

# 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

研究代表者・テーマ1リーダー 京都大学 高岡昌輝

テーマ2リーダー (国研) 国立環境研究所 中島謙一

テーマ3リーダー (国研) 国立環境研究所 武内章記

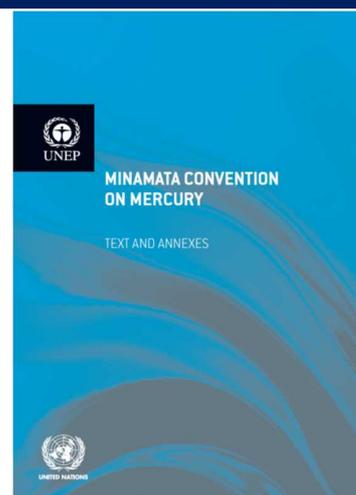
## 研究背景

### 水銀に関する水俣条約の発効・着実な履行

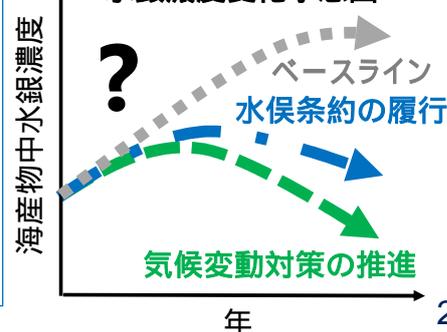
- 製品中の脱水銀化や製造プロセスの転換、より高度な排出・放出制御技術の適用等、様々な技術及び制度を複数組み合わせることで対策
- これらの対策の**有効性評価**が必要

### 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、推移するのが見極めることも必要となる。



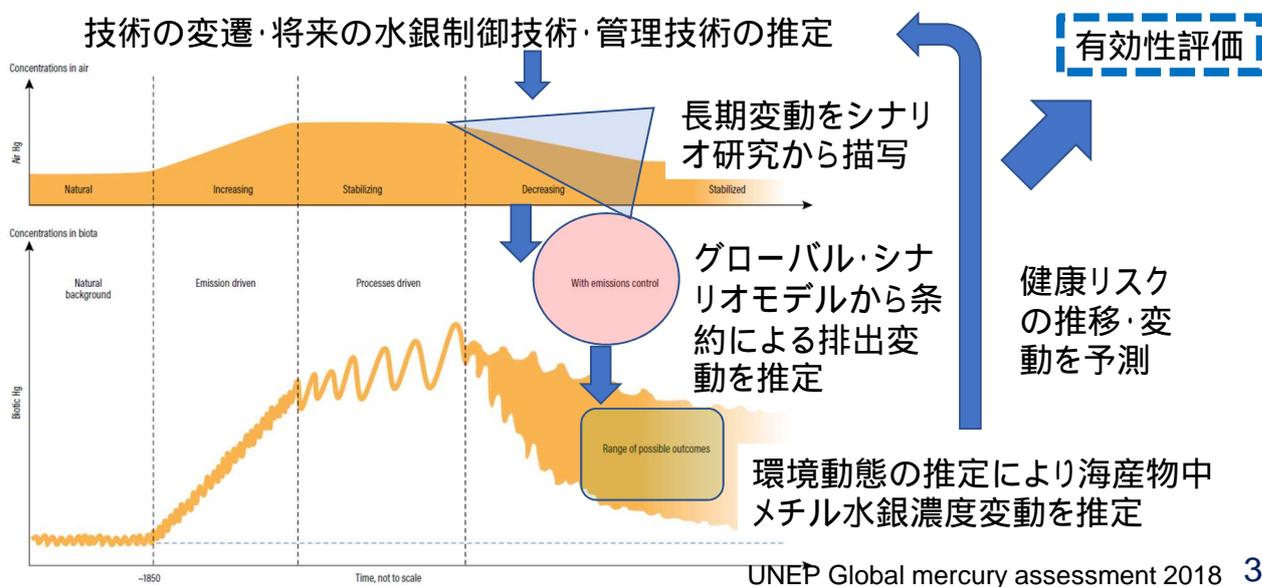
シナリオごとの海産物中水銀濃度変化予想図



## 研究目的

本研究では、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を目的とする。

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・評価すること、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すること、さらに、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とが本研究の目的である。



