

SII-6

水俣条約の有効性評価に資するグローバル 水銀挙動のモデル化及び介入シナリオ策定 （JPMEERF20S20600）

プロジェクト全体説明

2023年6月30日（金）13:15～13:40 @Web会議システム（Webex）

研究代表機関：国立大学法人 京都大学

研究代表者：高岡昌輝（テーマ1リーダー）

テーマ2リーダー：中島謙一（国立環境研究所）

テーマ3リーダー：武内章記（国立環境研究所）

研究実施期間：令和2年度～令和4年度

研究分担機関名：国立環境研究所、福岡大学、東京工業大学、立命館大学、
国立水俣病総合研究センター

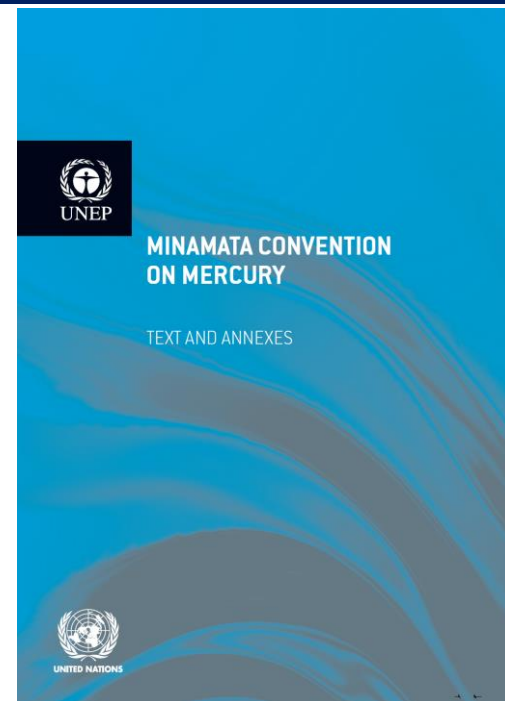
1. はじめに（研究背景等）

水銀に関する水俣条約の発効・着実な履行

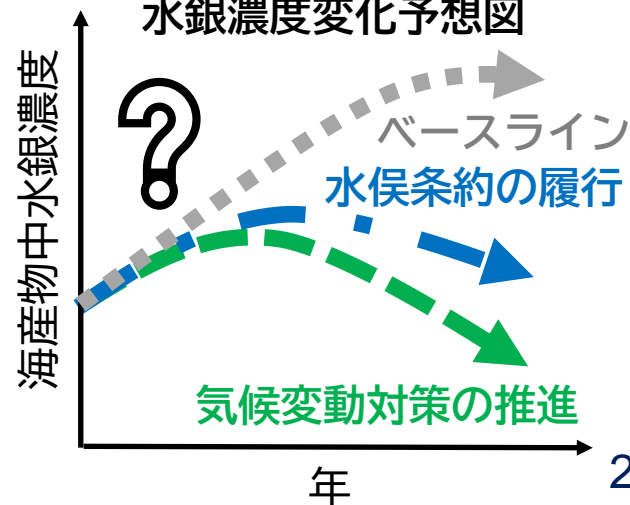
- 製品中の脱水銀化や製造プロセスの転換、より高度な排出・放出制御技術の適用等、様々な技術及び制度を複数組み合わせる対策
- これらの対策の**有効性評価**が必要

課題

- **ベースラインシナリオ**（現状）と対策効果を盛り込んだ「**介入シナリオ**」が必要であるが、介入シナリオには将来の社会変化を考慮したものでなければならない。
- 現状では、個別の対策の総合的な効果を定量的に把握・評価することが難しい。
- 自然環境下・人為的活動下での挙動を定量的に表現でき、将来予測や対策効果の**定量的評価に使えるモデルを開発・利用**していくことが望まれる。
- 介入シナリオを考慮したモデル計算により得られた環境中水銀濃度によりもたらされる推定曝露量がどの程度変化し、推移するのを見極めることも必要となる。



シナリオごとの海産物中水銀濃度変化予想図



2. 研究開発目的

水俣条約の有効性評価に資する科学的情報を提供することが目的で、ベースラインシナリオと介入シナリオにおける対策を評価可能な一連のモデルを作成することを目標とする。そのため、本研究課題では3つのテーマを設定し、これらを連携させて介入シナリオ策定、モデル開発を行う。具体的には今後の気候変動の影響などを考慮して水銀制御・管理技術を整理・評価し、人為的活動下でのグローバル・シナリオモデルを構築して介入シナリオを策定し、全球における水銀動態モデルを用いて海産物中のメチル水銀濃度を計算し、ヒトへの曝露量及びその推移を予測する。これらを統合して最終的に水俣条約の有効性を評価する。

