年 10 月 6 日～2015 年 12 月 4 日（60 日間）
		2016 年 1 月 13 日～2016 年 2 月 26 日（45 日間）
		2016 年 5 月 18 日～2016 年 7 月 1 日（45 日間）
		2016 年 8 月 31 日～2016 年 9 月 29 日（30 日間）
		2016 年 11 月 14 日～2016 年 12 月 19 日（36 日間）
		2017 年 2 月 6 日～2017 年 2 月 27 日（22 日間）
		2017 年 5 月 21 日～2017 年 6 月 5 日（16 日間）

本邦調達機材リスト

番号	機材名	数量
1	硫酸(有害金属分析用) 500ml	100
2	硝酸(有害金属分析用) 500ml	30
3	過塩素酸(有害金属分析用) 500ml	30
4	塩酸(有害金属分析用) 500ml	40
5	塩化スズ 試薬特級(有害金属測定用) 100g	50
6	ジチゾン 5g	5
7	トルエン 300倍濃縮品 1L	30
8	アセトン 医薬品試験用 500ml	30
9	総水銀分析装置 パントス記録計込み	1
10	ペンレコーダ	1
11	遠心分離装置	1
12	超音波洗浄機	1
13	ガス流量計	2
14	ホットプレート	2
15	ダウン変圧器、120V→100V、2000W	1
16	ダウン変圧器、120V→100V、1100W	4
17	ダウン変圧器、120V→100V、550W	4
18	電子天秤	1
19	超音波ピペット洗浄機	1
20	循環アスピレーター	2
21	0.45 μ メンブランフィルター 2000枚	20
22	遠心分離用 天秤	1
23	レコーダ記録紙 パントス用	2
24	レコーダペン 赤 パントス専用	10
25	レコーダペン 緑 パントス専用	10
26	標準物質 IAEA-158	1
27	標準物質 NIES No13	1
28	標準物質 DORM-4	1
29	標準物質 TORT-3	1
30	往復振とう器 レシプロタイプ	1
31	往復振とう器 A振とう台 SR-1用	1
32	往復振とう器 E振とう台 SR-1用	1
33	分液ロート 2L	20
34	10ml 容スピッツ	100
35	10ml 遠心沈澱管	100
36	ビーカー 100ml	4
37	ビーカー 50ml	4
38	ビーカー 200ml	4
39	三角コルベン 50ml	20
40	三角コルベン 100ml	20
41	三角コルベン 300ml	20
42	有栓メスシリンダー 100ml	5

43	有栓メスシリンダー 200ml	5
44	メスピペット 10ml	100
45	メスピペット 5ml	100
46	ガラスろ過器セット	3
47	PYREX メスシリンダー 100ml	5
48	PYREX メスシリンダー 250ml	5
49	PYREX メスシリンダー 500ml	2
50	PYREX メスシリンダー 1L	2
51	シリコン安全ピペッター	5
52	キムワイブ	1
53	キムタオル	1
54	フィンピペット	2
55	フィンピペット	2
56	チップ	2000
57	チップ	2000
58	分液ロート台	5
59	ECD 用ガラスカラム	2

現地達機材リスト

番号	機材名	数量
1	Ultra-Low Temperature	2
2	試料保存用普通冷蔵庫	2
3	試薬棚	2
4	PVC Perchloric Acid Hoods Mod. Protector 6'	1
5	DM80 水銀分析器用 アクセサリー	1 式
6	機材乾燥機	1

本邦研修計画・実績表

日付	研修内容	
	計画	実績
4/7(木)	所内挨拶、生活必需品等購入	NMD に到着、所長へ挨拶。宿泊設備等について説明
4/8(金)	国際準備物質（毛髪）からメチル水銀の抽出	講義：水銀の健康に対する影響
	所内オリエンテーション	所内設備等のオリエンテーション
4/9(土)	休日	休日
4/10(日)	休日	休日
4/11(月)	毛髪用メチル水銀検量線作成用、試験薬等作成	講義：毛髪中メチル水銀分析の原理 実習：毛髪採取、毛髪中メチル水銀の抽出
	魚肉用メチル水銀検量線の作成と精製練習	実習：毛髪メチル水銀分析用検量線作成
4/12(火)	メチル水銀検量線の精度確認（ECD）	実習：ECD—GC による検量線の直線性確認
	毛髪中のメチル水銀の定量（ECD）	実習：NIES No13 を用いたメチル水銀濃度検定
4/13(水)	データーチャートの読み方および問題点の抽出	実習：ECD-GC への試料注入 講義：GC の種類とその原理
	毛髪中のメチル水銀再抽出および精製、定量の再練習	講義：魚のメチル水銀分析
4/14(木)	魚肉中のメチル水銀分析について	実習：ECD-GC の機械本体構造
	分析用試薬の調整および作成上の注意点について	講義：ECD—GC のメンテナンス方法 実習：GC カラムの作成方法の解説とカラム作成
4/15(金)	国際水準物質（魚）よりメチル水銀の抽出と精製（検量線も含む）	実習：水俣湾へ海水試料採取 講義：同時に水俣湾の現状
	同上	実習：海水のろ過

4/16(土)	休日	研修のまとめ
4/17(日)	休日	研修のまとめ
4/18(月)	水俣湾（魚）よりメチル水銀の抽出と精製	質疑応答等：ECD-GC 用いたメチル水銀分析
	同上	地震の影響で実験できず。
4/19(火)	検量線の精度確認及び試薬中のメチル水銀濃度測定（E C D）	実習：BCR579 を用いて、海水中の溶存態総水銀を抽出
	同上	同上
4/20(水)	データチャートからメチル水銀濃度を算出。分析上の問題点の抽出。	実習：BCR579 の溶存態総水銀濃度測定
	データ解析演習（一部統計解析を含む）	実習：測定値と保証値を比較検討
4/21(木)	E C Dの機械的構造について講義	移動：水俣→福岡へ移動
		出国
4/22(金)	E C Dの機械的構造について、実際のE C D内部を説明	ニカラグアへ帰国
4/23(土)	最新E C D装置見学	
	E C D検出器について	
4/24(日)	日本文化見学	
4/25(月)	E C Dパッキング剤の特徴と適合性	
	使用済みパッキング剤を用いてカラム充填練習	
4/26(火)	ニカラグアでの研修を含め今回の研修内容全体の討議と再確認	
4/27(水)	ニカラグアでの研修を含め今回の研修内容全体の討議と再確認	
4/28(木)	実試料毛髪中メチル水銀の分析	
	メチル水銀濃度の定量（毛髪）	
4/29(金)	休日	
4/30(土)	休日	
5/1(日)	休日	
5/2(月)	実試料・魚中メチル水銀の抽出	
	メチル水銀の精製	

5/3(火)	E C Dによるメチル水銀濃度定量（魚）	
5/4(水)	最終テストの準備	
5/5(木)	最終テストの実施	
5/6(金)	テスト結果報告および今後の課題について抽出	
5/7(土)	水俣湾周辺の現状視察 水俣病資料館見学、語り部	
5/8(日)	水俣病情報センター 相思社	
5/9(月)	評価会 閉校式	
5/10(火)	離日	

総水銀汚染概要調査計画

1. 調査の目的

マナグア湖には 1967 年から 1992 年まで湖畔で操業していたクロルアルカリプラントからおおよそ 40 トンの水銀が放出されたと言われている。この他にもマナグア湖には周辺にあるモモトンボ火山等に由来する水銀を含んだ地下水の流入、火山からの噴気ガス、小規模金鉱山からの水銀含有廃水の流入の可能性があるがこれまでマナグア湖全体を対象とした水銀調査が行われておらず、水銀の分布状況が明確につかめていない。

一方、CIRA/UNAN-Managua が行った調査によって、マナグア湖に生息している魚類の一部から 1ppm を超える水銀が検出され、これらの魚を日々食している漁民への影響が懸念される。さらに、マナグア湖の水位が標高 39.19m を超すとマナグア湖の湖水はティピタパ川を通じてニカラグア湖に流入することから、マナグア湖の水銀がニカラグア湖に移動している可能性もある。

本調査は、マナグア湖を中心として、ティピタパ川およびティピタパ川のニカラグア湖の河口部における水、底質中の水銀の分布状況を把握することを目的に実施する。

2. 実施時期

サンプル採取は、マナグア湖の水量が最も多くなる雨季末期に 2 回、また、同湖の水量が最も低下する乾季末期に 1 回、合計 3 回行う。なお、底質は、第 1 回目のみとする。

サンプル採取時期		サンプルの種類	
		水	底質
第 1 回目	2016 年 1 月から 2 月	○	○
第 2 回目	2016 年 6 月から 7 月	○	×
第 3 回目	2016 年 11 月	○	×

3. 実施担当者

日本側専門家 2 名（水野専門家、松山専門家の双方、或いはどちらか 1 名が担当する）

ニカラグア側担当者 2 名（Fransisco Picado, Bertha Fierro, 他 1 名が担当する）

調査責任者	日本人専門家
作業管理者	CIRA/UNAN 分析部水銀分析室長または水銀分析室技術者
作業担当者	CIRA/UNAN 採水担当作業員

4. サンプル採取

4-1 湖水及び河川水

4-1-1 採取地点

試料採取地点は、表 1 および図 1 に示した 35 地点とし、GPS により位置を確認する。ただし、水位等の事情により、試料の採取が困難な場合は、採取地点を変更しても良いが、変更した採取地点の緯度経度を記録すること。

表 1 サンプル採取地点

地点 No.	座標		採取試料	
	E	N	水	底質
1	596880	1349140	○	○
2	595560	1363260	○	○
3	591800	1349140	○	
4	591800	1357000	○	
5	584800	1349140	○	
6	584800	1357000	○	
7	584800	1363200	○	
8	575260	1345440	○	○
9	577800	1349140	○	
10	577800	1357000	○	
11	577800	1363200	○	
12	577800	1369400	○	
13	578320	1372700	○	○
14	577800	1375600	○	
15	573120	1347190	○	○
16	570800	1363200	○	
17	570800	1369400	○	
18	570800	1375600	○	
19	570250	1378450	○	○
20	563800	1357000	○	
21	563800	1363200	○	
22	563800	1369400	○	
23	563800	1375600	○	
24	564590	1377450	○	○
25	556800	1357000	○	
26	556800	1363200	○	
27	556800	1369400	○	
28	559190	1375470	○	○
29	549800	1363200	○	
30	549800	1369400	○	○
31	596800	1349140	○	○
32	596800	1349140	○	○
33	現地にて決定		○	○
34			○	○
35			○	

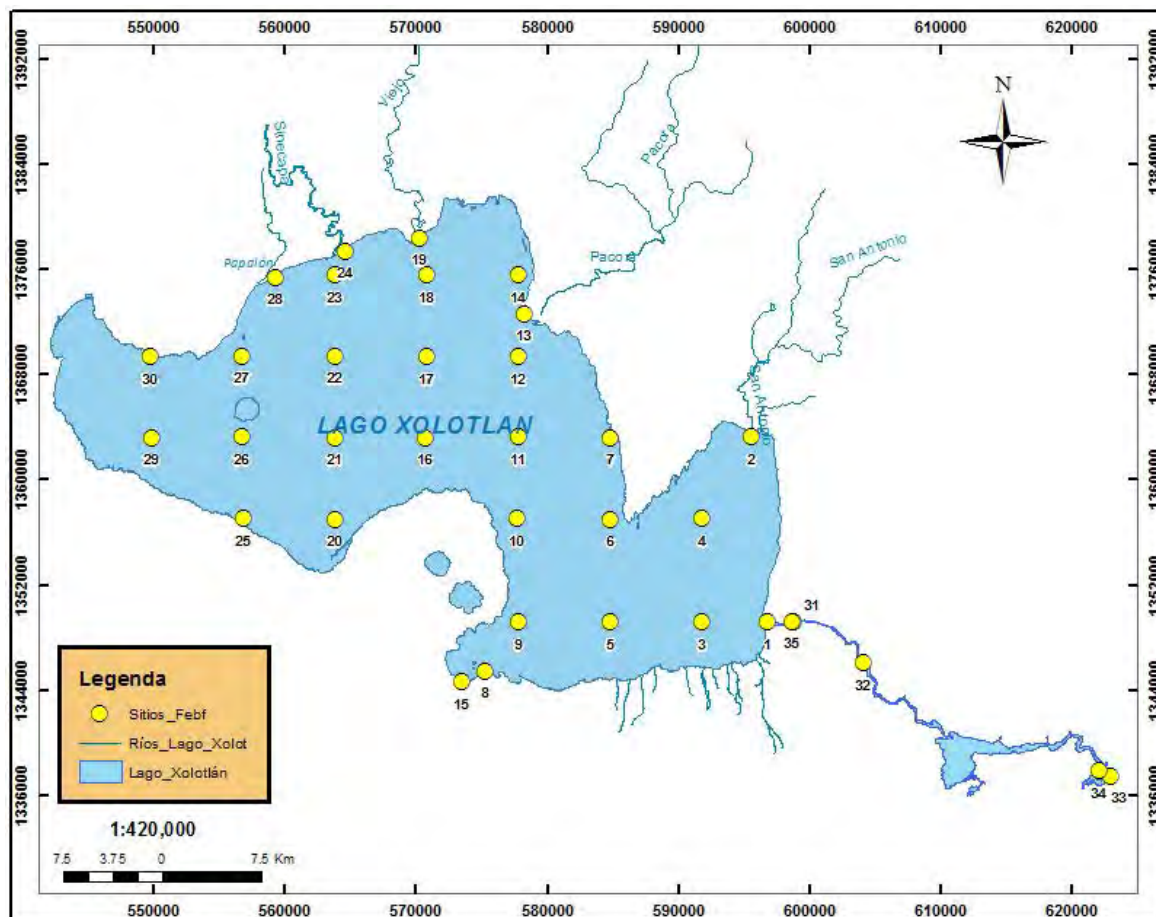


図1 サンプル採取地点表示地図

4-1-2 採水深さ

表層及び湖底より上方 1m の 2 か所とするが、水深が 2m 以下の場合は、表層のみとする。

4-2 底質

表層底質のみとする。ただし、湖底岩盤等の露出により、十分な量の底質を得ることが出来ない場合は、計画採取地点の周辺で採取してもよいが、変更した採取地点の緯度経度を記録すること。

5. 試料の採取方法及び前処理

5-1 水サンプル

5-1-1 サンプル保存用ペットボトルの洗浄方法

水サンプル用の保存容器は、容量 1 リットルのペットボトルを用いる。ペットボトルは以下の手順で洗浄し保管する。

- (1) 最初十分に水道水で洗浄した後、超音波洗浄機（ソニケータ）で専用洗剤を用いて 10 分以上洗浄する。専用洗剤が無い場合は家庭で通常用いられる中性洗剤を用いてもよい。
- (2) ペットボトルに硝酸＋過塩素酸（1+1）数 ml 及び硫酸 5ml を加えてゆっくりとボトル内部を洗浄する。なお、この洗浄液は複数回使用可能（4～5 回程度）であるので、次のペットボ

トルにも使用する。洗浄を繰り返すうちに水分が加わり徐々に粘性がなくなるので、適当な時に自己判断で洗浄液を交換する。

(3) 酸洗浄後のペットボトルは水道水で十分に洗浄する。

(4) 洗浄後は室内で自然乾燥させる、あるいは 50℃程度の乾燥機内で乾燥させてもよい。

5-1-2 サンプル採取方法

湖水及び河川水の表層部は、直接バケツ等により採取する。湖底より上方 1m 部の水については、バンドーン式水採取装置により採取する。採取された湖水はあらかじめ用意された 2 リットルのペットボトルにロ一杯まで入れて保存する。研究所まで輸送する間は、氷等を詰めたクーリングボックス内で光を避けて保管するようにする。

5-1-3 サンプルの保存

ペットボトルに採取された水サンプルは、そのまま -60℃以下のウルトラフリーザーで保管する。

5-2 底質

5-2-1 サンプル採取方法

底質サンプルの採取は、エックマンバージ式表層底質採取装置あるいは、これに準ずる方式により採取する。採取された湖底底質は船上でバット等の上に置き、手早く必要な固形分のみ（通常、数百 g 程度）をジップロックバッグ等に詰め、湖水と同じように輸送中はクーリングボックス内で保管する。

5-2-2 底質試料の保存

採取された底質サンプルは、そのまま -60℃以下のウルトラフリーザーで保管する。

6. 安全管理

サンプル採取に際しては、天候に十分配慮し、荒天が予想される場合及び作業中に天候が急変した場合は、作業船の船長の指示に従い安全を確保すること。また、船上では常時ライフジャケットを着用すること。なお、試料採取に危険が伴う場合には、採取を中止する。

7. 分析項目

7-1 総水銀

7-1-1 水サンプル

国水研法（赤木法）により溶存態総水銀濃度を測定する。但し、図—1 に示した 8 採取地点については、粒子状総水銀濃度も測定する。測定時は、分析値の信頼性を確保するため、複数回に 1 回は必ず国際標準物質を 1 種類以上加えて分析し精度を確認すること。認証値に入らない場合は、原因を究明し再度分析を実施する。

7-1-2 底質試料

国水研法（赤木法）により総水銀濃度を測定する。測定時は、分析値の信頼性を確保するため、複数回に 1 回は必ず国際標準物質を 1 種類以上加えて分析し、精度を確認すること。認証値に入らない場合は、原因を究明し再度分析を実施する。また分析は、1 試料について分析採取量を 2 段階（たとえば 0.1g と 0.2g）に分けて採取し総水銀分析を行う。2 回の分析値から濃度 (mg/kg、

dry) を求め、各濃度から濃度平均値を求める。この濃度平均値と各分析値との差が平均値の±20%以内であればよい。

7-2 物理化学特性

水試料採取と同時に、船上で採取された水試料に対して、各種センサーを用いて水温、電気伝導率 (EC)、溶存酸素 (DO)、pH とする。測定時は必ず各種センサーに合わせて、キャリブレーション補正を行う。他に各水試料採取地点において、マナグア湖の水深を測定する。測定方法は、巻尺あるいはロープの先端に錘をつけて、船上より湖へ投下し水深を直読することとする。ロープを用いる場合には、ロープにあらかじめ深さが判るように目盛りを付す。

第2次総水銀汚染概要調査計画

1. 調査の目的

本調査は、第1次水銀調査結果に基づきソルトラン湖を中心として、ティピタパ川およびティピタパ川のニカラグア湖の河口部における水、底質中の水銀の分布状況を把握することを目的に実施する。

2. 調査期間

2016年6月1日から6月9日

3. サンプル採取地点

3-1 湖水及び河川水

3-1-1 採取地点

試料採取地点は、表1および図1に示した35地点とし、GPSにより位置を確認する。ただし、水位等の事情により、試料の採取が困難な場合は、採取地点を変更しても良いが、変更した採取地点の緯度経度を記録すること。

表1 サンプル採取地点

地点 No.	座標		採取試料	
	E	N	水	底質
1	596880	1349140	○	○
2	595560	1363260	○	○
3	591800	1349140	○	
4	591800	1357000	○	
5	584800	1349140	○	
6	584800	1357000	○	
7	584800	1363200	○	
8	575260	1345440	○	○
9	577800	1349140	○	
10	577800	1357000	○	
11	577800	1363200	○	
12	577800	1369400	○	
13	578320	1372700	○	○
14	577800	1375600	○	
15	573120	1347190	○	○
16	570800	1363200	○	○
17	570800	1369400	○	○
18	570800	1375600	○	
19	570250	1378450	○	○
20	563800	1357000	○	

21	563800	1363200	○	○
22	563800	1369400	○	○
23	563800	1375600	○	
24	564590	1377450	○	○
25	556800	1357000	○	
26	556800	1363200	○	
27	556800	1369400	○	
28	559190	1375470	○	○
29	549800	1363200	○	
30	549800	1369400	○	○
31	596800	1349140	○	
32	596800	1349140	○	○
33	623060	1337430	○	○
34	622160	1337820	○	○
35	598770	1349200	○	

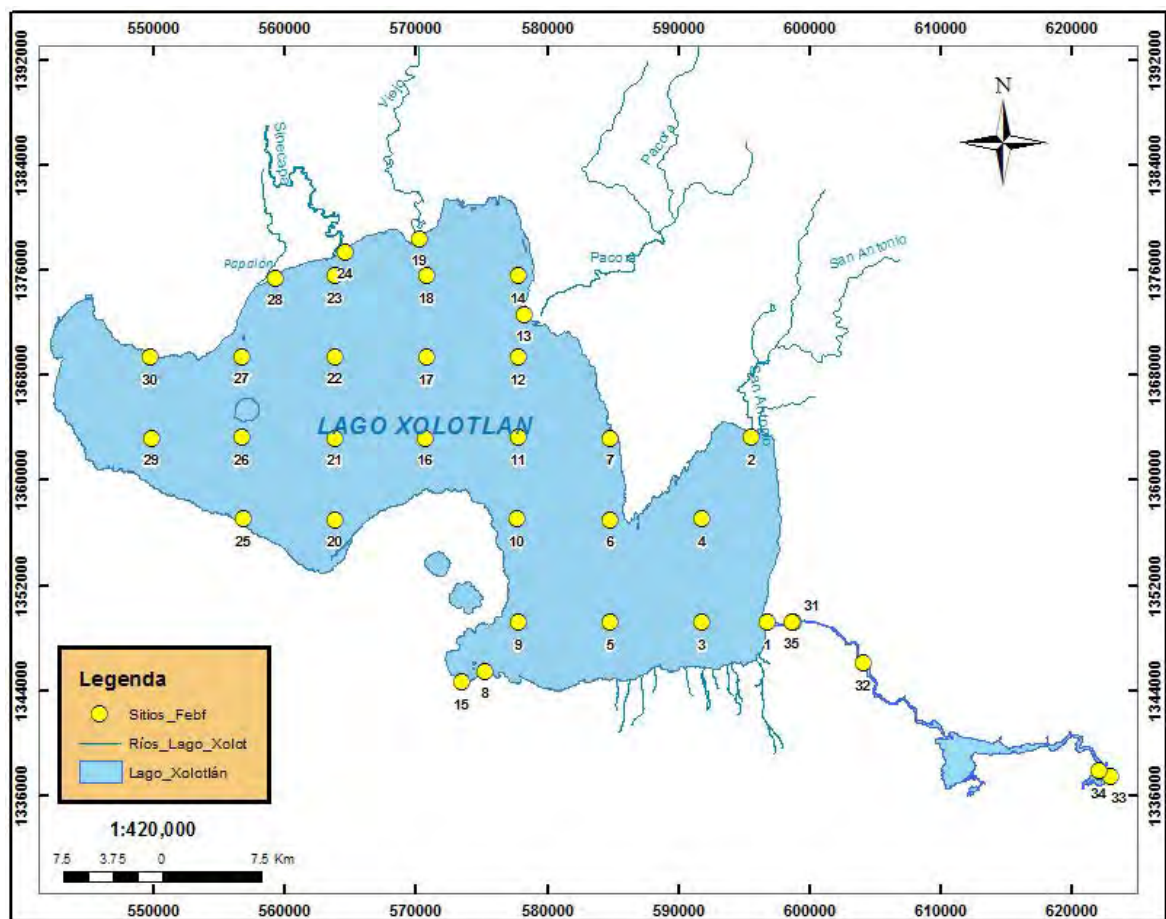


図1 サンプル採取地点表示地図

3-1-2 採水深さ

表層及び湖底より上方 1m の 2 か所とするが、水深が 2m 以下の場合は、表層のみとする。

3-2 底質

表層底質のみとする。ただし、湖底岩盤等の露出により、十分な量の底質を得ることが出来ない場合は、計画採取地点の周辺で採取してもよいが、変更した採取地点の緯度経度を記録すること。

4. 試料の採取方法及び前処理

試料の採取方法及び前処理方法は第 1 次調査と同じとする。

水銀汚染外要調査計画（魚）

1. サンプルングの目的

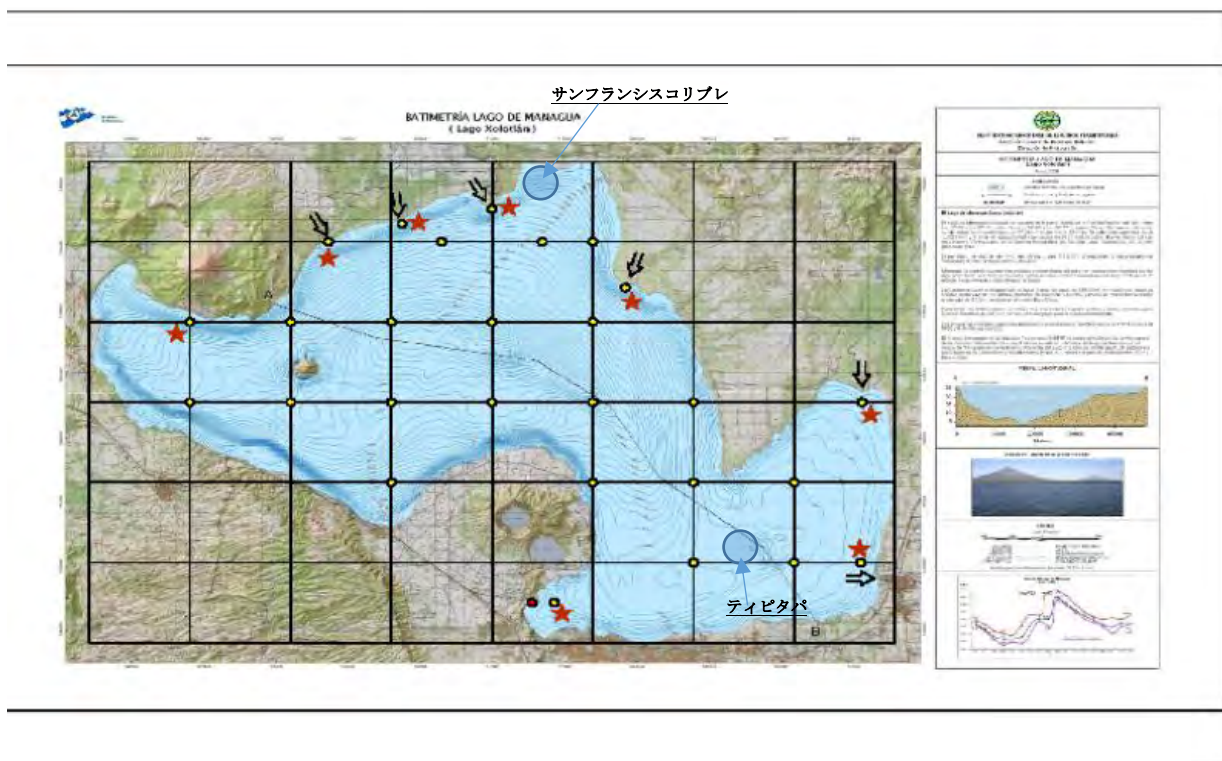
過去マナグア湖のペンウォン地域に、1967年から1992年まで設置されていたクロルアルカリプラントより、マナグア湖へおよそ40トンの水銀が放出された。他にもマナグア湖には水銀汚染源として、周辺にある複数の火山（モモトンボ火山等）に由来する地下水の流入や、火山からの噴気ガス、金鉱山地域から汚水の流入の可能性などがあると予想される。現地 CIRA/UNAN の環境調査結果によると、すでに1ppmを超える水銀濃度を持つ魚類がマナグア湖に生息していることが明らかとなっている。またこれらの魚を日々、周辺漁民は食していることが、過去の調査及び、第1次派遣時の毛髪採取・ヒアリング調査の結果（本プロジェクト10月17日実施、ティピタパ地域）からも明らかになっており、魚の摂取を通じた水銀による人体への影響が懸念されている。しかしこれまで、本調査対象となるマナグア湖では湖に生息する魚に関する総合的な汚染調査が行われておらず、現在のマナグア湖の水銀汚染状況を反映した魚の水銀濃度は明確に把握されていない。そこで本サンプルング計画では、マナグア湖に生息する魚の水銀濃度を明らかにするため、マナグア湖を中心に魚試料を入手し調査する。

2. 銀暴露調査との関連性

本調査は、マナグア湖周辺に居住する漁民を中心に行われる予定の水銀暴露調査とリンクすることを前提とする。即ち、水銀暴露調査が実施されるマナグア湖の漁村で、魚を直接漁民より購入し、魚に含まれる水銀濃度を明らかにする。また本分析データは、水銀暴露調査で採取された毛髪試料中に含まれる総水銀濃度との関連性について検討するためにも使用される。

3. 実施場所及び実施時期

実施場所は、図一1に示したティピタパ・エリア及びサンフランシスコリブレ・エリアの2箇所とする。試料入手は季節及びニカラグア全体の天候にも左右されるが、本プロジェクト中においては、2015年12月より2016年11月までの最低1年間、月1回以上現地へ赴き試料を漁民より直接入手すること。



4. 実施担当者

ニカラグア側担当者 4名（カウンターパートリストに載せられた Fransisco Picado, Bertha Fierro,他 2名が担当する）具体的な魚試料入手（購入）は、試料入手のためのスケジュール管理及び現地へ行くための車の手配も含めて、ニカラグア自治大学付属水資源環境研究所（UNAN/CIRA）の環境水銀研究室が独自に判断し行う。

5. 入手予定魚種及び入手個体数

5-1 入手予定魚種

入手される魚種の選定は、水銀暴露調査で実施されるアンケート調査結果およびヒアリング調査結果より決定されるものとするが、現状として入手予定の魚種は以下の8種類とする。今後の調査結果を基に、入手する魚の種類は増減させる。他に下記の魚以外に入手可能なものが極力入手し、魚名を把握の後に分析に供すること。

- ① モハラ ② グアポテ ③ ティラピア ④ サワロ ⑤ ガスパー ⑥ ラグネロ
- ⑦ バーブド ⑧ グアビナ ⑨ その他

5-2 入手個体数

入手できる魚の個体数は季節の変動にも大きく影響されることが、漁民へのヒアリング結果より判断される。基本的に魚種別の各個体数が多いほど、統計学的には得られた分析データに関する代表性

が高まることが期待される。しかしながら、上述のとおりマナグア湖における漁は、当然ながら豊漁、不漁があり安定しないため、確実な個体数を確保すること困難なケースも想定されるが、各月の試料入手時において入手可能な魚種を優先して入手する。基本的な個体数として1回あたりの試料入手量は、魚種別にそれぞれ10匹から15匹程度を入手することが望ましいが、それ以下でも問題はない。また魚の大きさも一定ではなく、大きなものから小さいものまで幅広く入手することが望ましい。原則として、分析用の試料を、その時々に応じて可能な限り量的に少なくとも入手することを優先する。

6. 分析及び測定項目

6-1 各魚の体重及び体長の測定及びその情報管理

試料入手により得られた魚にはそれぞれ固有の番号を付し、情報をパーソナルコンピュータで管理できるようにする。入力する情報は各魚体の体長及び重量及び、採取した場所、日付、誰から採取したのか、当日の担当者名等の情報を入力するようにする。

6-2 水銀分析

1. 魚試料

原則、魚態の筋肉可食部中の総水銀濃度を測定する。分析試料を切り出す際は、必ず同じ部位から切り出すこと。魚の筋肉部可食部は魚の部位によって、総水銀濃度の違いが生じていることから、毎回、分析用試料を切り出す部位を変更してはならない。切り出す際に1例を図-2に示す。尚、水銀分析方法は国水研法（赤木法）あるいはDMA80による燃焼法を用いてよい。測定時は、分析値の信頼性を確保するため、複数回に1回は必ず国際標準物質を1種類以上加えて分析し、精度を確認すること。認証値に入らない場合は、原因を究明し再度分析を実施する。また分析は、1試料について分析採取量を2段階（たとえば0.1gと0.2g）に分けて採取し総水銀分析を行う。2回の分析値から濃度（mg/kg、wet）を求め、各濃度から濃度平均値を求める（魚の場合は湿潤で評価するため、総水銀濃度を乾燥重量あたりに換算する必要はない）。この濃度平均値と各分析値との差が平均値の±10%以内であればよい。また分析データはコンピュータにより管理し、5-1で示したデータともリンクできるようにする。

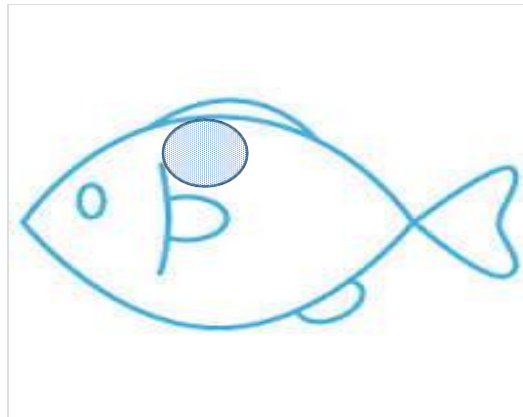


図-2 魚試料の切り出し部位

通常は上図の斜線部位を切り出し、表面の皮を切除し筋肉部のみを 20ml 溶のバイアル瓶に入れて十分に細切し、総水銀分析用の試料として用いる。ただし、この手順にすべて合わせる必要はなく、これまで用いた方法を統一して今後も使用するのであれば問題は無い。

7. 各試料の入手方法

7-1 魚試料

魚の入手後、研究所まで輸送する間は、冷却材（氷等）を十分に詰めたクーリングボックス内で光を避けて保管するようにする。

6-2 魚肉試料の保存

採取された魚肉試料は、そのまま -20°C 以下のフリーザーで保管すればよい。魚肉中の水銀はタンパク質等と結合した状態で存在することから、他の環境試料と比べて比較的安定であるため、通常の家庭用冷蔵庫のフリーザーで長期保存しても問題は無い。但し長期保存すると冷凍効果で水分が失われ、当初の水分濃度と大きく変化することがあるので、これには十分注意し出来るだけ早く試料を切り出し分析すること。尚、細切された試料をバイアル瓶等に入れて保存する場合には、上部キャップをきつく締めておけば長期保存に耐えられる。