## 成果目標

### 全体目標

- 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、**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。
- グローバル・シナリオモデルを開発し、気候変動による自然環境・社会の変化を考慮した複数の**介入シナリオ**を策定して水銀削減対策を描く。
- 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、水俣条約の**有効性評価**のための対策の意義や検討に資する科学的知見を提供する。得られた結果を整理して**締約国会議**の各種議論の材料として提供する。

### 個別目標

- 人為的活動下での水銀制御技術の現状整理と将来予測及び最終処分施設における水銀廃棄物の長期管理手法の検討
- ヒトへの推定水銀曝露量とその推移の予測
- 世界全体での水銀動態把握のためのグローバル・シナリオモデルを開発して、国・地域別の将来の水銀排出削減シナリオを作成
- 水俣条約履行による製品代替及び製造プロセスの対策導入に伴うトレードオフの同定
- 海洋環境での溶存無機水銀からメチル水銀への形態変化と生物移行(分配)に関する詳細な知見の取得
- 水銀の全球モデルの改良と精緻化を行い、環境と海産物中のメチル水銀濃度の中長期予測

## 研究課題のテーマ構成

### 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(総括): 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(公募): 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

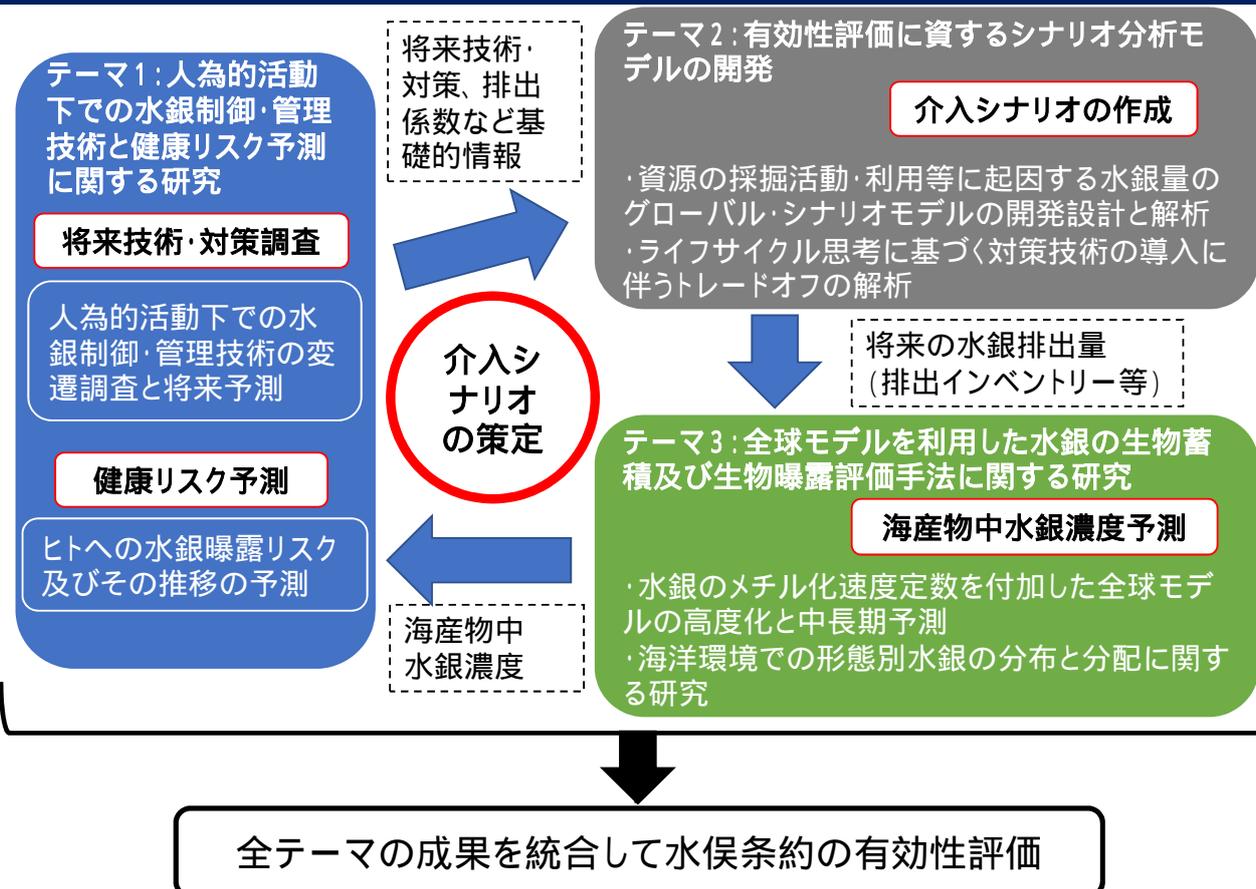
サブテーマ2-1(総括): 資源の採掘活動・利用等に起因する水銀量のグローバル・シナリオモデルの開発設計と解析  
 サブテーマ2-2(公募): ライフサイクル思考に基づく対策技術の導入に伴うトレードオフの解析