テーマ1：人為的活動下での水銀制御・管理技術と健康リスク予測に関する研究

サブテーマ1-1：人為的活動下での水銀制御・管理技術の変遷調査と将来予測

サブテーマ1-2：ヒトへの水銀曝露リスク及びその推移の予測

テーマ2：有効性評価に資するシナリオ分析モデルの開発

サブテーマ2-1：資源の採掘活動・利用等に起因する水銀量のグローバル・シナリオモデルの開発設計と解析

サブテーマ2-2：ライフサイクル思考に基づく対策技術の導入に伴うトレードオフの解析

テーマ3：全球モデルを利用した水銀の生物蓄積及び生物曝露評価手法に関する研究

サブテーマ3-1：水銀のメチル化速度定数を付加した全球モデルの高度化と中長期予測

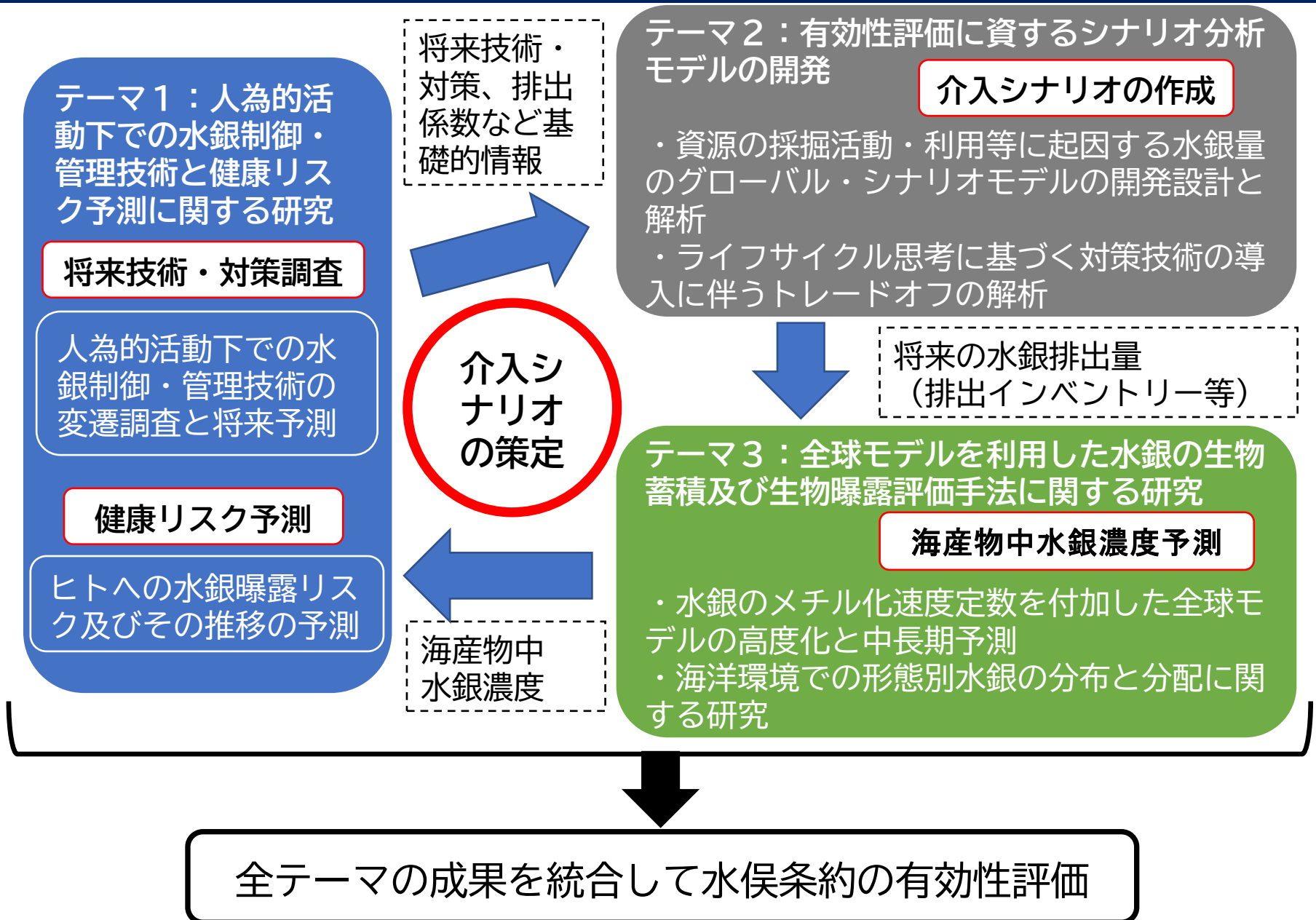
サブテーマ3-2：海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究

3. 研究目標

本プロジェクト全体では、水俣条約の有効性評価に資するため**ベースラインシナリオと介入シナリオにおける対策を評価可能な一連のモデルを作成することが目標である。**

- 現状から将来にわたる水銀制御・管理技術の整理・評価を行い、国内の施策や水俣条約やバーゼル条約でのガイドライン等に**技術的基礎情報を提供する。**
- 人為的起源による大気への水銀排出量の将来推計の**為のグローバル・シナリオモデルを開発し、水俣条約の履行および気候変動対策の双方を想定した複数の介入シナリオを策定し、中長期の水銀排出シナリオを定量的に描く。**
- 水銀の**グローバルモデルを用いて、複数の介入シナリオに応じた環境と海産物中のメチル水銀濃度を予測し、条約の中長期的効果を評価する。**
- 以上により、**ヒトへの曝露量**及びその推移の予測を行い、最終的に、本プロジェクト全体の成果を取りまとめることで、環境省向けに、締約国会議の各種議論の材料となるように、水俣条約の有効性評価の枠組み策定に向けた**オピニオンペーパー**を作成・発信する。

4. 研究開発内容



4. 研究開発内容（研究計画）

テーマ	サブテーマ	内容	2020	2021	2022
1. 人為的活動下での水銀制御・管理技術と健康リスク予測に関する研究	1-1 人為的活動下での水銀制御・管理技術の変遷調査と将来予測	現状及び将来の水銀制御技術の文献調査			
		将来の水銀制御技術の実験的研究			
		加速環境下での水銀廃棄物の長期安全評価			
		最終処分模擬環境下での水銀廃棄物の挙動調査			
		水俣条約の有効性評価			
	1-2 ヒトへの水銀曝露リスク及びその推移の予測	海産物中の水銀濃度の変化が健康リスクの変化に与える影響			
		水銀廃棄物の最終処分からの健康リスクの地域性及び将来変動評価			
2. 有効性評価に資するシナリオ分析モデルの開発	2-1 資源の採掘活動・利用等に起因する水銀量のグローバル・シナリオモデルの開発設計と解析	物質フロー・サプライチェーンモデルを応用した水銀排出量の推計モデルの開発及びデータ整備			
		統合評価モデルを応用した水銀排出量の推計モデルの開発及びデータ整備			
		各種パラメータ及びシナリオデータの作成と共有			
		将来の水銀排出削減シナリオの定量化			
	2-2 ライフサイクル思考に基づく対策技術の導入に伴うトレードオフの解析	水俣条約履行のための対策製品・プロセスの抽出・インベントリデータ整備			
		対策製品・プロセス導入の影響評価によるトレードオフの抽出及び市場への影響の定量化			
3. 全球モデルを利用した水銀の生物蓄積及び生物曝露評価手法に関する研究	3-1 水銀のメチル化速度定数を付加した全球モデルの高度化と中長期予測	同位体希釈法による形態別水銀質量分析手法の開発			
		西部北太平洋の水質・水銀調査、形態変化速度調査、そして分析、データ解析、まとめ			
		モデル検証用データベースの更新、モデルの高度化			
		メチル水銀の分布と全球含有量の現状、過去150年、そして将来の長期変動の再現と予測			
	3-2 海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究	西部北太平洋の水質・形態別水銀分布調査、分析、データ解析、まとめ			
		形態別水銀の挙動説明とメチル水銀の生物移行（分配）の定量化			
セミナー開催					
打ち合わせ会議					

5-1. 成果の概要

水俣条約で想定される対策では現状維持にしかならない。水銀対策の強化を急げ！

- ✓ 水俣条約で想定される排出削減の対策を講じたとしても、大気中水銀濃度は経済成長分を相殺するにとどまり、現状維持となる。
 - ✓ 気候変動緩和策は多くが水銀排出対策となるため、即座に対策を強化すべき。
 - ✓ 特にASGM対策に集中すべきであり、廃水銀の隔離も考慮した支援が必要。
 - ✓ 対策を講じないと、2050年での健康被害による経済損失は拡大。
 - ✓ 気候変動を考慮した戦略的な水銀モニタリング指針を確立すべき。
-
- テーマ内の定期的な会議及びその会議に他テーマの先生に入ってもらい、連携をとれるように実施（特に、テーマ2が共有データフォーマットを作成）。
 - 環境省（環境保健部水銀対策推進室、水・大気環境局大気環境課、環境再生・資源循環局廃棄物規制課）との定期的な意見交換
 - オピニオンペーパーを作成するための2022年後半からの環境省を交えた会合

