

SII-6-3(テーマ3) JPMEERF20S20630

# 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

研究代表者: 武内章記(国立環境研究所)

研究実施期間: 令和2年度～4年度

**サブテーマ1**: SII-6-3(1) JPMEERF20S20605

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

武内章記・河合徹・櫻井健郎・近都浩之・鈴木規之(国立環境研究所)

**サブテーマ2**: SII-6-3(2) JPMEERF20S20606

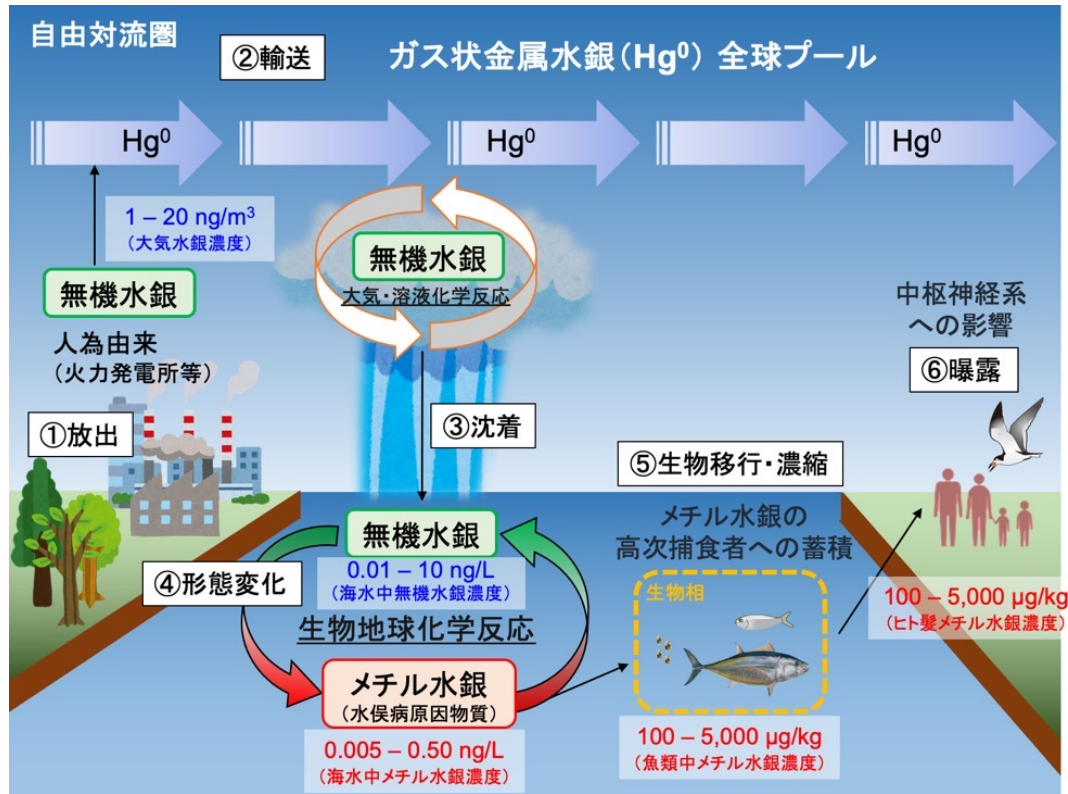
海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究

丸本幸治・多田雄哉(国立水俣病総合研究センター)

研究キーワード: 環境動態解析・将来予測・海水中形態別水銀・プランクトン・大気—海洋間

# 研究開発背景：地球規模の水銀移動と条約の有効性評価の課題

## 水銀の移動：



大気への年間総水銀排出量の内訳(推定) (UNEP Global Mercury Assessment 2018)

自然由来 人為由来 過去に排出された水銀の再放出

1 : 3 : 6

## 課題：

水銀に関する水俣条約の目的；

人為的に排出された水銀 (Hg) とその化合物から、ヒトや野生生物の健康と環境被害の防止

① “人為的に排出された水銀 (Hg) とその化合物”

**無機水銀**の排出 (金属水銀:  $Hg^0$ 、酸化態水銀:  $Hg^{2+}$ )

⌘ ?