メチル水銀暴露調査計画

1) 目的

ソロトラン湖 (Xolotlán 湖) 周辺地域の漁村等に居住し、湖で捕獲した魚を摂取している可能性のある漁民を含む地域住民等を対象に、毛髪水銀濃度をバイオマーカーとしてメチル水銀暴露状況を推定するとともに、魚介類摂取を通じて暴露するメチル水銀による健康リスク評価のための疫学的資料を得ることを目的とする。

2) 調査時期

調査は、2015 年 11 月の第一次派遣時および、2016 年 6 月の第三次派遣時に実施する。

3) 調査地域および対象

調査地域はマナグア湖南西部湖畔のティピタパ市 (Tipitapa, 人口 130,627) ならびに北部湖畔のサンフランシスコ・リブレ市 (San Francisco Libre, 人口 11,018) のいずれも漁村地区とし、具体的にはティピタパ市内のラ・ボカーナ地区 (La Bocana) および同市内ティピタパ川沿いのプライウッド地区 (Plywood)、サンフランシスコ・リブレ市内については、プエルト・ビエホ地区 (Puerto Viejo)、プエルト・ノエボ地区 (Puerto Noevo)、およびサン・ラモン (San Ramon) 地区とする。各地域の保健所職員あるいはコミュニティー・リーダーの案内の下、調査員が各戸を任意に訪問し、書面によるインフォームドコンセントが得られた家族を対象に調査を実施する。調査対象者の目標数は、ティピタパ市の調査については、ラ・ボカーナ地区人口の約半数に相当する 1,000 名程度、サンフランシスコ・リブレ市の調査では 200～300 程度とする。

4) 問診調査票

問診調査は、調査員による聞き取り調査とし、基本項目 (性、年齢等) のほか、社会・経済状況 (socio-economic status)、魚介類摂取状況ならびに身体・健康状況等の主要 30 項目で構成する調査票を用いて実施する。社会・経済状況としては、職業、識字状況、教育歴、ELPESA 就業歴を調べる。魚介類摂取状況については、魚介類摂取頻度、魚の調理方法、主な摂取魚の大きさ、魚種、魚の入手方法について調査する。身体・健康状況に関する質問項目には、糖尿病・高血圧の有無のほか、感覚障害等の神経系の自覚症状等 14 項目を含む。

5) 毛髪試料の採取

採取する毛髪試料の標準重量は一対象者あたり 30 mg 以上を目標とする。毛髪は皮膚に近い部分で約 60 本程度を切り取り、このうち根本側から 3～4 cm 以内を試料として残し、これより長い部分は廃棄する。これより短い毛については、本数を多くして標準重量の確

保を目指す。が、頭髪が非常に短く、標準重量を確保することが困難な場合などは、安全が確保できる範囲の採取とする。また、頭髪を採取することが極めて困難な対象者については、本人の了解の下、可能であれば頭髪以外の体毛を採取する。

6) 調査員

ティピタパ市内は、約 10 人の調査員により 5 日間程度にわたって調査を実施し、サンフランシスコ・リブレは、調査員 5 名による 2 日間の調査とする。

調査員は事前の研修に参加し、調査票による聞き取りならびに毛髪採取についての実習を行う。

7) 事前準備

調査は対象地域を所管する保健所および市等との密接な連携の下に実施する。調査に先立ち、地域住民に対して、調査の背景・目的・調査方法等について説明会を実施する。

8) 結果の解析

問診調査の各項目ならびに毛髪水銀濃度の結果については、各種クロス集計のほか、毛髪水銀濃度や神経症状などの健康状態を目的変数とする多変量解析を実施し、それらの規定因子を明らかにするとともに、その結果等に基づいて地域住民におけるメチル水銀の健康リスク評価を実施する。

9) 結果の還元

調査結果については、調査に協力した関係機関に報告するとともに、地域住民に対しても結果の説明会等を通じて、得られた成果を還元する。また万一、調査を通じて顕著な健康被害等を呈する症例などを確認した際には、地域の医療・保健機関に通知するなど必要な処置を講じる。

Mercurio y Salud



Dr. Noriyuki Hachiya

Sección de Salud Ambiental

*Departamento de Ciencia Ambiental y Epidemiología Instituto
Nacional para la Enfermedad de Minamata*



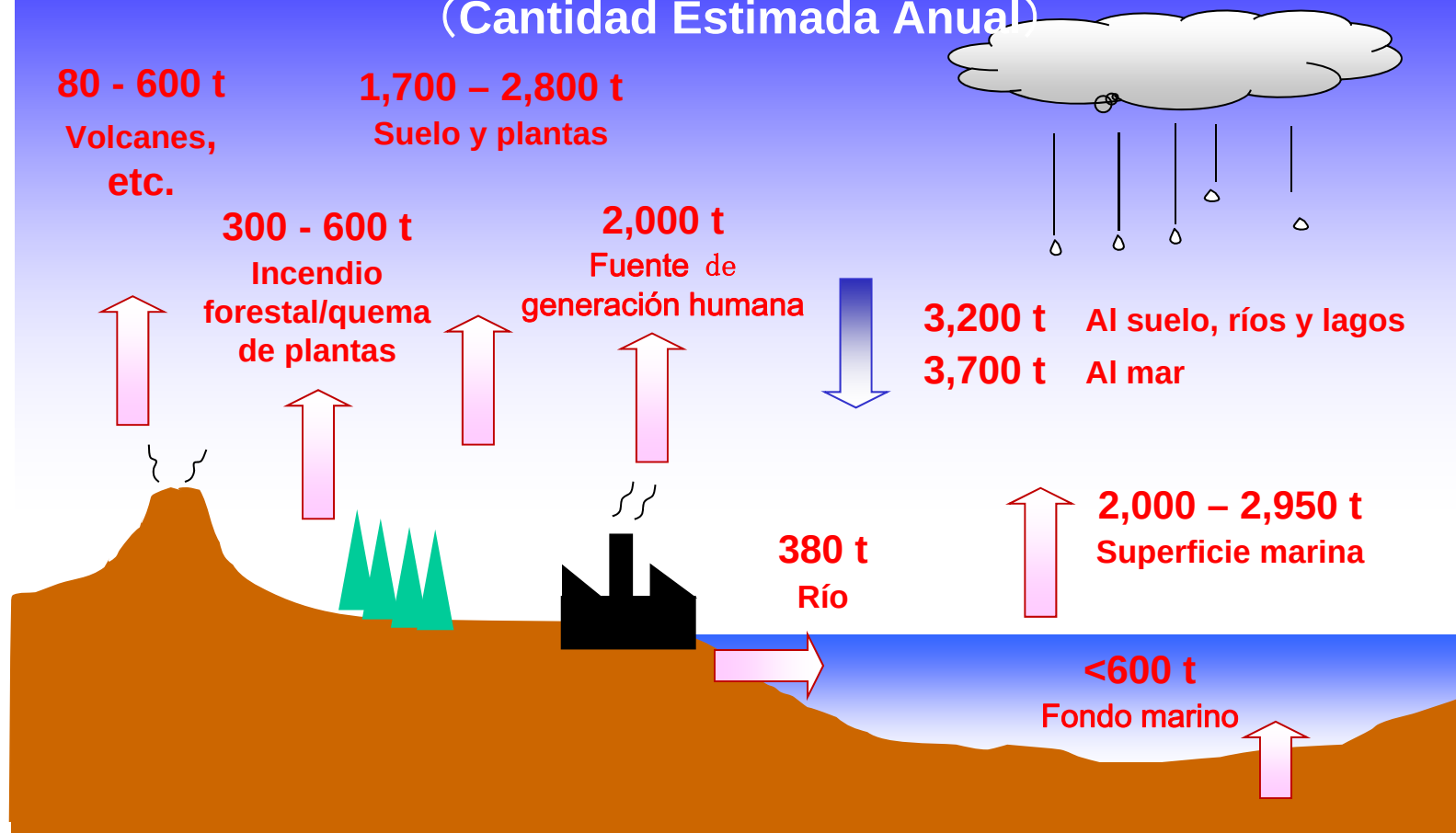
Mercurio inorgánico (sulfuro de mercurio)



Mercurio metálico

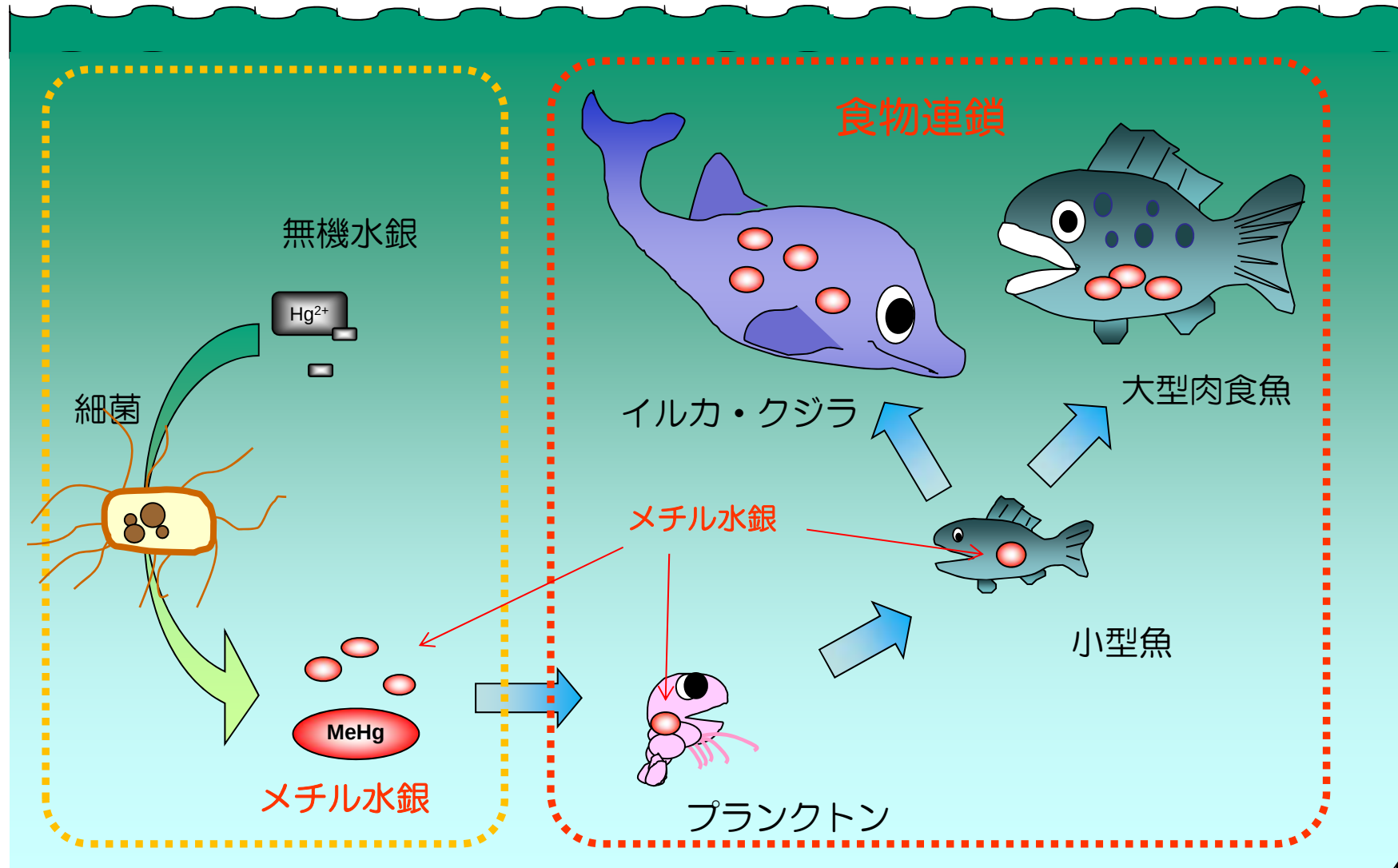


Circulación del Mercurio en el Medio Ambiente Natural (Cantidad Estimada Anual)



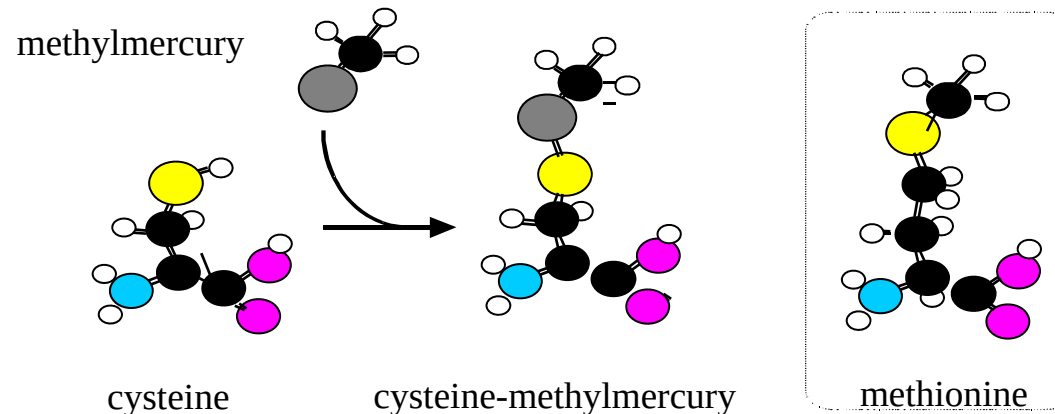
Fuente: Global Mercury Assessment 2013 (UNEP)

水系環境におけるメチル水銀の生成と食物連鎖による濃縮



人体内のメチル水銀と毒性

- 脳や胎児への浸透性が高く、神経毒性や胎児発達影響が強い
 - アミノ酸のシステインと結合し、必須アミノ酸であるメチオニンの構造類似体として振る舞う
 - システインを多く含む毛髪たんぱく質に多く結合する
- 消化管吸収率が高く、体内の組織に広く分布する
 - 無機水銀化合物は消化管からあまり吸収されない
 - (メチル水銀を除く)多くの有害物質は脳や胎児には移行しにくい
- 水銀は排泄されやすく、大半は大便から排泄される
 - メチル水銀の生物学的半減期は50-70日





(18才)は5才で発病。意識を失ったま

水俣病の典型的な症状

- 手足の末端部ほど強い感覚障害
- 運動失調
 - 例: 腕を伸ばした両手の指先を付けようとしてもうまくいかない
- 平衡機能障害
 - 例: まっすぐ歩けない
- 求心性視野狭窄
- 水俣病でみられるその他の症状
 - 言語障害 (構音障害)
 - 難聴・聴力障害
 - 歩行障害
 - 眼球運動の異常
 - 筋力低下
 - 振戦 (手足や前身の震え)
 - 味覚・臭覚障害
- 水俣病患者の毛髪水銀濃度の例: 200～300 ppm

Tipitapa および San Francisco Libre 調査 における平均毛髪水銀濃度 (GM)

性	n	年齢		毛髪水銀濃度 (ppm)	
		AM	(min/max)	GM	(min/max)
女	788	28.8	(0/93)	0.49	(0.01/15.4)
男	557	25.8	(0/91)	0.59	(0.02/13.2)
計	1345	27.6	(0/93)	0.53	(0.01/15.4)

(参考) 日本の平均毛髪水銀濃度 (GM) : 女 1.7 ppm, 男 2.5 ppm

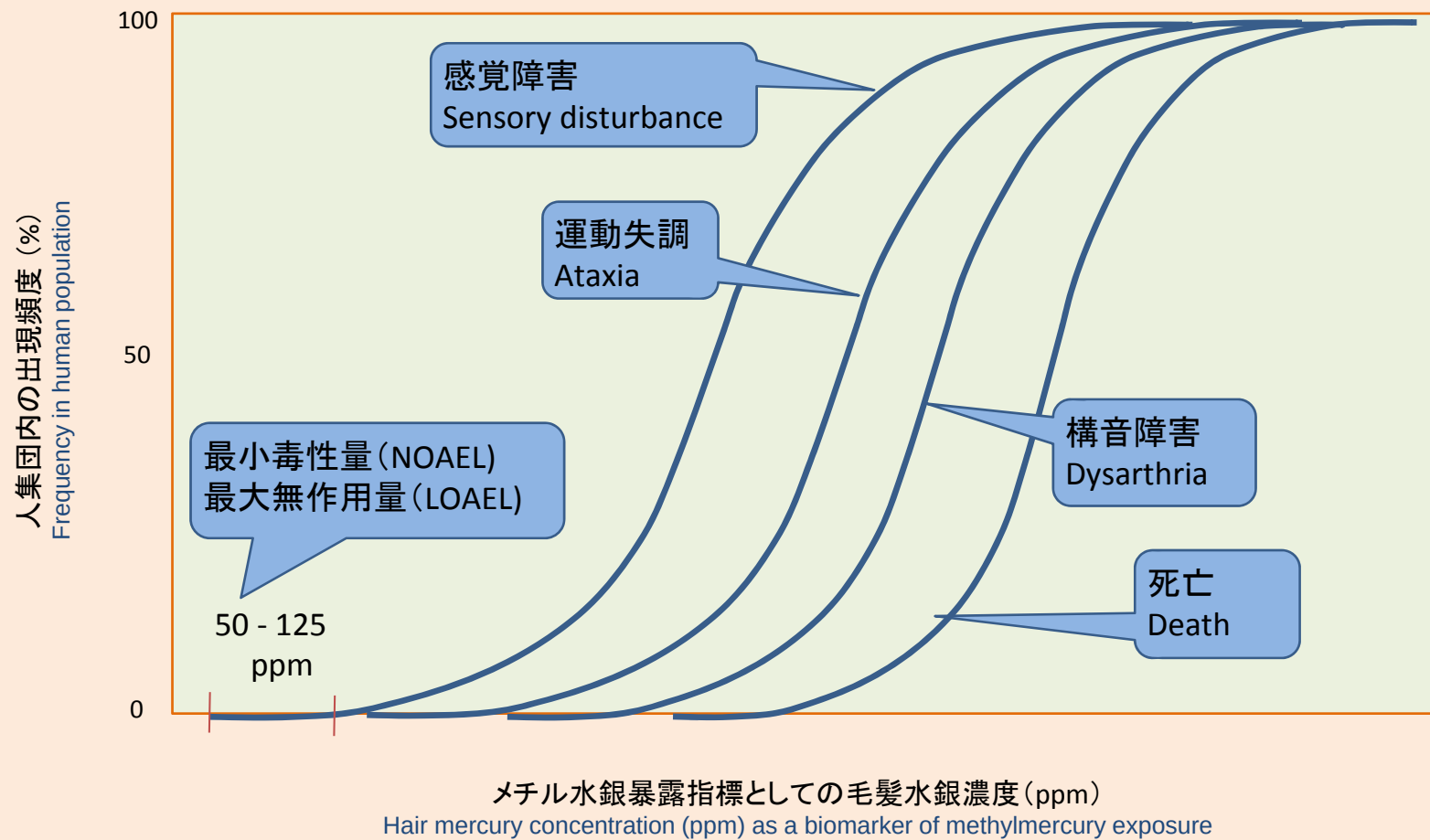
毛髪水銀

メチル水銀暴露量のバイオマーカー

- 毛髪水銀濃度は血中水銀濃度の約250倍
- 毛髪水銀の90%以上はメチル水銀
- その他の利点
 - i) 高感度, ii) 採取が容易(非侵襲性)
 - Iii) 保存が容易(常温で無期限)
 - Iv) 過去の暴露量推定(毛髪は月に1 cm伸びる)
- 毛髪水銀濃度からメチル水銀暴露量の推定
 - メチル水銀週間摂取量($\mu\text{g/kg-bw/week}$)
 $= 0.74 \text{ (g/kg-bw/week)} \times \text{毛髪水銀濃度 } (\mu\text{g/g})$

メチル水銀の神経毒性の量-反応関係(模式図)

A schematic dose-response relationship on toxic effects of methylmercury



胎児神経系の発達影響

Boston Naming Test (動物など線画の名前: 言語)

NES2 Continuous Performing Test (画面に出現する動物の絵に対する反応: 注意)

California Verbal Learning Test (単語の記憶: 言語記憶)

Bender Visual Motor Gestalt Test (図形の模写: 視覚空間)

Finger Tapping (キーを指で早く押す; 運動)

Brainstem auditory evoked potential 聴性脳幹誘発電位
(電気生理学的検出)

Boston Naming Test (BNT)

子どもに絵を見せてその名前を答えさせる
子どもの言語能力の発達状況を調べる
メチル水銀による影響を検出しやすい

SAMPLES OF TESTS...



Graded Naming Test examples –
test has 30 of these, presented in
order of increasing difficulty

Boston Naming Test examples

最大無作用量とベンチマーク用量

- 最大無作用量 (Non Observed Adverse Effect Level: NOAEL)
 - 影響が出現しはじめる暴露量
- 非曝露群でも観察される非特異的な影響の場合
 - BNTスコアなどがメチル水銀の暴露により低下する
 - 非曝露群におけるスコアの下位5%群を「異常あり」とすると、暴露にともなってこの「異常あり」の個体頻度は増加する。
 - この「異常あり」頻度が10%になる暴露量をベンチマーク用量 (Benchmark dose, BMD) と呼ぶ
- ベンチマーク用量の統計学的95%信頼区間の下限值 (lower limit of 95% confidence interval) を BMDL と表し、これを NOAEL に相当する暴露量と考える

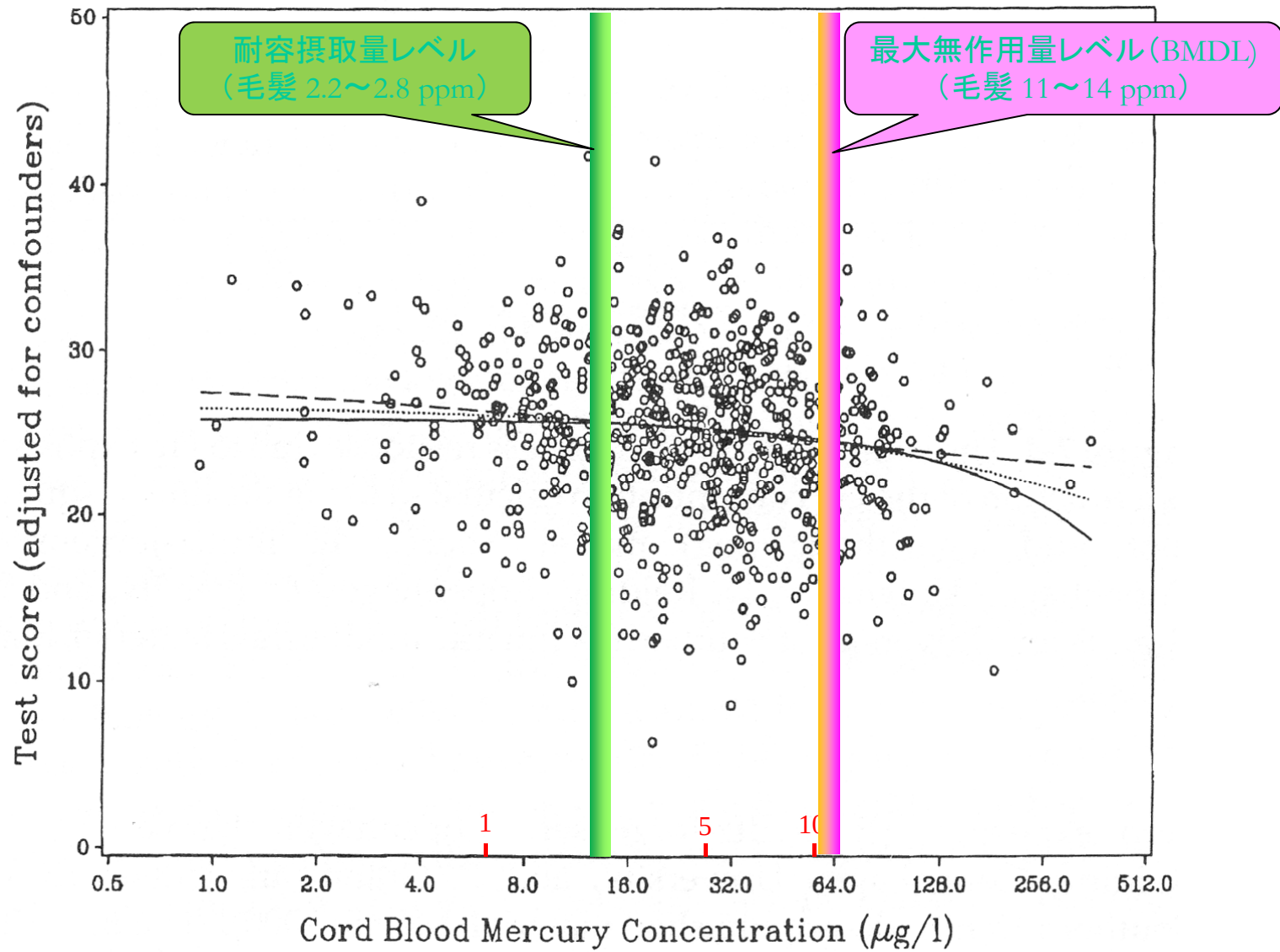
メチル水銀の最大無作用量

- 一般的な神経毒性(子どもから成人まで)
 - 毛髪水銀 50～125 ppm を超えると手足の感覚異常が増加する
 - 新潟水俣病, イラクの農薬事故(消毒薬処理した小麦で焼いたパン)
 - もっとも低い 50 ppm を神経症状の最大無作用量とする
 - メチル水銀摂取量: 33 µg/kg/week
- 胎児の発達影響
 - 妊婦の毛髪水銀濃度: 11 ppm
 - メチル水銀摂取量: 8.1 µg/kg/week
 - 言語・注意・言語記憶・視覚空間・運動能力などの発育への影響
 - デンマークのフェロー諸島およびセイシェル共和国での母子追跡調査
 - JECFA (WHO) : 毛髪水銀 14 ppm
 - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
 - 米国科学評議会 (National Research Council, NRC) : 毛髪水銀 12 ppm
 - 安全性を重視して最も低い日本の食品安全委員会の値を採用

メチル水銀の耐容摂取

- 耐容摂取量 **量**
 - 最大無作用量に不確実係数を加味したもの
 - 実際には, 最大無作用量の1/4~1/10など
 - 不確実係数には感受性や代謝系などの個人差を含む
 - 暫定的耐容週間摂取量 (provisional tolerable weekly intake, PTWI) が使われる
- 胎児影響にもとづく耐容摂取量
 - JECFA : 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{week}$
 - 最大無作用量 $\times$ 不確実係数
 - $(14 \mu\text{g}/\text{g} \times 0.74 \text{ g}/\text{kg-bw}/\text{week}) \times 1/6.4$
 - 毛髪水銀濃度換算で 2.2 ppm に相当する

BNT スコアの分布と参照用量の関係



Maternal Hair Mercury Concentration ($\mu\text{g}/\text{g}$)

CB:MH=1:200

耐容摂取量の意味をどう考えるか

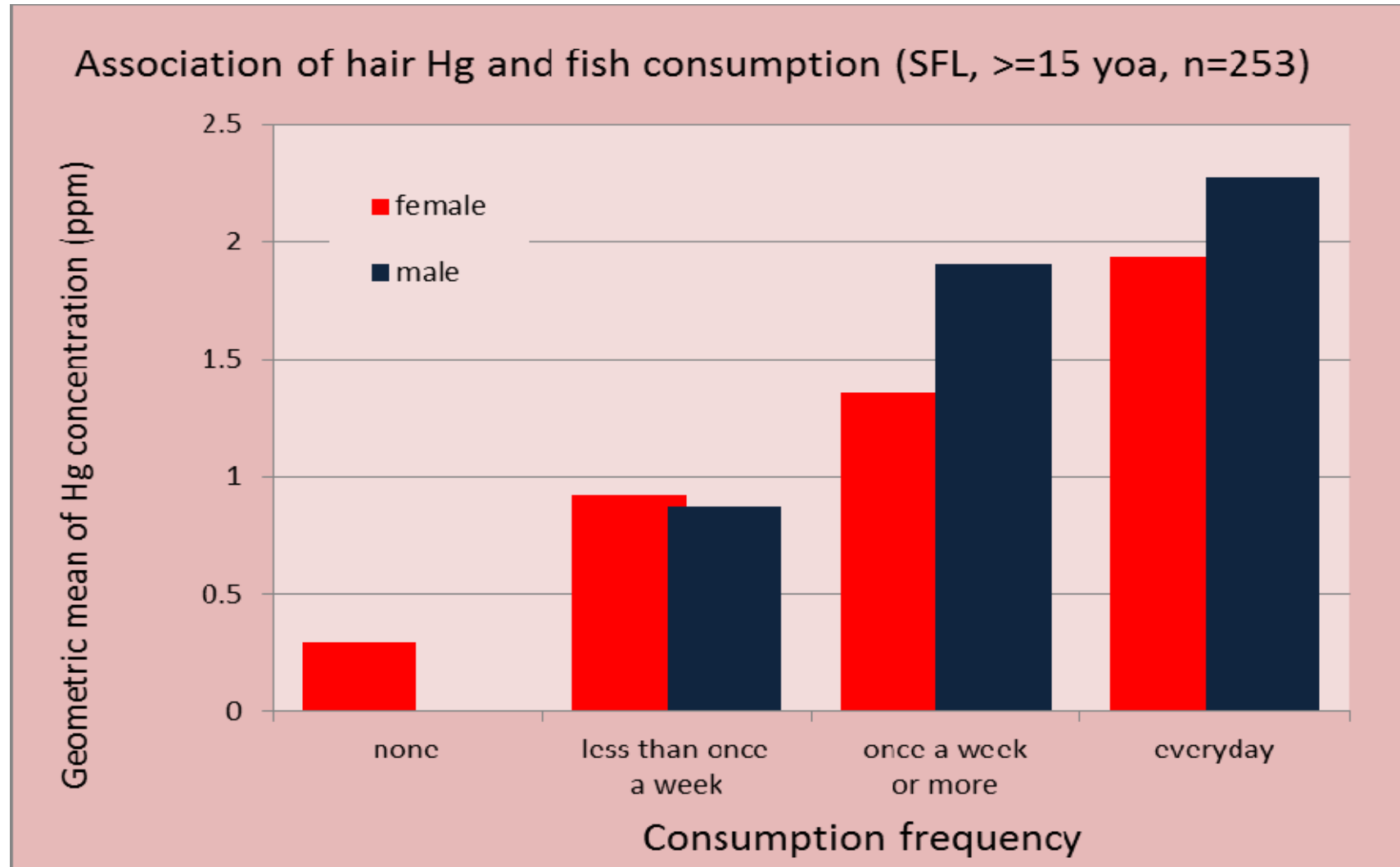
- 健康影響の予防原則を前提とする施策の目標値
 - 環境や食品の基準値を定める際の参照値
- 毛髪水銀測定など個々の住民の暴露評価を前提とした基準値ではない
 - この基準値を超えた住民に個別指導することはない
- 研究の進展などに応じて常に見直すことが前提とされる「暫定的」な値
- 人為的に添加する化学物質は「許容摂取量」
自然界に存在するものは「耐容摂取量」

各種参照値を超過する人の頻度

性別	毛髪水銀濃度 (ppm)				
	0 <	1.2 <	2.2 <	5 <	11 <
女	788	212	68	11	2
	100%	26.9%	8.6%	1.4%	0.3%
男	557	190	91	32	5
	100%	34.1%	16.3%	5.7%	0.9%
計	1345	402	159	43	7
	100%	29.9%	11.8%	3.2%	0.5%

- 1 (参考)日本 100% 80.7% 48.1% 9.8% 1.3%
- 2.2 ppm : JECFAの耐容摂取量(1.0 µg/kg/week)相当
- 5.0 ppm : 成人の感覚障害に基づく旧耐容摂取量(3.3 µg/kg/week)相当
- 11 ppm : 胎児発達影響の最大無作用量の最小値(日本食品安全委員会)

毛髪水銀濃度は魚介類摂取量を反映する



栄養素摂取源としての魚介類の重要性

- 魚の摂取は多価不飽和脂肪酸をはじめとする有益な栄養素の供給源である。
- 魚の摂取は、肥満や循環器疾患などの慢性疾患の予防に効果がある。
- 妊娠時の毛髪水銀濃度は耐容摂取量以下などであれば、多少高くても新生児の発育への悪影響との間に関係は見られず、魚の摂取により毛髪水銀濃度が上がった場合には、見かけ上子どもの発育がむしろ促進されるようなこともある。
- 栄養摂取における魚介類の占める割合は、地域や社会階層によってはとくに大きい場合がある。魚介類の摂取制限により、これら住民の栄養摂取に重大な不均衡が生じないようにする必要がある。
- 魚にはメチル水銀の毒性を打ち消す(mask)ような成分も含まれる
- 魚摂取によるメチル水銀など有害物質の摂取制限を行う際には、魚摂取の栄養面での便益性を十分に考慮すべきである(JECFA 2004)

魚介類の水銀規制値

- 体重60 kg の人が 1日平均 50g の魚を食べる場合の体重あたりの週間摂取量を計算すると,
 - 水銀濃度 ($X \mu\text{g/g}$) $\times 50 \text{ g} \times 7 \text{ days} \times 1/60 \text{ kg}$
 - この値が耐容摂取量 $1.6 \mu\text{g/kg/week}$ 以下となるための X (魚介類の水銀濃度)は $0.27 \mu\text{g/g}$ 以下
 - 大半の魚種が基準値を超える
 - 有益な栄養源としての魚の重要性についての考慮
- 
- 一律の水銀規制値からアドバイザー（注意事項）へ