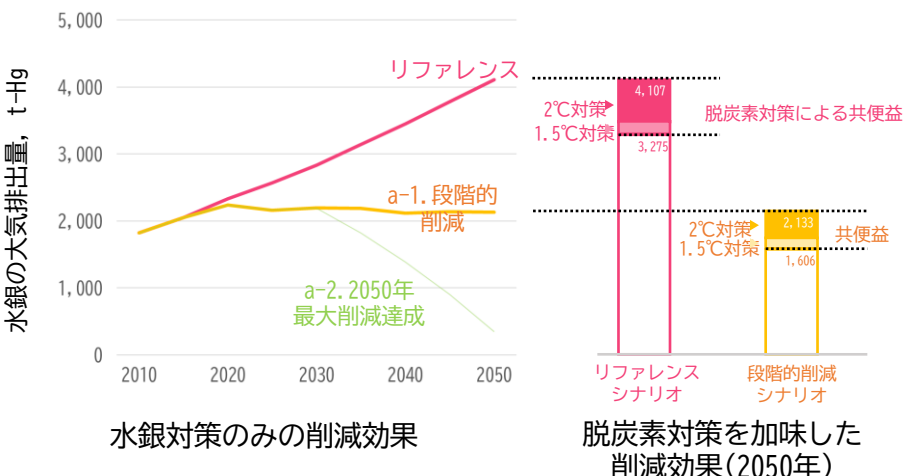
5-1. 成果の概要

人為起源による水銀の大気排出の最小化に向けて
脱炭素対策による共便益が期待できるが、バイオマス燃焼は要注意

水銀の排出源でのBAT/BEPの導入に加え、脱炭素対策の一環としての石炭消費量の削減や製鉄等の工業プロセスの脱炭素化なども原燃料起源の水銀排出の削減に貢献する。これらの効果を定量的に評価するため、主要発生源からの水銀排出量の将来推計のためのモデルと、将来シナリオを構築。

a. 水銀対策による削減効果

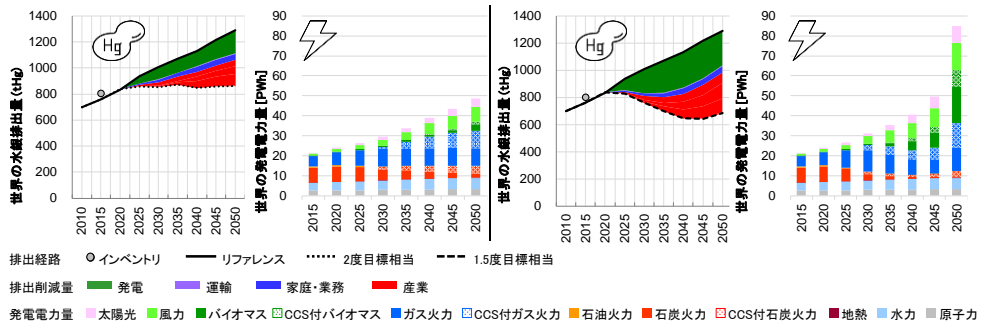
a-1) 段階的削減： エキスパートジャッジ等に基づく削減シナリオ
 a-2) 2050年最大削減達成： 現状で実装されている最高レベルの技術に、2050年に全ての国・地域が到達すること想定した削減シナリオ



b. 脱炭素対策による削減効果 (共便益)

b-1) 2°C目標相当

b-2) 1.5°C目標相当



脱炭素対策の電源構成と主要な脱炭素対策に伴う水銀削減効果 (ASGM・非鉄金属鉱業などを含まない)

水銀対策の導入により、大幅な水銀排出削減が見込めるが、段階的削減シナリオでは、2015年以降の経済成長に伴う排出増を相殺する程度に留まる。よって、共便益が期待できる脱炭素対策の導入と同時に、最大限の水銀対策の即時導入が求められる。(左図)

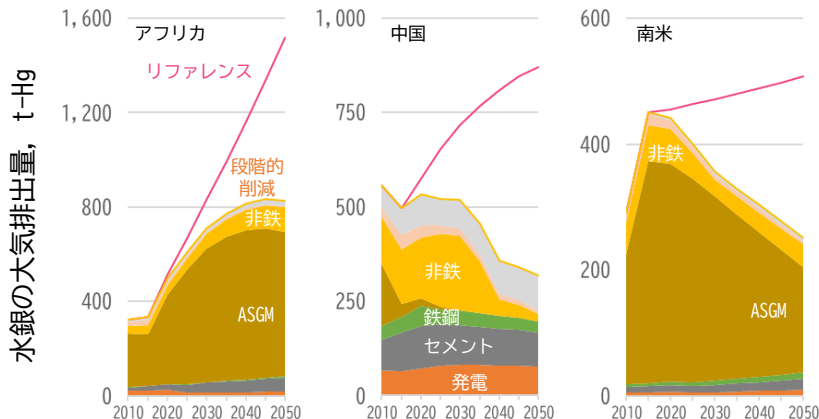
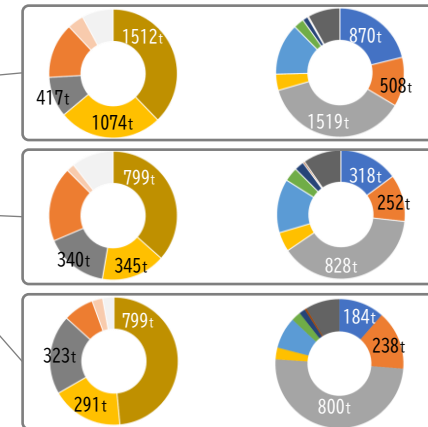
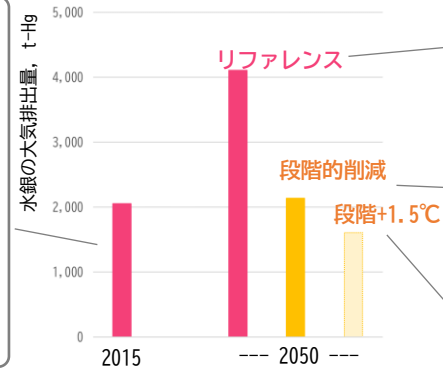
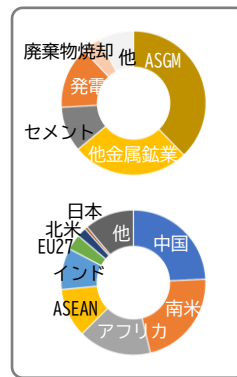
また、脱炭素対策としてバイオマス発電が増加する場合、発電方式及びバイオマス種によっては、水銀排出量を増大させる可能性があるため、注意が必要。(右図)