### 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(総括): 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(公募): 海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究

5

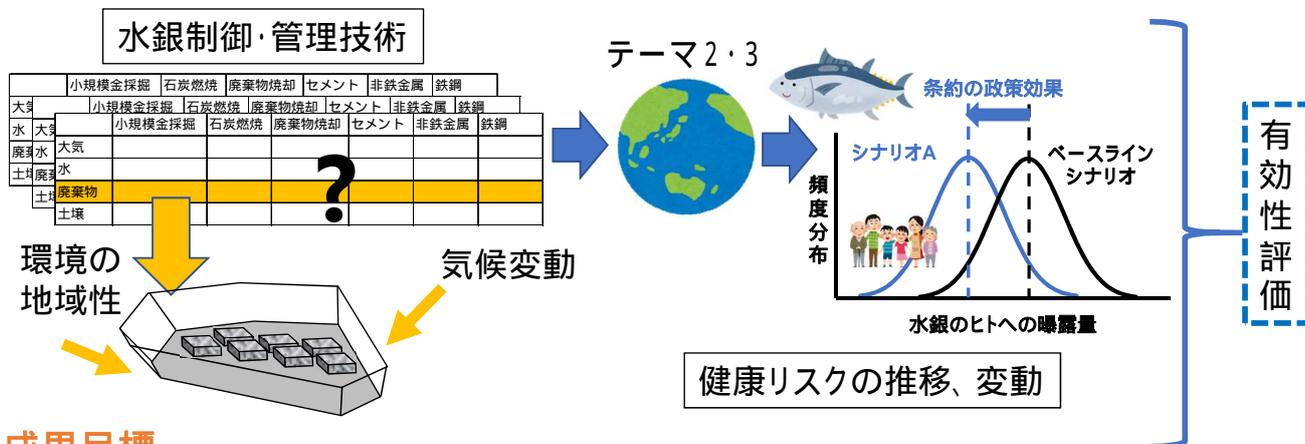
## 研究課題の全体の構成



6

# 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

人為的活動下での水銀制御・管理技術の状況を把握し、水銀の排出・放出・管理に対して将来予測に必要な基礎的な情報を整理する。また、各種モデルにより計算された環境中水銀濃度によるヒト健康へのリスクの変動・推移を予測する。さらに本研究全体で得られた成果を水俣条約の有効性向上に資する施策へ反映できるように基礎情報として整理する。