マナグア湖の魚の水銀濃度

魚種	摂取者頻度	平均水銀濃度
Guabinas	32.8%	0.243
Guapotes	69.2%	0.446
Laguneros	10.6%	0.450
Mojarras	79.3%	0.300
Tilapias	34.6%	0.017

魚介類摂取の注意事項

アドバイザリー

- 耐容摂取量を超えない魚の食べ方
 - 魚の摂取自体は基本的に推奨する
 - 水銀濃度が高い魚の食べ過ぎを防止する
- 対象者を誰にするか？
 - 妊婦, 出産予定の女性, 子供, 全集団...
- 対象魚種の範囲は？
 - 平均水銀濃度 0.4 ~ 0.5 ppm 以上の魚
- 必要な情報
 - 魚介類の平均水銀濃度
 - 一人一日あたりの平均魚介類摂取量

主要国のアドバイザー(抜粋)

国名	公表	対象者	魚種等	摂取制限等
日本 (厚労省)	2003, 2005	妊婦, 妊娠の可能性のある女性	バンドウイルカ	2か月に1回以下
			メカジキ, キンメダイ, クロマグロ, メバチマグロ, など	週1回以下
			マカジキ, ミナミマグロ, など	週2回以下
米国 (EPA, FDA)	2001, 2004	妊婦, 妊娠の可能性のある女性, 授乳中, 授乳中の母親, 幼児	サメ, メカジキ, など	食べない
			ビンナガマグロなど	週6 ozまで
			水銀濃度の低い魚	週12 ozまで
カナダ (Health Canada)	2001 2002	すべての人	サメ, メカジキ, マグロ	週1回以下
		妊婦, 出産年齢の女性, 幼児	サメ, メカジキ, マグロ	月1回以下
イギリス (FSA)	2003, 2004	妊婦, 妊娠するつもりのある女性, (一部は小児も)	サメ, メカジキ, マカジキ	食べない
			マグロ(ステーキ)	週2回以下
			ツナ缶	週4缶以下
オーストラリア・ニュージーランド (ANZFA)	2001, 2004	すべての人	サメ, メカジキ, マカジキ	週1回以下
		妊婦, 妊娠するつもりのある女性	サメ, メカジキ, マカジキ	2週に1回以下
			ナマズなど	週に1回以下

まとめ

- 無機水銀は環境中で毒性の強いメチル水銀に変化し，食物連鎖を通じて魚介類に蓄積する
- 人体のメチル水銀曝露量は毛髪水銀濃度で推定できる
- 水銀は人体から排泄されやすいため，摂取量を変えれば人体負荷を軽減できる
- メチル水銀の健康リスク管理は胎児影響の予防が主体になってきている
- 魚介類のメチル水銀規制においては，魚介類摂取が栄養素摂取において便益性を有することを考慮することが大切
- メチル水銀濃度が高い魚について，妊娠期などに過剰摂取しないような食べ方のアドバイザーが主要国で公表されている



**En particular, las mujeres embarazadas
deben estar informadas sobre la
prevención.**

Mercurio y Salud



Dr. Noriyuki Hachiya

Sección de Salud Ambiental

Departamento de Ciencia Ambiental y Epidemiología

Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata



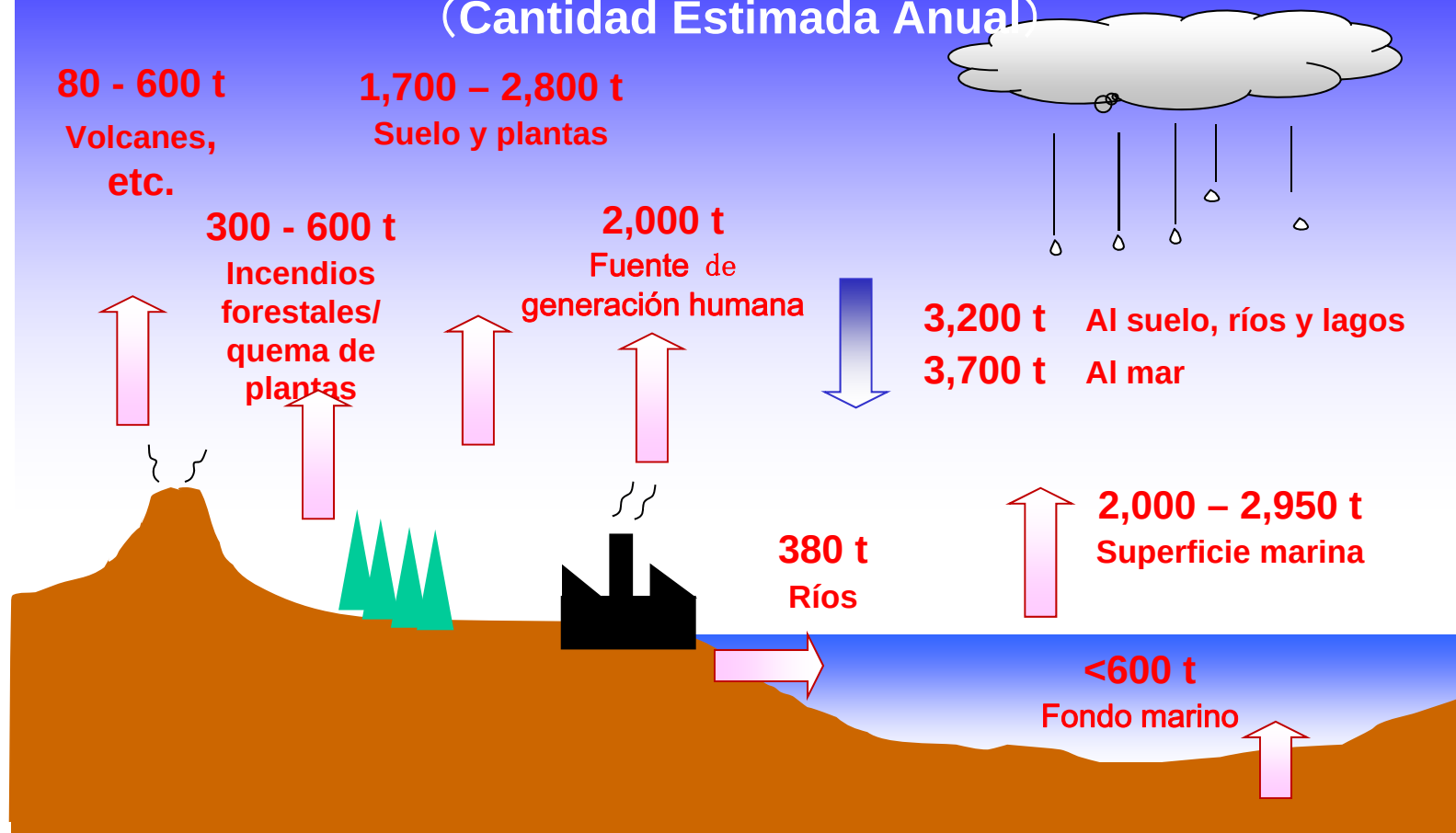
Mercurio inorgánico (sulfuro de mercurio)



Mercurio metálico

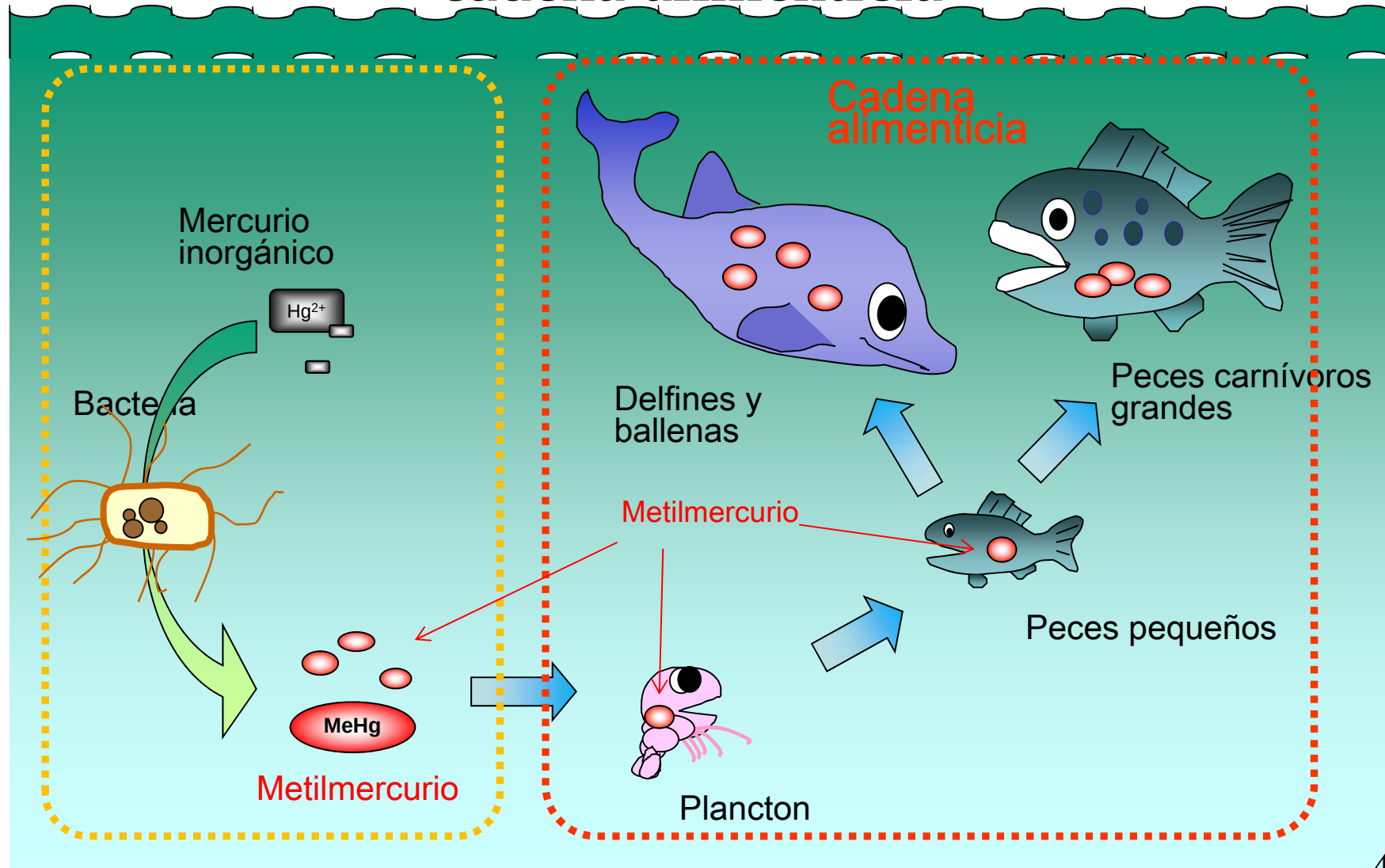


Circulación del Mercurio en el Medio Ambiente Natural (Cantidad Estimada Anual)



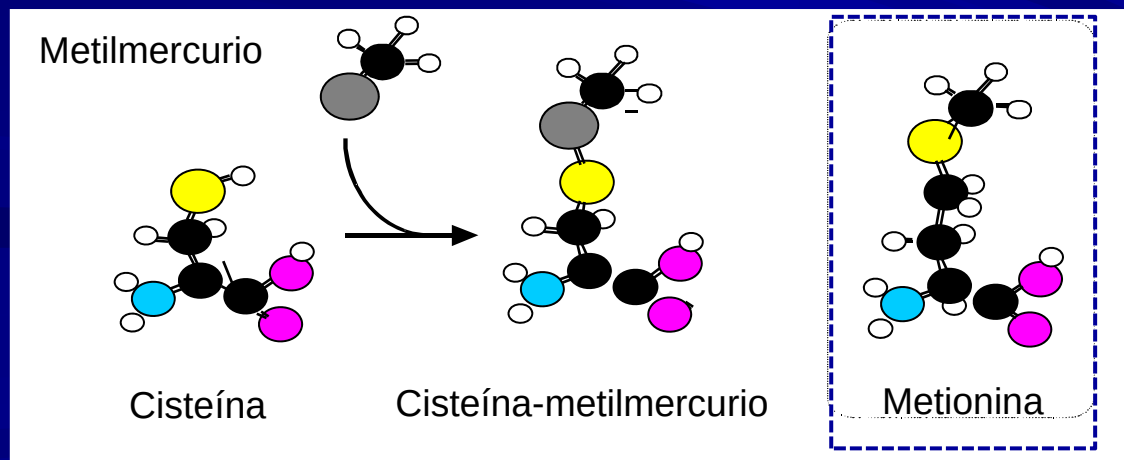
Fuente: Evaluación Global de Mercurio 2013 (PNUMA)

Producción del metilmercurio en el ambiente acuático y su condensación a través de la cadena alimenticia



Metilmercurio en el cuerpo humano y su toxicidad

- Penetra fácilmente en el cerebro y el feto; la toxicidad neurológica es aguda y produce graves afectaciones al desarrollo del feto.
 - Se enlaza con la cisteína del aminoácido y actúa como el análogo estructural de metionina, un aminoácido esencial.
 - Se enlaza frecuentemente con la proteína del cabello, ya que el cabello contiene mucha cisteína.
- La tasa de absorción por el tracto digestivo es alta y se extiende ampliamente en los órganos.
 - Los compuestos de mercurio inorgánico no se absorben tanto por el tracto digestivo.
 - Muchas de las sustancias nocivas, con la excepción del metilmercurio, no se trasladan fácilmente al cerebro o al feto
- El mercurio es fácilmente excretado. La mayor parte es evacuada en las heces.
 - El período de semidesintegración biológica del metilmercurio es de 50 a 70 días.





(18才)は5才で発病。意識を失ったま

Síntomas típicos de la enfermedad de Minamata

- Alteraciones sensoriales más graves en la punta de las manos y los pies
- Ataxia
 - Ejemplo: No poder tocar la punta del dedo de una mano con la punta del dedo de la otra con los brazos extendidos.
- Alteraciones del equilibrio
 - Ejemplo: No poder caminar recto.
- Pérdida de campo visual concéntrica
- Otros síntomas de la enfermedad de Minamata
 - Alteraciones del habla (disartria)
 - Hipoacusia y discapacidad auditiva
 - Alteraciones de la marcha
 - Alteraciones de los movimientos oculares
 - Pérdida de la fuerza muscular
 - Temblor (temblor en las extremidades o todo el cuerpo)
 - Alteraciones del sabor o del olfato
- Ejemplo de la concentración del mercurio en cabello del paciente de la enfermedad de Minamata: 200-300 ppm

Concentración promedio del mercurio en cabello (promedio geométrico) según las encuestas en Tipitapa y San Francisco Libre

Sexo	n	Edad		Concentración del mercurio en cabello (ppm)	
		Promedio aritmético	(Mín./Max.)	Promedio geométrico	(Mín./Max.)
Fem.	788	28.8	(0/93)	0.49	(0.01/15.4)
Masc.	557	25.8	(0/91)	0.59	(0.02/13.2)
Total	1345	27.6	(0/93)	0.53	(0.01/15.4)

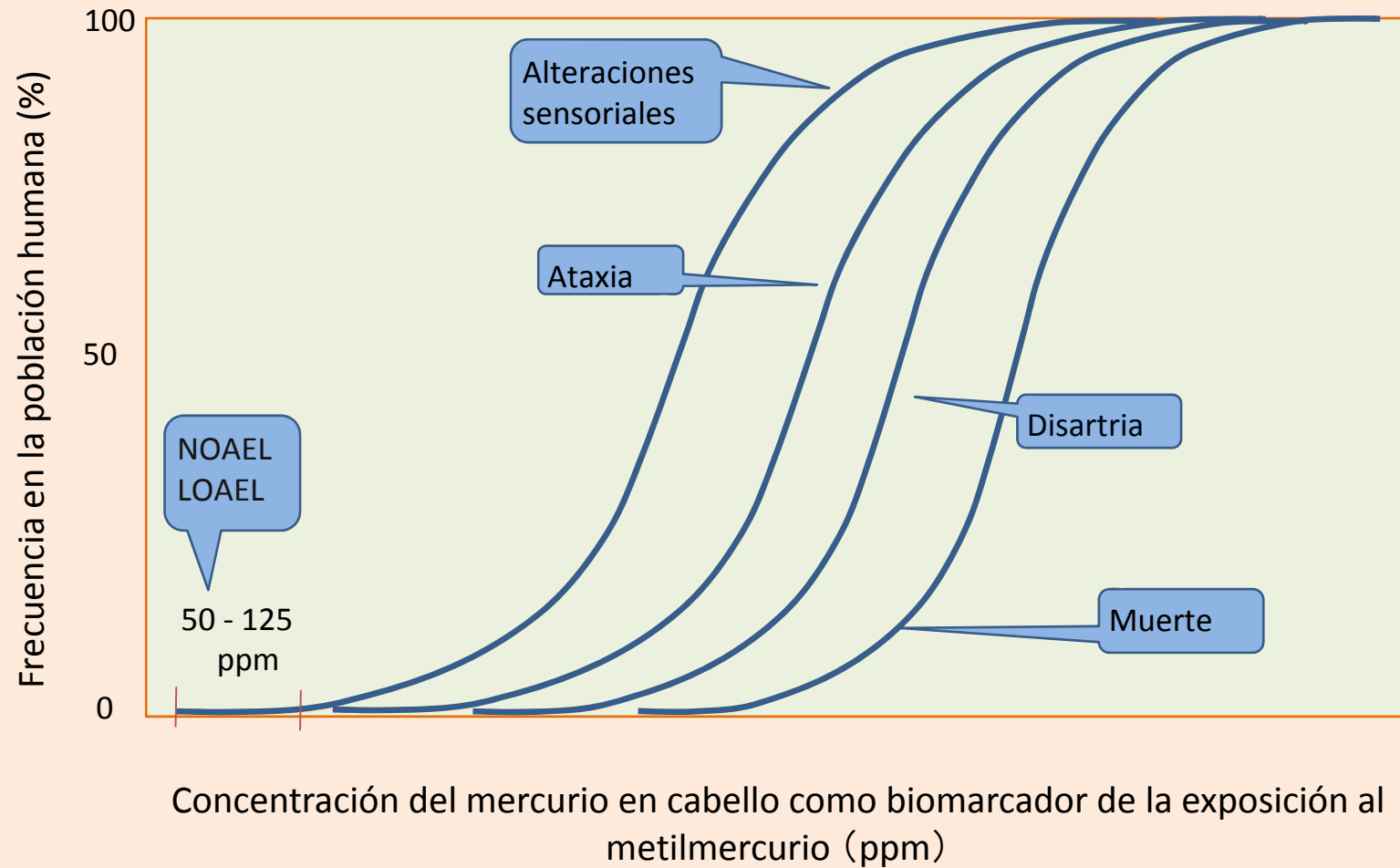
(Dato referencial) Concentración promedio del mercurio en cabello en Japón (promedio geométrico): 1.7 ppm para mujeres y 2.5 ppm para hombres

Mercurio en cabello

Biomarcador del nivel de exposición al metilmercurio

- La concentración del mercurio en cabello es aproximadamente 250 veces mayor que la concentración del mercurio en la sangre.
- Más del 90 % del mercurio en cabello es metilmercurio.
- Otras ventajas
 - i) Alta sensibilidad ii) Facilidad de recolectar (manera no invasiva)
 - iii) Facilidad de almacenar (almacenamiento a temperatura ambiente por un período indefinido)
 - iv) Estimación del nivel de exposición del pasado (El cabello crece 1 cm al mes.)
- Estimación del nivel de exposición al metilmercurio por la concentración del mercurio en cabello
 - Ingesta semanal de metilmercurio ($\mu\text{g/kg-peso corporal/semana}$)
 $= 0.74 \text{ (g/kg-peso corporal/semana)} \times \text{Concentración del mercurio en cabello } (\mu\text{g/g})$

Relación dosis-respuesta de la toxicidad neurológica del metilmercurio (Diagrama esquemático)



Afectaciones al desarrollo del sistema nervioso del feto

Test de Denominación de Boston (Nombre de animales, etc. del dibujo lineal: Lenguaje)

Prueba de Rendimiento Continuo de NES2 (Reacción al dibujo de animales que aparece en el monitor: Atención)

Test de Aprendizaje Verbal de California (Memorización de palabras: Memoria verbal)

Test de Bender (Copia de figuras: Espacio visual)

Golpeteo ligero con el dedo (Toque rápido de la tecla: Movimiento)

Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral
(Detección electrofisiológica)

Test de Denominación de Boston (TDB)

- Se le muestra un dibujo al niño para que diga el nombre.
- Se investiga el desarrollo de la capacidad lingüística del niño.
- El test facilita detectar las afectaciones por metilmercurio.

SAMPLES OF TESTS...



Graded Naming Test examples –
test has 30 of these, presented in
order of increasing difficulty

Boston Naming Test examples

Nivel sin efecto adverso observable y dosis de benchmark

- Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL, por sus siglas en inglés)
 - Nivel de exposición mínimo en el cual se empiezan a observar las afectaciones.
- En el caso de afectaciones no específicas que se observan en la cohorte no expuesta al metilmercurio:
 - El puntaje de TDB se disminuye por la exposición al mercurio.
 - Si se considera “anormal” el 5 % más bajo de los puntajes de la cohorte no expuesta al metilmercurio, la aparición de los individuos “anormales” se volverá más frecuente con la exposición.
 - Se denomina dosis de benchmark (BMD, por sus siglas en inglés) al nivel de exposición que provoca la aparición de “anormales” con una frecuencia del 10 %.
- Se denomina BMDL al límite inferior de un intervalo de confianza del 95% del dosis de benchmark y se lo considera como el nivel de exposición correspondiente al NOAEL.

NOAEL de metilmercurio

■ Neurotoxicidad en general (desde niños hasta adultos)

- Se aumentan las alteraciones sensoriales en las manos o los pies cuando la concentración del mercurio en cabello es mayor que 50-125 ppm.
 - Enfermedad de Minamata de Niigata y el accidente de agroquímico en Irak (pan hecho de trigo tratado con desinfectante)
- Se define la concentración más baja de 50 ppm como NOAEL de síntomas neurológicos.
 - Ingesta de metilmercurio: 33 µg/kg/semana

■ Afectaciones al desarrollo del feto

- Concentración del mercurio en el cabello de la embarazada: 11 ppm
 - Ingesta de metilmercurio: 8.1 µg/kg/semana
- Afectaciones al desarrollo de las capacidades: lingüística, de atención, de memoria verbal, visual-espacial y motora.
- Estudios de rastreo materno-infantil en las Islas Faroe de Dinamarca y la República de Las Seychelles
 - JECFA (OMS) : Mercurio en cabello 14 ppm
 - Consejo Nacional de Investigación (EE.UU.): Mercurio en cabello 12 ppm
 - Aquí se adoptó el valor más bajo establecido por la Comisión de Seguridad Alimentaria de Japón considerando la importancia de la seguridad.

Ingesta tolerable del metilmercurio

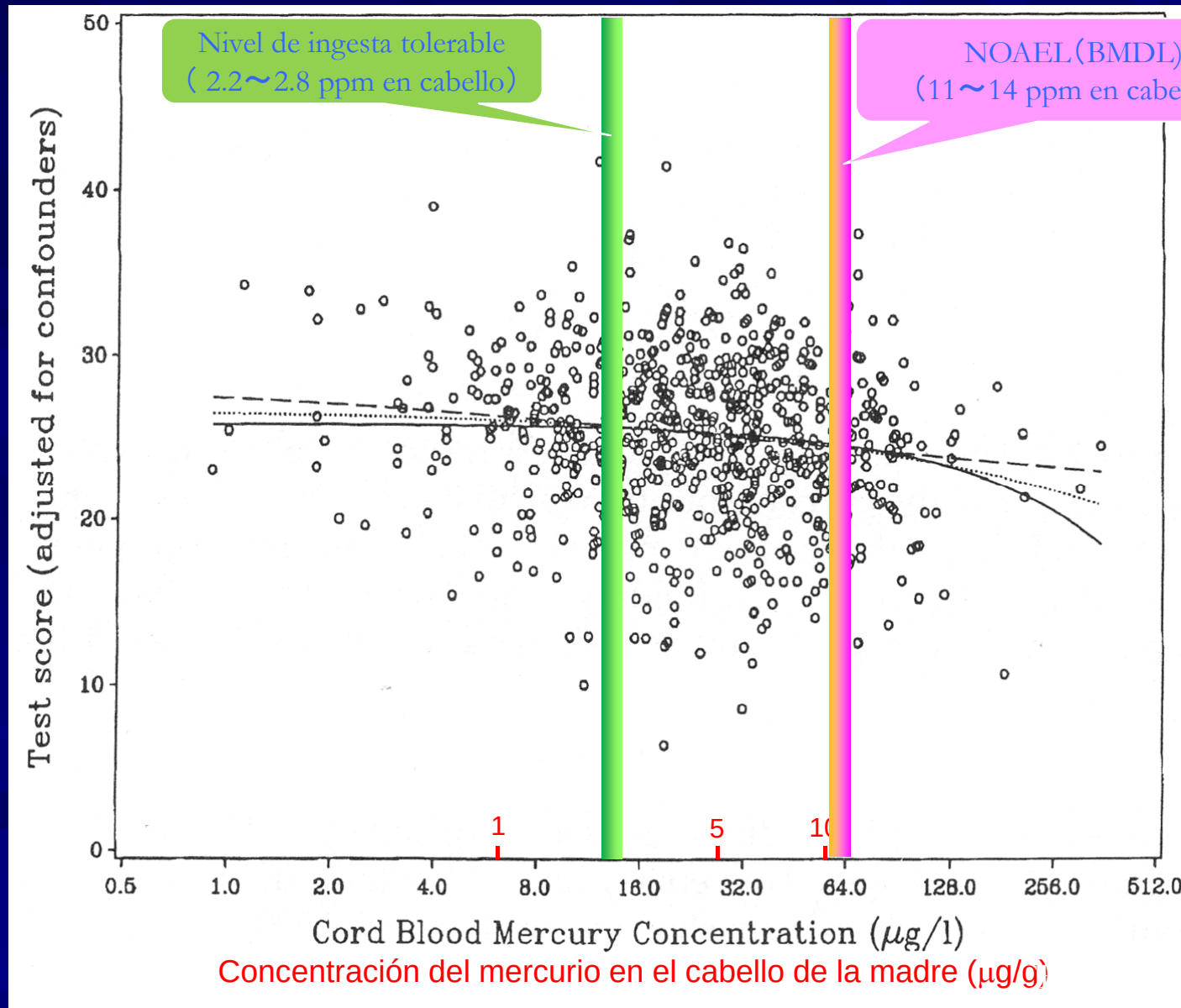
■ Ingesta tolerable

- Calculada en base al NOAEL, teniendo en cuenta el factor de incertidumbre.
- En realidad, es aproximadamente 1/4 - 1/10 del NOAEL.
- Factor de incertidumbre: Se consideran las diferencias personales como sensibilidad y sistema metabólico.
- Se utiliza la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP).

■ Ingesta tolerable basada en las afectaciones al feto

- JECFA: 1.6 $\mu\text{g/kg/semana}$
- NOAEL $\times$ Factor de incertidumbre
 - $(14 \mu\text{g/g} \times 0.74 \text{ g/kg-peso corporal/semana}) \times 1/6.4$
- Corresponde a 2.2 ppm de concentración de mercurio en cabello.

Relación entre la distribución del puntaje del TDB y la dosis de referencia



Cómo interpretar el significado de la ingesta tolerable

- Valor meta para las políticas que tiene como premisa los principios de prevención de las afectaciones a la salud
 - Valor de referencia para establecer los criterios ambientales y alimenticios.
- No es un valor guía que se basa en la evaluación de exposición de cada uno de los habitantes como la medición del mercurio en cabello.
 - No se brinda orientaciones personales a los habitantes con resultados que sobrepasan el valor guía.
- Es un valor “provisional” que se revisa constantemente de acuerdo al avance de los estudios.
- “Ingesta permisible” es para sustancias químicas agregadas artificialmente.
“Ingesta tolerable” es para lo que existe en la naturaleza.

Frecuencia de personas con concentraciones mayores que los valores de referencia

Sexo	Concentración del mercurio en cabello (ppm)				
	0 <	1.2 <	2.2 <	5 <	11 <
Fem.	788	212	68	11	2
	100%	26.9%	8.6%	1.4%	0.3%
Masc.	557	190	91	32	5
	100%	34.1%	16.3%	5.7%	0.9%
Total	1345	402	159	43	7
	100%	29.9%	11.8%	3.2%	0.5%
(Referencia) Japón	100 %	80.7 %	48.1 %	9.8%	1.3 %

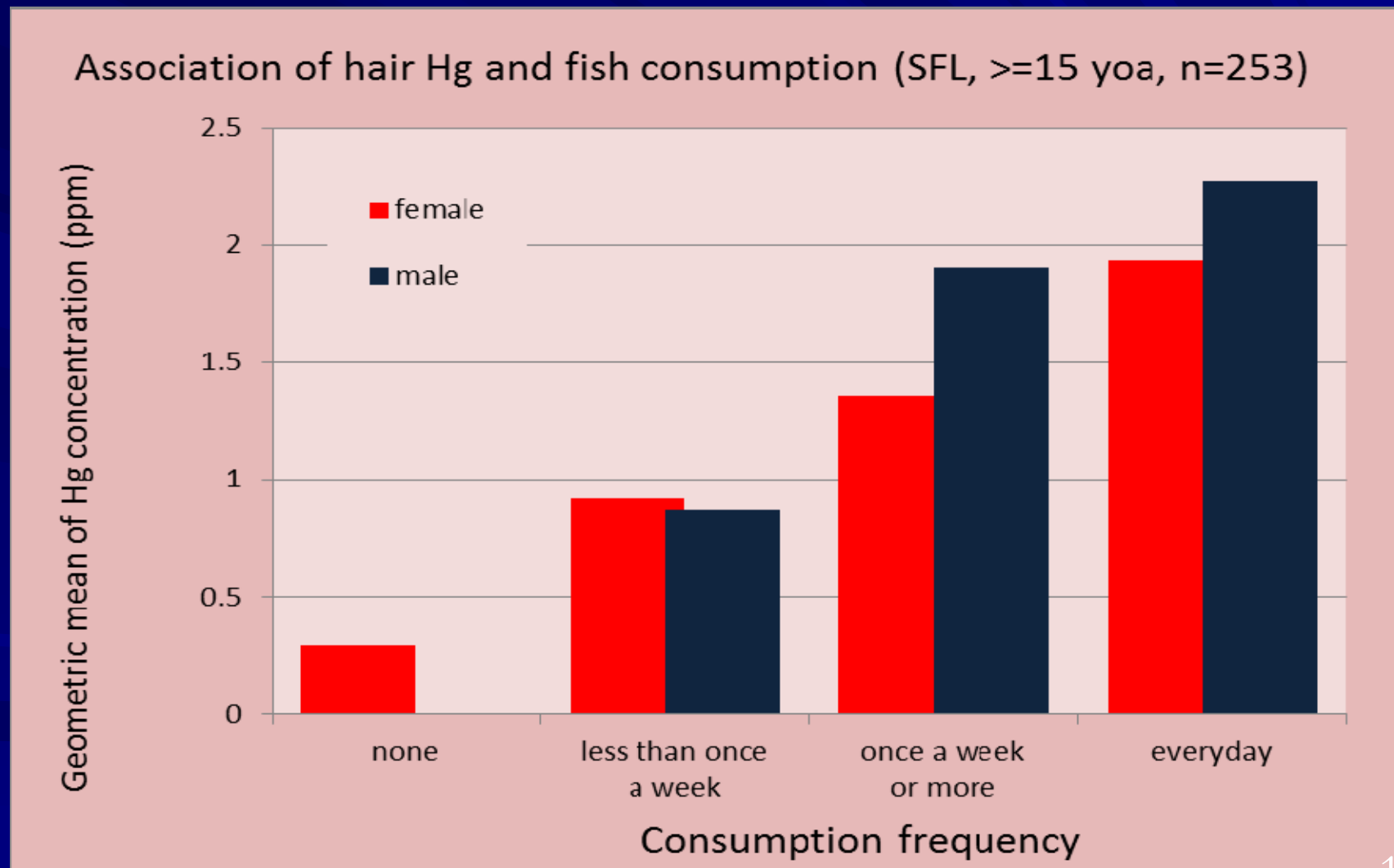
1.2 ppm: Correspondiente a la ingesta tolerable de la US-EPA.

2.2 ppm: Correspondiente a la ingesta tolerable de JECFA (1.6 µg/kg/semana).

5.0 ppm : Correspondiente a la anterior ingesta tolerable basada en las alteraciones sensoriales de los adultos (3.3 µg/kg/week).

11 ppm: Valor mínimo del NOAEL de afectaciones al desarrollo del feto (CSAJ).