5-1. 成果の概要

人為起源による水銀の大気排出の最小化に向けて

排出量が残存する部門へ、更なる対策の強化が不可欠

早期に排出削減を実現するためには、国・地域ごとの特性を踏まえた対策設計が不可欠であることから、国・地域の内訳（南米諸国やアフリカ諸国含む33の国・地域）、排出源の内訳（ASGM、セメント、鉄鋼を含む21の部門）を定量化。解析の結果、削減効果には地域偏在性があり、国・地域別に排出量が残存する部門の特徴が異なることが判明。（左図）



ASGM対策や金属鉱業部門への水銀対策、更には、脱炭素対策に伴う共便益により、大幅な削減効果が期待できる。しかし、依然として、一部の国・地域やASGMを含む特定の排出源において、排出量が高い水準に留まるといった結果が得られた。（右図）

水銀排出の最小化に向けて、中国や南米・アフリカ諸国を中心に、排出量が残存する部門での更なる対策の強化が不可欠。

例えば、ASGMや非鉄金属由来の排出が支配的ではない地域では、脱炭素対策によるHg削減が、ASGMや非鉄金属由来の排出が支配的な地域では、除去対策によるHg削減が効果的であると考えられる。

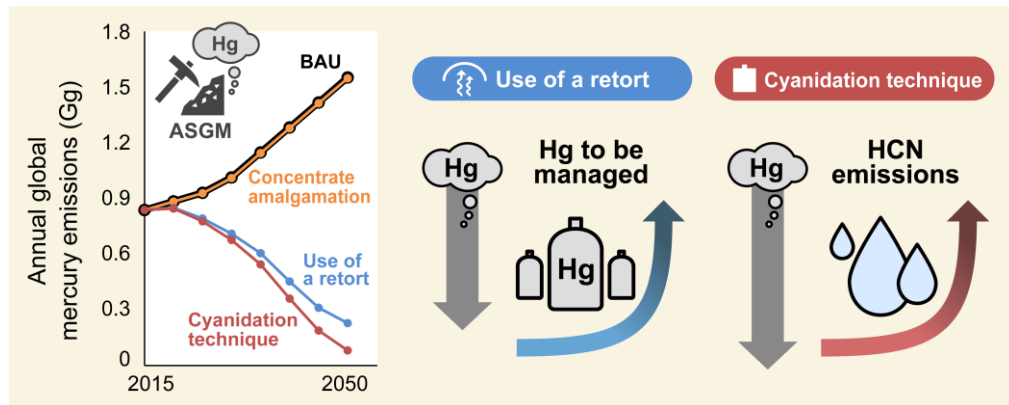
5-1. 成果の概要

ASGMに起因する水銀の廃絶・最小化のために

鳥瞰的な視点で、未然に副次的影響を把握し対策・支援を講じる

零細・小規模金採掘（ASGM）は、水銀の最大の用途、かつ、排出源である。条約上、ASGMにおける水銀使用及び大気排出を削減し、可能な場合には廃絶することとされている。

水銀の排出量あるいは使用量の削減・廃絶が期待される3種類の対策（排出抑制：蒸留器による回収、使用抑制：精鉱法への転換、使用廃絶：青化法への転換）について、導入効果と共に、生じ得る副次的影響を定量化。加えて、回収した廃水銀の隔離管理コストを算定。



蒸留器・精鉱法の併用や青化法への転換により大気水銀排出量を大幅に削減できる一方、回収された廃水銀の適正管理にかかる膨大なコスト及びシアン化水素による新たな健康被害のリスクが露呈。

水銀対策技術の支援と共に、廃水銀の隔離管理を含めて、副次的に生じ得る課題への対策費用を含めた資金システムの見直し・支援などが求められる。

GEF ASGM funding
(2002~2022)

506 million dollars

Accumulative waste
management cost
(2015-2050)

168 million dollars

5-1. 成果の概要

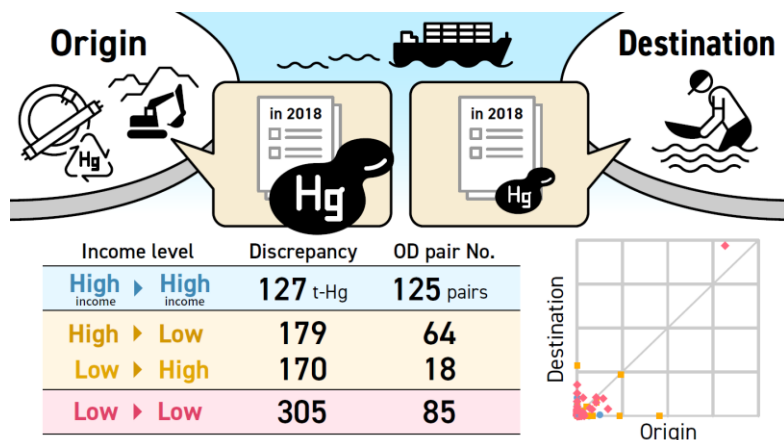
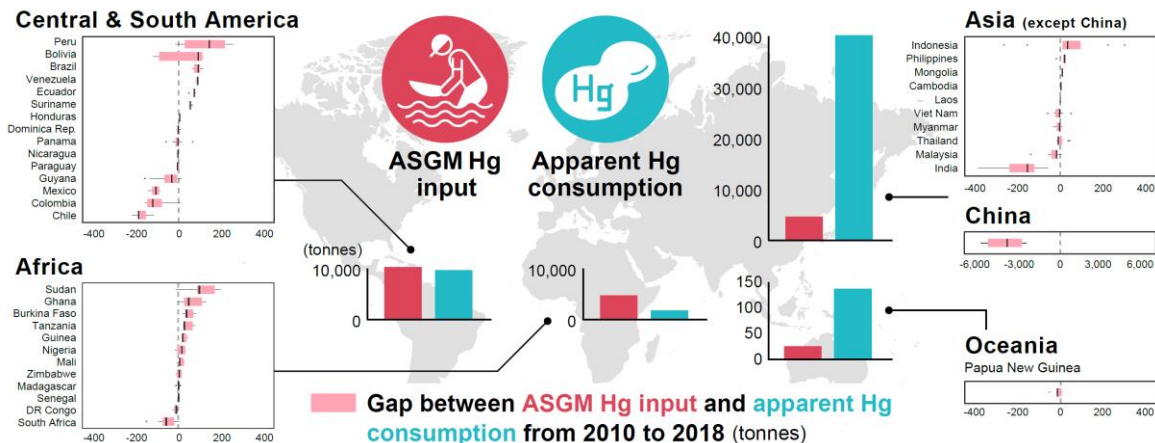
ASGMに起因する水銀の廃絶・最小化のために

情報間の不整合を同定し、水銀の不適切な使用・流通の検出を支援

バリ宣言(COP4.2)を受けて、水銀の違法貿易を防止するための国際協調の強化が求められている。

違法貿易への対処を支援すべく、報告値の不整合に着目した2種の検出手法を開発。

- a. 国・地域別の水銀の見掛け消費量と金生産に伴う推計水銀使用量の不整合
- b. 二国間貿易における報告値の不整合



中南米・アフリカ、アジアの一部の国において、推定される水銀の見掛け消費量と金生産に伴う推計水銀使用量に顕著な不整合を検出。また、二国間貿易を対象とする解析では、先行調査により不適切な流通への関与が指摘される国を含む複数の国・地域において、報告値間の不整合を検出。