## 成果目標

- 人為的活動下での水銀制御技術の整理と将来予測
- 最終処分施設における水銀廃棄物の長期管理手法の検討
- ヒトへの推定水銀曝露量及びその推移の予測

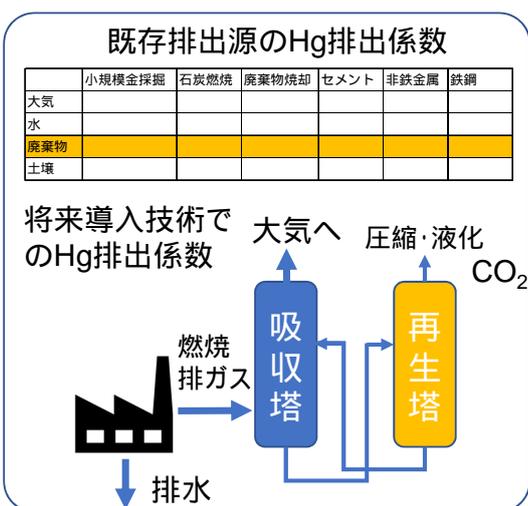
- サブテーマ1-1:人為的活動下での水銀制御・管理技術の変遷調査と将来予測
- サブテーマ1-2:ヒトへの水銀曝露リスク及びその推移の予測

# 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

## 実施内容

- 人為的排出・放出源からの水銀制御技術の整理を行うとともに、将来の社会動向の変化を予測して、新たな制御技術に関する基礎的情報を取得する。
- 最終処分施設における水銀廃棄物からの水銀分配挙動に関する知見を集積し、長期管理手法を開発し、水銀廃棄物管理由来のリスク予測のためのデータを取得する。
- 本研究全体の成果を有効性評価枠組み策定や有効性向上に資する施策へ反映できるように基礎情報として整理する。