“ヒトや野生生物の健康と環境被害の防止”

**メチル水銀**による被害の防止

② **気候変動**や**水環境変化**による水銀動態への影響についての知見が不足

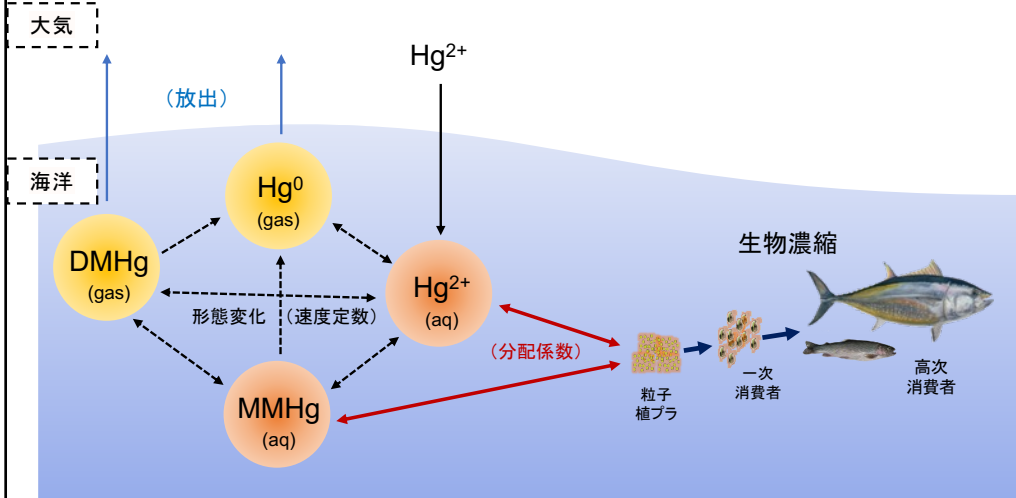


メチル水銀動態に関する知見を蓄積し、条約に基づく水銀対策の効果や、気候・環境変動の影響を考慮して、水銀濃度変動を予測できるモデルが必要

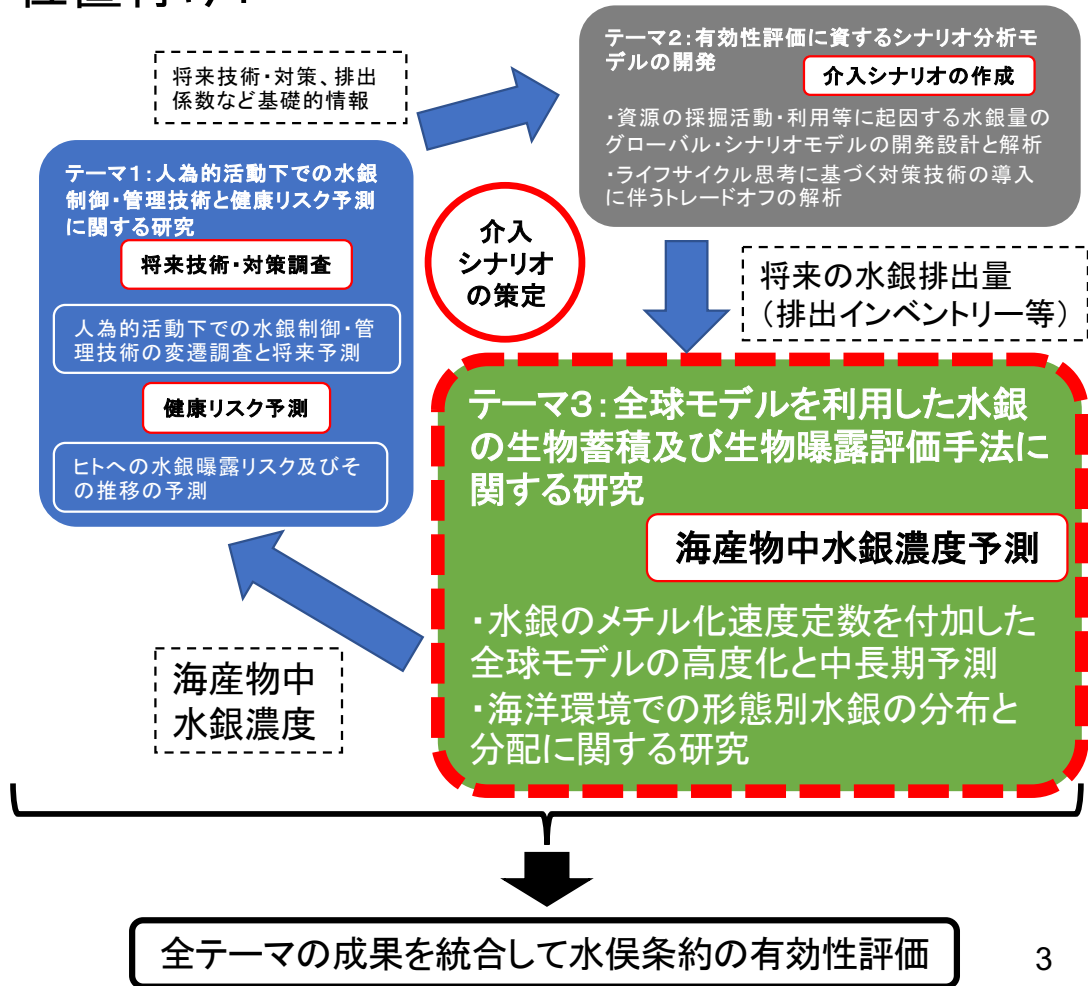
# 研究開発目的 と SII-6でのテーマ3の位置付け

## 目的:

- 海洋環境中のメチル水銀濃度分布と、将来の全球・海洋生物中の水銀含有量の予測可能なモデルの開発(モデル研究)
- 地球規模でデータが不足している北太平洋西部海域において、モデル検証用でもある形態別水銀濃度の分布解明(観測的研究)
- 海水中でのメチル水銀の形態変化と生物移行に関する知見の取得(実験的研究)



## 位置付け:

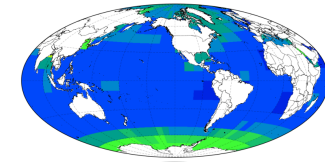


# 研究目標

## サブテーマ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

モデル研究

1) 海水中の化学形態別水銀濃度を予測するための、  
水銀の全球モデルの高度化・精緻化（目標：約10倍未満の誤差）



実験的研究

2) 海水中水銀のメチル化速度定数の実測データを蓄積するために、  
水銀安定同位体を用いた精密分析手法の確立と西部北太平洋海水への応用  
（目標：約50海水サンプル）

モデル研究

3) 将来の海産物中水銀濃度を予測するための、  
栄養段階毎の生物中水銀データベースの構築と  
プランクトン中メチル水銀濃度予測のモデル化（目標：約10倍未満の誤差）