貿易の監視・管理ツールや通知・情報共有システムの開発に組み込むことで、水銀の違法貿易の調査を支援する可能性。

5-1. 成果の概要

大気への人為的な水銀の排出量を削減することによって

大気と表層海水中の全球水銀量を削減することが可能！

将来の気候変動と人為的な水銀排出量予測データを利用して、将来の大気と海洋表層の全球総水銀量（2000-2050年）をシミュレーションし、1850年（産業革命以後）と比較した増加率を算出した。2050年までは、異なる気候変動シナリオの全球水銀量への影響は小さいとの予測結果から、中庸の気候変動シナリオを用いて予測した。

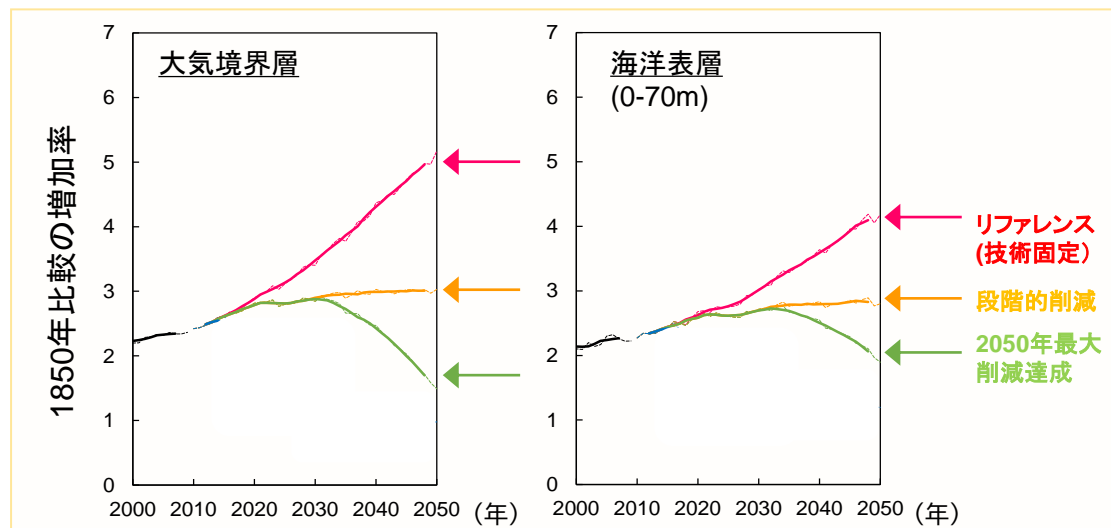
入力データ

将来の気候変動シナリオ（中庸：ssp-245）

将来の大気への人為的な水銀排出量シナリオ

- リファレンス（技術固定）シナリオ
- 段階的削減シナリオ
- 2050年最大削減達成シナリオ

シナリオ毎の1850年比較の全球総水銀量の増加率予測



条約に基づく水銀対策は、大気と海洋表層中の水銀量の増加を食い止めることに寄与する。最大限の対策によって、2050年までに、大気と海洋表層中の水銀量を削減することは可能である。しかし、排出量の段階的削減では、2050年に環境中水銀量の増加を食い止めるに留まる可能性もある。

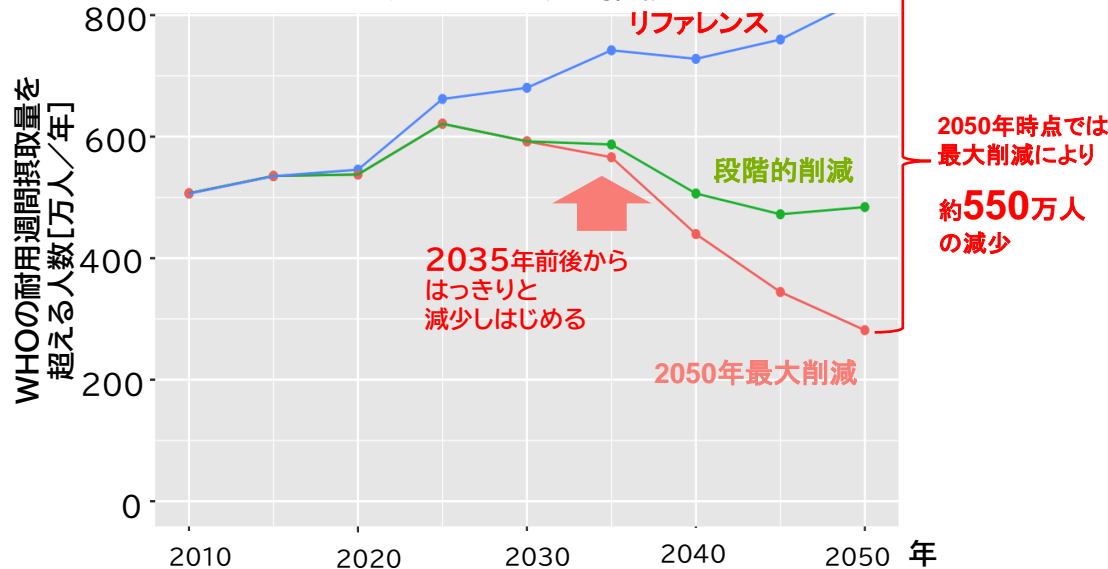
5-1. 成果の概要

対策の効果がはっきりと現れるまでにはタイムラグがあるが
2050年時点では大きな違いを生む。早期からの対策が効果的

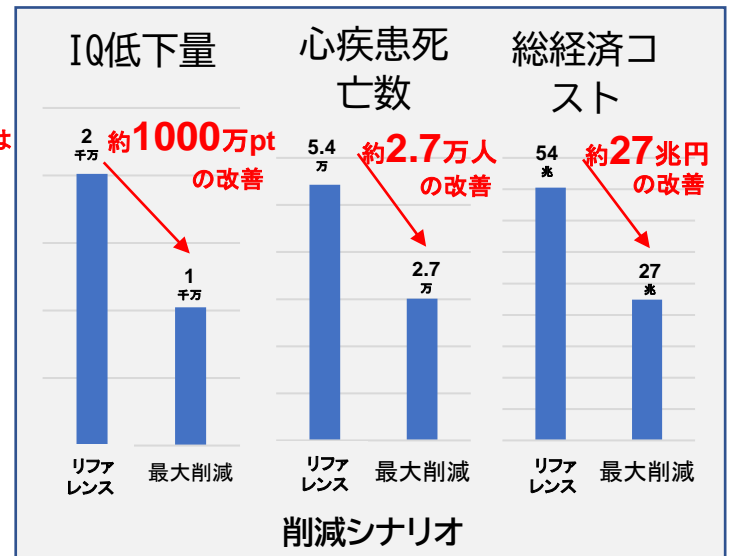
- 水銀の摂取は、神経発達の阻害や心疾患死亡の増加等をもたらすため、持続可能な発展を阻害する要因となりうる
- 全球モデルの予測から算出した各国の水銀摂取量をもとに、水銀による健康リスクについて、(1)WHOの参照値の超過人口、(2)IQ低下量、(3)心疾患死亡数、(4)総経済コストを影響指標として定量化した