## 水銀制御技術の整理・将来予測

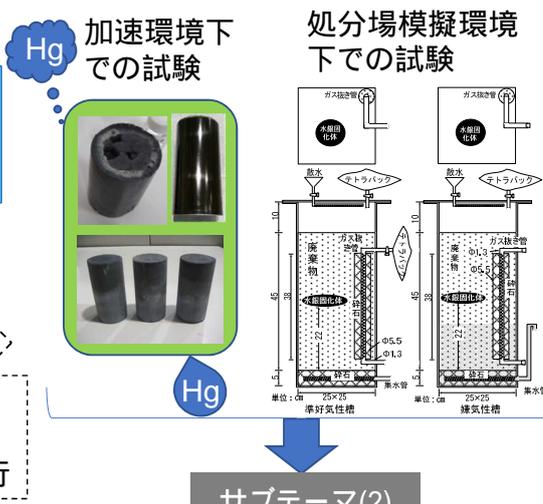


## テーマ2

将来技術・対策、排出係数等

水銀は最終的に廃棄物に移行

## 水銀廃棄物の長期管理技術

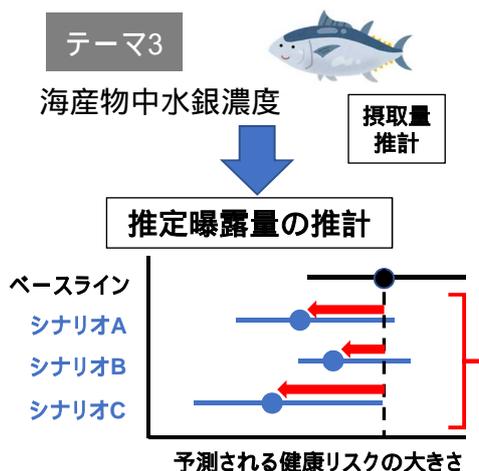


## サブテーマ1-2: ヒトへの水銀曝露リスク及びその推移の予測

### 実施内容

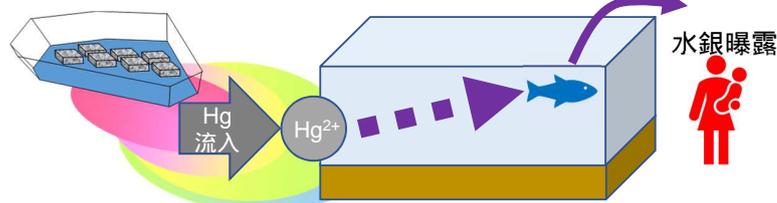
- テーマ3のグローバルモデルで計算された各地域での海産物中の水銀濃度から推定曝露量を求めて存在形態別及び曝露形態別のリスク計算を行い、健康リスクの推移を予測する。
- 水銀廃棄物の最終処分施設からの漏洩・拡散といったケースについて健康リスクの地域性及び将来変動性を予測する

#### シナリオごとの健康リスクの変化量を予測



#### 処分環境の地域性 気候変動等

サブテーマ (1)  
↓ 溶出  
水銀の環境への排出予測



#### リスク予測

リスクの地域性  
リスクの将来変動性

処分施設周辺環境における水銀挙動モデル

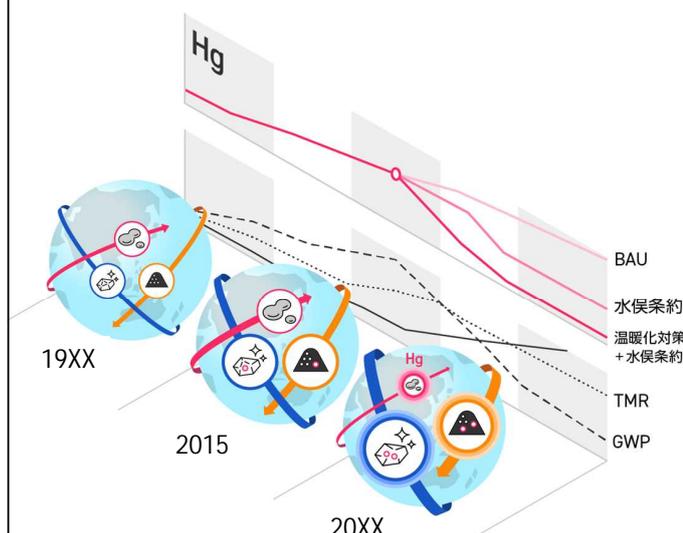


9

## 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

### 成果目標

- 世界全体での水銀の動態(フロー・ストック・排出など)の把握の為のグローバル・シナリオモデルの開発
- 国・地域別の将来の水銀排出削減シナリオの作成
- 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の同定