El consumo de los productos acuáticos se refleja en la concentración del mercurio en cabello



Importancia de los productos acuáticos como fuente nutricional

- Los pescados constituyen una fuente beneficiosa de nutrientes como ácido graso poliinsaturado.
- El consumo de pescado es efectivo para prevenir las enfermedades crónicas como obesidad y trastornos cardiovasculares.
- Si la concentración del mercurio en cabello durante el embarazo está debajo de la ingesta tolerable, no se observa una relación con las afectaciones del desarrollo del recién nacido aunque la concentración sea algo alta. Algunas veces el desarrollo del niño aparenta ser facilitado por el consumo de pescado, siendo a la vez alta la concentración del mercurio en cabello de la madre debido al mismo consumo de pescado. Dependiendo del área o la clase social, la proporción de los productos acuáticos en la ingesta nutricional es a veces particularmente grande. Es necesario evitar que la regulación de la ingesta de los productos acuáticos resulte en un desequilibrio en la ingesta nutricional de estos habitantes.
- Los peces contienen componentes que enmascara la toxicidad del metilmercurio.
- Cuando se regula la ingesta de sustancias tóxicas como el caso del metilmercurio que se deriva del consumo de pescado, se debe tener suficientemente en cuenta los beneficios nutricionales del consumo de pescado (JECFA, 2004).

Nivel regulatorio de mercurio en productos acuáticos

- Si se calcula la “ingesta semanal por peso corporal” de la persona que pesa 60 kg y consume en promedio 50g de pescado diario,
 - Concentración del mercurio ($X \mu\text{g/g}$) $\times 50 \text{ g} \times 7 \text{ días} \times 1/60 \text{ kg}$
 - Para que este valor sea menor que la ingesta tolerable de $1.6 \mu\text{g/kg/semana}$, el valor X (concentración del mercurio en peces) tiene que ser menor que $0.27 \mu\text{g/g}$.
 - Una gran mayoría de las especies de peces sobrepasa el valor guía.
 - Consideración a la importancia de los peces como una fuente nutricional beneficiosa
- 
- Recomendaciones en vez de criterios regulatorios uniformes (precauciones)

Concentración del mercurio en peces del Lago Xolotlán

Especie	Frecuencia de consumo	Concentración promedio de mercurio (ppm)
Guabina	32.8%	0.219
Guapote	69.2%	0.453
Lagunero	10.6%	
Mojarra	79.3%	0.232
Tilapia	34.6%	0.012

Precauciones sobre el consumo de productos acuáticos

Recomendaciones

- Manera de consumir el pescado sin sobrepasar la ingesta tolerable
 - Básicamente, recomendar la ingesta de pescados.
 - Prevenir el consumo excesivo de pescados con alta concentración del mercurio.
- Para quienes son?
 - Las mujeres embarazadas o las que tienen la posibilidad de embarazarse, niños, todo el grupo . . .
- Cuáles son las especies de peces a incluir?
 - Peces con concentración promedio del mercurio mayor que 0.4-0.5 ppm.
- Información necesaria
 - Concentración promedio del mercurio en los productos acuáticos
 - Consumo promedio de productos acuáticos por día por persona

Recomendación en los principales países (Extracto)

País	Fecha de publicación	Población meta	Especie de pez, etc.	Nivel regulatorio, etc.
Japón (MHLW)	2003, 2005	Mujeres embarazadas o con posibilidad de embarazo	Delfín mular	Hasta una vez cada 2 meses
			Pez espada, alfonsino, atún aleta azul, atún ojo grande, etc.	Hasta una vez por semana
			Marlin rayado, tuna aleta azul del sur, etc.	Hasta 2 veces por semana
Estados Unidos (EPA, FDA)	2001, 2004	Mujeres embarazadas o con posibilidad de embarazo, madres lactantes y niños pequeños	Tiburón, pez espada, etc.	No consumir
			Atún blanco, etc.	Hasta 6 oz por semana
			Peces con menor concentración de mercurio	Hasta 12 oz por semana
Canadá (Salud Canadiense)	2001, 2002	Todas las personas	Tiburón, pez espada y atún	Hasta una vez por semana
		Mujeres embarazadas o en edad reproductiva y niños pequeños	Tiburón, pez espada y atún	Hasta una vez por mes
Reino Unido (FSA)	2003, 2004	Mujeres embarazadas o las que planean embarazarse (Parcialmente, niños)	Tiburón, pez espada y atún	No consumir
			Atún (filete)	Hasta 2 veces por semana
			Lata de atún	Hasta 4 latas por semana
Australia y Nueva Zelandia (ANZFA)	2001, 2004	Todas las personas	Tiburón, pez espada y marlin rayado	Hasta una vez por semana
		Mujeres embarazadas o las que planean embarazarse	Tiburón, pez espada y marlin rayado	Hasta una vez cada 2 semanas
			Bagre	Hasta una vez por semana

Resumen

- El mercurio inorgánico se transforma en el ambiente en metilmercurio que muestra una alta toxicidad; el metilmercurio es almacenado en los peces a través de la cadena alimenticia.
- Se puede estimar el nivel de exposición del cuerpo humano al metilmercurio por la concentración del mercurio en cabello.
- El mercurio es fácilmente excretado del cuerpo humano, por lo que se puede reducir la carga corporal si se modifica la cantidad de consumo.
- La gestión de riesgos en salud inducidos por el metilmercurio está siendo centrada en la prevención de las afectaciones al feto.
- Al regular el metilmercurio en pescados, es importante tomar en cuenta que el consumo de los productos acuáticos es beneficioso para la ingesta nutricional.
- Con respecto a los peces con alta concentración del metilmercurio, los países principales publican recomendaciones sobre cómo consumirlos sin que resulte en una ingesta excesiva, por ejemplo, durante el embarazo.



**En particular, las mujeres embarazadas
deben estar informadas sobre la
prevención.**

ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に関する取組み案

1. 背景

JICA は、ニカラグア国環境天然資源省、保健省、ニカラグア自治大学水資源研究センターをカウンターパート機関として水銀調査・分析能力向上プロジェクトを 2015 年 10 月から開始した。

このプロジェクトの目的は、ソロトラン湖の湖水、底質、魚肉中の水銀濃度およびソロトラン湖周辺の漁業者のメチル水銀暴露について調査を行い、それらの調査結果ならびにニカラグア国の水資源、水産資源における水銀汚染管理のための現状の組織、法律、基準を踏まえて、ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に関する取組み案を提案することである。

水銀濃度調査、メチル水銀暴露調査については保健省、ニカラグア自治大学水資源研究センターと共同で実施するが、水資源および水産資源における水銀汚染管理の現状把握および水銀汚染の現状を踏まえた取組みの基本方針については環境天然資源省以外に国家毒物登録規制委員会、農牧保護衛生庁、水産庁の協力が必要となるため、カウンターパートに加えこれらの政府機関のメンバーからなる作業部会を設置し検討してきた。

このたび、作業部会によって「ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に関する取組み案」について結論を得たので、ここに提案を行うものである。

2. 作業部会

2-1 作業部会メンバー

作業部会は、環境天然資源省（部会長）、ニカラグア自治大学水資源研究センター（事務局）、保健省、国立毒物登録規制委員会、農牧保護衛生庁、水産庁の関係者および JICA 専門家で構成される。

所 属	氏 名	役 職
環境天然資源省	María Gabriela Abarca Martínez	Directora de Seguridad Química
	Anibal Antonio González Zúñiga	Especialista en Seguridad Química
保健省	Jackeline Berroterán	Toxicóloga Dirección de Regulación Sanitaria
	Luz Marina Lozano Chavarría	Directora de Salud Ambiental
	Maritza Obando	Responsable de Higiene Comunal, Dirección de Salud Ambiental
国家毒物登録規制委員会	Yelba de los Angeles López González	Directra
	Orlando Delgado	Evaluador toxicólogo
水産庁	Elba Segura Z	Analista de Fomento y Desarrollo Pesquero, Dirección de Fomento
	Luis Emilio Velasquez	Especialista en Evaluación de Recursos Pesqueros y Manejo de RRNN
農牧保護衛生庁	Freddy Rivera	Jefe de Dept. Insumos
	Madely Vallecillo Parajón	Responsable de Sección de Inocuidad Pesca, Dirección de Inocuidad Agroalimentaria

ニカラグア自治大学水資源研究センター	Selvia Flores Sánchez	Directora
	Francisco Picado Pávon	Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental,
JICA 専門家	松山明人	総括
	水野輝海	専門家
通訳	広橋美保	

以上のメンバー以外にオブザーバーとして JICA ニカラグア事務所 Omar Bonillya 職員およびニカラグア自治大学水資源研究センター副所長 Luis Moreno Delgado が参加した。

2-2 取組みの基本方針の検討方法

取組みの基本方針の検討は、ソロトラン湖の水資源および水産資源の保護に関する法律、制度に関する情報収集、水銀に対する規制、基準の検討、プロジェクトによって実施されたソロトラン湖の水銀汚染概要調査結果に基づく議論を通じて行った。

2-3 作業部会開催実績

	開催年月日	開催場所	備考
第 1 回	2016 年 2 月 8 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	準備会合
第 2 回	2016 年 2 月 17 日	環境天然資源省	
第 3 回	2016 年 3 月 16 日	環境天然資源省	
第 4 回	2016 年 9 月 6 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	TC と合同開催
第 5 回	2016 年 12 月 2 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	
第 6 回	2016 年 12 月 13 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	
第 7 回	2017 年 2 月 21 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	TC と合同開催
第 8 回	2017 年 4 月 5 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	
第 9 回	2017 年 4 月 18 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	
第 10 回	2017 年 5 月 23 日	ニカラグア自治大学水資源研究センター	TC と合同開催

3. ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理の現状

3-1 水質、底質

(1) 水銀源

- ソロトラン湖の湖水および底質中に含まれる水銀は、火山由来および人為由来としては旧化学工場ペンウォルトからの排水である。

(2) 水質

- ソロトラン湖の 30 地点における溶存態総水銀濃度は平均 0.5ng/L であり、カナダの環境基準 (26 ng/L) の 1/52 であった。
- ソロトラン湖の 8 地点のろ過していないサンプルの総水銀の平均濃度は、5ng/L であり、これは飲料水に対する WHO および CAPRE の基準 (1,000 ng/L) の 1/200 であった。

(3) 底質

- 旧化学工場ペンウォルトからの排水の流入地点付近では総水銀濃度が 100mg/kg を超えている地点がサンプル採取地点 54 地点中 1 地点あった。この値は、水生物保護を目的としたカナダの底質 (淡水) に対する基準値 (0.17 mg/kg) および日本の除去基準 (25 mg/kg) 以上である。
- 旧化学工場ペンウォルトからの排水の流入地点付近以外の調査地点の平均総水銀濃度は、0.07mg/kg であり、水銀のクラーク数 (0.2mg/kg) に近い値であった。

- ソロトラン湖に流入する 5 河川の河口の総水銀濃度は水銀のクラーク数以下であり、上流域からの水銀の流入の可能性は低いと思われる。

3-2 魚類に含まれる水銀

- 調査対象とした 4 種類の魚類（グアポーテ、モハラ、グアビーナ、ティラピア）のうち、グアポーテ、モハラ、グアビーナのそれぞれ 56.2%、14.4%、2.9%が日本の魚介類の水銀に対する暫定基準値（0.4mg/kg）以上であった。

魚 種	平均総水銀濃度（ppm）
グアポーテ	0.47
モハラ	0.25
グアビーナ	0.23
ティラピア	0.02

3-3 漁獲量および流通

(1) 漁獲量

- ソロトラン湖全体の漁獲量は不明。
- レオン県ではインスペクターにより主要漁村の月別漁獲量は調査されているが、小規模漁村における漁獲量は不明。いずれの場合も正確な漁獲量は不明であり、マナグア県の漁村についても同様である。
- 2015 年のクアトロ・パロス、サンフランシスコ・リブレ、エル・パパロナル、モモトンゴにおける年間漁獲量の合計は 116 トンであった。
- マナグア県における漁獲量は部分的にわかっている。2015 年のサンフランシスコ・リブレの年間漁獲量は 2.5 トンであった。

(2) 流通

- 漁民は集荷業者（仲買人）や地域の魚屋、輸出業者に獲った魚を売る。
- クアトロ・パロス、サンフランシスコ・リブレ、エル・パパロナルの集荷業者（仲買人）は、チナンデガの市場に持ち込み、魚屋、輸出業者に販売する。また、エルサルバドルやホンジュラスへの輸出業者にも直接販売する。
- ティピタパの集荷業者（仲買人）はマナグア、マサヤ、グラナダ、チョンタレス、ボアコ、エステリの市場に持ち込み、地域の魚屋に販売する。
- 農牧保護衛生庁によるとソロトラン湖で獲れる魚の販売に関する規制はない。

3-4 メチル水銀暴露による健康リスク評価

- ティピタパ、サンフランシスコ・リブレ住民（主に漁民）の毛髪水銀濃度及び問診調査の結果、住民におけるメチル水銀暴露による健康リスクは極めて小さいと考えられる。
- 魚の消費に関する水銀規制はない。

3-5 法律・制度

(1) 公共水域の水質保全

- 国内の水質基準値としては国際基準値を適用している。
- 水の使用目的に応じ、水域に適用する規制項目の設定を目的とした水資源分類規則はある（NTON 05-007-98）。
- 環境天然資源省が、国家水局、国土地理院、その他国の機関と連携して実施する調査に基づき河川、湖沼、マングローブ、特定帯水層の水質を決定する（第 620 法第 82 条）。
- 公共水域の水質保全は、生活・工業・農業排水による公共水域の汚染に対する規制により実施している（政令第 33-95 号）。政令 33-95 号第 19、42、49、50、54 条によってのみ水銀を含ん

だ排水の排出を規制している。

- 政令第 77-2003 号は、排水処理場からソロトラン湖に放出する生活排水に対する規制。
- 公共水域の水質保全是、排水処理場から公共水域（政令第 33-95 号、77-2003 号）及び火口湖に直接的または間接的に排出される排水の規制によって行っている。
- 生態的バランスの維持と流域、サブ流域、マイクロ流域、河川、湖沼、マングローブ、特定帯水層の生物学的多様性の保持を目的として、公共水域の水質モニタリングの実施および決定は全国的に義務付けられている（第 620 法「国内水域一般法」及びその施行規則である政令第 44-2010 号）。
- 水銀に対する土壌および底質の国内基準は制定されていない。
- 国内水域の水質の一時的なモニタリングに関する種々の規則があり。
- 水俣条約に関する公文書の附属書 A（第 4 条）にある物質リストに従い、国家毒物登録規制委員会では水銀添加物質及び製品の規制、制限、禁止に関する提案作りに取り組んでいる。
- 国家毒物登録規制委員会は、水銀の使用規制に関する国際的な施策の採用により水銀暴露低減に取り組んでいる。主たる有意義な取り組みとしては、水俣条約の署名、批准が挙げられる。また、零細・小規模鉱業活動における水銀の使用を減らすための技術転換策も実施された。

(2) 魚類に対する水銀規制

- 水銀を含め、人の健康または環境に影響を及ぼす毒物の管理は、国家毒物登録規制委員会が所掌している。水銀に関する水俣条約、ロッテルダム条約、ストックホルム条約、バーゼル条約の運営についても同様。2014 年以来、国家毒物登録規制委員会は、水銀の輸入・販売業者への規制を実施するとともに、輸入量、使用形態、目的の登録を実施している。輸入量の大半は零細・小規模金鉱業で使われる。
- 毒物による汚染の規制は保健省、環境天然資源省、農牧保護衛生庁が共同で実施（第 274 法）。
- 保健省は、魚介類の加工食品の安全管理は所掌しているが、生の食用魚類の貯蔵、加工、販売管理および安全管理は、IPSA および INPESCA の所掌である。
- 農牧保護衛生庁は、国内消費用、輸出用の水産物、農・畜産物の安全を所掌している（第 862 法「農牧保護衛生庁置法」）。

4. ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に対する課題

4-1 水質および底質

(1) 水銀源

- ソロトラン湖の水質に影響を及ぼす全ての自然由来および人為由来の水銀源に対する調査行われていない。

4-2 魚類に含まれる水銀

- 魚肉中の水銀濃度調査に用いられた魚は、ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレの集荷業者から購入したものであり、調査結果からソロトラン湖全体の食用魚の水銀濃度を推定することはできない。
- 魚肉中の水銀に対する基準が制定されていないため、ニカラグア国政府は、本プロジェクトにおいて得られたデータに基づいて魚肉中の水銀濃度を評価、判定することができない。

4-3 漁獲量および流通

(1) 漁獲量

- ソロトラン湖全体の漁獲量の把握、漁業管理に必要な数の検査官が配置されていない。

(2) 流通

- ソロトラン湖で捕獲される食用魚種の地域販売量、輸出量を把握するための仕組みがない。
- ソロトラン湖で捕獲される食用魚の正確な流通ルートが把握されていない。

4-4 メチル水銀暴露による健康リスク評価

- ソロトラン湖畔全体の漁民に対するメチル水銀暴露による健康リスクを評価が行われていない。
- 本プロジェクトで実施したメチル水銀暴露調査では、魚の摂取量に関する調査が行われていないため、摂取量に基づくメチル水銀暴露による健康リスク評価が行われていない。
- メチル水銀の暴露による胎児の発達影響に対する予防ができない。

4-5 法律・制度

(1) 公共水域の水質保全

- 「水域の分類に関する規則（NTON 05-007-98）」において当該規則に基づく水域の分類が行われていないため、ソロトラン湖の水資源管理を行うことができない。
- 政令第 77-2003 号「ソロトラン湖への排水処理システムからの生活排水の放出を規制する規定の創設に関する政令」は水銀に対する最大許容排出量を規定していないため、排水処理システムからソロトラン湖に排出される水銀を管理できない。
- ソロトラン湖では湖水中および底質中の水銀に関する継続的なモニタリングが行われていないため、水銀濃度の経年変化が把握できない。
- 水銀に対する土壌基準が制定されていないため、旧化学工場ペンウォルトの排水口前面の底質中の総水銀に対しニカラグア政府が何らかの対応をすべきかどうかの判断ができない。
- 「水銀に関する水俣条約」の締約国に奨励されている「水銀の影響を受けるおそれのある人々の特定、保護のための戦略、計画の作成、実施」を行うための法的枠組みが整備されていない。

(2) 魚類に対する水銀規制

- 水銀への暴露を減少させるための取組みが行われていない。

5. ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に対する取組み方針

5-1 水資源管理

- ソロトラン湖の水質に影響を及ぼす全ての自然由来の潜在的水銀源の特定・特徴付け、特にモトトンボ火山からの水銀を含む湧水、および人為由来の水銀源の調査の実施。
- 本プロジェクトにおける調査結果を踏まえ、湖水、底質および魚の水銀濃度に対するモニタリングの実施。
- 法律第 620 号「国内水域一般法」に基づきソロトラン湖の水利用可能分野の決定および「水域の分類に関する規則（NTON 05-007-98）」に基づく公共水域の分類。
- 「水域の分類に関する規則（NTON 05-007-98）」においてソロトラン湖における水銀に対する規制の必要性の検討。
- 監視プログラム（モニタリング）を通じて、政令第 77-2003 号「ソロトラン湖への処理システムからの生活排水の放出の放出を規制する規定の創世に関する政令」における水銀に対する最大許容排出量の制定による下水処理場からソロトラン湖に排出される水銀の管理。
- 法律第 620 号「国内水域一般法」に定められたソロトラン湖における水銀の存在に関する水質モニタリングの実施。
- 水銀に対する土壌および底質基準の制定に向けた科学技術調査の実施。

5-2 水産資源管理

- 湖全体の信頼性のある漁獲量の把握のため、ソロトラン湖沿岸の市役所と役割委譲協定を結び、魚の販売量に関する記録の作成および定期的な更新。
- ソロトラン湖で採れた魚の摂食による水銀暴露の状況をより完全に把握するために、プエルト・モトトンボ、エル・パパロナル、クアトロ・パロス、マテアレ等の漁業地域及びペンウォルトの地域の漁師や集荷業者から魚を購入し、魚肉中の総水銀及びメチル水銀の調査の実施。
- ティピタパのラ・ボカナとサンフランシスコ・リブレの漁業地区の漁師や集荷業者から購入し、既に総水銀の調査をした魚肉中のメチル水銀の調査の実施。

5-3 水銀暴露リスクの低減

- 水銀暴露リスク低減のため、ソロトラン湖の食用魚類に対する水銀の基準値の制定の必要性の検討。
- プエルト・モモトンアボ、エル・パパロナル、クアトロ・パロス、マテアレ等のコミュニティにおける漁業従事者およびその家族に対する水銀暴露調査の実施。
- 水銀暴露を制限するような行動を提案するため、ソロトラン湖において漁業を営む住民およびその家族の食生活における適切な魚の調理方法、摂取量に関する調査の実施。
- 胎児の発達影響の予防および栄養摂取のための適切な魚の摂取方法、摂取量に関する情報の普及。

5-4 水銀に対する水俣条約

- 「水銀に関する水俣条約」批准国としての国内法の整備。

6. ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に対する取組みの実施計画案

ソロトラン湖の水資源および水産資源における水銀汚染管理に対する取組みの実施機関および実施期間を以下の表に示す。

取組み内容	実施機関	関係機関	実施期間（年） （政府承認または 予算措置後から）
1. 水資源管理 1-1 ソロトラン湖の水質に影響を及ぼす全ての自然由来の潜在的水銀源の特定・特徴付け、特にモトンボ火山からの水銀を含む湧水および人為由来の水銀源の調査の実施。	MARENA、INETER	MEM、INPESCA、IPSA、ANA、 INIFOM、CIRA/UNAN-Managua	5 年
1-2 本プロジェクトにおける調査結果を踏まえ、湖水、底質および魚の水銀濃度に対するモニタリングの実施。	MARENA、MINSA、 ANA	CNRCST、INPESCA、IPSA、 ENACAL、CIRA/UNAN-Managua	5 年
1-3 法律第 620 号「国内水域一般法」に基づきソロトラン湖の水利用可能分野の決定および「水域の分類に関する規則（NTON 05-007-98）」に基づく公共水域の分類。	ANA	MARENA、MINSA、INETER、 ENACAL CIRA/UNAN-Managua	7 年
1-4 「水域の分類に関する規則（NTON 05-007-98）」においてソロトラン湖における水銀に対する規制の必要性の検討。	MARENA、ANA	CIRA/UNAN-Managua	7 年
1-5 監視プログラム（モニタリング）を通じて、政令第 77-2003 号「ソロトラン湖への処理システムからの生活排水の放出の放出を規制する規定の創世に関する政令」における水銀に対する最大許容排出量の制定による下水処理場からソロトラン湖に排出される水銀の管理。	MARENA	ENACAL、ANA、INIFOM	7 年
1-6 法律第 620 号「国内水域一般法」に定められたソロトラン湖における水銀の存在に関する水質モニタリングの実施。	ANA	MINSA、MEM、CNRCST、INETER、 ENACAL、CIRA/UNAN	5 年
1-7 水銀に対する土壌および底質基準の制定に向けた科学技術調査の実施。	MARENA	IPSA、CIRA/UNAN-Managua、 INETER	7 年
2. 水産資源管理 2-1 湖全体の信頼性のある漁獲量の把握のため、ソロトラン湖沿岸の市役所と役割委譲協定を結び、魚の販売量に関する記録の作成および定期的な更新。	INPESCA	IPSA、INIFOM	3 年

2-2 ソロトラン湖で採れた魚の摂食による水銀暴露の状況をより完全に把握するために、プエルト・モモトンボ、エル・パパロナル、クアトロ・パロス、マテアレ等の漁業地域及びペンウォルトの地域の漁師や集荷業者から魚を購入し、魚肉中の総水銀及びメチル水銀の調査の実施。	MINSA	MARENA、INPESCA、IPSA、 INIFOM CIRA/UNAN-Managua	5 年
2-3 ティピタパのラ・ボカナとサンフランシスコ・リブレの漁業地区の漁師や集荷業者から購入し、既に総水銀の調査をした魚肉中のメチル水銀の調査の実施。	MINSA	MARENA、INPESCA、IPSA、 INIFOM、CIRA/UNAN-Managua	5 年
3. 水銀暴露リスクの低減 水銀暴露リスク低減のため、ソロトラン湖の食用魚類に対する水銀の基準値の制定の必要性の検討。	MINSA	MARENA、CNRCST、INPESCA、 IPSA INIFOM、CIRA/UNAN-Managua	7 年
3-2 クアトロ・パロス、マテアレ等のコミュニティのソロトラン湖の漁師やその家族に対する水銀暴露調査の実施。	MINSA	MARENA、INPESCA、IPSA、 INIFOM CIRA/UNAN-Managua	5 年
3-3 水銀暴露を制限するような行動を提案するため、ソロトラン湖において漁業を営む住民およびその家族の食生活における適切な魚の調理方法、摂取量に関する調査の実施。	MINSA	INPESCA、INIFOM、CIRA/UNAN- Managua	5 年
3-4 胎児の発達影響の予防および栄養摂取のための適切な魚の摂取方法に関する情報の普及。	MINSA	MARENA、MEM、CNRCST、INPESCA IPSA、ANA、INAA、INIFOM、 INETER、ENACAL	5 年
4. 水銀に対する水俣条約 4-1 「水銀に関する水俣条約」批准国としての国内法の整備。	CNRCST	MARENA、MINSA、MEM、INPESCA IPSA、ANA、INAA、INIFOM、 INETER、ENACAL、CIRA/UNAN- Managua	7 年

MARENA:環境天然資源省、INETER:国土地理委院、MEM:エネルギー・鉱山省、INPESCA:水産庁、IPSA:農牧保護衛生庁、ANA:国家水局、MINSA:保健省、INIFOM:都市振興庁、ENACAL:ニカラグア上下水道公社、CIRA/UNAN-Managua:ニカラグア自治大学水資源研究所、MINSA:保健省、CNRCST:国家毒物登録規制委員会、INAA:ニカラグア上下水道公庁

添付書類

1. ソロトラン湖の水銀汚染の現状および魚の消費による人の水銀曝露リスク評価調査報告書
2. 諸外国の水銀に対する基準
3. 国・国際機関の魚介類水銀規制値および摂取注意事項
4. 魚の摂食と水銀に関する注意事項に関する基礎データ

メチル水銀暴露調査報告書

第1部 ティピタパ住民の暴露評価等について

1 緒言

マナグア湖（Xolotlán 湖）周辺に居住する住民について、湖産魚介類等の摂取を通じたメチル水銀暴露状況を明らかにするとともに、当該住民におけるメチル水銀暴露による健康リスク評価を行うことを目的として現地調査を実施した。調査では住民の毛髪を採取して毛髪総水銀濃度を測定し、これをバイオマーカーとしてメチル水銀の人体暴露評価を行った。これとあわせて、調査票を用いた聞き取りにより、魚の摂取状況や身体・健康状態等を調べた。

報告書第1部では2015年10月から11月の第一次派遣において、ティピタパ市内の漁村地区で実施した調査結果のうち、調査票の集計値ならびにメチル水銀暴露状況について述べる。ただし、メチル水銀暴露と身体状況との関連性などのリスク評価結果は報告書第3部として別に報告する。また毛髪試料の水銀分析技術に関する内容は暴露調査報告書には含まない。

報告書の構成

第1部 ティピタパ住民の暴露評価等について（本報告書）

第2部 サンフランシスコ・リブレ住民の暴露評価等について（9月提出予定）

第3部 メチル水銀暴露による住民の健康リスク評価について（12月提出予定）

2 調査方法ならびに対象

a. 調査期間

住民の聞き取り調査ならびに毛髪採取は、2015年11月3日から6日に実施した（写真1）。

b. 調査地域および対象

調査地域はマナグア湖南西部湖畔のティピタパ市（Tipitapa, 人口130,627）の漁村地区であるラ・ボカーナ地区（La Bocana）、および同市内ティピタパ川沿いのプライウッド地区（Plywood）とした。調査員は対象地域内の各戸を任意に訪問し、書面によるインフォームドコンセントが得られた家族を対象に調査を実施した。

c. 問診調査票

調査員は問診調査票を用いて聞き取り調査を実施した（写真2）。用いた調査票は、基本項目（性、年齢、居住地等）のほか、社会・経済状況（SES）、魚介類摂取状況ならびに身体・健康状況などの主要29項目で構成した〔添付資料1〕。社会・経済状況は、職業、識字能力、学歴、Elpesa雇用歴について質問した。魚介類摂取状況については、魚介類摂取頻度、主な摂取魚種および大きさ、魚の入手方法について調査した。身体・健康状況に関する項目は、糖尿病・高血圧の有無、感覚障害等の神経系の自覚症状等14項目であった。その他の項目では、パーマおよび脱色クリーム／石けんの使用を調べた。

d. 毛髪採取

頭髪は皮膚から 3 cm の長さのものを 20~30 本程度採取した。これより短い毛髪の場合は、安全な採取の範囲で、採取本数を多くした（写真 3）。

e. 調査員

1 日 9~10 人の調査員が調査を担当し、これに地域の案内役として、1 日あたり 3 名の保健所職員あるいはコミュニティ・リーダーが同行した。調査員は事前の研修に参加し、調査票による聞き取りならびに毛髪採取についての実習を受講した。

f. 事前住民説明会

調査の実施に先立ち、2015 年 10 月 17 日にティピタパ市内にて住民説明会を実施し、住民など約 40 名が参加した（写真 4）

g. 毛髪水銀の測定

毛髪総水銀の分析は、加熱気化－金アマルガム－原子吸光法により、DMA-80（Milestone）あるいは MA-3000（Nippon Instruments Co.）を用いて行った。毛髪メチル水銀の分析は、塩酸溶出－トルエン抽出－ECD－ガスクロマトグラフィー法により、6890N（Agilent）を用いて行った。

3. 問診票集計値

a. 調査参加者

ティピタパ市の住民、1,039 名（男 429 名、女 610 名）について問診調査を実施した（表 1）。参加者の平均年齢は 26.2 歳（男 24.6 歳、女 27.3 歳）、年齢範囲は 0~93 歳であった。参加者の年齢階級別分布（図 1、表 2）が示すように、参加者は年齢が若いほど多く、19 歳以下が全体のほぼ半数近くを占め、男性では過半数を超えた。調査員が訪問した家庭の大半から家族ぐるみの協力が得られたことから、女性の参加者の年齢分布は地域の人口構成を反映していると考えられる。一方、壮年期の男性は漁や仕事などに出ていて不在だった家庭が多かったため、この年齢の男性の捕捉率は低下していると考えられる。

b. 社会経済状況

15 歳以上の参加者 629 名について、職業別人数を表 3 に示す。もっとも多い職業は家事従事者（女 320、男 5）で 15 歳以上の女性の 78.4%、男女合わせた 15 歳以上の参加者の 51.7%を占めた。男性でもっとも多かったのは漁業従事者（男 73、女 0）で、15 歳以上の男性の 33.0%、男女合わせた 15 歳以上の参加者の 11.4%を占めた。男性ではこれに次いで労務（男 27、女 4）が 15 歳以上の男性の 12.2%であった。このほか、学生（男 25、女 30）が男女合わせた 15 歳以上の参加者の 8.7%あり、対象者に若年層が多いことを反映していた。また、無職（男 22、女 3）は 15 歳以上の男性の 10.0%を占めた。

表 4 に示すように、文字の読み書きができないと答えたのは、15 歳以上の全参加者の 19.7%

(識字率 80.3%) で、性別では男性の 20.4%、女性の 19.4% で、男女間に有意の差はなかった ($p = 0.76$)。年齢別の識字率 (図 2) は 10 代を最高に年齢とともに顕著に低下した。学歴 (表 5) も、就学歴を有しないものの頻度は年齢とともに顕著に増加し、また年齢が若いほど高学歴化する傾向が窺えた。これらの傾向は男女ともに認められた。

Elpesa (Penwalt S.A.) 就労経験があったのはプライウッド地区に居住する 60 代の男性 2 名で (表 6)、就労時は機械の操作などを担当していた。

c. 魚の摂取傾向

15 歳以上の参加者についての魚介類摂取頻度別集計 (表 7, 図 3) によると、毎日魚を食べるものが男女合わせて 11.8%、週 1 回以上～1 日 1 回未満が約 33.4% など、対象者の多くが魚を摂取していた。週に 1 回以上魚を食べるものの割合は、男性 121/221 (54.8%) に対して、女性 163/406 (39.9%) で、男性の方が有意に多かった ($p = 0.0005$)。漁業従事者に限ると、毎日食べる人の割合が増加し、逆に週に 1 回未満の割合が減少するなど、より頻繁に魚を食べる傾向がみられた (表 7, 図 4)。

よく食べる魚種 (表 8) は、モハラ (72.8%)、グアポテ (72.7%)、ティラピア (38.5%)、グアビーナ (27.7%) などであった。魚の大きさは、小型魚から大魚魚までの魚がおもに食べられていた (表 9)。魚の入手元 (表 10) としては、漁師から直接入手 (42.1%)、川や湖で捕獲 (41.8%) がそれぞれ 40% 以上あったほか、行商人 (21.0%) や地域の市場 (9.1%) などであった。

d. 身体・健康状態

15 歳以上の参加者の健康状況について、2 つの慢性疾患ならびに 14 項目の自覚症状および 2 項目の調査員所見の有無の集計結果を表 11 に示す。糖尿病は 15 歳以上の参加者の 7.5% (男 5.8%, 女 8.4%)、高血圧は同じく 24.9% (男 17.5%, 女 28.9%) にみられた。このうち、高血圧の頻度は男性に比べて女性で有意に高かった ($p = 0.002$)。全年齢階級別の糖尿病頻度 (図 5) は、女性は 40 代から、男性は 50 代から年齢とともに増加がみられた。高血圧 (図 6) は男女ともに 10 代以上で年齢依存的に増加し、とくに女性では 50 歳以上のすべての年齢階級で 50% 以上となった。

自覚症状では、頭痛 (15 歳以上参加者の 60.9%) がもっとも多く、続いて、めまい (同 46.1%)、物忘れ (同 43.7%)、手足のしびれ (同 38.3%)、疲れやすい (同 32.6%)、耳鳴り (同 30.0%) の各頻度が 30% 以上であった。年齢階級別の平均愁訴項目数 (表 12) によると、年齢とともに自覚症状の項目が増加する傾向が認められた。また、15 歳以上の 1 人あたりの平均愁訴項目数 (調査者による所見ありを含む) (表 13) は、男性 ($n = 221$) の 2.6 項目に対して、女性 ($n = 408$) は 3.6 項目で、陽性総項目頻度は有意に女性が多かった ($p < 0.0001$)。

4. 毛髪総水銀濃度

a. 試料数・濃度分布・平均濃度

表 14 に示すように、1,023 検体 (男 421, 女 602) の毛髪試料について総水銀濃度が得られた (以下断りのない限り、毛髪水銀濃度は毛髪総水銀濃度を意味する)。問診票調査参加者数との相

違は、毛髪採取不能もしくは、毛髪採取量が分析必要量に達していなかったなどの理由による。毛髪提供者の平均年齢は 26.1 歳（男 24.3 歳，女 27.3 歳），年齢範囲は 0～93 歳で，年齢階級別分布（表 15）とともに，問診票調査参加者の年齢とほぼ同様であった。得られた毛髪水銀濃度（表 14）は幾何平均 0.38 ppm（男 0.41 ppm，女 0.37 ppm），中央値 0.39 ppm（男 0.41 ppm，女 0.36 ppm），算術平均 0.80 ppm（男 0.96 ppm，女 0.69 ppm），範囲 0.01 ppm ～ 15.44 ppm であった。

図 7 に示す毛髪水銀濃度分布は，高濃度側に分布の裾が広がる対数正規分布（log-normal distribution）の特徴を示し，これは一般的な集団における毛髪水銀濃度分布の特徴と一致しており，魚介類など各種食品摂取量の分布を反映するものである。得られた毛髪水銀濃度の分布が対数正規分布であることは，対数変換した毛髪水銀濃度（図 8）が左右対称の正規分布に近いことで確かめられた。表 14 でも明らかなように，対数正規分布の特徴として，中央値（med）は算術平均ではなく幾何平均と一致する。本報告書では断りのない限り，毛髪水銀濃度（およびメチル水銀推定摂取量）の平均値は幾何平均を用いた。対数変換（正規化）した毛髪水銀濃度（単位：log [ppm]）の平均値について Student's t-検定を行うと男女間に有意差は認められず，毛髪水銀の幾何平均（表 14）に性差はなかった（ $p=0.17$ ）。なお，全集団の毛髪水銀濃度の幾何平均 0.38 ppm は，メチル水銀の週間摂取量に換算して $0.28 \mu\text{g/kg-body weight/week}$ に相当し，これは国際機関の暫定的耐容週間摂取量（PTWI, JECFA）の $1.6 \mu\text{g/kg-body weight/week}$ に比較して十分低い〔添付資料 2〕。なお，日本で調査した平均毛髪水銀濃度は男性 2.5 ppm，女性 1.7 ppm である。

b. 年齢および魚摂取などとの関係

年齢階級別の毛髪水銀濃度の幾何平均を図 9 に示す。平均水銀濃度は，男性では 20 代から著しく上昇し 40 代で最高値（平均 1.02 ppm）に達した後，年齢とともに低下し，70 歳以上で最低値 0.26 ppm となった。年齢による変化は女性でも認められたが，男性ほど明瞭な傾向はなく，年齢階級別の平均水銀濃度の最高値は 60 代の 0.52 ppm，最低値は 70 歳以上の 0.18 ppm であった。15 歳以上の参加者について，魚を食べる頻度ごとに毛髪水銀濃度を比べると，図 10 に示すように，魚を食べない参加者の平均水銀濃度は男性 0.25 ppm，女性 0.12 ppm であるのに対して，魚を食べる頻度が多いほど水銀濃度は高くなり，魚を毎日食べる参加者では，男性 1.42 ppm，女性 0.67 ppm となった。平均水銀濃度が年齢によって異なるのは，魚の摂取量が年齢にともなって変化するためと考えられる。なお，生物学半減期が 50～70 日と短いメチル水銀では長期間の人体蓄積性はないことが知られている。

Elpesa 就労経験のある男性 2 名（60 代）の毛髪水銀濃度は 0.061 ppm および 0.18 ppm であった。

c. 各種参照値に対する分布.