最大削減シナリオでは2050年時点で
 ・IQでは 約+1000万ポイント/年
 ・心疾患死亡では 約-27000人/年
 ・経済的価値換算では 約+27兆円/年のベネフィットが予測された

WHOの耐用週間摂取量(毛髪中濃度換算2.5 μ g/g)を超える人数の推移



2050年時点での対策によるコスト改善の予測



5-1. 成果の概要

水俣条約の有効性評価のために

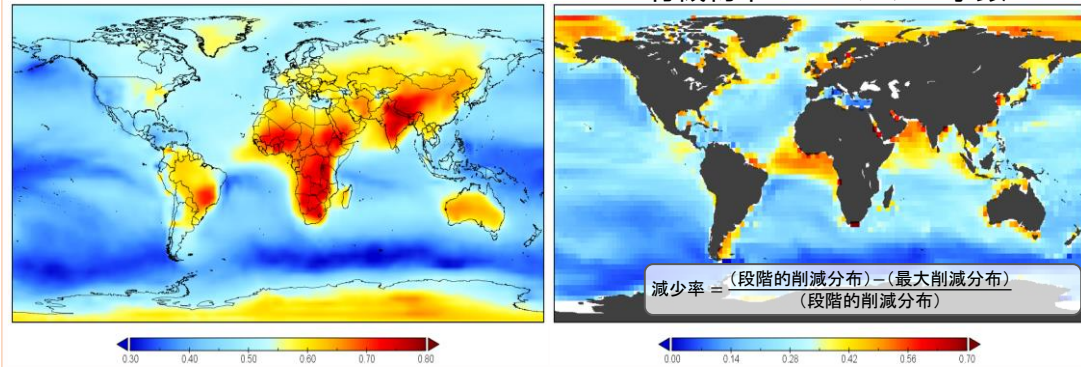
気候変動を考慮した戦略的な水銀モニタリング指針の確立を！

条約の有効性評価では、大気や生物相の水銀濃度の変化を評価することが期待されている。有効性評価に適した水銀モニタリング計画を立案するため、水銀排出量の削減幅の違いによる大気と海洋環境中の水銀濃度の減少率分布を解析した。また、海水から生物相へのメチル水銀移行に関する生物地球化学的な実験を実施した。

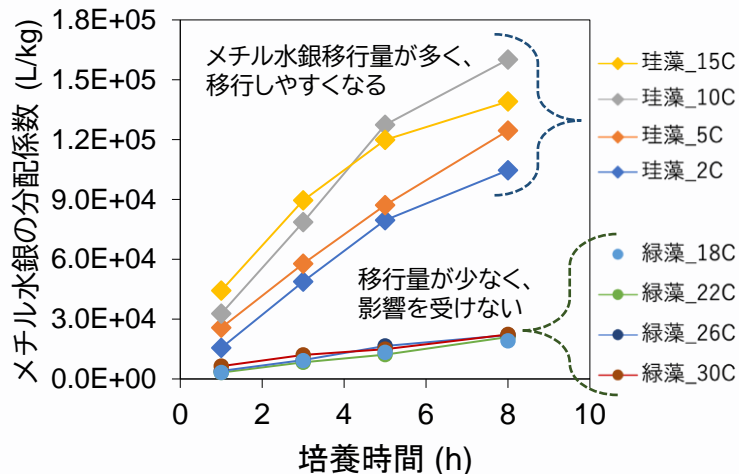
2050年最大削減と段階的削減シナリオでの2050年の水銀濃度減少率の分布

大気中のガス状金属水銀

海洋上層 (0 - 200m) の粒子態有機物中のモノメチル水銀



外洋藻類へのメチル水銀移行量の水温上昇影響



最大削減シナリオでは、南アジア、アフリカ、南米の一部で大気中水銀濃度、そして、赤道と北極周辺の海域で生物相の水銀濃度が、比較的減少する可能性がある。これらの地域でのモニタリングデータ取得により、削減効果の検証できる可能性がある。一方、外洋藻類の種類と水温上昇によって、海水から生態系へのメチル水銀移行量が変動する可能性があることから、条約の有効性評価のためには、珪藻が優先種ではない比較的暖かい海域に生息する魚類を対象とした生物相の水銀モニタリング指針を確立すべき。

5-1. 成果の概要

環境中での水銀サイクルを断ち切るために

水銀の長期安定的な隔離は可能。固化体、埋立環境の徹底した事前確認を

廃棄物から回収された余剰水銀を硫化安定化後、改質硫黄、エポキシ樹脂、低アルカリセメントで固型化。

- a. 模擬廃棄物を用いて2年間の埋立実験による挙動の評価
- b. 加速環境下での固化体の長期安全評価
- c. 埋立処分場からの水銀流出への気候変動の影響をシミュレーション

廃棄物	水銀固化体	埋立構造	埋立実験槽		タンクリーチング	溶出試験	総合評価
			浸出水への流出特性	大気拡散			
混合廃棄物	改質硫黄	準好気性	◎	○（低下傾向）	◎	◎	◎
		嫌気性	○（ブランクと類似）	◎			
	エポキシ樹脂	準好気性	◎	○（低下傾向）	◎	○	○
		嫌気性	○（ブランクと類似）	△（やや高い）			
	低アルカリセメント	準好気性	◎	○（低下傾向）	△	△	△
焼却残渣	改質硫黄	準好気性	◎	○（ブランクと類似）	◎	◎	◎
	エポキシ樹脂		—	—	◎	○	(◎)
	低アルカリセメント		◎	○（ブランクと類似）	○（環境基準以下）	△	○

- ✓ 全ての固化体で混合廃棄物や焼却残渣と埋立処分を行っても固化体から水銀が系外へ流出する可能性は低い。
 - ✓ 主に還元雰囲気かつアルカリ条件の埋立環境では、エポキシ樹脂や改質硫黄による固化体は水銀保持能が高い。硫化物イオン・酸化条件には注意要。固化体の表面コーティングは効果的。
 - ✓ 気候変動による降雨変化の水銀流出への影響は他の因子（メチル化速度係数等）に比べると相対的に小さい。
- 水銀の長期安定的な集中隔離は可能。余剰水銀の純度、製造した硫化物、固化体、埋立環境の事前確認及びモニタリングは必須。