#### 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

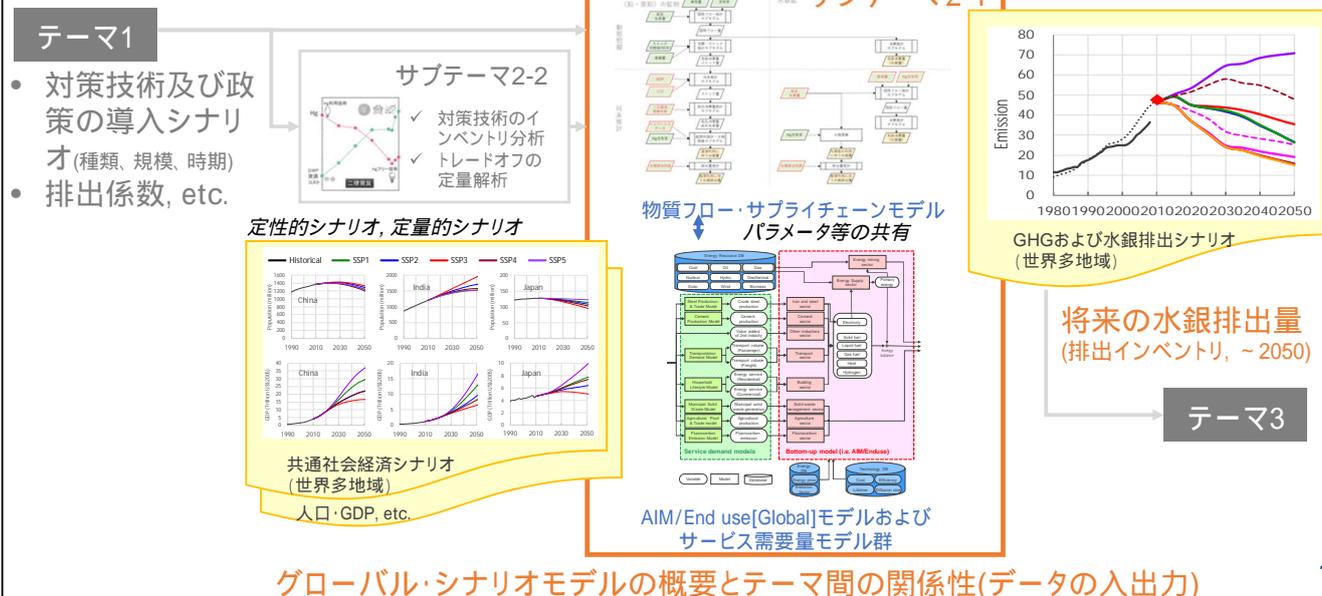
ライフサイクル思考に基づく対策技術の導入に伴うトレードオフの解析

10

## 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

### 実施内容

- 世界全体での水銀の動態(フロー・ストック・排出など)の把握の為にグローバル・シナリオモデルを開発する。
- 水銀動態に関する物質フロー・サプライチェーン情報を整備する。
- 気候変動枠組み条約及び水俣条約の履行を含む将来の水銀排出削減シナリオを定量的に描く。

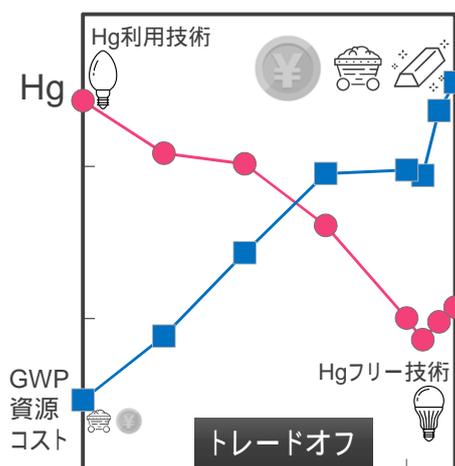


11

## 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

### 実施内容

- 水俣条約を履行する為の製品・製造プロセスにおける対策等を抽出・整理する。
- 対策プロセス等のインベントリデータ(プロセス情報、環境負荷情報など)を整備する。
- 対策プロセス等の導入による影響を評価することでトレードオフの有無を同定し、市場への影響を定量化する。