## サブテーマ2：海洋環境での形態別水銀の分布と分配に関する研究

観測的研究

1) 地球規模で観測データが不足している西部北太平洋海水の形態別水銀濃度分布と  
溶存態水銀と懸濁態成分の分配に関する把握（目標：約300海水サンプル）

実験的研究

2) 将来のプランクトン中メチル水銀濃度を予測するための、  
メチル水銀の取込速度と機構に関する知見の取得（目標：3系統の外洋植物プランクトン）

# 年度計画・達成目標

	年度計画	年度ごとの達成目標
R2年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 将来予測が可能なモデルへの高度化(将来の気候変動データ等の入力)(サブ1)</li> <li>◆ 海産物中水銀濃度データベースの構築 &amp; 海産物中メチル水銀濃度計算の試行(サブ1)</li> <li>◆ 速度定数の実測に向けた水銀同位体分析技術の高度化・最適化(サブ1)</li> <li>◆ ジメチル水銀分析方法の確立と外洋域(親潮海流域を想定)での予備観測(サブ2)</li> <li>◆ サイズ別プランクトン中メチル水銀濃度の観測(サブ2)</li> <li>◆ 外洋性珪藻を研究対象株としたモノメチル水銀の取込及び分配に関する室内実験(サブ2)</li> <li>◆ かいめい航海(2020年10-11月)による伊豆・小笠原海域の水銀調査(サブ1&amp;2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 海水中水銀形態変化の速度定数の実測値の精査(サブ1)</li> <li>□ 将来の気候と海流データ等のモデル入力ファイルの作成(サブ1)</li> <li>□ 栄養段階毎の日本近海海洋生物データベースの構築(サブ1)</li> <li>□ 形態別水銀の速度定数分析のための測定条件や解析手法の確立(サブ1)</li> <li>□ ジメチル水銀分析法の確立(サブ2)</li> <li>□ 外洋域の海水及びプランクトンの形態別水銀の存在量及びサイズ別分配係数(サブ2)</li> <li>□ 気候変動による温度変化を考慮した外洋性珪藻へのモノメチル水銀の取込速度(サブ2)</li> </ul>
R3年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 感度分析・将来シナリオの試験的なシミュレーションの実施(サブ1)</li> <li>◆ 実海水試料を用いたメチル化速度定数の観測的・実験的研究の実施(サブ1)</li> <li>◆ 研究航海等による北太平洋西部における海洋中水銀調査及び同海域におけるサイズ別プランクトンの採取と水銀分析(サブ2)</li> <li>◆ 緑藻を対象としたモノメチル水銀の取込及び分配に関する室内実験(サブ2)</li> <li>◆ かいめい航海(2022年1-12月)による東シナ海の水銀調査(サブ1&amp;2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 全球モデルの検証と改良(サブ1)</li> <li>□ 将来の海産物中メチル水銀濃度の暫定的なシミュレーション結果を提供(サブ1)</li> <li>□ 北太平洋西部海水を用いた反応培養実験による水銀の形態変化に関する知見の取得(サブ1)</li> <li>□ 北太平洋西部におけるプランクトンの形態別水銀のサイズ別分配係数(サブ2)</li> <li>□ 気候変動による温度変化を考慮したプラシノ藻(又はクリプト藻)へのモノメチル水銀の取込速度(サブ2)</li> </ul>
R4年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 西部北太平洋海域での洋上反応実験の実施と分析(サブ1)</li> <li>◆ 様々な水銀排出削減シナリオ毎のシミュレーションの実施と、結果の精査と魚類中メチル水銀濃度の推定(サブ1)</li> <li>◆ 白鳳丸研究航海等における北太平洋西部における海洋中水銀調査とその後の水銀分析(サブ1&amp;2)</li> <li>◆ クリプト藻を研究対象株としたモノメチル水銀の取込及び分配に関する室内実験(サブ2)</li> <li>◆ 研究結果の論文化(サブ1&amp;2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 将来の海産物中メチル水銀濃度のシミュレーション結果を提供(サブ1)</li> <li>□ 北太平洋西部海水を用いた反応培養実験による水銀の形態変化に関する知見の取得(サブ1)</li> <li>□ 北太平洋西部における海水の形態別水銀の存在量(サブ2)</li> <li>□ 気候変動による温度変化を考慮したプラシノ藻(又はクリプト藻)へのモノメチル水銀の取込速度(サブ2)</li> </ul>



# 研究開発内容:モデル研究(サブ1)

## モデル解像度

大気 3°×3°×σ35層(対流圏のみ)  
 海洋 1°×1°×50層, 3°×3°×50層(0-5500m)