5-2. 環境政策への貢献

行政が活用した成果

- ✓ 大気排出抑制対策及び未知排出源からの水銀排出量推計・将来対策への貢献（環境省・水銀大気排出抑制対策調査検討会）
- ✓ 水銀マテリアルフローの精緻化への貢献（環境省・水銀マテリアルフローに関する研究会）
- ✓ 水銀廃棄物の適正処理への貢献（環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課へのインプット）
- ✓ UNEP Global Mercury Partnershipへの知見提供（UNEP Global Mercury Partnership Advisory Group Thirteenth meetingの報告書）

行政が活用することが見込まれる成果

- ✓ 水銀排出施設における大気排出の実態調査
- ✓ 水俣条約の有効性評価の枠組み・指標の設計に対する支援
- ✓ 水銀排出を含む人為的水銀サイクルの管理を実現する為の監視・規制立案に対する支援
- ✓ 全球規模での健康リスクの推移
- ✓ 水銀廃棄物の適正処分・長期管理手法
- ✓ 水銀の埋立処分に伴う健康リスクの地域依存性
- ✓ 市民的認知から捉えた水銀の安定化処理やモニタリングのあり方

5-3. 研究目標の達成状況（プロジェクト全体）

○目標を上回る成果をあげた。

目標

本プロジェクト全体では、水俣条約の有効性評価に資するためベースラインシナリオと介入シナリオにおける対策を評価可能な一連のモデルを作成することが目標である。

- 現状から将来にわたる水銀制御・管理技術の整理・評価を行い、国内の施策や水俣条約やバーゼル条約でのガイドライン等に技術的基礎情報を提供する。
- 人為的起源による大気への水銀排出量の将来推計の為にグローバル・シナリオモデルを開発し、水俣条約の履行および気候変動対策の双方を想定した複数の介入シナリオを策定し、中長期の水銀排出シナリオを定量的に描く。
- 水銀の全球モデルを用いて、複数の介入シナリオに応じた環境と海産物中のメチル水銀濃度を予測し、条約の中長期的効果を評価する。
- 以上により、ヒトへの曝露量及びその推移の予測を行い、最終的に、本プロジェクト全体の成果を取りまとめることで、環境省向けに、締約国会議の各種議論の材料となるように、水俣条約の有効性評価の枠組み策定に向けたオピニオンペーパーを作成・発信する。

達成状況

- ✓ ベースラインシナリオと介入シナリオにおける対策を評価可能な一連のモデルを作成。
- ✓ 水銀大気排出抑制（バイオマス燃焼の排出係数、CC装置での除去率、新規除去技術開発）・水銀管理技術（水銀廃棄物長期安全管理技術の詳細）を整理・提供。
- ✓ 開発モデルにより、4つの介入シナリオにおける2050年までの水銀大気排出量、大気境界層中水銀濃度及び海産物中メチル水銀濃度、健康リスクの推移を計算し、各種対策を評価
- ✓ 水俣条約で想定される排出削減の対策を講じたとしても、大気境界層中水銀濃度は経済成長分を相殺するにとどまり、現状維持となることを定量的に明らかにしたことは大きな成果
- ✓ 気候変動対策の多くが水銀排出削減対策と共便益。バイオマス燃焼などトレードオフもあり。
- ✓ 環境動態モデルにより海産物中メチル水銀濃度を予測し、ヒトへの曝露量推移を計算。水銀の排出削減対策の実施により、2050年時点での健康リスクの程度には大きな違いが生じ、早期の対策が効果的であることを明らかにした。
- ✓ 有効性評価のための気候変動を考慮した戦略的モニタリング指針を提示。
- ✓ 3テーマ合同でオピニオンペーパーを作成し、環境省に提出。

5-3. 研究目標の達成状況（テーマ1）

○目標を上回る成果をあげた。

目標

- 本研究では、介入シナリオの根拠となる人為的活動下での水銀制御・管理技術の状況を把握し、**規制対象5発生源**を含む主要発生源における水銀の排出・管理で将来予測に必要な対策・技術・排出係数等の基礎的情報を整理・評価する。その基礎情報をSII-6-2に提示して、介入シナリオの策定に貢献する。また、水銀の最終的なシンクとなる最終処分施設における**水銀廃棄物の長期管理手法**を複数の加速試験及び模擬埋立実験等で検討し、最終処分施設からの漏洩する水銀量等の情報をサブテーマ2のリスクの将来予測に提示する。
- サブテーマ2では、SII-6-3から得られた情報を元に**水銀曝露に伴う健康リスクとその推移を予測し、気候変動や人為的対策に伴う水銀曝露の時間的・空間的・シナリオ的推移を可視化**する。そしてサブテーマ1からの情報を考慮して水銀廃棄物の最終処分施設からの環境漏洩を経て水銀曝露に至る健康リスクとその地域性や将来変動性を可視化する。
- 最終的に、本プロジェクト全体の成果を水俣条約の有効性評価枠組みの策定や有効性向上に資する施策へ反映できるように、技術的基礎情報として整理し、国内の施策や水俣条約やバーゼル条約でのガイドライン等のアップデートへ貢献する。

達成状況

- 主要発生源における将来予測に必要な対策・技術・排出係数等の基礎的情報をSII-6-2に提供。
- SII-6-3から提供される全球モデルでのメチル水銀予測データをもとに、水銀曝露に伴う健康リスクとその推移を予測。
- テーマ1内においてもサブテーマ1からサブテーマ2へ安定化処理した水銀に関する研究成果を提供し、サブテーマ2でのモデル検証実施。
- **規制対象外のバイオマス燃焼に関する知見。**
- **実際のCO2回収設備での水銀挙動を調査。**
- **新規水銀除去技術の実証試験も併せて実施し、実用化に目途。**
- 水銀の長期安定性評価に関し、特に水銀廃棄物の**中間処理（硫化・固型化）とその確認方法**に今後検討すべき課題を見出し、整理。
- 水銀排出削減対策により2050年時点での健康リスクの程度には大きな違い。2035年から低下。タイムラグあり。（時間的・シナリオ的推移）。
- 赤道付近の小島嶼開発途上国における健康リスクが大きい（空間的推移）
- 最終処分施設からの水銀曝露に至る健康リスクについてはその地域性や将来変動性を試算。
- 最終まとめはオピニオンペーパー作成（全体）

5-3. 研究目標の達成状況（テーマ2）

○目標を大きく上回る成果をあげた。

目標

- 人為的起源による大気への水銀排出量の将来推計の為に「グローバル・シナリオモデル」を開発した上で、国・地域別の「将来の水銀排出シナリオ」を定量的に描く。加えて、水俣条約を履行する為の対策プロセス等の導入に伴う「トレードオフの有無」を同定する。