水俣条約履行のための対策プロセス等の抽出

水俣条約の履行に伴うトレードオフの有無を未然に把握

ライフサイクルな視点での評価

- ・インベントリ分析
- ・種々の指標(地球温暖化・資源利用(TMR)、コストなど)による多角的な評価
- ・市場への影響を把握

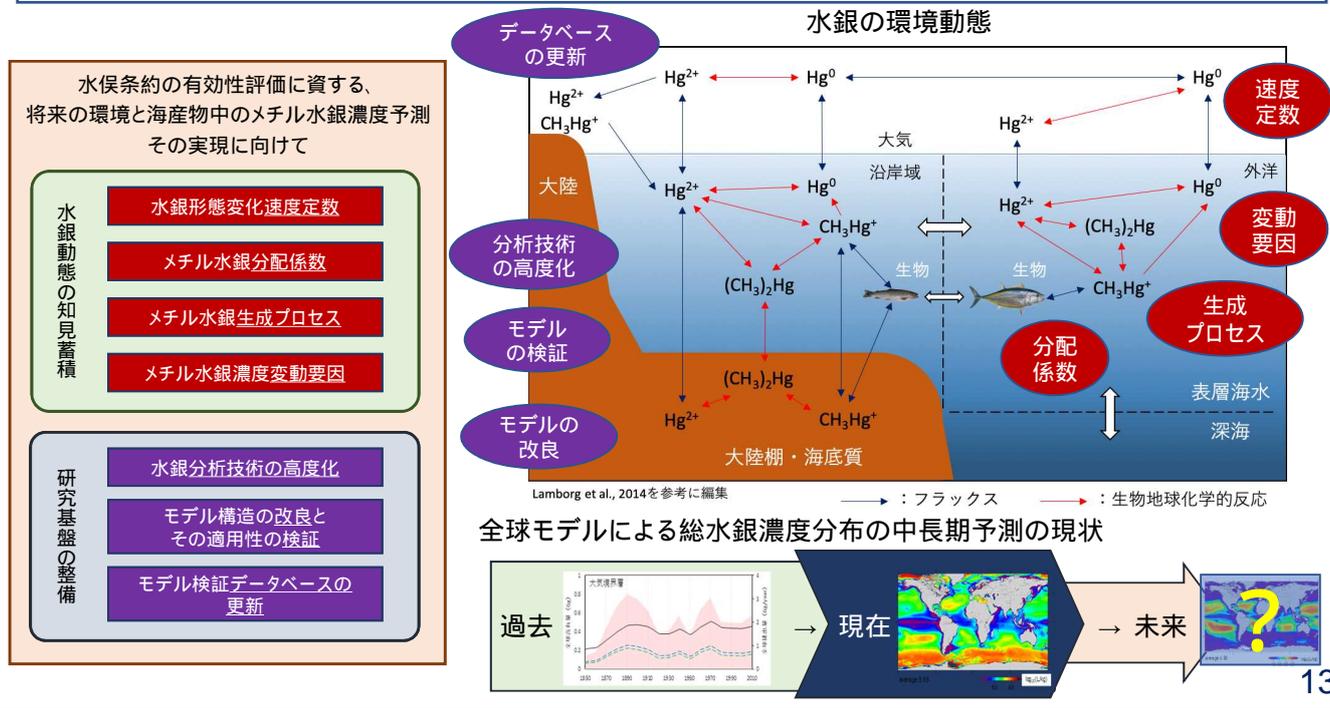
トレードオフを回避するためのシステム(社会システム、技術等)の整理とその効果を定量化



12

# 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

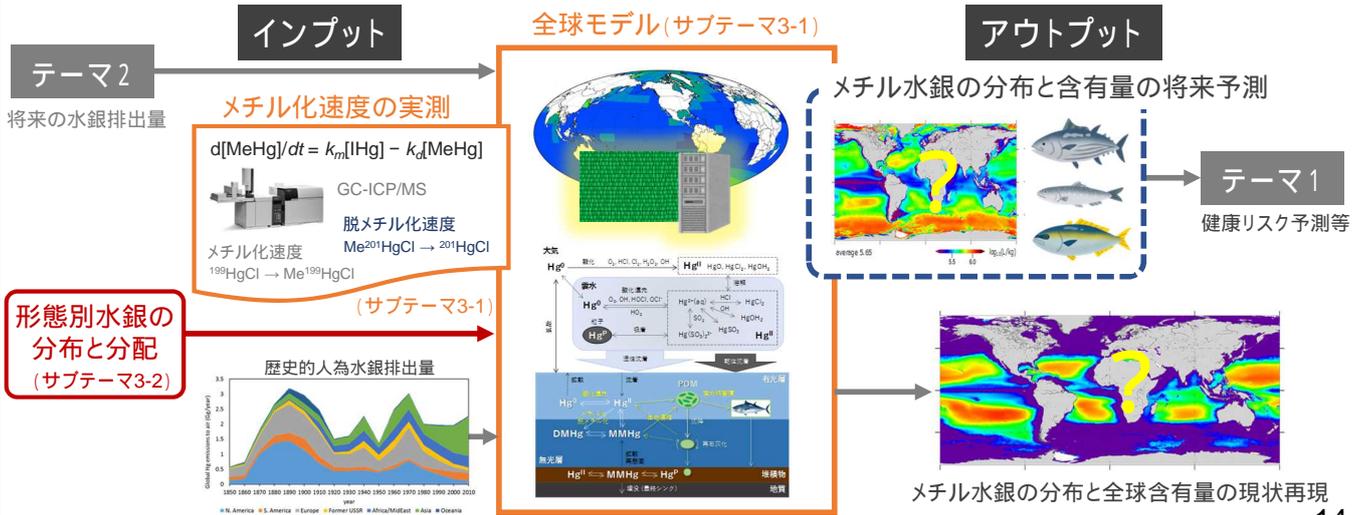
現在の総水銀濃度の分布と、過去から現在までの中長期的な全球総水銀含有量の再現が可能となった全球モデルであるが、ヒトや野生生物への健康被害を防止するという水俣条約の目的を果たすためには、**メチル水銀**の環境動態と生物移行・蓄積を再現する必要がある。これに対応するために、メチル水銀の生成および消失に関するプロセスと速度定数、生物移行(分配)に関する詳細な知見を蓄積し、全球モデルの改良と精緻化を実施する。そして、環境中と魚や海産物中のメチル水銀濃度の中長期予測を行う。