感覚異常など神経症状が増加しはじめるメチル水銀の最大無作用量は毛髪水銀濃度 50 ppm とされるが，今回の調査ではこのレベルを超えた参加者はなかった。これより低い各種参照値〔添付資料 2〕に相当する水銀濃度ごとの分布は表 16 のとおりであった。胎児の発達影響についての

最大無作用量は母体毛髪水銀濃度で 11 ppm であるが、これを超過したものは 1023 名中 3 名（男 2，女 1）（0.3%）であった。このうち、男性 2 名はいずれも 40 代の漁業従事者，女性は 60 代の家事従事者であった。なお，毛髪総水銀濃度が 10 ppm を超えた 4 検体についてはメチル水銀濃度を測定し，総水銀に占めるメチル水銀の割合はいずれも 94%以上で，無機水銀の外部に付着によるものではないことを確認した。

感覚異常の最大無作用量に基づく旧耐容摂取量（3.3 µg/kg-body weight/week）に相当する毛髪水銀濃度は 5 ppm であるが，これを超過するものは 17 名 1.7%（男 14 名 3.3%，女 3 名 0.5%）であった。胎児影響の最大無作用量レベルに基づく現行の暫定的耐容摂取量（1.6 µg/kg-body weight/week）は，毛髪水銀濃度換算で 2.2 ppm に相当するが，このレベルを超過していたのは 72 名 7.0%（男 41 名 9.7%，女 31 名 5.1%），などであった。

5. まとめ

ティピタパ市内住民の毛髪水銀濃度に基づくメチル水銀曝露評価の結果，住民の毛髪水銀濃度は比較的 low，神経症状の増加が現時点で懸念されるレベルにはなかった。住民の平均毛髪水銀濃度も国際機関の耐容摂取量相当レベルをかなり下回っており，住民の一般的な曝露レベルは健康リスクが懸念されるものではないと考えられた。一方，胎児影響の最大無作用量レベルを超えた住民は 3 名確認され，これらは男性もしくは 60 代の女性であった。さらに，耐容摂取量レベルを超過していると推定される住民が散見され，メチル水銀濃度の高い魚種などを対象に，妊娠時を含む適切な魚の摂取などについて情報の周知などが考慮されるべきと思われる。なお，神経症状等の健康影響については，ティピタパおよびサンフランシスコ・リブレの調査データを合わせてさらに詳細な解析を行い，これらを総合的にリスク評価の結論としたい。

表 1 聞き取り調査の性別参加数および平均年齢

性	人	年齢		
		算術平均	min	max
女	610	27.3	0	93
男	429	24.6	0	91
計	1039	26.2	0	93

表 2 聞き取り調査の年齢階級別参加数

性	年齢階級									全年齢
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	(≥15)	
女	136	121	104	72	77	62	27	11	(408)	610
	22.3%	19.8%	17.0%	11.8%	12.6%	10.2%	4.4%	1.8%	(66.9%)	100%
									(64.9%)	58.7%
男	147	92	37	43	33	35	27	15	(221)	429
	34.3%	21.4%	8.6%	10.0%	7.7%	8.2%	6.3%	3.5%	(51.5%)	100%
									(35.1%)	41.3%
計	283	213	141	115	110	97	54	26	(629)	1039
	27.2%	20.5%	13.6%	11.1%	10.6%	9.3%	5.2%	2.5%	(60.9%)	100%
									(100%)	100%

表 3 職業別人数(15 歳以上, 複数回答)

職業等	女		男		計	
	人	%	人	%	人	%
漁業	0	0%	73	33.0%	73	11.4%
労務	4	1.0%	27	12.2%	31	4.9%
商業	17	4.1%	11	5.0%	28	4.4%
家事	320	78.4%	5	2.3%	325	51.7%
農業	0	0.0%	16	7.2%	16	2.5%
メイド	10	2.5%	1	0.5%	11	1.7%
専門職	9	2.2%	5	2.3%	14	2.2%
学生	30	7.4%	25	11.3%	55	8.7%
無職	3	0.7%	22	10.0%	25	4.0%
総数	408	100%	221	100%	629	100%

表 4 識字率(15 歳以上)

性	読み書きできない		読み書きできる		計	
女	79	(19.4%)	329	(80.6%)	408	(100%)
男	45	(20.4%)	176	(79.6%)	221	(100%)
計	124	(19.7%)	505	(80.3%)	629	(100%)

表 5 就学歴(10 歳以上)

性	学歴	年齢階級							計
		10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	>70	
女	なし	4 3.3%	13 12.5%	7 9.7%	13 16.9%	18 29.0%	13 48.1%	6 54.5%	74 15.6%
	小学校・中退	45 37.2%	23 22.1%	20 27.8%	29 37.7%	17 27.4%	9 33.3%	4 36.4%	147 31.0%
	小学校・卒業	26 21.5%	14 13.5%	13 18.1%	10 13.0%	11 17.7%	5 18.5%	1 9.1%	80 16.9%
	中高校・中退	44 36.4%	30 28.8%	21 29.2%	18 23.4%	9 14.5%	0.0%	0.0%	122 25.7%
	中高校・卒業	1 0.8%	17 16.3%	7 9.7%	4 5.2%	2 3.2%	0.0%	0.0%	31 6.5%
	大学	1 0.8%	7 6.7%	4 5.6%	3 3.9%	5 8.1%	0.0%	0.0%	20 4.2%
	計	121 100%	104 100%	72 100%	77 100%	62 100%	27 100%	11 100%	474 100%
男	なし	1 1.1%	2 5.4%	9 20.9%	8 24.2%	4 11.4%	8 29.6%	10 66.7%	42 14.9%
	小学校・中退	44 47.8%	1 2.7%	12 27.9%	11 33.3%	13 37.1%	11 40.7%	3 20.0%	95 33.7%
	小学校・卒業	12 13.0%	6 16.2%	8 18.6%	5 15.2%	13 37.1%	6 22.2%	2 13.3%	52 18.4%
	中高校・中退	33 35.9%	14 37.8%	6 14.0%	6 18.2%	3 8.6%	0.0%	0.0%	62 22.0%
	中高校・卒業	1 1.1%	13 35.1%	6 14.0%	3 9.1%	0.0%	2 7.4%	0.0%	25 8.9%
	大学	1 1.1%	1 2.7%	2 4.7%	0.0%	2 5.7%	0.0%	0.0%	6 2.1%
	計	92 100%	37 100%	43 100%	33 100%	35 100%	27 100%	15 100%	282 100%

表 6 ELPESA 就労経験(15 歳以上)

性	なし	あり	計
女	408 100%	0 0%	408 100%
男	219 99.1%	2 0.9%	221 100%
計	627 99.7%	2 0.3%	629 100%

表 7 魚介類摂取頻度(15 歳以上)

性(職業)	食べない	週 1 回未 満	週 1 回以 上	毎日食べる	計
女	7 1.7%	238 58.3%	125 30.6%	38 9.3%	408 100%
男	9 4.1%	91 41.2%	85 38.5%	36 16.3%	221 100%
(男・漁業従事者)	(0) (0.0%)	(9) (12.3%)	(40) (54.8%)	(24) (32.9%)	(73) (100%)
計	16 2.5%	329 52.3%	210 33.4%	74 11.8%	629 100%

表 8 よく食べる魚種(15 歳以上, 複数回答)

魚種	よく食べる人	%
Mojara	458	72.8%
Guapote	457	72.7%
Tilapia	242	38.5%
Guabina	174	27.7%
Lagunero	44	7.0%
Sábalo	41	6.5%
Barbudo	43	6.8%
Tortuga	34	5.4%
Gaspar	22	3.5%
Pargo	16	2.5%
Corvina	8	1.3%
Macarela	6	1.0%
総数	629	100%

表 9 よく食べる魚の大きさ(15 歳以上, 複数回答)

性	小	中	大	特大	総数
女	225	231	149	21	408
	55.1%	56.6%	36.5%	5.1%	100%
男	97	152	90	18	221
	43.9%	68.8%	40.7%	8.1%	100%
計	322	383	239	39	629
	51.2%	60.9%	38.0%	6.2%	100%

表 10 魚の入手先(15 歳以上, 複数回答)

方法	スーパー	地域の市場	行商人	漁師	湖・川	食堂	その他	総数
人数	4	57	132	265	263	10	2	629
%	0.6%	9.1%	21.0%	42.1%	41.8%	1.6%	0.3%	100%

表 11 健康状態ならびに自覚症状(15 歳以上)

症状	女			男			計		
	なし	あり	計	なし	あり	計	なし	あり	計
糖尿病	358 91.6%	33 8.4%	391 100%	195 94.2%	12 5.8%	207 100%	553 92.5%	45 7.5%	598 100%
高血圧	283 71.1%	115 28.9%	398 100%	175 82.5%	37 17.5%	212 100%	468 75.1%	152 24.9%	610 100%
疲れやすい	264 64.7%	144 35.3%	408 100%	160 72.4%	61 27.6%	221 100%	424 67.4%	205 32.6%	629 100%
匂いがわかりにくいことがある	389 95.3%	19 4.7%	408 100%	214 96.8%	7 3.8%	221 100%	603 95.9%	26 4.1%	629 100%
味がわかりにくいことがある	381 93.4%	27 6.6%	408 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	595 94.6%	34 5.4%	629 100%
よくめまいがする	190 46.6%	218 53.4%	408 100%	149 67.4%	72 32.6%	221 100%	339 53.9%	290 46.1%	629 100%
よく頭痛がする	132 32.4%	276 67.6%	408 100%	114 51.6%	107 48.4%	221 100%	246 39.1%	383 60.9%	629 100%
物忘れをするようになった	211 51.7%	197 48.3%	408 100%	143 64.7%	78 35.3%	221 100%	354 56.3%	275 43.7%	629 100%
手足にしびれがある	236 57.8%	172 42.2%	408 100%	152 68.8%	69 31.2%	221 100%	388 61.7%	241 38.3%	629 100%
手足の感覚異常	360 88.2%	48 11.8%	408 100%	195 88.2%	26 11.8%	221 100%	555 88.2%	74 11.8%	629 100%
口周辺にしびれや感覚異常がある	367 90.0%	41 10.0%	408 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	581 92.4%	48 7.6%	629 100%
手が震える	359 88.0%	49 12.0%	408 100%	194 87.8%	27 12.2%	221 100%	553 87.9%	76 12.1%	629 100%
まっすぐ歩きにくい	368 89.0%	45 11.0%	408 100%	207 93.7%	14 6.3%	221 100%	570 90.6%	59 9.4%	629 100%
言葉が不明瞭で聞き取りにくいと言われる	383 93.9%	25 6.1%	408 100%	210 95.0%	11 5.0%	221 100%	593 94.3%	36 5.7%	629 100%
言葉が不明瞭で聞き取りにくい(調査員所見)	394 96.8%	13 3.2%	407 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	608 96.8%	20 3.2%	628 100%
他人の話や音が聞き取りにくい	365 89.5%	43 10.5%	408 100%	198 89.6%	23 10.4%	221 100%	563 89.5%	66 10.5%	629 100%
話や音が聞き取りにくそう(調査者所見)	383 93.9%	25 6.1%	408 100%	208 94.1%	13 5.9%	221 100%	591 94.0%	38 6.0%	629 100%
耳鳴りがする	265 65.0%	143 35.0%	408 100%	175 79.2%	46 20.8%	221 100%	440 70.0%	189 30.0%	629 100%

表 12 年齢階級別平均愁訴項目数

性	年齢階級								全年齢
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	
女	0.6	2.0	2.6	3.4	4.0	4.6	5.7	7.4	2.7
男	0.7	1.5	1.9	2.4	2.3	2.5	4.4	4.9	1.8
計	0.7	1.8	2.4	3.0	3.5	3.9	5.1	6.0	2.4

(調査者による所見ありを含む)

表 13 1人あたり平均愁訴項目数および陽性項目頻度(15 歳以上)

性	人数	平均陽性項目数	陽性項目総数(%)	陰性項目総数(%)
女	408	3.6	1485 (22.7%)	5043 (77.3%)
男	221	2.6	575 (16.3%)	2961 (83.7%)
計	629	3.3	2060 (20.5%)	8004 (79.5%)

(調査者による所見ありを含む)

表 14 毛髪試料数, 平均年齢および毛髪総水銀濃度

性	人	年齢			毛髪水銀濃度 (ppm)				
		算術平均	min	max	算術平均	min	med	max	幾何平均
女	602	27.3	0	93	0.69	0.01	0.36	15.44	0.37
男	421	24.3	0	91	0.96	0.02	0.41	13.20	0.41
計	1023	26.1	0	93	0.80	0.01	0.39	15.44	0.38

表 15 年齢階級別毛髪採取者

性	年齢階級									全年齢
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	(≥15)	
女	134	119	103	70	77	62	26	11	(403)	602
	22.3%	19.8%	17.1	11.6%	12.8%	10.3%	4.3%	1.8%	(66.9%) (65.2%)	100% 58.8%
男	146	91	37	42	31	33	27	14	(215)	421
	34.7%	21.6%	8.8%	10.0%	7.4%	7.8%	6.4%	3.3%	(51.1%) (34.8%)	100% 41.2%
計	280	210	140	112	108	95	53	25	(618)	1023
	27.4%	20.5%	13.7%	10.9%	10.6%	9.3%	5.2%	2.4%	(60.4%) (100%)	100% 100%

表 16 各種参照値相当の毛髪水銀濃度に対する分布

性	毛髪水銀濃度					総数
	0 - 1.2	1.2 - 2.2	2.2 - 5	5 - 11	11 <	
女	506	65	28	2	1	602
	84.1%	10.8%	4.7%	0.3%	0.2%	100%
男	328	52	27	12	2	421
	77.9%	12.4%	6.4%	2.9%	0.5%	100%
計	834	178	55	14	3	1023
	81.5%	11.4%	5.4%	1.4%	0.3%	100%

図1 聞き取り調査参加者の年齢階級別分布

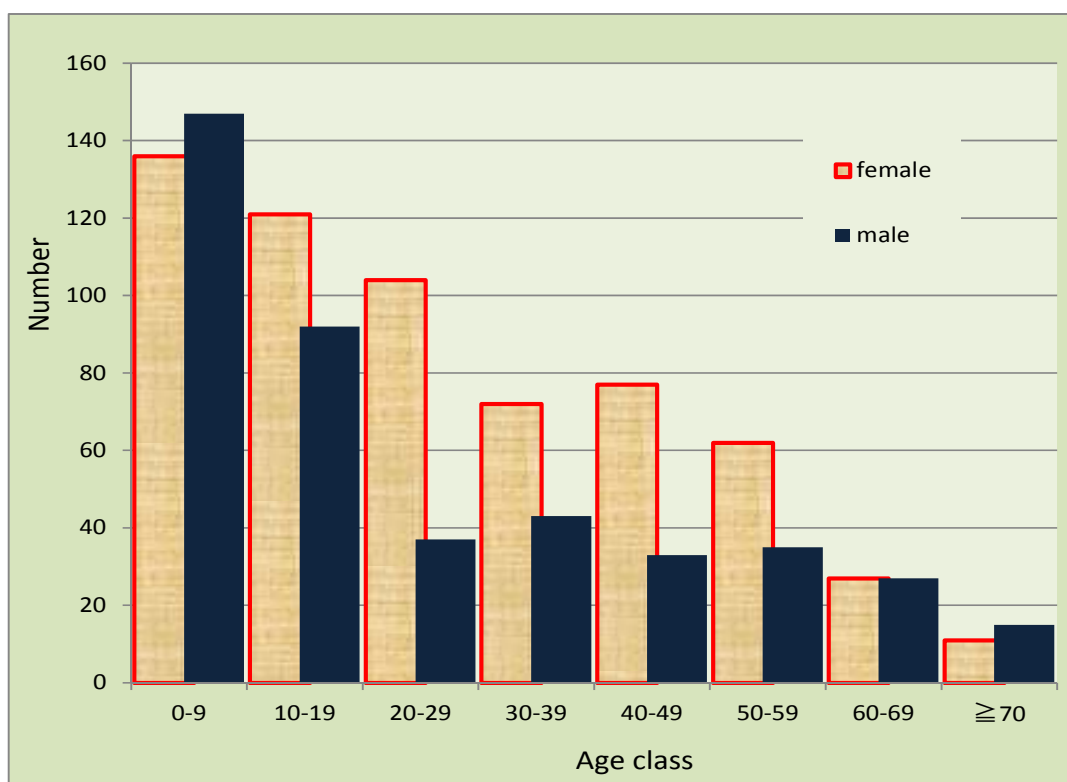


図2 年齢階級別識字率

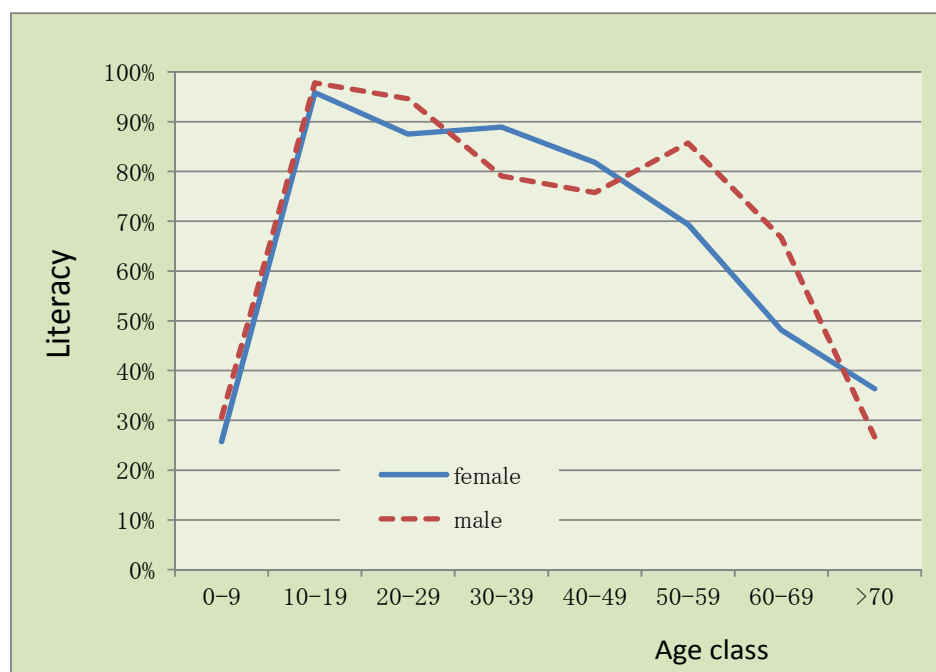


図3 魚の摂取頻度（15歳以上，全職業）

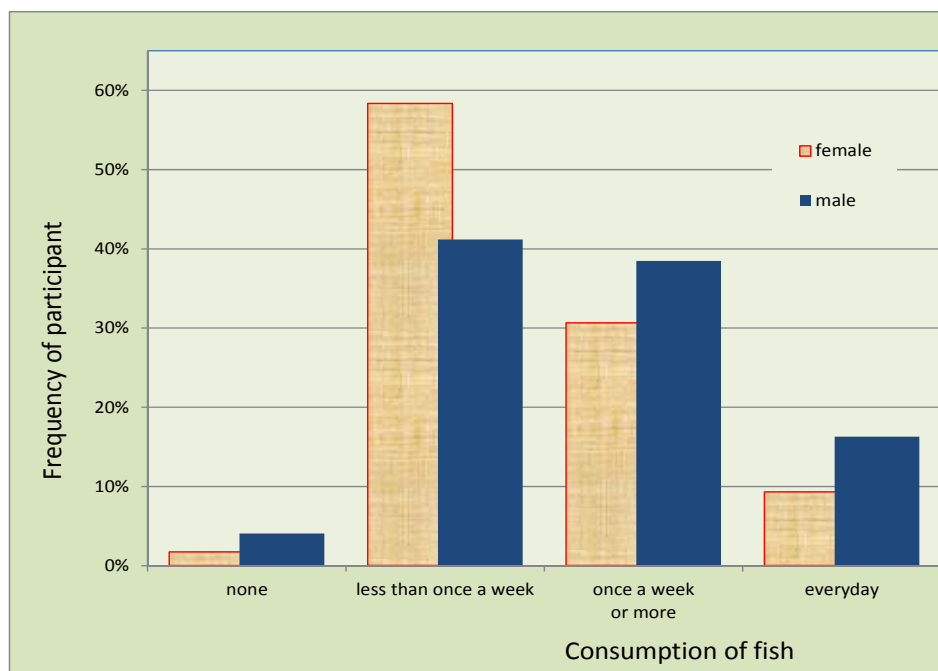


図4 魚の摂取頻度（15歳以上，漁業従事者）

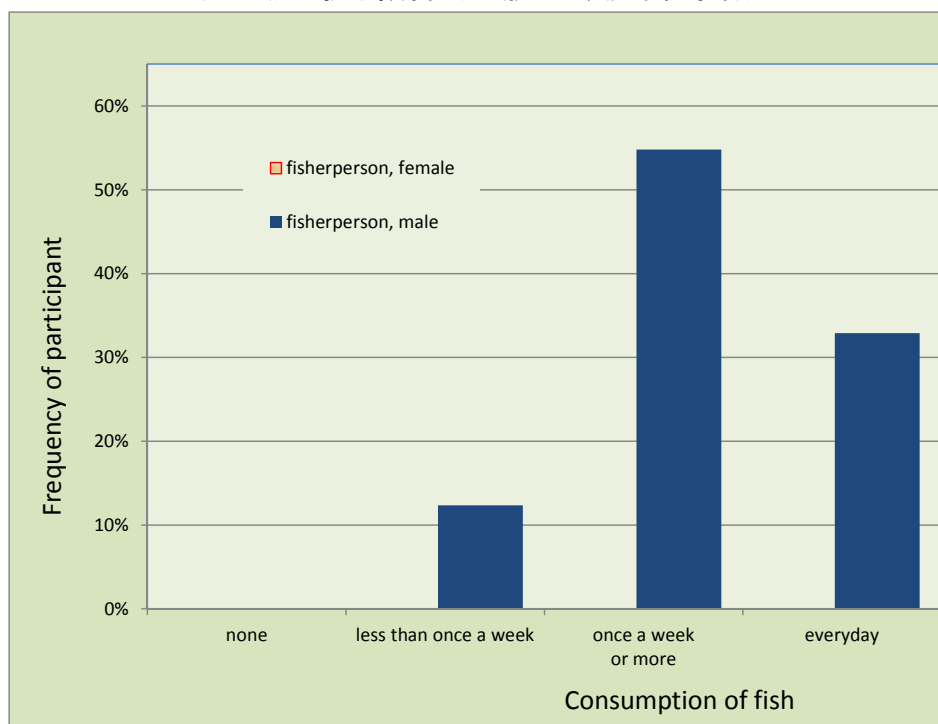


图 5 年龄别糖尿病有病率

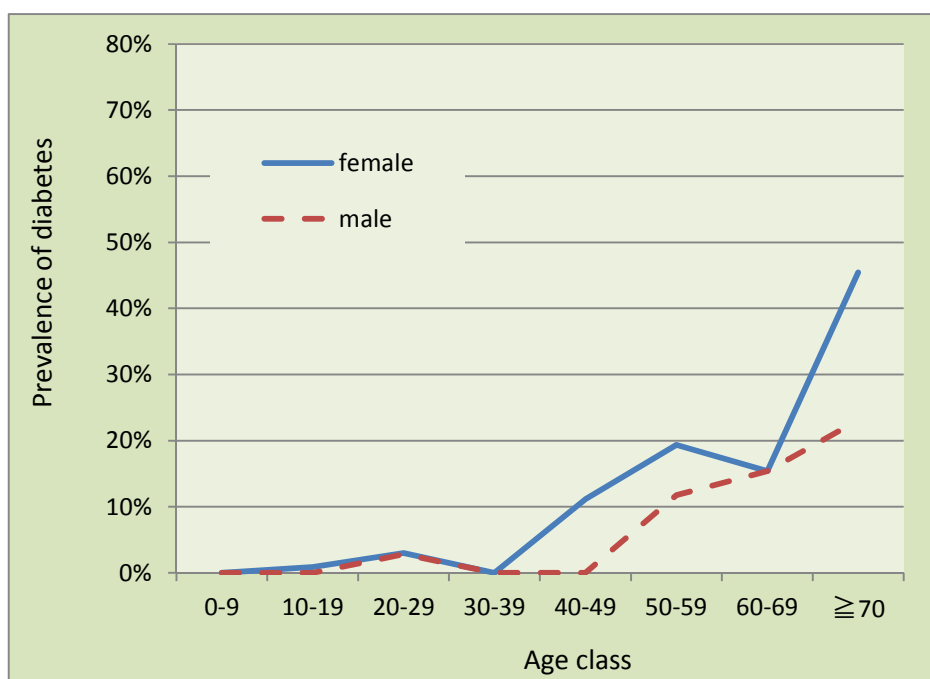


图 6 年龄别高血压有病率

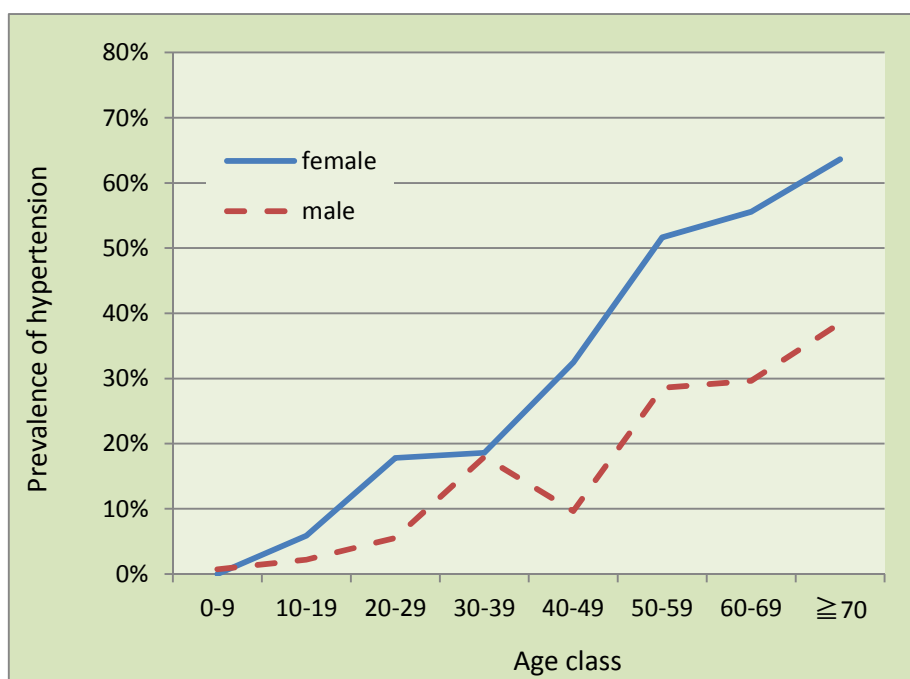


図 7 毛髪水銀濃度分布

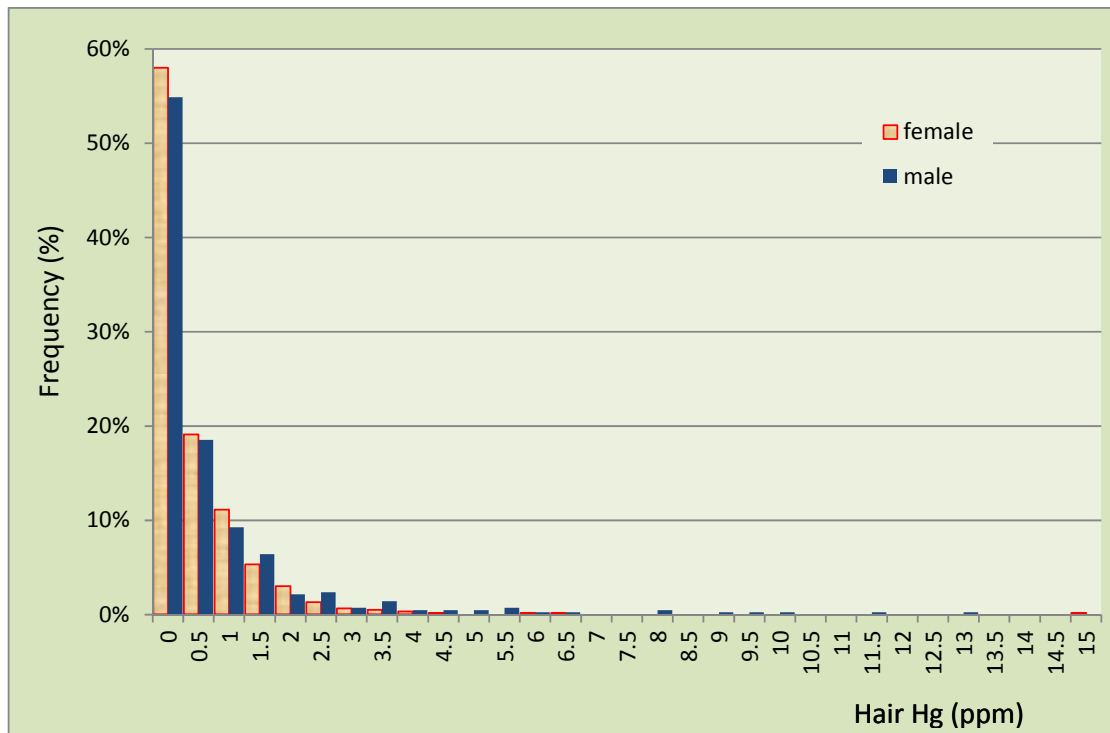


図 8 対数変換した毛髪水銀濃度の分布

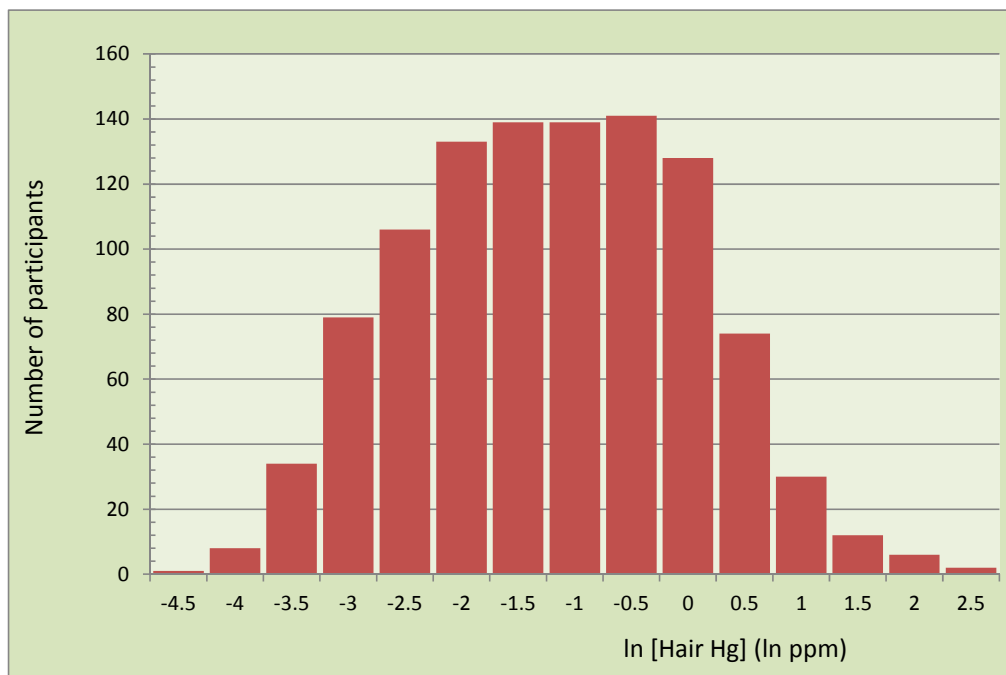


図 9 年齢階級別毛髪水銀濃度の幾何平均

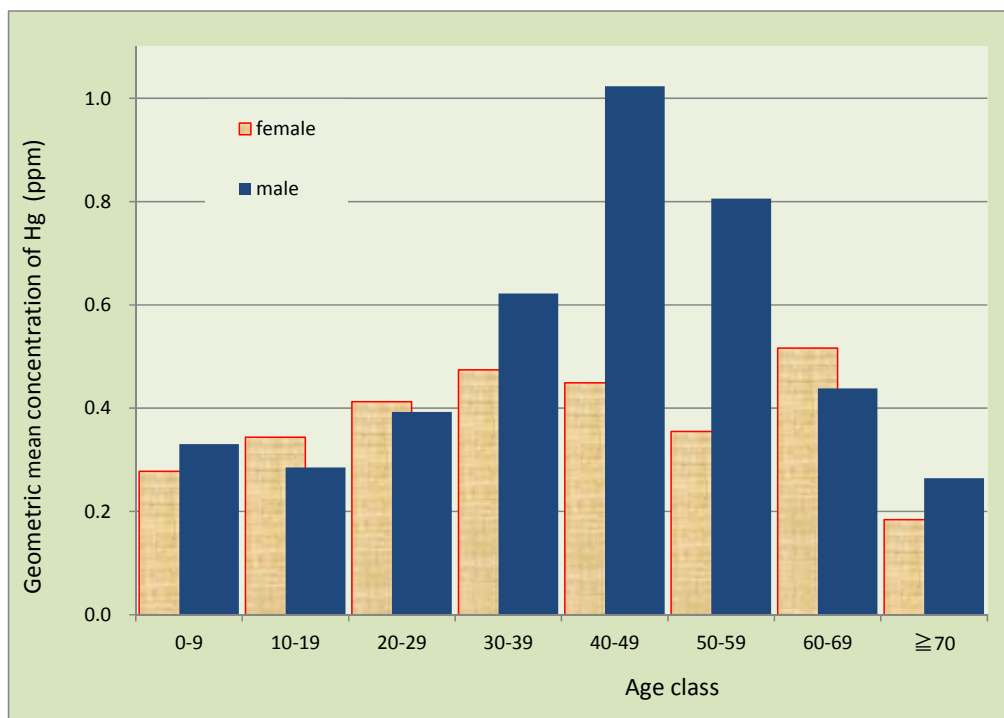


図 10 魚摂取頻度と毛髪水銀濃度(15 歳以上)