## 計算期間・排出データ

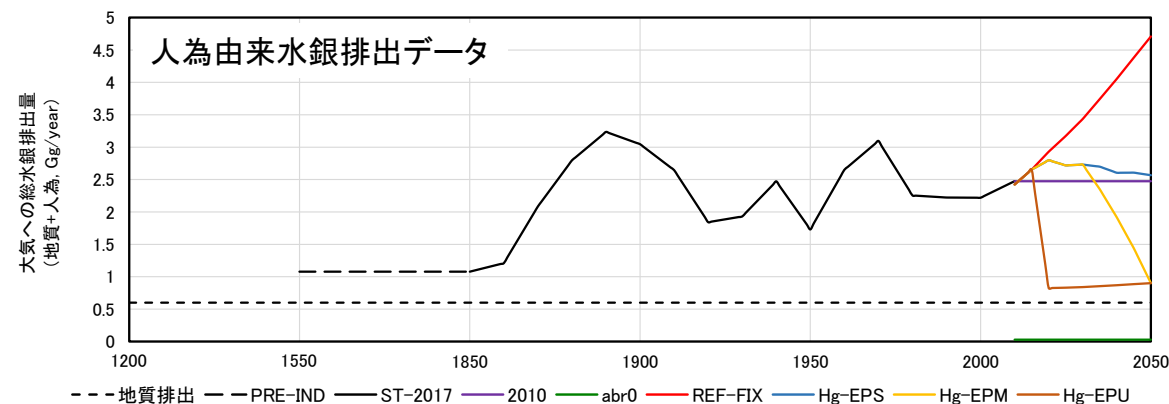
1200-1550 地質排出のみ(スピニアップ)  
 1550-1850 植民地時代の金銀採掘  
 1850-2010 Streets et al. (2017)  
 2010-2050 AIM Enduse[global] (SII-6-2)

## 人為由来水銀排出シナリオ(2010-)

Hg-EPU: 究極削減、Hg-EPM:2050年最大削減  
 Hg-EPS: 段階的削減、REF-FIX: 技術固定、ST-2017: 2010年データの繰返し

## 気候シナリオ(2015-)

SSP1-2.6(持続可能)、SSP2-4.5(中庸)、SSP3-7.0(地域分断)、SSP5-8.5(化石燃料依存)



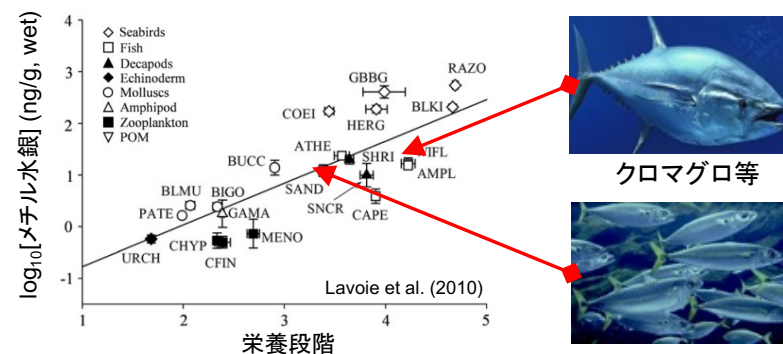
## 排出データ以外の入力データ(ソース)