## 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

### 実施内容

- 水銀同位体を用いた水銀メチル化速度定数を計測する技術確立
- 西部北太平洋の海水試料を用いた無機水銀からメチル水銀への形態変化速度の実測
- モデル検証に必要なデータベース更新と、利用可能な補正係数の抽出と適用性の検討
- 全球モデルによる環境中のメチル水銀の分布と全球含有量の現状再現
- 過去150年の排出インベントリデータと、将来の気候データと排出インベントリを用いたメチル水銀の分布と含有量の将来予測

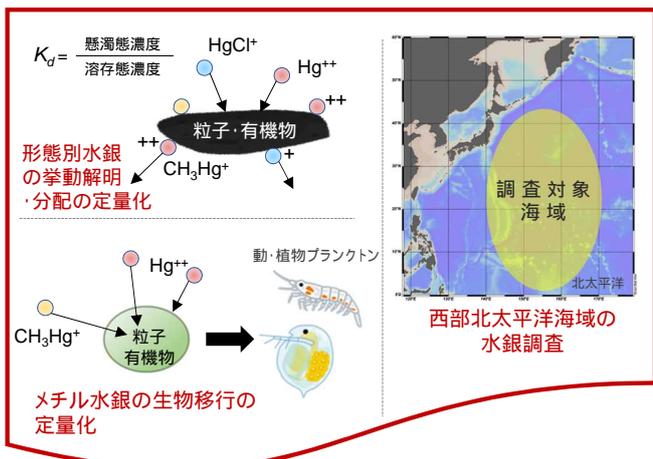


## サブテーマ3-2: 海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究

### 実施内容

- ▶ 全球モデルの精緻化と検証のために、水銀調査が未実施の西部北太平洋海域の海水中の溶存無機水銀とメチル水銀の濃度分布の把握。
- ▶ 全球モデルでのメチル水銀の生物移行・蓄積に関する動態を再現するために、実験的・観測的に海水中での形態別水銀の挙動を明らかにし、共存するプランクトンへのメチル水銀の移行(分配)の定量化。

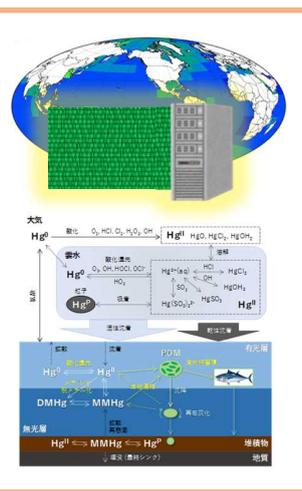
### 形態別水銀の分布と分配に関する研究(サブテーマ3-2)



### メチル化速度の実測



### 全球モデル(サブテーマ3-1)



## 年次計画

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 資源の探掘活動・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					