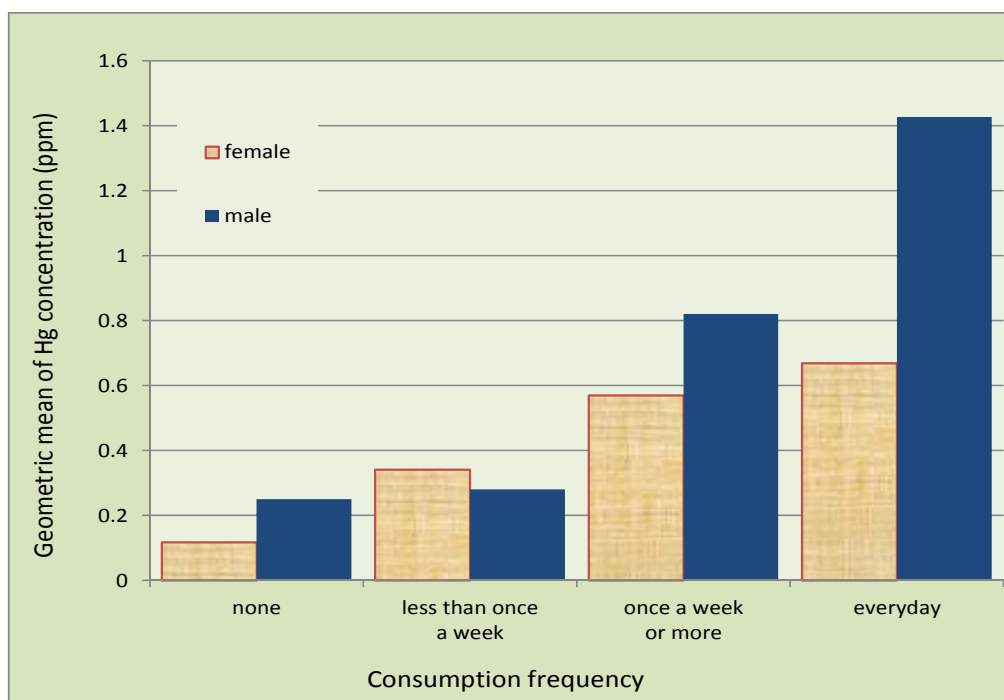


写真1 ティピタパ調査チーム（プライウッド地区にて）



写真2 聞き取り調査の様様



写真3 調査員による毛髪採取



写真 4 事前住民説明会



Cuestionario para los/as Destinatarios/as del Análisis de Mercurio en el Cabello

Código de la encuesta: _____ [ID 番号]

1. Nombre : _____ [氏名]

2. Sexo: Femenino (0) / Masculino (1) [性別]

3. Edad : _____ años [年齢]

4. Barrio o comunidad donde vive: _____ [住所] _____

5. Ocupación actual (Respuesta múltiple): [職業]

a: Pescador [漁業]

b: Agricultor [農業]

c: Comerciante [商業]

d: Obrero [労務]

e: Doméstica [メイド]

f: Profesional [専門職]

g: Ama de casa [家事]

h: Estudiante [学生]

i: No trabaja [無職]

j: Otros (_____) [その他]

6. Historia educacional: [学歴]

¿Sabe leer y escribir? [読み書きはできますか] Sí (1) / No (0)

1: Primaria incompleta [小学校中退]

2: Primaria completa [小学校卒業]

3: Secundaria incompleta [中高校中退]

4: Secundaria completa [中高校卒業]

5: Universitaria [大学]

7. ¿Padece de diabetes? [糖尿病: はい/いいえ/不明] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)

8. ¿Padece de hipertensión arterial? [高血圧: はい/いいえ/不明] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)

- [臭いがわからないことがある] Sí (1) / No (0)
17. ¿A veces tiene problemas para identificar los sabores?
- [味がわかりにくいことがある] Sí (1) / No (0)
18. ¿A veces se siente mareado(a)? [よく目まいがする] Sí (1) / No (0)
19. ¿A veces tiene dolor de cabeza? [よく頭痛がする] Sí (1) / No (0)
20. ¿Piensa que se ha vuelto mas olvidadiso(a)? [物忘れするようになった] Sí (1) / No (0)
21. ¿Tiene adormecimiento en las manos o los pies? [手足にしびれがある] Sí (1) / No (0)
22. ¿Tiene trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies?
- [手足に感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
23. ¿Tiene adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca?
- [口の周りにしびれや感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
24. ¿Tiene temblor en las manos? [手が震える] Sí (1) / No (0)
25. ¿Tiene alguna dificultad para caminar recto? [まっすぐ歩きにくい] Sí (1) / No (0)
26. ¿A veces le han dicho que habla arrastrado o no se le entiende?
- [聴き取りにくい話し方になる] Sí (1) / No (0)
- 26-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
27. ¿Tiene alguna dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos?
- [人の話や音が聞き取りにくい] Sí (1) / No (0)
- 27-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
28. ¿A veces tiene zumbido en los oidos? [耳鳴りがする] Sí (1) / No (0)
29. ¿Alguna vez trabajó en la empresa ELPESA (Penwalt S.A.)? Sí (1) / No (0)
- En caso de “Si” , ELPESA 就労経験:「有」の場合は期間・業務]
- 29-a: Período en que trabajó en ELPESA: del (año _____) al (año _____)
- 29-b: Trabajo que realizó en ELPESA (_____)

Fecha de entrevista: Día _____ Mes _____ Año _____ [調査日]

Recolección de muestra de cabello: Sí (Fecha: Día _____ Mes _____ Ano _____) / No [毛髪採取と採取日]

Sitio de entrevista: (Municipio _____ Barrio _____) [調査地点]

Nombre del/a entrevistador(a): (_____) [調査員]

毛髪水銀濃度とメチル水銀の安全摂取量その他の参照値

・メチル水銀暴露のバイオマーカーとしての毛髪総水銀濃度

メチル水銀は毛髪に濃縮される性質があり、人体では血中濃度に比較して毛髪水銀の濃度は平均約 250 倍となる。このような性質は無機水銀にはないため、毛髪総水銀濃度によってメチル水銀の曝露評価を行うことができる。

一方、無機水銀を含む化粧品・石けんなどが流通している国もあるため、毛髪試料に無機水銀の外部付着がないことを確認する必要があることもある。

・毛髪水銀濃度からメチル水銀暴露量の換算式

毛髪水銀濃度とメチル水銀摂取量の関係は、米国 National Research Council (NRC, 2001) の換算式に拠った。これは次のように表される。

$$\text{メチル水銀週間摂取量} (\mu\text{g/kg-bw/week}) = 0.74 (\text{g/kg-bw/week}) \times \text{毛髪水銀濃度} (\mu\text{g/g})$$

・最大無作用量と耐容摂取量

最大無作用量 (Non Observed Adverse Effect Level: NOAEL) とは、それを超えると影響が出現しはじめる曝露量のことである。

耐容摂取量 (tolerable intake) は自然界にもともと存在する有害化学物質について、安全性が十分に保証される摂取量を表す。食品添加物など人工的に添加する化学物質については、ほとんど同じ意味で、許容摂取量 (acceptable intake) と言う。

最大無作用量と耐容摂取量の関係は次のとおり。

$$\text{耐容摂取量} = \text{最大無作用量} \times 1 / \text{不確実係数 (uncertainty factor)}$$

最大無作用量のデータが動物実験による場合は、不確実係数として少なくとも 100~1000 倍の係数が使われる。一方、人でのデータが得られているメチル水銀については、個人差の可能性などを考慮した結果として 4~10 倍の係数が用いられる。

耐容摂取量は、研究の進展等によって見直しを行うことを前提としており、一週間の摂取を単位として、暫定的耐容週間摂取量 (provisional tolerable weekly intake, PTWI) として使用されることが多い。

・メチル水銀の最大無作用量 (神経障害)

メチル水銀によるもっとも顕著な健康影響は神経系の障害で、なかでも手足の感覚異常が最初に増加する。日本の新潟水俣病や、イラクの農薬 (小麦種子の消毒薬) 事故などの事例によると、感覚異常の最大無作用量は毛髪水銀濃度で 50~125 ppm である。この報告書では、このうちもっとも低い 50 ppm を引用した。

・メチル水銀の最大無作用量 (胎児影響)

メチル水銀にもっとも高い感受性を示すのは胎児の神経系の発育である。現在では生涯を通じ

たメチル水銀の耐容摂取量の算定の根拠として胎児影響の最大無作用量が使われる。胎児影響の有無は生まれた子どもの発育を学童期まで追跡し、言語・注意・言語記憶・視覚空間・運動能力などの能力を様々な検査によって調べる。

胎児影響の最大無作用量の疫学データは、デンマークのフェロー諸島ならびにセイシェル共和国で行われた大規模な母子追跡調査によるものがある。この結果に基づき、国際機関（食品添加物に関する FAO と WHO の合同専門家委員会：Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA）は、最大無作用量として、母親の毛髪水銀濃度で 14 ppm, メチル水銀の摂取量で $1.5 \mu\text{g/kg/day}$ とした (WHO, 2003)。

さらに、米国科学評議会 (National Research Council, NRC) も、同じくフェロー諸島のデータに基づき、最大無作用量を臍帯血水銀濃度で 58 ppb, これに相当する母親の毛髪水銀濃度を 12 ppm とした (NRC, 2000),

また、日本の食品安全委員会もフェロー諸島およびセイシールのデータに基づき、母親の毛髪水銀濃度で 11 ppm, メチル水銀摂取量で $1.17 \mu\text{g/kg/day}$ を最大無作用とした (FSCJ, 2005)。本報告書では、これら 3 者の中でもっとも低い毛髪水銀濃度 11 ppm を引用した。

・胎児期の最大無作用量から求めた暫定的耐容週間摂取量 (PTWI)

JECFA : $1.6 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) 最大無作用量を $10.5 \mu\text{g/kg/week}$, 不確実係数を 6.4 とし, PTWI を $1.6 \mu\text{g/kg/week}$ とした。この PTWI を毛髪水銀濃度に逆算すると 2.2 ppm に相当する。

FSCJ : $2.0 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) 最大無作用量を $8.19 \mu\text{g/kg/week}$, 不確実係数を 4 とし, PTWI を $2.0 \mu\text{g/kg/week}$ とした。この PTWI を毛髪水銀濃度に逆算すると 2.8 ppm に相当する。

米国 NRC, EPA : $0.7 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) NRC は最大無作用量に対する不確実係数を 10 とし, 生涯を通じて有害影響が見られない参照値 (reference dose) RfD を $0.1 \mu\text{g/kg/day}$ とした (NRC, 2000)。これを毛髪水銀濃度に逆算すると 1.1~ 1.2 ppm に相当する。

・ベンチマーク用量

人の疫学的データに基づいて、非特異的影響の最大無作用量を決定する際に用いられる数理モデルの概念。メチル水銀の影響が見られない集団における検査スコア (点数) の分布において、例えば、下位 5% のスコアを異常値とみなしたとする。メチル水銀がこの検査結果に影響するのであれば、その暴露量が大きいほど異常値を示す個体頻度は (5% 以上に) 増加するであろう。このとき、異常値の出現頻度が 10% になるような曝露量をベンチマーク用量 (Benchmark dose: BMD) と定義する。さらに、ベンチマーク用量の 95% 信頼下限値 (lower limit of 95% confidence interval) を BMDL と表し、最大無作用量に相当する曝露量と考える。

・日本における毛髪水銀濃度

日本全国 14 地域で国立水俣病総合研究センターが実施した調査によると、日本の集団における平均毛髪水銀濃度 (幾何平均) は、女性が 1.7 ppm, 男性が 2.5 ppm であった。また、2.2 ppm を

超えるのは出産年齢女性の 25%，全女性の 32%，男性の 44%，5 ppm を超えるのは女性の 3%，男性の 14%であった。

メチル水銀暴露調査報告書

第2部 サンフランシスコ・リブレ住民の暴露評価等について

1 緒言

マナグア湖 (Xolotlán 湖) 周辺に居住する住民について、湖産魚介類等の摂取を通じたメチル水銀暴露状況を明らかにするとともに、当該住民におけるメチル水銀暴露による健康リスク評価を行うことを目的として現地調査を実施した。調査では住民の毛髪を採取して毛髪総水銀濃度を測定し、これをバイオマーカーとしてメチル水銀の人体暴露評価を行った。これとあわせて、調査票を用いた聞き取りにより、魚の摂取状況や身体・健康状態等を調べた。報告所第2部では、2016年5月から6月の第三次派遣において実施したサンフランシスコ・リブレ市内の漁村地区で実施した調査結果について述べる。

2 調査方法ならびに対象

h. 調査期間

住民の聞き取り調査ならびに毛髪採取は、2016年6月6日および7日に実施した（写真1）。

i. 調査地域および対象

調査地域はマナグア湖北部のサンフランシスコ・リブレ市 (San Francisco Libre, 人口11,018) の漁村地区である、プエルト・ビエホ地区 (Puerto Viejo), プエルト・ノエボ地区 (Puerto Noevo), およびサン・ラモン (San Ramon) 地区とした。調査員は対象地域内の各戸を任意に訪問し、書面によるインフォームドコンセント [添付資料1] が得られた家族を対象に調査を実施した。

j. 問診調査票

調査員は問診調査票を用いて聞き取り調査を実施した（写真2）。用いた調査票は、基本項目（性、年齢、居住地等）のほか、社会・経済状況 (socioeconomic status, SES), 魚介類摂取状況ならびに身体・健康状況などの主要30項目で構成した [添付資料2]。社会・経済状況は、職業、識字状況、学歴、Elpesa雇用歴について質問した。魚介類摂取状況については、魚介類摂取頻度、主な摂取魚種および大きさ、魚の調理方法、魚の入手方法について調査した。身体・健康状況に関する項目は、糖尿病・高血圧の有無、感覚障害等の神経系の自覚症状等14項目であった。その他の項目では、パーマおよび脱色クリーム／石けんの使用を調べた。

k. 毛髪採取

毛髪試料は一対象者あたり 30 mg を標準採取量とした。毛髪は皮膚に近い部分で約 60 本程度を切り取り、このうち根本から 4 cm 以内を分析用の試料とした（写真 3）。頭髪がこれより短い人については、安全に採取可能な範囲で、本数を多く採取するなどした。また、頭髪を採取することが極めて困難な対象者については、頭髪以外の体毛も採取した。

1. 調査員

1 日 5 人の調査員と 2～3 名の研修医が調査を担当し、これに地域の案内役として、1 日あたり 3 名の保健所職員あるいはコミュニティ・リーダーが同行した。5 名の調査員はいずれも報告書第一部ティピタパ調査も担当していたが、初参加の研修医とともにあらためて今回の調査のための事前研修に参加した。

m. 事前住民説明会

調査の実施に先立ち、2016 年 6 月 3 日にサンフランシスコ・リブレ市庁舎内で住民説明会を実施し、住民など約 20 名が参加した（写真 4）。

3. 問診票集計値

e. 調査参加者

サンフランシスコ・リブレの住民 295 名（男 130 名、女 165 名）について問診調査を実施した（表 1）。参加者の平均年齢は 31.6 歳（男 29.9 歳、女 32.9 歳）、年齢範囲は 0～87 歳であった。参加者の年齢階級別分布（図 1、表 2）によるとティピタパ調査参加者に比べて若年層が少なく、壮年期男性の占める割合が増加した。このような年齢別参加数の違いは、サンフランシスコ・リブレの調査では、若年層への勧誘を控え、成人男性への接触を多くしたため、実際の住民の年齢構成の違いを反映するものではない。

f. 社会経済状況

15 歳以上の参加者 253 名の職業別人数を表 3 に示す。もっとも多い職業は女性の家事従事者で 15 歳以上の女性の 83.0%、男女合わせた 15 歳以上の参加者の 46.6% を占めた。男性でもっとも多かったのは漁業従事者で、15 歳以上の男性の 50.9%、男女合わせた 15 歳以上の参加者の 23.7% を占めた。これに次いで学生が男女合わせた 15 歳以上の参加者の 9.1% であった。このほかでは、男性の農業が 8.9%、商業および専門職がそれぞれ 6.3% などであった。一方、無職は 15 歳以上の男性の 3.6% であった。

表 4 に示すように、文字の読み書きができないと答えたのは、15 歳以上の全参加者の 6.7%（識字率 93.3%）で、性別では男性の 6.3%、女性の 7.1% で、男女間に有意の差はなかった（ $p = 0.79$ ）。年齢別の識字率（図 2）では 10 代から 30 代に最高となり、60～70 代以上で低下したが、年齢による低下傾向はそれほど顕著ではなかった。なお、識字率はティピタパに比べてサンフランシスコ・リブレが有意に高かった（ $p < 0.001$ ）。学歴（表 5）も、

就学歴を有しないものの頻度は年齢が高いほど多く、また年齢が若いほど高学歴化する傾向が窺えた。これらの傾向は男女ともに認められた。

サンフランシスコ・リブレの調査参加者には Elpesa (Penwalt S.A.) 就労経験があったものはなかった。

g. 魚の摂取傾向

15 歳以上の参加者についての魚介類摂取頻度別集計（表 6、図 3）によると、毎日魚を食べるものが男女合わせて 45.8%、週 1 回以上～1 日 1 回未満が約 37.9% など、対象者の大半が魚を摂取しており、その摂取頻度もティピタパより多い傾向が認められた。週に 1 回以上魚を食べるものの割合は、男性 99/112 (78.6%) に対して、女性 113/141 (80.1%) で、男女間に有意の差はなかった ($p = 0.077$)。漁業従事者に限ると、毎日魚を食べるが増加し、ほとんどが週に 1 回以上魚を食べていた（表 6、図 4）。

よく食べる魚種（表 7）は、モハラ (94.4%)、グアポテ (61.2%)、グアビーナ (44.8%)、ティラピア (25.4%) などであった。魚の大きさは、小型魚から大魚魚までの魚がおもに食べられていた（表 8）。魚の調理方法・食べ方（表 9）では、油で揚げるがもっとも多く、次いでスープにして魚肉も食べるが多かったが、スープの魚肉は食べない人は少なかった。魚の入手元（表 10）としては、川や湖で捕獲 (56.5%) がもっとも多く、参加者に漁業従事者が多いことが反映されていたほか、漁師から直接入手 (36.6%) が多かったが、市場・行商人などはいずれも 10% 未満で、漁村地区としての調査地区の特徴が覗えた。

h. 身体・健康状態

15 歳以上の参加者の健康状況について、2 つの慢性疾患ならびに 14 項目の自覚症状および 2 項目の調査員所見の有無の集計結果を表 11 に示す。糖尿病は 15 歳以上の参加者の 3.5% (男 2.7%, 女 4.1%)、高血圧は同じく 19.7% (男 14.5%, 女 23.7%) にみられた。いずれも男性よりも女性で高い傾向がみられたが、有意の差ではなかった ($p=0.07$)。なお、糖尿病の頻度はティピタパに比べてサンフランシスコ・リブレでは低い傾向もみられたが、年齢構成の違いを考慮すると有意な差ではなかった (Mantel-Haenszel test, $p=0.26$)。全年齢階級別の糖尿病頻度（図 5）は 50 代から増加する傾向がみられた。高血圧（図 6）は男女ともに 30 代以降に顕著に増加し、女性では 60 歳以上で 50% 以上となった。

自覚症状では、頭痛 (15 歳以上参加者の 45.5%) がもっとも多く、続いて、めまい (同 34.8%) および物忘れ (同 34.8%)、手足のしびれ (同 31.6%) の各頻度が 30% 以上で、いずれもティピタパに比べて異常頻度は低かった (年齢構成の違いは考慮していない)。年齢階級別の平均愁訴項目数（表 12）は年齢とともに自覚症状の項目が増加する傾向が認められたが、ティピタパで観察された傾向ほど顕著なものではなかった。また、15 歳以上の 1 人あたりの平均愁訴項目数 (調査者による所見ありを含む)（表 13）は、男性 ($n = 112$) の 2.0 項目に対して、女性 ($n = 141$) は 2.5 項目で、陽性総項目頻度は有意に女性が多か

った ($p = 0.003$)。また年齢階級別の陽性項目頻度はティピタパと比較してサンフランシスコ・リブレは有意に低かった (Mantel-Haenszel test, $OR = 0.72$, $95CI = 0.64-0.78$, $p = 0.000$)。

4. 毛髪総水銀濃度

a. 試料数・濃度分布・平均濃度

サンフランシスコ・リブレ住民 295 名 (男 130 名, 女 165 名) の毛髪試料についての総水銀濃度 (以下, 毛髪水銀濃度とする) は表 14 に示すように, 幾何平均 1.61 ppm (男 1.89 ppm, 女 1.41 ppm), 中央値 1.65 ppm (男 1.84 ppm, 女 1.57 ppm), 算術平均 2.21ppm (男 2.63 ppm, 女 1.88 ppm), 範囲 0.18 ppm ~ 12.72 ppm であった。毛髪試料提供者の年齢階級別分布は表 2 と同様である。

図 7 に示す毛髪水銀濃度分布は, 高濃度側に分布の裾が広がる対数正規分布 (log-normal distribution) の特徴を示したが, これは一般的な集団における毛髪水銀濃度分布の特徴と一致しており, 魚介類など各種食品摂取量の分布を反映するものである。得られた毛髪水銀濃度の分布が対数正規分布であることは, 対数変換した毛髪水銀濃度 (図 8) が左右対称の正規分布に近いことで確かめられた。表 14 でも明らかなように, 対数正規分布の特徴として, 中央値 (med) は算術平均ではなく幾何平均と一致した。本報告書では断りのない限り, 毛髪水銀濃度 (およびメチル水銀推定摂取量) の平均値は幾何平均を用いた。対数変換 (正規化) した毛髪水銀濃度 (単位: $\log$ [ppm]) の平均値について Student' s t-検定を行うと, 男では女に比べて有意に毛髪水銀濃度が高かった ($p = 0.001$)。なお, 全集団の毛髪水銀濃度の幾何平均 1.61 ppm は, メチル水銀の週間摂取量に換算して $1.19 \mu\text{g/kg-body weight/week}$ に相当し, これは国際機関の暫定的耐容週間摂取量 (PTWI, JECFA) の $1.6 \mu\text{g/kg-body weight/week}$ に比較して十分低い [添付資料 3]。なお, 日本で調査した平均毛髪水銀濃度は男性 2.5 ppm, 女性 1.7 ppm である。

b. 年齢および魚摂取などとの関係

年齢階級別の毛髪水銀濃度の幾何平均を図 9 に示す。年齢階級別の最高値は男女ともに 30 代で, 男 2.19 ppm, 女 1.64 ppm であった。最小値は, 男では 70 歳以上の 1.00 ppm, 女は 9 歳未満の 1.04 ppm であった。15 歳以上の参加者について, 魚を食べる頻度ごとに毛髪水銀濃度を比べると, 図 10 に示すように, 魚を食べない参加者の平均水銀濃度は女 0.30 ppm (男の該当者なし) であるのに対して, 魚を食べる頻度が多いほど水銀濃度は高くなり, 魚を毎日食べる参加者では, 男 2.27 ppm, 女 4.94 ppm であった。平均水銀濃度が年齢によって異なるのは, 魚の摂取量が年齢にともなって変化するためと考えられるが, 年齢による変化は Tipitapa 住民で見られたものより小さかった。なお, 生物学半減期が 50~70 日と短いメチル水銀では長期間の人体蓄積性はないことが知られている。

c. 各種参照値に対する分布.

感覚異常など神経症状が増加しはじめるメチル水銀の最大無作用量は毛髪水銀濃度 50 ppm とされるが、今回の調査ではこのレベルを超えた参加者はなかった。これより低い各種参照値〔添付資料 3〕に相当する水銀濃度の分布は表 15 に示す通りであった。胎児の発達影響についての最大無作用量は母体毛髪水銀濃度で 11 ppm であるが、これを超過したものは 295 名中 4 名（男 3，女 1）（0.3%）であった。このうち、男性 2 名は 20-30 代の商業・労務従事者，女性は 20 代の家事従事者であった。

感覚異常の最大無作用量に基づく旧耐容摂取量（3.3 $\mu\text{g}/\text{kg-body weight}/\text{week}$ ）に相当する毛髪水銀濃度は 5 ppm であるが、これを超過するものは 26 名 8.9%（男 18 名 13.8%，女 8 名 4.8%）であった。胎児影響の最大無作用量レベルに基づく現行の暫定的耐容摂取量（1.6 $\mu\text{g}/\text{kg-body weight}/\text{week}$ ）は毛髪水銀濃度換算で 2.2 ppm に相当するが、このレベルを超過していたのは 86 名 29.2%（男 50 名 38.5%，女 36 名 21.8%）などであった。

5. まとめ

サンフランシスコ・リブレ市内住民の毛髪水銀濃度に基づくメチル水銀曝露評価の結果，住民の毛髪水銀濃度は神経症状の増加が現時点で懸念されるレベルにはなかった。住民の平均毛髪水銀濃度も国際機関の耐容摂取量相当レベルを下回っており，住民の一般的な曝露レベルは健康リスクが懸念されるものではないと考えられた。一方，胎児影響の最大無作用量レベルを超えた住民は 1.4%であった。このほか，耐容摂取量レベルを超過していると推定される住民の頻度は 20.2%であった。メチル水銀濃度の高い魚種などを対象に，妊娠時を含む適切な魚の摂取などについて情報の周知などが考慮されるべきと思われる。サンフランシスコ・リブレ住民で観察された毛髪水銀濃度はティピタパ住民のレベルよりも高く，魚介類の摂取状況の違いなどが反映されていると考えられる。

表 1 聞き取り調査の性別参加数および平均年齢

性	人	年齢		
		算術平均	min	max
女	165	32.9	0	87
男	130	29.9	0	68
計	295	31.6	0	87

表 2 聞き取り調査の年齢階級別参加数

性	年齢階級									全年齢
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	(≥15)	
女	11	25	37	43	20	16	10	3	(141)	165
	6.7%	15.2%	22.4%	26.1%	21.1%	6.1%	6.1%	1.8%	(85.5%)	100%
									(55.7%)	55.9%
男	11	30	28	28	15	11	7	0	(112)	130
	8.5%	23.1%	21.5%	21.5%	11.5%	8.5%	5.4%	0.0%	(86.2%)	100%
									(44.3%)	44.1%
計	22	55	65	71	35	27	17	3	(253)	295
	7.5%	18.6%	22.0%	24.1%	11.9%	9.2%	5.9%	1.0%	(85.8%)	100%
									(100%)	100%

表 3 職業別人数(15 歳以上, 複数回答)

職業等	女		男		計	
	人	%	人	%	人	%
漁業	3	2.1%	57	50.9%	60	23.7%
労務	0	0.0%	4	3.6%	4	1.6%
商業	2	1.4%	7	6.3%	9	3.6%
家事	117	83.0%	1	0.9%	118	46.6%
農業	0	0.0%	10	8.9%	10	4.0%
メイド	1	0.7%	0	0.0%	1	0.4%
専門職	2	1.4%	7	6.3%	9	2.6%
学生	9	6.4%	14	12/5%	23	9.1%
無職	0	0.0%	4	3.6%	4	1.6%
総数	141	100%	112	100%	253	100%

表 4 識字率(15 歳以上)

性	読み書きできない		読み書きできる		計	
女	10	(7.1%)	131	(92.9%)	141	(100%)
男	7	(6.3%)	105	(93.8%)	112	(100%)
計	17	(6.7%)	236	(93.3%)	253	(100%)

表 5 就学歴(10 歳以上)

性	学歴	年齢階級							計
		10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	>70	
女	なし	0 0.0%	2 5.4%	1 2.3%	2 10.0%	1 6.3%	2 40.0%	1 33.3%	11 7.1%
	小学校・中退	6 24.0%	3 8.1%	9 20.9%	6 30.0%	4 25.0%	3 30.0%	2 66.7%	33 21.4%
	小学校・卒業	4 16.0%	3 8.1%	9 20.9%	7 35.0%	7 43.8%	3 30.0%	0 0.0%	33 21.4%
	中高校・中退	12 48.0%	7 18.9%	12 27.9%	1 5.0%	2 12.5%	0 0.0%	0 0.0%	34 22.1%
	中高校・卒業	1 4.0%	12 32.4%	9 20.9%	4 20.0%	1 6.3%	0 0.0%	0 0.0%	27 17.5%
	大学	2 8.0%	10 27.0%	3 7.0%	0 0.0%	1 6.3%	0 0.0%	0 0.0%	16 10.4%
	計	25 100%	37 100%	43 100%	20 100%	16 100%	10 100%	3 100%	154 100%
男	なし	0 0.0%	0 0.0%	4 14.3%	1 6.7%	1 9.1%	1 14.3%	0 0.0%	7 5.9%
	小学校・中退	7 23.3%	3 10.7%	5 17.9%	6 40.0%	3 27.3%	1 14.3%	0 0.0%	25 21.0%
	小学校・卒業	3 10.0%	5 17.9%	4 14.3%	2 13.3%	3 27.3%	4 57.1%	0 0.0%	21 17.6%
	中高校・中退	11 36.7%	7 25.0%	5 17.9%	4 26.7%	2 18.2%	0 0.0%	0 0.0%	29 24.4%
	中高校・卒業	8 26.7%	7 25.0%	6 21.4%	1 6.7%	0 0.0%	1 14.3%	0 0.0%	23 19.3%
	大学	1 3.3%	6 21.4%	4 14.3%	1 6.7%	2 18.2%	0 0.0%	0 0.0%	14 11.8%
	計	30 100%	28 100%	28 100%	15 100%	11 100%	7 100%	0 100%	119 100%