達成状況

- 目標であるシナリオモデルの設計・開発、シナリオの定量化を達成。成果である「対策シナリオごとの削減量、残存する排出源(国・地域、セクター)」に関する情報は、人為起源による水銀の大気排出の最小化に資する知見。
- 対策導入に伴うトレードオフの有無と影響の同定を達成。水銀の排出抑制・使用抑制・使用廃絶を含む対策技術により生じる影響の未然把握と事前対処を支援する知見。
- 「第4回水銀に関する水俣条約締約国会議」(特に、COP4.2における水銀の違法貿易に関する「バリ宣言」)を背景に、不適切な水銀の使用・貿易の検出手法の開発やASGM対策コストの試算を達成。水俣条約事務局や環境省への情報提供。主催した国際セミナー(Mercury Legacy in Artisanal and Small-Scale Gold Mining)を通じて国際社会への情報発信を達成。
- テーマ全体での共有用データフォーマットを作成することで、効率的な情報共有を実現。また、Web会議ツールで意思疎通を深める短時間・高頻度な運営。副次的に、予算の効率的運用。
- 研究成果の発信のために、サイエンスアニメーションやインフォグラフィックスを活用。効果的、且つ、効率的な情報発信。

5-3. 研究目標の達成状況（テーマ3）

○目標どおりの成果をあげた。

目標

- 戦略的研究開発課題SII-6の研究テーマ1とテーマ2と連携し、将来の複数の水銀排出シナリオから、**海洋環境中におけるメチル水銀濃度分布と全球含有量**、そして将来の海産物中のメチル水銀濃度を予測し、地球規模の水銀汚染問題解決のために発効された水俣条約の有効性評価に資する**生物蓄積及び生物曝露評価手法**を提示する。

達成状況

- 将来の気候変動シナリオとテーマ2で作成された4つの将来の人為由来水銀の排出シナリオの合計8つのシナリオを用いて、将来の大気と海水中の全球水銀量を予測し、海洋魚の水銀濃度の予測がを達成。
- 海洋魚の水銀濃度予測を海産物中の水銀濃度予測として、テーマ1のヒトへのメチル水銀曝露量とその推移予測に資する課題へデータ提供。
- これらに加えて、将来の環境及び生物中の水銀濃度の分布を提示することによって、条約の有効性評価に資する**環境モニタリング計画の立案**に向けての科学的知見を提供することができた。

6. 研究成果の発表状況

査読付き論文：21件

- 1) Y. Cheng, Y. Asaoka, Y. Hachiya, N. Moriuchi, K. Shiota, K. Oshita, M. Takaoka: J. Hazard. Mater., 423 (2022) Mercury emission profile for the torrefaction of sewage sludge at a full-scale plant and application of polymer sorbent, (IF=14.224)
- 2) Cheng Y., Nakajima K., et al. (2022) Examining the inconsistency of mercury flow in post-Minamata Convention global trade concerning artisanal and small-scale gold mining activity. Resources, Conservation & Recycling, 185, 106461 (IF=13.716)
- 3) Kosai S., Nakajima K., Yamasue E. (2023) Mercury Mitigation in Artisanal and Small-scale Gold Mining: Cyanide Emissions and the Need for Retorted Mercury Management as Unintended consequences, Resources, Conservation and Recycling, 188, 106708 (IF=13.716)
- 4) Fuse M., Oda H., Noguchi H., Nakajima K. (2022) Detecting Illegal Intercountry Trade of Mercury Using Discrepancies in Mirrored trade Data. Environmental Science & Technology, 56, 13565-13572 (IF= 11.357)
- 5) Habuer, T.Fujiwara and M.Takaoka: J. Clean. Prod., 129089, 323 (2021) The response of anthropogenic mercury release in China to the Minamata Convention on Mercury: A hypothetical expectation (IF=9.297)

知的財産権：2件

- 1) 鮫島良二、三宅伴憲：株式会社プランテック、吉川正晃：大阪瓦斯株式会社、高岡昌輝、日下部武敏：国立大学法人京都大学；「バグフィルタ、添着活性炭素繊維ユニットを再生する方法及び排ガス処理システム」、特許第7007653号、令和3年6月3日
- 2) 坪井裕基：東ソー株式会社、高岡昌輝、日下部武敏：国立大学法人京都大学；「水銀処理剤」、特開2022-46931（特願2020-152579）、令和4年3月24日

その他発表件数	件数
査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	13件
口頭発表（学会等）	83件
「国民との科学・技術対話」の実施	27件
マスコミ等への公表・報道等	7件
本研究費の研究成果による受賞	3件
その他の成果発表	4件

6. 成果の発信

- ✓ NHK 時論公論「水俣条約発効5年 教訓をどう受け継ぐ」(2022.8.19)
- ✓ SII-6セミナー「水銀に関する水俣条約の有効性を考える ～条約発効5周年を機に～」(環境省と共催) (2022.9.5)
- ✓ ASGMに関して国際共同研究・セミナー実施(2022.10.30)
- ✓ 水銀廃棄物に関して国際会議での特別セッション実施 (2023.3.13)
- ✓ 金属誌(第90巻第1号, 2020年)における特集号企画「水銀に関する水俣条約に資する有効性評価の開発を目指して」
- ✓ 廃棄物資源循環学会誌 (第32巻第5号, 2021年9月) における特集号企画「地球規模での水銀循環とその管理を目指して」
- ✓ Journal of Material Cycles and Waste Management (IF=3.579) における特集号企画(2023年)「Mercury cycles and its management」

Partner Events of EcoBalance 2022


Mercury Legacy in Artisanal and Small-Scale Gold Mining

FREE EVENT!

Date
October 30, 2022

Venue
Fukuoka Convention Center,
Fukuoka, Japan

Contact
ecobalance@icaj.org
<https://www.ecobalanceconference.org/conference/2022/index.html>



Organized by Material Cycles Division, National Institute for Environmental Studies
Co-organized by Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Speakers and Topics

- Inconsistencies of mercury flow in global trade concerning artisanal and small-scale gold mining activity
Yingchao Cheng National Institute for Environmental Studies
- Exploring illegal trade of mercury from discrepancy with trade statistics
Masaaki Fuse Hiroshima University
- Monitoring Artisanal and Small-Scale Gold Mining using Satellite Images
Kazuyo Hirose Japan Space Systems
- Tailings management as a key challenge to curb mercury dissemination in and around ASGM sites
Satoshi Murao Daitchi Institute of Technology
- Human health risk assessment of mercury vapor around ASGM area - perspective from field measurement
Koyomi Nakazawa Toyama Prefectural University
- Mercury mitigation in artisanal and small-scale gold mining: cyanide emissions and the need for retorted mercury management as unintended consequences
Shoki Kosai Ritsumeikan University
- Mercury use related to ASGM and its reduction by novel refining process
Akihiro Yoshimura Chiba University

Partner Events of EcoBalance 2022

Discussants

- Tatiane Marin**
Post-doctoral senior researcher, Adolfo Ibañez University
- Jacopo Seccatore**
Professor, Adolfo Ibañez University
- Eisaku Toda**
Senior Programme Officer, Secretariat of the Minamata Convention on Mercury, UN
- Marcello M. Veiga**
Professor Emeritus, University of British Columbia
- Hitoshi Yoshizaki**
Deputy Director, Ministry of the Environment, Japan