気候: MIROC-ES2L  
 反応物質: MRI-ESM2-0  
 生物: UKESM1-0-LL

## ▶ 海洋魚類中メチル水銀濃度の予測

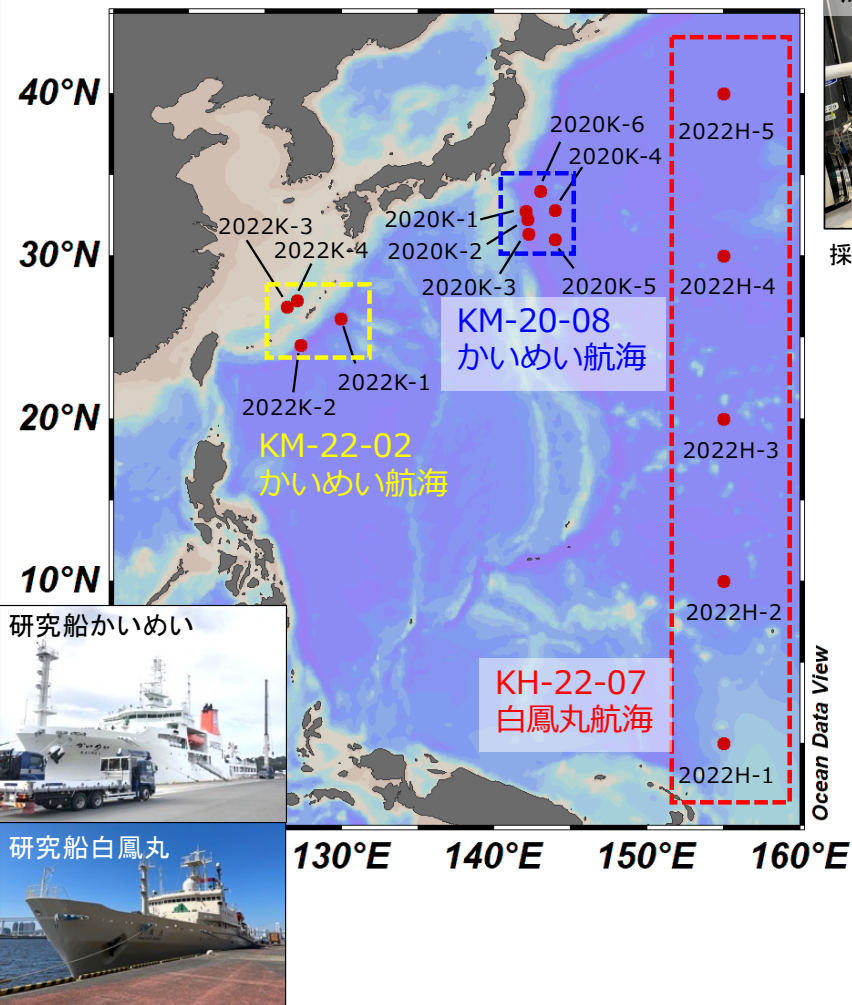
海水中粒子態(POM)中の推定モノメチル水銀濃度(全球モデルのアウトプット)

食物網蓄積係数(TMFC): 栄養段階が1上がる毎のメチル水銀濃度の増加率  
 (実測全球平均: ~5倍)

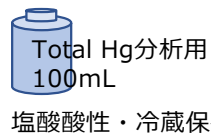


# 研究開発内容: 観測的研究(サブ2)

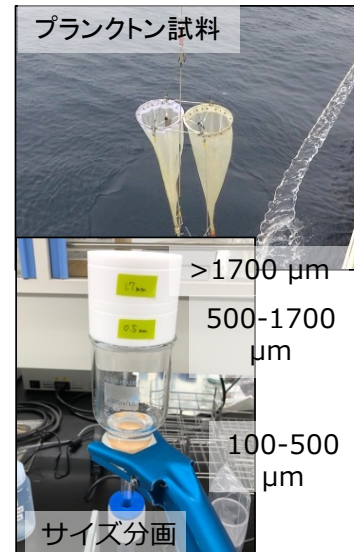
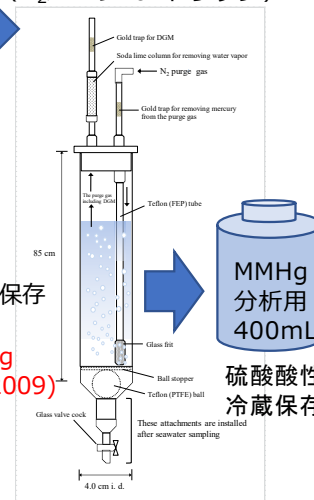
## 北太平洋西部海域実態調査



海水試料 採水&ろ過(吸引)