表 6 魚介類摂取頻度(15 歳以上)

性(職業)	食べない	週 1 回未 満	週 1 回以 上	毎日食べる	計
女	3 2.1%	25 17.7%	56 39.7%	57 40.4%	141 100%
(漁業従事者)	(0) (0.0%)	(0) (0.0%)	(0) (0.0%)	(3) (100.0%)	(3) (100%)
男	0 0.0%	13 11.6%	40 35.7%	59 52.7%	112 100%
(漁業従事者)	(0) (0.0%)	(2) (3.5%)	(12) (21.1%)	(43) (75.4%)	(57) (100%)
計	3 1.2%	38 15.0%	96 37.9%	116 45.8%	253 100%
(漁業従事者)	(0) (0.0%)	(2) (3.3%)	(12) (20.0%)	(46) (76.7%)	(60) (100%)

表 7 よく食べる魚種(15 歳以上, 複数回答)

魚種	よく食べる人	%
Mojara	253	94.4%
Guapote	164	61.2%
Tilapia	68	25.4%
Guabina	120	44.8%
Lagunero	51	19.0%
Sábalo	42	15.7%
Barbudo	6	2.2%
Tortuga	34	12.7%
Gaspar	9	3.4%
Pargo	14	5.2%
Corvina	10	3.7%
Macarela	3	1.1%
総数	268	100%

表 8 よく食べる魚の大きさ(15 歳以上, 複数回答)

性	小	中	大	特大	総数
女	61 43.3%	73 51.8%	49 34.8%	0 0.0%	141 100%
男	45 40.2%	71 68.4%	43 38.4%	1 0.9%	112 100%
計	106 41.9%	144 56.9%	92 36.4%	1 0.4%	253 100%

表 9 魚の調理方法(15 歳以上, 複数回答)

性	スープにして (魚肉も)	スープのみ	油で揚げて	焼いて	総数
女	99 70.2%	5 3.5%	128 90.8%	20 14.2%	141 100%
男	89 79.5%	2 1.8%	104 92.9%	26 23.2%	112 100%
計	188 74.3%	7 2.8%	232 91.7%	46 18.2%	253 100%

表 10 魚の入手先(15 歳以上, 複数回答)

方法	スーパー	地域の 市場	行商人	漁師	湖・川	食堂	その他	総数
人数	0	22	22	91	143	1	0	253
%	0.0%	8.7%	8.7%	36.0%	56.5%	0.4%	0.0%	100%

表 11 健康状態ならびに自覚症状(15 歳以上)

症状	女			男			計		
	なし	あり	計	なし	あり	計	なし	あり	計
糖尿病	141 95.9%	6 4.1%	147 100%	110 97.3%	3 2.7%	113 100%	251 96.5%	9 3.5%	260 100%
高血圧	106 76.3%	33 23.7%	139 100%	94 85.5%	16 14.5%	110 100%	200 80.3%	49 19.7%	249 100%
疲れやすい	118 83.7%	23 16.3%	141 100%	89 79.5%	23 20.5%	112 100%	207 81.8%	46 18.2%	253 100%
匂いがわかりにくいことがある	138 97.9%	3 2.1%	141 100%	108 96.4%	4 3.6%	112 100%	246 97.2%	7 2.8%	253 100%
味がわかりにくいことがある	138 97.9%	3 2.1%	141 100%	109 97.3%	3 2.7%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
よくめまいがする	84 59.6%	57 40.4%	141 100%	81 72.3%	31 27.7%	112 100%	165 65.2%	88 34.8%	253 100%
よく頭痛がする	64 45.4%	77 54.6%	141 100%	74 66.1%	38 33.9%	112 100%	138 54.5%	115 45.5%	253 100%
物忘れをするようになった	86 61.0%	55 39.0%	141 100%	79 70.5%	33 29.5%	112 100%	165 65.2%	88 34.8%	253 100%
手足にしびれがある	93 66.0%	48 34.0%	141 100%	80 71.4%	32 28.6%	112 100%	173 68.4%	80 31.6%	253 100%
手足の感覚異常	121 85.8%	20 14.2%	141 100%	102 81.1%	10 8.9%	112 100%	223 88.1%	30 11.9%	253 100%
口周辺にしびれや感覚異常がある	131 92.9%	7 7.1%	141 100%	110 98.2%	2 1.8%	112 100%	241 95.3%	12 4.7%	253 100%
手が震える	134 95.0%	7 5.0%	141 100%	104 92.9%	8 7.1%	112 100%	238 94.1%	15 5.9%	253 100%
まっすぐ歩きにくい	137 97.2%	4 2.8%	141 100%	110 98.2%	2 1.8%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
言葉が不明瞭で聞き取りにくいと言われる	137 97.2%	4 2.8%	141 100%	106 94.6%	6 5.4%	112 100%	243 96.0%	10 4.0%	253 100%
言葉が不明瞭で聞き取りにくい(調査員所見)	141 100%	0 0.0%	141 100%	108 96.4%	4 3.6%	112 100%	249 98.4%	4 1.6%	253 100%
他人の話や音が聞き取りにくい	135 95.7%	6 4.3%	141 100%	107 95.5%	5 4.5%	112 100%	242 95.7%	11 4.3%	253 100%
話や音が聞き取りにくそう(調査者所見)	140 99.3%	1 0.7%	141 100%	107 95.5%	5 4.5%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
耳鳴りがする	105 74.5%	36 25.5%	141 100%	91 81.3%	21 18.8%	112 100%	196 77.5%	57 22.5%	253 100%

表 12 年齢階級別平均愁訴項目数

性	年齢階級								全年齢
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	
女	0.5	1.2	1.6	2.3	4.0	3.4	3.3	2.7	2.2
男	0.5	1.4	1.6	2.4	2.9	2.5	1.6		1.9
計	0.5	1.3	1.6	2.3	3.5	3.0	2.6	2.7	2.1

(調査者による所見ありを含む)

表 13 1人あたり平均愁訴項目数および陽性項目頻度(15歳以上)

性	人数	平均陽性項目数	陽性項目総数(%)	陰性項目総数(%)
女	141	2.5	364 (16.1%)	1892 (77.3%)
男	112	2.0	229 (12.8%)	1563 (83.7%)
計	253	2.3	593 (14.7%)	3455 (79.5%)

(調査者による所見ありを含む)

表 14 毛髪試料数, 平均年齢および毛髪総水銀濃度

性	人	年齢			毛髪水銀濃度 (ppm)				
		算術平均	min	max	算術平均	min	med	max	幾何平均
女	165	32.9	0	87	1.88	0.16	1.57	11.8	1.41
男	130	29.9	2	68	2.63	0.34	1.84	12.7	1.89
計	295	31.6	0	87	2.21	0.16	1.65	12.7	1.61

表 15 各種参照値相当の毛髪水銀濃度に対する分布

性	毛髪水銀濃度					総数
	0 - 1.2	1.2 - 2.2	2.2 - 5	5 - 11	11 <	
女	53	76	28	7	1	165
	32.1%	46.1%	17.0%	4.2%	0.6%	100%
男	35	45	32	15	3	130
	26.9%	34.6%	24.6%	11.5%	2.3%	100%
計	88	121	60	22	4	295
	29.8%	41.0%	20.3%	7.5%	1.4%	100%

図1 聞き取り調査参加者の年齢階級別分布

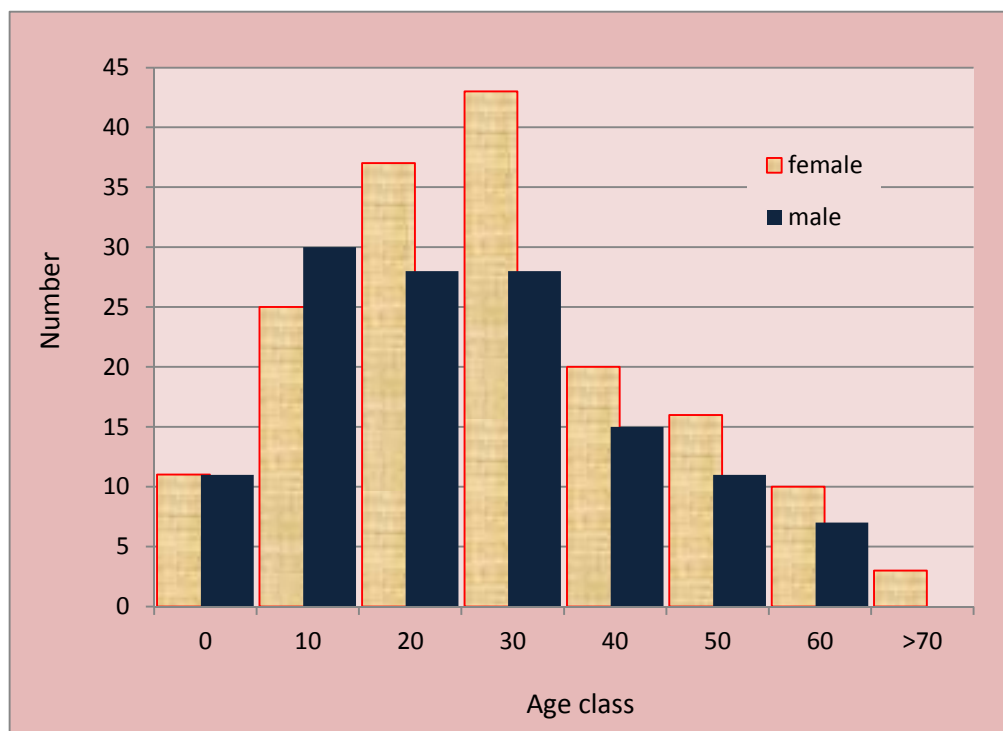


図2 年齢階級別識字率



図3 魚介類の摂取頻度別人数 (15歳以上, 全職業)

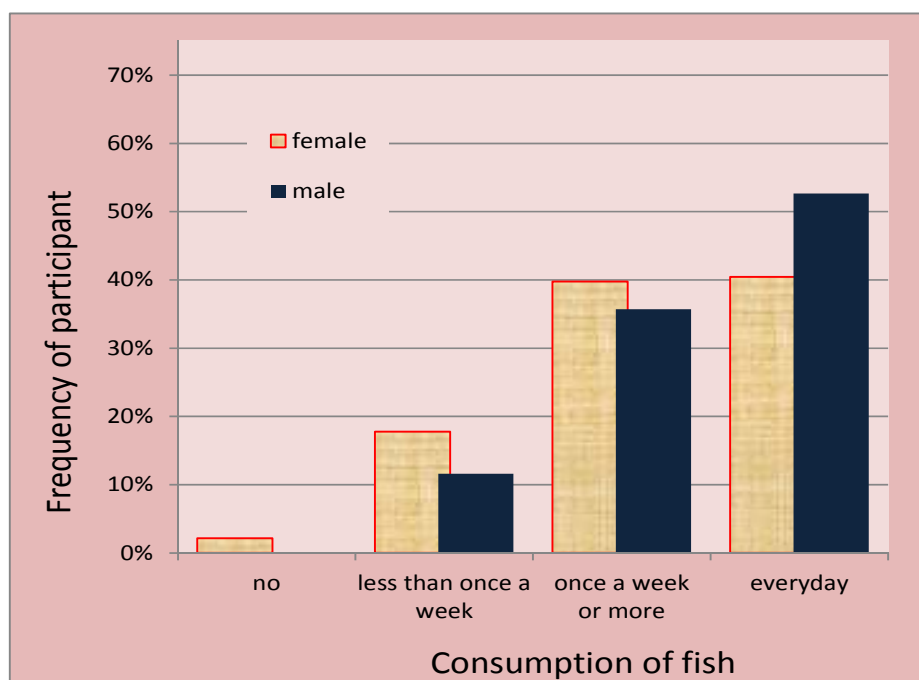


図4 魚介類の摂取頻度別人数 (15歳以上, 漁業従事者)

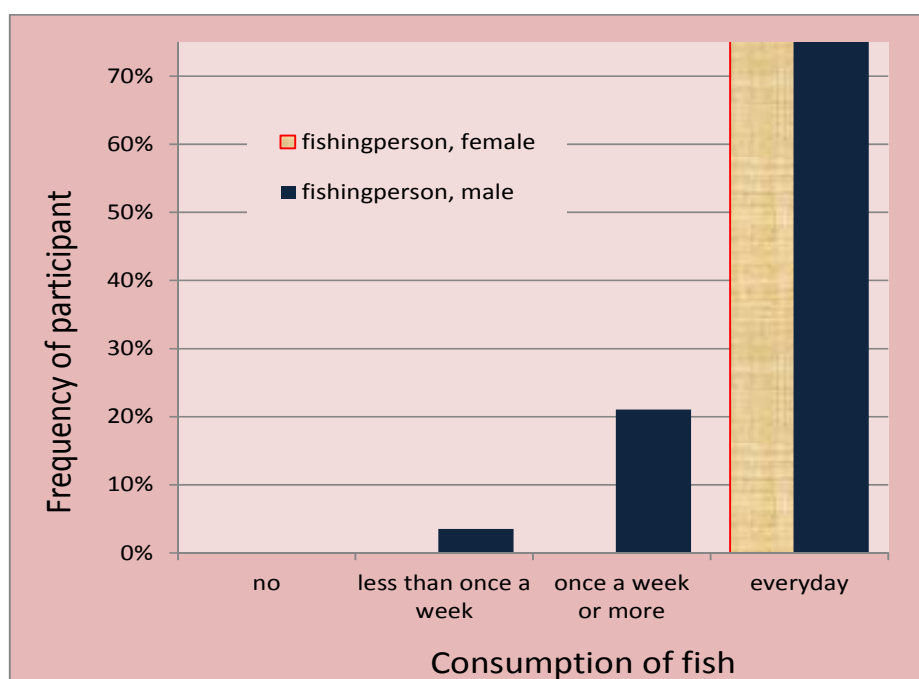


图 5 年龄别糖尿病有病率

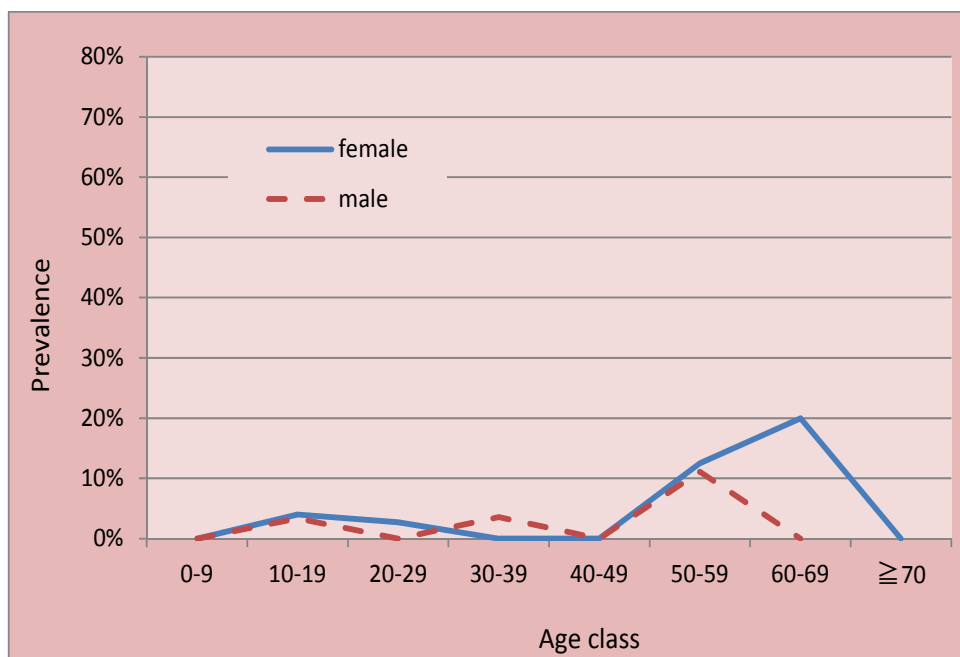


图 6 年龄别高血压有病率

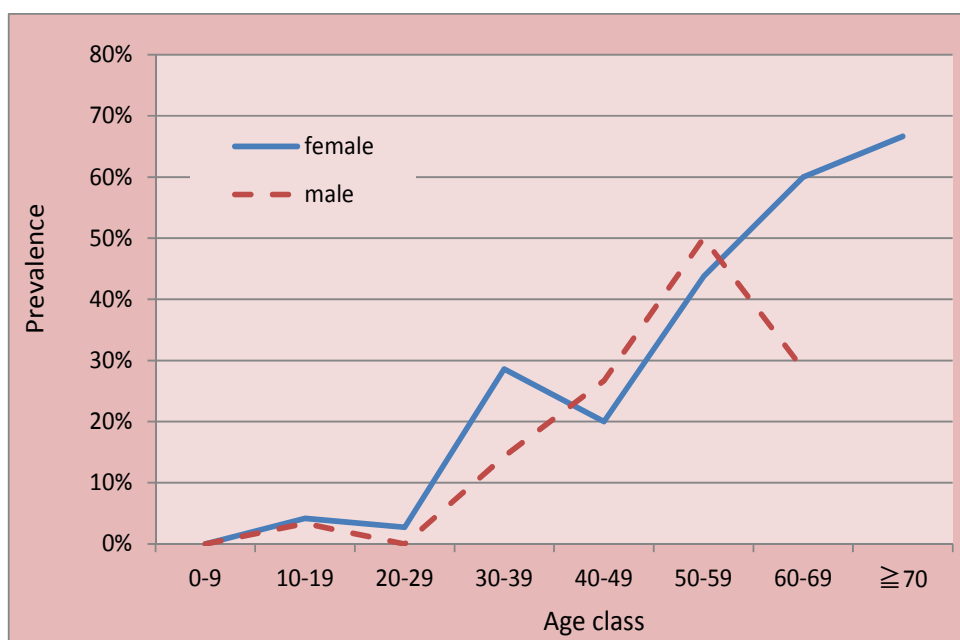


図 7 毛髪水銀濃度分布

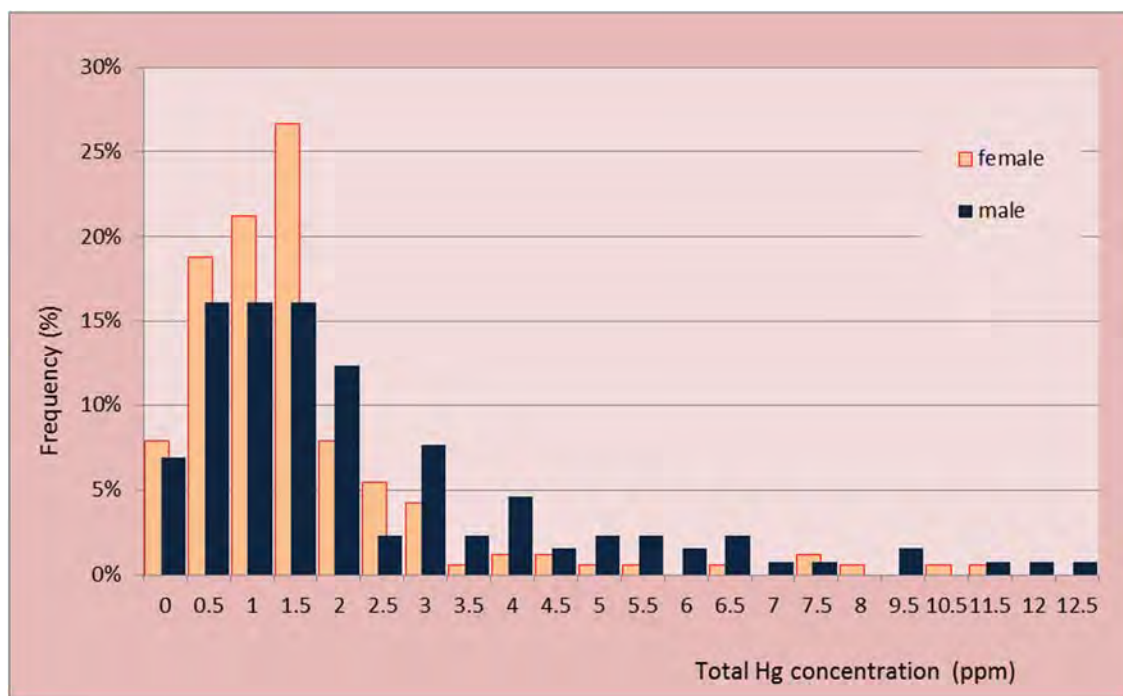


図 8 対数変換した毛髪水銀濃度の分布

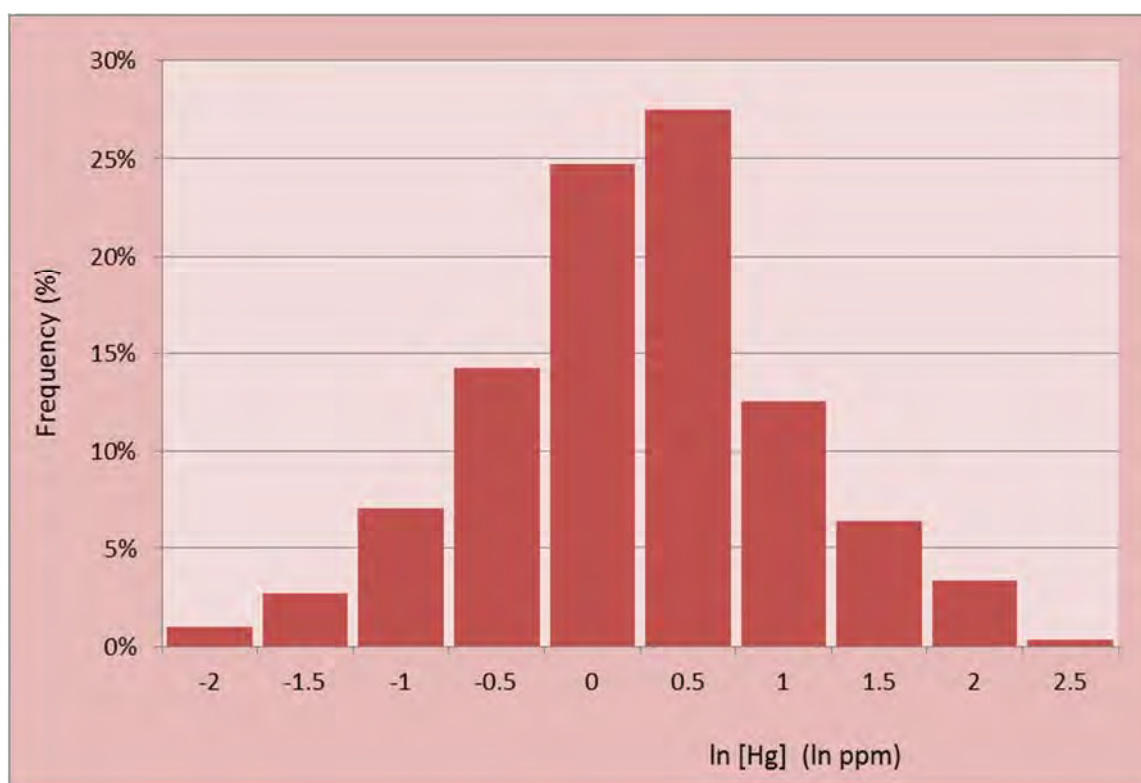


圖 9 年齡階級別毛髮水銀濃度

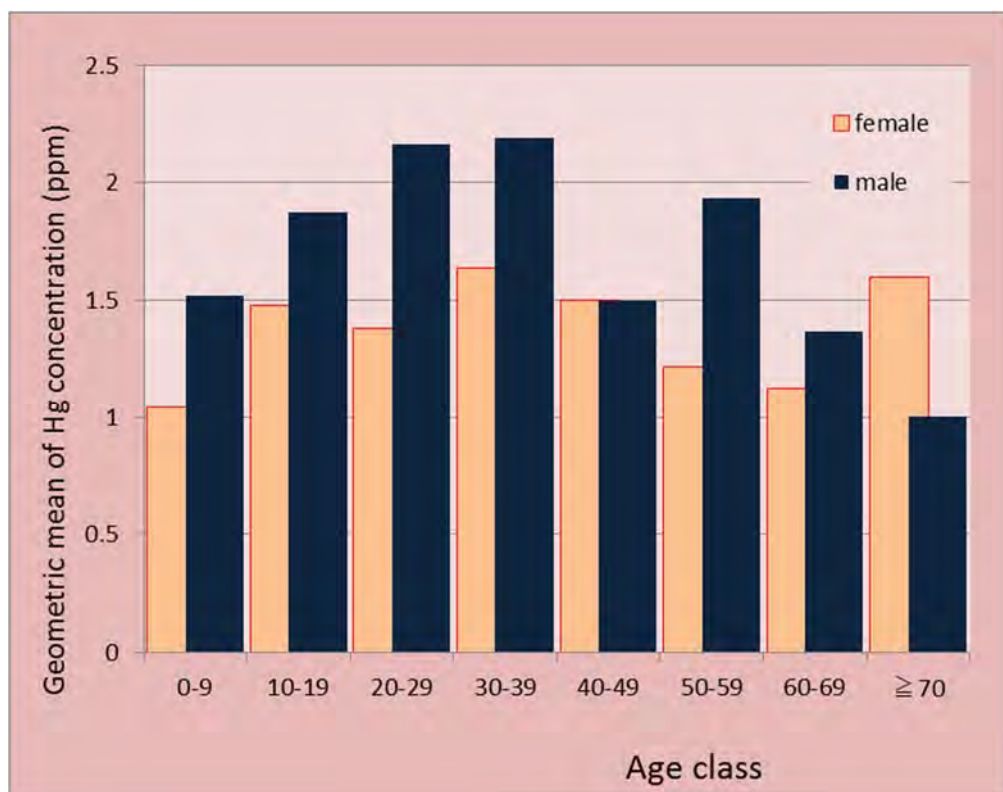


圖 10 魚攝取頻度別毛髮水銀濃度 (15 歲以上)

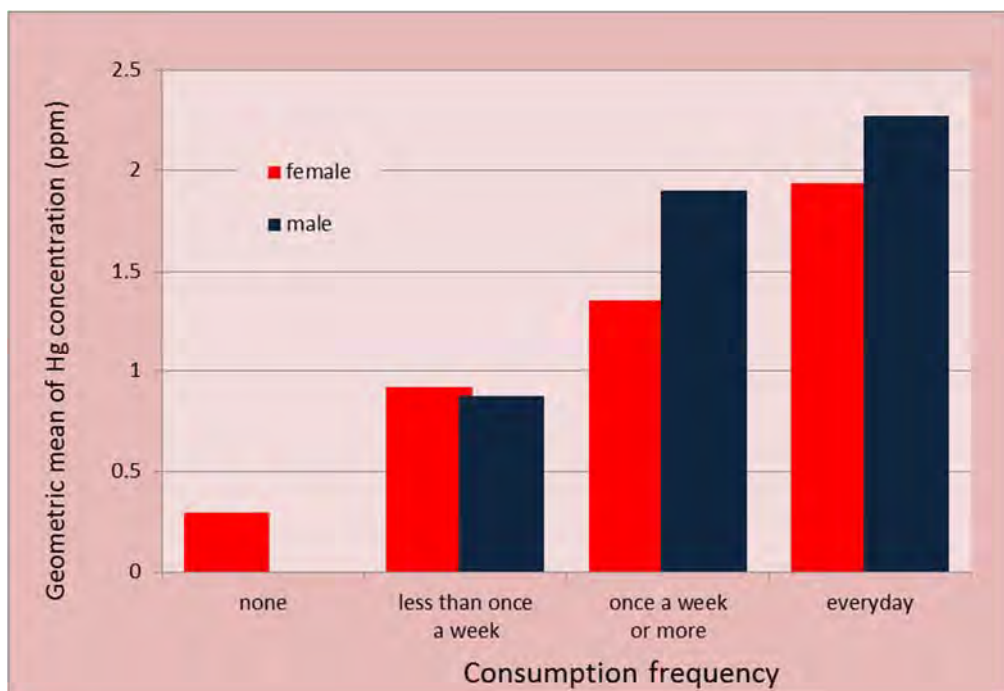


写真1 サンフランシスコ・リブレ調査チームより（サン・ラモン地区にて）



写真2 聞き取り調査の様様



写真3 調査員による毛髪採取



写真4 事前住民説明会





Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!

2016
¡Vamos a celebrar!
EN BUENA
ESPERANZA,
EN VICTORIAS!

MINISTERIO DE SALUD
CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PARTICIPANTE

"ESTUDIO SOBRE EXPOSICION A MERCURIO"

Por este medio yo _____, mayor de
edad, _____ identificado con _____ cédula No. _____
_____ residente en el
barrio _____, hago constar que
recibi información del equipo de investigación del MINSA, del estudio que se realiza en el
municipio de San Francisco Libre, sobre "Exposición a mercurio". Cuáles son sus objetivos
y procedimientos que incluyen la toma de muestra de cabello de todos los participantes.
Por lo cual de forma voluntaria, acepto que participen los miembros de mi familia:

- | | |
|----------|-------------|
| 1- _____ | edad: _____ |
| 2- _____ | edad: _____ |
| 3- _____ | edad: _____ |
| 4- _____ | edad: _____ |
| 5- _____ | edad: _____ |
| 6- _____ | edad: _____ |

Además que toda la información que se obtenga de este estudio serán manejados de
forma confidencial, y que los resultados finales me serán entregados personalmente
cuando estén disponibles.

Nombre y firma del Responsable de la familia

Nombre y firma del Encuestador

Fecha _____



FE,
FAMILIA
Y COMUNIDAD!

CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!

MINISTERIO DE SALUD

Complejo Nacional de Salud "Dra. Concepción Palacios,

(添付資料 2) 問診調査票 (サンフランシスコリブレ版)

Cuestionario para los/as Destinatarios/as del Análisis de Mercurio en el Cabello

Código de la encuesta: _____ [コード番号]

10. Nombre : _____ [氏名]

11. Sexo: Femenino (0) / Masculino (1) [性別]

12. Edad : _____ años [年齢]

13. Barrio o comunidad donde vive: _____ [住所] _____

14. Ocupación actual (Respuesta múltiple): [職業]

a: Pescador [漁業]

b: Agricultor [農業]

c: Comerciante [商業]

d: Obrero [労務]

e: Doméstica [メイド]

f: Profesional [専門職]

g: Ama de casa [家事]

h: Estudiante [学生]

i: No trabaja [無職]

j: Otros (_____) [その他]

15. Historia educacional: [学歴]

¿Sabe leer y escribir? [読み書きはできますか] Sí (1) / No (0)

1: Primaria incompleta [小学校中退]

2: Primaria completa [小学校卒業]

3: Secundaria incompleta [中高校中退]

4: Secundaria completa [中高校卒業]

5: Universitaria [大学]

16. ¿Padece de diabetes? [糖尿病ですか, 不明含む] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)

17. ¿Padece de hipertensión arterial? [高血圧ですか, 不明含む] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)

18. ¿Cada cuánto tiempo come pescado? [魚を食べる頻度]

1: Todos los días : () vez/**veces** por día [毎日: 1日 ()回]

2: Algunas veces: () vez/**veces** por semana [時々: 週 ()回]

3: Casi nunca (menos de una vez por semana) [週に1回未満]

4: Nunca [食べない]

9.1 Cuando consume el pescado, ¿cuál es el método más frecuente de preparación? (Respuesta múltiple) [魚の調理・食べ方(複数回答)]

a: Sopa de pescado (consume la carne del pescado) [スープで煮た魚肉を食べる]

b: Sopa de pescado (solamente la sustancia y no consume la carne de pescado)
[スープをとる(肉は食べない)]

c: Pescado frito [油で揚げる]

d: Pescado asado [焼く]

e: Otra manera de preparar () [その他]

10. ¿Cuál es el tamaño de los pescados que consume? (En el caso de sopa, se considera solamente cuando se come la carne del pescado.) (Respuesta múltiple) [おもに食べる魚の大きさ(複数回答)]

a: Pequeño [小型]

b: Mediano [中型魚]

c: Grande [大型魚]

d: Muy grande [特大魚]

11. ¿Come los siguientes pescados? (Respuesta múltiple) [よく食べる魚種(複数回答)]

a: Guapote: Sí (1) / No (0) b: Mojarra: Sí (1) / No (0)

c: Tilapia: Sí (1) / No (0) d: Guabina: Sí (1) / No (0)

e: Lagunero: Sí (1) / No (0) f: Sábalo: Sí (1) / No (0)

g: Corvina: Sí (1) / No (0) h: Pargo: Sí (1) / No (0)

i: Macarela: Sí (1) / No (0)

j: Otros pescados que come frecuentemente (_____)

12. ¿Cómo consigue el pescado que consume? (Respuesta múltiple) [魚の入手方法(複数回答)]

a: Lo compra en el supermercado [スーパー]

b: Lo compra en el mercado local [地域の市場]

c: Lo compra del vendedor ambulante [行商人]

d: Lo obtiene (comprado o regalado) del pescador [漁師]

- e: Lo pesca en el lago o río [湖や川で捕獲]
- f: Come en comedierías o restaurants [食堂]
- g: Otros () [その他]
13. ¿Utiliza usted cremas o jabones aclaradoras de la piel? Sí (1) / No (0)
[脱色クリーム・石けんの使用の有無, 「有」の場合は名称]
En caso de sí, ¿cuál es el nombre de la crema? (_____)
14. ¿Se hizo un tratamiento permanente para encrespar o alisar el cabello en los últimos tres meses? パーマの使用の有無 Sí (1) / No (0)
15. ¿Se cansa con facilidad? [疲れやすい] Sí (1) / No (0)
16. ¿Tiene problemas para identificar algunas veces los olores? [臭いがわからないことがある] Sí (1) / No (0)
17. ¿A veces tiene problemas para identificar los sabores? [味がわかりにくいことがある] Sí (1) / No (0)
18. ¿A veces se siente mareado(a)? [よく目まいがする] Sí (1) / No (0)
19. ¿A veces tiene dolor de cabeza? [よく頭痛がする] Sí (1) / No (0)
20. ¿Piensa que se ha vuelto mas olvidadiso(a)? [物忘れするようになった] Sí (1) / No (0)
21. ¿Tiene adormecimiento en las manos o los pies? [手足にしびれがある] Sí (1) / No (0)
22. ¿Tiene trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies? [手足に感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
23. ¿Tiene adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca? [口の周りにしびれや感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
24. ¿Tiene temblor en las manos? [手が震える] Sí (1) / No (0)
25. ¿Tiene alguna dificultad para caminar recto? [まっすぐ歩けない] Sí (1) / No (0)
26. ¿A veces le han dicho que habla arrastrado o no se le entiende? [聴き取りにくい話し方になる] Sí (1) / No (0)
- 26-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
27. ¿Tiene alguna dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos? [人の話や音が聞き取りにくい] Sí (1) / No (0)
- 27-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
28. ¿A veces tiene zumbido en los oidos? [耳鳴りがする] Sí (1) / No (0)
29. ¿Alguna vez trabajó en la empresa ELPESA (Penwalt S.A.)? Sí (1) / No (0)
En caso de “Si”, [ELPESA 就労経験:「有」の場合は期間・業務]

29-a: Período en que trabajó en ELPESA: del (año _____) al (año _____)

29-b: Trabajo que realizó en ELPESA (_____)

Fecha de entrevista: Día _____ Mes _____ Año _____ [調査日]

Recolección de muestra de cabello: Sí (Fecha: Día _____ Mes _____ Año _____) / No [毛髪採取と採取日]

Origen de la muestra/parte del cuerpo de donde se extrajo la muestra (Respuesta múltiple)

[試料採取部位 (複数回答)]

a: Cabello [頭] b : Brazo [腕]

c: Pierna [脚] d: Pecho [胸]

e: Otros (Barba, etc.) [ヒゲ, ほか]

Sitio de entrevista: (Municipio _____ Barrio _____) [調査地点]

Nombre del/a entrevistador(a): (_____) [調査員]

Recolección de muestra de cabello/pelo: Sí (Fecha: Día _____ Mes _____ Año _____) / No

毛髪水銀濃度とメチル水銀の安全摂取量その他の参照値

・メチル水銀暴露のバイオマーカーとしての毛髪総水銀濃度

メチル水銀は毛髪に濃縮される性質があり、人体では血中濃度に比較して毛髪水銀の濃度は平均約 250 倍となる。このような性質は無機水銀にはないため、毛髪総水銀濃度によってメチル水銀の曝露評価を行うことができる。

一方、無機水銀を含む化粧品・石けんなどが流通している国もあるため、毛髪試料に無機水銀の外部付着がないことを確認する必要があることもある。

・毛髪水銀濃度からメチル水銀暴露量の換算式

毛髪水銀濃度とメチル水銀摂取量の関係は、米国 National Research Council (NRC, 2001) の換算式に拠った。これは次のように表される。

メチル水銀週間摂取量 ($\mu\text{g/kg-bw/week}$) = $0.74 \text{ (g/kg-bw/week)} \times \text{毛髪水銀濃度}$
($\mu\text{g/g}$)

・最大無作用量と耐容摂取量

最大無作用量 (Non Observed Adverse Effect Level: NOAEL) とは、それを超えると影響が出現しはじめる曝露量のことである。

耐容摂取量 (tolerable intake) は自然界にもともと存在する有害化学物質について、安全性が十分に保証される摂取量を表す。食品添加物など人工的に添加する化学物質については、ほとんど同じ意味で、許容摂取量 (acceptable intake) と言う。

最大無作用量と耐容摂取量の関係は次のとおり。

耐容摂取量 = 最大無作用量 $\times$ $1 / \text{不確実係数 (uncertainty factor)}$

最大無作用量のデータが動物実験による場合は、不確実係数として少なくとも 100～1000 倍の係数が使われる。一方、人でのデータが得られているメチル水銀については、個人差の可能性などを考慮した結果として 4～10 倍の係数が用いられる。

耐容摂取量は、研究の進展等によって見直しを行うことを前提としており、一週間の摂取を単位として、暫定的耐容週間摂取量 (provisional tolerable weekly intake, PTWI) として使用されることが多い。

・メチル水銀の最大無作用量 (神経障害)

メチル水銀によるもっとも顕著な健康影響は神経系の障害で、なかでも手足の感覚異常が最初に増加する。日本の新潟水俣病や、イラクの農薬 (小麦種子の消毒薬) 事故などの事例によると、感覚異常の最大無作用量は毛髪水銀濃度で 50～125 ppm である。この報告書では、このうちもっとも低い 50 ppm を引用した。

- ・メチル水銀の最大無作用量（胎児影響）

メチル水銀にもっとも高い感受性を示すのは胎児の神経系の発育である。現在では生涯を通じたメチル水銀の耐容摂取量の算定の根拠として胎児影響の最大無作用量が使われる。胎児影響の有無は生まれた子どもの発育を学童期まで追跡し、言語・注意・言語記憶・視覚空間・運動能力などの能力を様々な検査によって調べる。

胎児影響の最大無作用量の疫学データは、デンマークのフェロー諸島ならびにセイシェル共和国で行われた大規模な母子追跡調査によるものがある。この結果に基づき、国際機関（食品添加物に関する FAO と WHO の合同専門家委員会： Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA）は、最大無作用量として、母親の毛髪水銀濃度で 14 ppm, メチル水銀の摂取量で $1.5 \mu\text{g/kg/day}$ とした (WHO, 2003)。

さらに、米国科学評議会 (National Research Council, NRC) も、同じくフェロー諸島のデータに基づき、最大無作用量を臍帯血水銀濃度で 58 ppb, これに相当する母親の毛髪水銀濃度を 12 ppm とした (NRC, 2000),

また、日本の食品安全委員会もフェロー諸島およびセイシェルのデータに基づき、母親の毛髪水銀濃度で 11 ppm, メチル水銀摂取量で $1.17 \mu\text{g/kg/day}$ を最大無作用とした (FSCJ, 2005)。本報告書では、これら 3 者の中でもっとも低い毛髪水銀濃度 11 ppm を引用した。

- ・胎児期の最大無作用量から求めた暫定的耐容週間摂取量 (PTWI)

JECFA : $1.6 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) 最大無作用量を $10.5 \mu\text{g/kg/week}$, 不確実係数を 6.4 とし, PTWI を $1.6 \mu\text{g/kg/week}$ とした。この PTWI を毛髪水銀濃度に逆算すると 2.2 ppm に相当する。

FSCJ : $2.0 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) 最大無作用量を $8.19 \mu\text{g/kg/week}$, 不確実係数を 4 とし, PTWI を $2.0 \mu\text{g/kg/week}$ とした。この PTWI を毛髪水銀濃度に逆算すると 2.8 ppm に相当する。

米国 NRC, EPA : $0.7 \mu\text{g/kg/week}$, (解説) NRC は最大無作用量に対する不確実係数を 10 とし, 生涯を通じて有害影響が見られない参照値 RfD を $0.1 \mu\text{g/kg/day}$ とした (NRC, 2000)。これを毛髪水銀濃度に逆算すると 1.1~ 1.2 ppm に相当する。

- ・ベンチマーク用量

人の疫学的データに基づいて、非特異的影響の最大無作用量を決定する際に用いられる数理モデルの概念。メチル水銀の影響が見られない集団における検査スコア (点数) の分布において、例えば、下位 5% のスコアを異常値とみなしたとする。メチル水銀がこの検査結果に影響するのであれば、その暴露量が大いほど異常値を示す個体頻度は (5% 以上に) 増加するであろう。このとき、異常値の出現頻度が 10% になるような曝露量をベンチマーク用量 (Benchmark dose: BMD) と定義する。さらに、ベンチマーク用量の 95% 信頼下限値 (lower limit of 95% confidence interval) を BMDL と表し、最大無作用量に相当する曝

露量と考える。

- ・日本における毛髪水銀濃度

日本全国 14 地域で国立水俣病総合研究センターが実施した調査によると、日本の集団における平均毛髪水銀濃度（幾何平均）は、女性が 1.7 ppm, 男性が 2.5 ppm であった。また、2.2 ppm を超えるのは出産年齢女性の 25%, 全女性の 32%, 男性の 44%, 5 ppm を超えるのは女性の 3%, 男性の 14% であった。

メチル水銀暴露調査報告書

第3部 メチル水銀暴露による住民の健康リスク評価について

1 調査方法ならびに対象

a. 解析対象データ

Tipitapa 市（報告書第1部）および San Francisco Libre 市（報告書第2部）の暴露調査で得られた毛髪水銀濃度データおよび問診調査票結果に加え、これら調査に付随して Managua 市内で採取・調査した毛髪および調査票のデータを総合して集計・解析した。

b. 解析方法

多変量解析は、統計解析ソフト IBM SPSS Statistics ver.21（日本 IBM）を使用し、重回帰分析及び多重ロジスティック回帰分析を実施した。解析にあたっては毛髪水銀濃度の対数変換値を用いた。

2. 結果

a. 試料数・濃度分布・平均濃度

リスク評価の解析対象は 1,345 で、うち女は 788、男は 557 であった（表 1）。対象者の性年齢別分布を図 1 に、毛髪水銀濃度の分布を図 2 に示す。対数変換した毛髪水銀濃度の分布（図 3）は、主要 2 集団における分布の違いを反映して低濃度側に裾がやや広がったが、毛髪水銀濃度の分布はほぼ対数正規分布に従うと見なして以下の解析を行った。

表 1 より、対象者の平均年齢は女 28.8 歳、男 25.8 歳であった。毛髪水銀濃度の幾何平均は全対象者で 0.53 ppm、女 0.49 ppm、男 0.59 ppm、中央値は全対象者で 0.59 ppm、女 0.55 ppm、男 0.64 ppm で、幾何平均とはわずかなずれが認められた。参考までに、日本の一般集団の毛髪水銀濃度の幾何平均は、男 2.5 ppm、女 1.6 ppm で、これに比較してニカラグア調査の濃度はかなり低かった。毛髪水銀濃度（幾何平均）は図 4 に示すように、年齢によって変化し、これは魚介類の摂取傾向が年齢とともに変化するためと考えられる。

図 5 に示すように、毛髪水銀濃度は魚介類の摂取頻度に依存していた。これをさらに詳細に検討するため、性別・年齢・魚介類摂取頻度・居住地（Tipitapa および San Francisco Libre）を独立変数とする重回帰分析により、毛髪水銀濃度の規定因子を調べた。その結果、表 2 に示すように、年齢、魚介類摂取頻度および San Francisco Libre が毛髪水銀濃度と有意の正の相関を示した。

メチル水銀の各種参照値（基準値）レベルの暴露に相当する毛髪水銀濃度に対して、これを超過する頻度を表 3 に示す。感覚障害の最大無作用レベルである毛髪水銀 50 ppm を超過したものはなく、胎児発達影響の最大無作用レベル（の最小値）である毛髪水銀 11 ppm を超過したものの 0.5% と非常に低かった。一方、耐容摂取量レベルに相当する毛髪水銀濃

度である 2.2 および 2.8 ppm に対する超過頻度はそれぞれ、11.8%（全女 8.6%，出産年齢の女 10.7%，男 16.3%），8.6%（全女 5.2%，出産年齢の女 6.8%，男 13.8%）であった。また、米国 EPA の RfD にほぼ相当する 1.0 ppm の超過頻度は 35.4%（全女 33.2%，出産年齢の女 39.4%，男 35.4%）であった。なお、日本の一般集団における各超過頻度（男女合計）は、11 ppm : 1%，5 ppm 10%，2.8 ppm 35%，2.0 ppm : 48%，1.0 ppm : 86%で、本調査結果と比較して 2 倍～4.1 倍高い。

c. 健康状態との関係

健康・身体状況では 30 歳以上の参加者 567 例について、糖尿病・高血圧・神経症状 14 項目の自覚症状の有無，2 項目の調査者所見，およびこれら自覚・他覚 16 項目の陽性項目数をアウトカムとして、多変量解析により毛髪水銀濃度との相関性を検討した。このとき交絡因子として、糖尿病・高血圧の有無，性別，年齢および漁業従事，居住地（Tipitapa, San Francisco Libre）で調整し，陽性項目数については重回帰分析による偏回帰係数を求め，陽性項目数以外のアウトカムについては多重ロジスティック回帰分析による調整オッズ比を求めた。この結果は表 4 に示すように，毛髪水銀濃度は陽性項目数に対して有意に負の回帰係数を示した。また，「物忘れ」，「手の震え」，「まっすぐ歩けない」の調整オッズ比は有意に 1 より小さい値を示した。すなわちこれら 4 項目では，毛髪水銀濃度が高いほどそのリスクが減少することを示していた。同様に，漁業従事者では「臭いがわかりにくい」の調整オッズ比が有意に 1 より小さかった。毛髪水銀濃度については，前述したように感覚障害の最大無作用量を超えた例はなく，さらに，神経症状と負の相関性を示したことは，メチル水銀暴露量が十分低い場合には，魚介類の摂取による栄養素摂取等がこれら健康状態に便益効果をもたらしている可能性を示唆している。なお，比較的低い毛髪水銀濃度が見かけ上の便益効果を示す例は，妊娠中の毛髪水銀濃度と新生児の出生時体重などでも報告されている（Miyashita et al, 2015, Sci Total Environ, 533, 256 など）。

一方，これら以外の調整項目では，糖尿病と高血圧の相互に強い相関が検出されたほか，高血圧は神経症状の陽性項目数，および，しびれなど神経症状 6 項目と正の相関を示し，糖尿病は陽性項目数および「手足のしびれ」と正の相関を示した。また，年齢は糖尿病・高血圧のほか神経症状では陽性項目数，および感覚異常など 6 項目の自覚・他覚症状と正の相関が検出され，さらに性別では 4 項目で女のリスクが，1 項目では男のリスクが有意に高かった。これら一般的な健康リスク因子の影響が検出されたことは，本調査結果に基づくメチル水銀暴露の健康リスク評価の妥当性を補強するものと考ええる。なお，対象を 15 歳以上とした解析においてもほぼ同様の傾向が認められた（データ未掲載）。

表 4 健康状態に対する各因子の偏回帰係数あるいは調整オッズ比 *

項目	解析法	性（男）	年齢	漁業従事者	糖尿病	高血圧	毛髪水銀濃度(対数)
糖尿病	ロジスティック回帰	ns	1.054 (1.027 / 1.081)	ns		7.666 (3.589 / 16.376)	ns
高血圧	ロジスティック回帰	0.404 (0.233 / 0.703)	1.038 (1.021 / 1.055)	ns	7.311 (3.436 / 15.557)		ns
陽性愁訴項目数	重回帰	ns	0.029 (0.009 / 0.049)	ns	1.181 (0.288 / 2.075)	1.307 (0.755 / 1.858)	-0.227 (-0.424 / -0.030)
疲れやすい	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	2.775 (1.807 / 4.261)	ns
臭いがわかりにくい	ロジスティック回帰	ns	ns	0.122 (0.015 / 0.991)	ns	ns	ns
味が分かりにくい	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	2.408 (1.107 / 5.236)	ns
目まい	ロジスティック回帰	0.513 (0.327 / 0.806)	ns	ns	ns	2.203 (1.449 / 3.351)	ns
頭痛	ロジスティック回帰	0.558 (0.359 / 0.867)	ns	ns	ns	2.661 (1.690 / 4.190)	ns
物忘れ	ロジスティック回帰	ns	1.015 (1.000 / 1.031)	ns	ns	ns	0.852 (0.733 / 0.990)
手足のしびれ	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	2.701 (1.274 / 5.728)	2.296 (1.518 / 3.475)	ns

手足の感覚異常	ロジスティック回帰	ns	1.033 (1.014 / 1.053)	ns	ns	ns	ns
口唇周辺の痺れ	ロジスティック回帰	0.377 (0.146 / 0.974)	ns	ns	ns	2.253 (1.181 / 4.299)	ns
手の震え	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	ns	0.767 (0.622 / 0.946)
まっすぐ歩けない	ロジスティック回帰	ns	1.024 (1.002 / 1.047)	ns	ns	ns	0.658 (0.523 / 0.829)
口のもつれ	ロジスティック回帰	ns	ns	ns	ns	ns	ns
口のもつれ (調査者所見)	ロジスティック回帰	3.364 (1.223 / 9.251)	ns	ns	ns	ns	ns
聞こえにくい	ロジスティック回帰	ns	1.042 (1.020 / 1.065)	ns	ns	ns	ns
聞こえにくい (調査者所見)	ロジスティック回帰	ns	1.045 (1.017 / 1.073)	ns	ns	ns	ns
耳鳴り	ロジスティック回帰	ns	1.017 (1.001 / 1.033)	ns	ns	ns	ns

結論

漁村地区を含むソロトラン湖（マナグア湖）の周辺住民の毛髪水銀濃度及び問診調査の結果，住民におけるメチル水銀暴露による健康リスクは極めて小さいと考えられる。

諸外国の水銀に対する基準

国・国際機関	物 質	淡水	底質	土壌	大気
英国	水銀	0.05 $\mu\text{g/l}$ (内陸水、溶存態)			0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 年平均値、予測レベル
カナダ	水銀	0.026 $\mu\text{g/l}$	海域：0.13 mg/kg (乾燥重量) 淡水：0.17 mg/kg (乾燥重量)	農地：6.6 mg/kg (乾燥重量)	
オランダ	水銀	0.05 $\mu\text{g/l}$ (<10m) 0.01 $\mu\text{g/l}$ (>10m) (地下水・目標値)	0.3 mg/kg (乾燥重量)	0.3 mg/kg (乾燥重量)	
アメリカ	水銀・メチル水銀	急性：1.4 $\mu\text{g/l}$ 慢性：0.77 $\mu\text{g/l}$	海域：0.41 mg/kg (ワシントン州) 淡水に対する基準値なし		大気環境基準なし
WHO	水銀		海域：20-100 $\mu\text{g/kg}$		1 $\mu\text{g Hg} / \text{m}^3$ (年平均値)
日本	水銀	溶存態淡水：0.5 $\mu\text{g/l}$	浚渫基準：>25mg/kg 0.1mg/kg (乾燥重量)	溶出量基準：0.5 $\mu\text{g/l}$ 以下 かつアルキル水銀は検出 されないこと 含有量基準：>15 mg/kg	水銀（水銀蒸気） >40 ng Hg / m^3 (年平均値) 指針値
EU	水銀および水銀化合物	溶存態：0.05 $\mu\text{g/l}$ 全：1.0 $\mu\text{g/l}$			
ドイツ	水銀	0.05 $\mu\text{g/l}$			
オーストラリア	水銀	99%保護：0.06 $\mu\text{g/l}$	0.01 mg/kg		
ニュージーランド	水銀	99%保護：0.06 $\mu\text{g/l}$			
中国	水銀	地下水：0.5 $\mu\text{g/l}$ 農業用水：1.0 $\mu\text{g/l}$		自然保護区：0.15 mg/kg 耕地・牧場：0.3-1.0 mg/kg (pH 依存) 林地・鉱山近隣：1.5 mg/kg	
CAPRE	水銀	飲料水：1 $\mu\text{g/l}$			

各国・国際機関の魚介類水銀規制値および摂取注意事項

国	販売魚介類の水銀規制値		注意事項	
	機関 年	基準値	機関 年	内 容
オーストラリア	オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関(FSANZ)	販売魚 1.0 mg/kg : 水銀濃度の高い魚 (メカジキ、クロマグロ 等) 0.5 mg/kg : その他の魚種	オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関 2004 年	一般：ほとんどの魚について週に 2～3 回。一回あたりの摂取量は 150 g (あるいは冷凍魚で 2 片), ただし 6 歳までの子どもは一回 75 g。メカジキ, マカジキは週 1 回まで。 妊婦, 妊娠を考えている女性, 年少の子ども: 健康的な食品として様々な種類の魚を食べるのが良い。メカジキ, マカジキについては 2 週間に 1 回までとし, この間, ほかの魚は食べない。ナマズは, 週に 1 回までとし, この間ほかの魚は食べない。
ニュージーランド				
カナダ	保健省 2002	総水銀 0.5 mg/kg, 但しメカジキ, 生/冷凍マグロ (缶詰以外) を除く。	保健省 2002 年改定	メカジキ、生/冷凍マグロ (除缶詰) の摂取について 一般 : 週 1 回まで。 妊婦・出産年齢女性・幼児 : 月 1 回まで。 カナダ食品ガイドに従い, 週に数回は魚を食べるとよい。
国際食品規格委員会	コーデックス Alimentarius Commission 2005	魚のメチル水銀 : 大型肉食魚 : 1 mg/kg, その他の魚 : 0.5 mg/kg	註) 大型肉食魚 (案); カツオ, マカジキ, タイ, メカジキ, マグロ等	
EC	欧州委員会 2001, 2002	0.5 mg/kg (湿重量) 自然界で水銀を蓄積する特定種については 1 mg/kg	特定種 : , カツオ, マカジキ, メカジキ, マグロ等	
アイルランド			食品安全局 (FSAI) 2004 年	妊婦, 授乳中の母親, 出産年齢の女性, 幼児 : メカジキ, マカジキを食べないようにし, マグロについては生のマグロステーキは週 1 回まで, 8 oz のツナ缶は週に 2 回まで。これ以外の魚はバランスのとれた食品として食べ続けるべき。 上記以外の人 : メカジキ, マカジキについては週 1 回まで。マグロについては制限の必要なし。 すべての人は週 1～2 回魚を食べるべきで, うち 1 回はサケのような油分の多い魚がよい。

日本	厚生省 1973	平均総水銀濃度：0.4 ppm 平均メチル水銀濃度：0.3 ppm ただし、内水面水域およびマグロ類には適用しない。内水面水域で汚染がある場合、およびマグロ類多食者には食生活指導を行う。	厚生労働省 2005 年	妊婦、妊娠の可能性のある人：クジラ（イルカ）2 種は 2 か月に 1 回あるいは 2 週間に 1 回まで。 メカジキ、クロマグロなど 7 種は週に 1 回まで マカジキ、ミナミマグロなど 7 種は週に 2 回まで いずれも 1 回 の摂取量は 80 g
メキシコ		魚介類（冷蔵・冷凍品）の水銀濃度は 1 ppm を超えてはならない 缶詰ではメチル水銀で 0.5 ppm を超えてはならない。		
ノルウェー			食品衛生監視局（SNT） 2003 年	授乳中の母親：クジラは食べない 妊婦：カジキ、マグロは避けるほうがよい
デンマーク			獣医・食品管理局 2004 年	妊娠を考えている女性、妊婦、授乳中の母親、14 歳未満の子ども：マグロ、スズキ、メカジキは週に 100 グラム未満
英国		魚介類水銀規制値は EC 基準による	食品基準庁 2004 年	妊婦、妊娠を考えている人、16 歳以下の子ども：サメ、メカジキ、マカジキを食べてはいけない。 妊婦、妊娠を考えている女性：ツナ缶は週 4 缶まで、マグロステーキは週 2 回まで。 16 歳以上の人：サメ、メカジキ、マカジキは週 1 回まで。週に少なくとも 2 回は魚を食べ、うち一回は油分の多い魚がよい。
米国	アメリカ食品医薬品局	メチル水銀規制値：1 ppm	アメリカ食品医薬品局、米国環境庁 2004 年	妊娠の可能性のある人、妊婦、授乳中の母親、幼児： ・メカジキなど 4 種は食べてはいけない ・水銀濃度の低い魚は週に 12 オンス（340 g）（平均的には週に 2 回）までいろいろな種類を食べること。 ビンナガマグロは週に 6 オンス（170 g）までとする。 ・地域の湖畔や川・海岸で個人が釣る魚については、各地域の勧告に注意する。特に注意事項がない場合、週に 6 オンス（平均的には週一回）までとする。幼児については量を減らす。

魚種別メチル水銀蓄積量及び暫定週間耐用摂取量との比較対象(日本の方法による)
 (体重は60kgとして計算(体重kgあたりに計算するため、60で1回摂取あたりのMe-Hg量を割る))

魚種	総水銀濃度 mg/kg, ppm 平均	MeHg 濃度 mg/kg, ppm T-Hgの95%	摂食量 g/日	MeHg ug /week					
				週あたりの摂食回数					
				1	2	3	4	5	6
グアビーナ	0.23	0.219	50	0.18	0.36	0.55	0.73	0.91	1.09
			80	0.29	0.58	0.87	1.17	1.46	1.75
			100	0.36	0.73	1.09	1.46	1.82	2.19
			150	0.55	1.09	1.64	2.19	2.73	3.28
			170	0.62	1.24	1.86	2.48	3.10	3.71
			200	0.73	1.46	2.19	2.91	3.64	4.37
グアポーテ	0.465	0.442	50	0.37	0.74	1.10	1.47	1.84	2.21
			80	0.59	1.18	1.77	2.36	2.95	3.53
			100	0.74	1.47	2.21	2.95	3.68	4.42
			150	1.10	2.21	3.31	4.42	5.52	6.63
			170	1.25	2.50	3.75	5.01	6.26	7.51
			200	1.47	2.95	4.42	5.89	7.36	8.84
ラグネロ	0.45	0.428	50	0.36	0.71	1.07	1.43	1.78	2.14
			80	0.57	1.14	1.71	2.28	2.85	3.42
			100	0.71	1.43	2.14	2.85	3.56	4.28
			150	1.07	2.14	3.21	4.28	5.34	6.41
			170	1.21	2.42	3.63	4.85	6.06	7.27
			200	1.43	2.85	4.28	5.70	7.13	8.55
モハラ	0.251	0.238	50	0.20	0.40	0.60	0.79	0.99	1.19
			80	0.32	0.64	0.95	1.27	1.59	1.91
			100	0.40	0.79	1.19	1.59	1.99	2.38
			150	0.60	1.19	1.79	2.38	2.98	3.58
			170	0.68	1.35	2.03	2.70	3.38	4.05
			200	0.79	1.59	2.38	3.18	3.97	4.77
ティラピア	0.023	0.022	50	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
			80	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17
			100	0.04	0.07	0.11	0.15	0.18	0.22
			150	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33
			170	0.06	0.12	0.19	0.25	0.31	0.37
			200	0.07	0.15	0.22	0.29	0.36	0.44

MeHgのPTWI(JECFA)である 1.6 ug/kg-body weight/week の50%量である 0.8 ug を超えるもの(日本では1種類ではなく2種類以上の魚を摂食するとの考えからPTWIの50%とした)。

ソロトラン湖の水質、底質および魚肉中の水銀モニタリング計画(案)

1. 目的

ソロトラン湖には1967年から1992年まで湖畔で操業していた化学工場の廃水を通して流入して40トンの水銀が流入したと言われており、工場の操業停止後25年経過した現在も残留水銀による汚染が懸念されている。この他にもソロトラン湖には周辺にあるモモトンボ火山等に由来する水銀を含んだ地下水の流入、火山からの噴気ガス、小規模金鉱山からの水銀含有廃水の流入の可能性があるとして予想されているため、水銀による湖水および湖で生息する魚への影響が懸念されていた。

JICAが2016年から2年間実施した「ニカラグア国水銀調査・分析能力向上プロジェクト」によって行なった水銀汚染概要調査によって水質はWHOの飲料水に対する水銀の基準値以下であり、底質中の水銀も汚染範囲は化学工場からの排水流入地点周辺に限定されていることが明らかになった。一方、一部の食用の魚からは国際的な食品規格（Codex）が水銀に対して設定した基準値（0.5ppm）を超える水銀が検出された。

ソロトラン湖で捕獲される魚は、当該湖周辺の住民に対する貴重な栄養源となっており、水銀による魚の汚染の防止は、水産資源の保護の観点から重要な課題となっている。

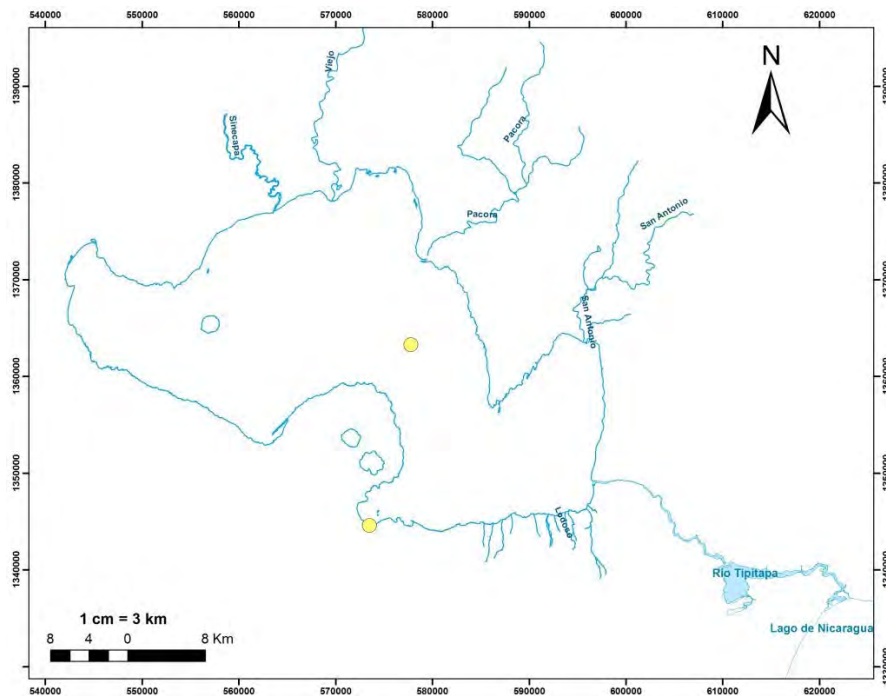
ソロトラン湖の湖水、底質中の水銀濃度は、現時点で予測不可能な要因によって変化する可能性もあり、その結果が魚肉中の水銀濃度に影響を及ぼす可能性も考えられることからソロトラン湖の湖水、底質および魚肉中の水銀濃度変化を把握することを目的としてモニタリングを実施する。

2. 実施内容

(1) 水質

ア. 採水場所

採水場所は、湖の中心部（UTM E577770 N1363230）および旧化学工場の排水口前面水域（UTM E573460 N1344590）の湖岸にちかい場所の2カ所とする。採水位置は、GPSにより確認する。ただし、水位等の事情により、試料の採取が困難な場合は、採取地点を変更しても良いが、変更した採取地点の緯度経度を記録すること。



イ. 採水頻度

採水は、年 2 回、ソロトラン湖の水位が最も高くなる雨季末期および水位が最も低下する乾季末期に各 1 回行う。

ウ. 採水方法

表層及び湖底より上方 1m の 2 か所とするが、水深が 2m 以下の場合は、表層のみとする。表層部は、直接バケツ等により採取する。湖底より上方 1m 部の水については、バンドーン式水採取装置により採取する。採取された湖水はあらかじめ用意された 1 リットルのペットボトルに口一杯まで入れ蓋を閉める。試料の入ったペットボトルは、氷を詰めたクーリングボックス内で光を避けて保管する。

エ. 現地測定項目

採水地点における測定項目は、水深、水温、気温、pH、電気伝導率、溶存酸素濃度とする。

オ. 保存

ペットボトルに採取された水サンプルは、そのまま -60°C 以下のウルトラフリーザーで保管する。

カ. 分析

試料中の溶存態総水銀は、PON-MA-04「NIMD 法による溶存態分析総水銀分析手順」に従って分析する。

準手順」および PON-MA-08「湿式灰化-還元気化原子吸光光度法による底質、土壌中の水銀分析標準手順」に従って分析する。

(3) 魚肉

ア. 魚種

モニタリング対象の魚種は、モハラ グアポテ、ティラピア、グアビーナの4種類とする。

イ. 入手方法

モニタリング用の魚は、ティピタパ及びサンフランシスコリブレの集荷業者から入手し、入手量は、各魚種10匹程とする。

ウ. モニタリング頻度

モニタリング用の魚は、採取時期を一定にするため年1回入手する。

エ. 試料の保存

採取された魚肉試料は、そのまま-20℃以下のフリーザーで保管する。

オ. 分析

試料中の総水銀は、PON-MA-02「全自動水銀分析装置(DMA-80)による魚肉中の総水銀分析標準手順」および PON-MA-07「NIMD 法による魚肉中のメチル水銀分析標準手順書」、PON-MA-09「湿式灰化-還元気化原子吸光光度法による底質、土壌中の水銀分析標準手順」に従って分析する。