### DMHg, Hg(0)のサンプリング (N<sub>2</sub>パージ & トラップ)



### 化学形態別水銀計測方法

Hg species	Analytical method	Detection Limit
Hg(0)+DMHg [Gas]	窒素ガスパージ(独自開発の海水ガス状水銀サンプラー) - Auトラップ - 冷原子蛍光分析法	2.0 pg/L (0.010 pM)
DMHg: Dimethyl Hg [Gas]	窒素ガスパージ(独自開発の海水ガス状水銀サンプラー) - Bond Elute ENVトラップ - 冷原子蛍光分析法	1.0 pg/L (0.005 pM)
MeHg: DMHg+MMHg MMHg: Monomethyl Hg	(窒素ガスパージ試料を使用) ⇒ ジチゾン抽出 - Na <sub>2</sub> S転溶 ⇒ 誘導体化(ガス化) - Tenaxトラップ捕集 - ガスクロマト分離 - 冷原子蛍光法 (Hybrid method with mercury analysis manual and draft EPA method 1630)	1.5 pg/L (0.0075 pM)
Total Hg (THg)	EPA method 1631 Hg(II) = THg - (Hg(0) + DMHg + MMHg)	29 pg/L (0.14 pM)

# 研究開発内容: 実験的研究 (サブ1 & 2)

## 海水中でのメチル水銀の形態変化に関する実験



スパイク

- MM<sup>199</sup>Hg<sup>+</sup>: 30 pg
- <sup>201</sup>Hg<sup>2+</sup>: 120 pg

反応培養条件  
> 12-hr  
冷蔵 vs. 室温

### ▶ “スパイク”由来の形態別水銀分析方法



加熱脱着炉付 ICP-QQQ  
(自作 + Agilent8900)

解析方法: 同位体逆希釈法 (Hintelmann & Ogrinc, 2002)

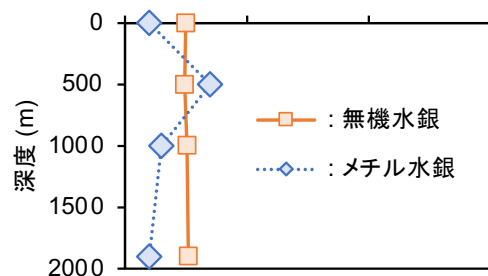
▶ スパイク水銀同位体のエリア値の計算 (逆行列で算出)

$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{^{202}\text{Hg}/^{201}\text{Hg}}{^{202}\text{Hg}/^{199}\text{Hg}} \\ \frac{^{201}\text{Hg}/^{202}\text{Hg}}{^{199}\text{Hg}/^{202}\text{Hg}} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} ^{202}\text{Hg} \\ ^{199}\text{Hg} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ^{202}\text{Hg} \\ ^{199}\text{Hg} \end{pmatrix}$$

↑ 実測値から算出      ↑ 未知      ↑ 実測値

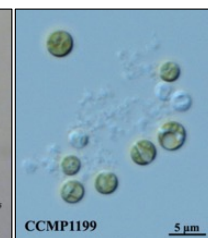
### ▶ 予想結果

スパイクからの生成率 (%)



- ▶ 無機水銀の生成率に深度分布は無いと予想。
- ▶ メチル水銀は中深層で高くなると予想。

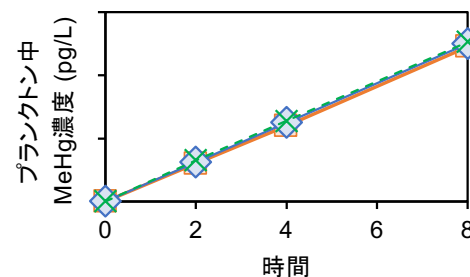
## 系統群別植物プランクトンによるメチル水銀の取込実験



### ▶ 取込み実験条件

培養株	細胞サイズ	生息可能温度	培養温度勾配	培養時間
珪藻	15-25 μm	2-15°C	2、5、10、15°C	1、3、5、8h
クリプト藻	5-13 μm	15-30°C	15、20、25、30°C	1、3、5、8、24h
緑藻	2-4 μm	22-26°C	18、22、26、30°C	1、3、5、8、24h

### ▶ 予想結果

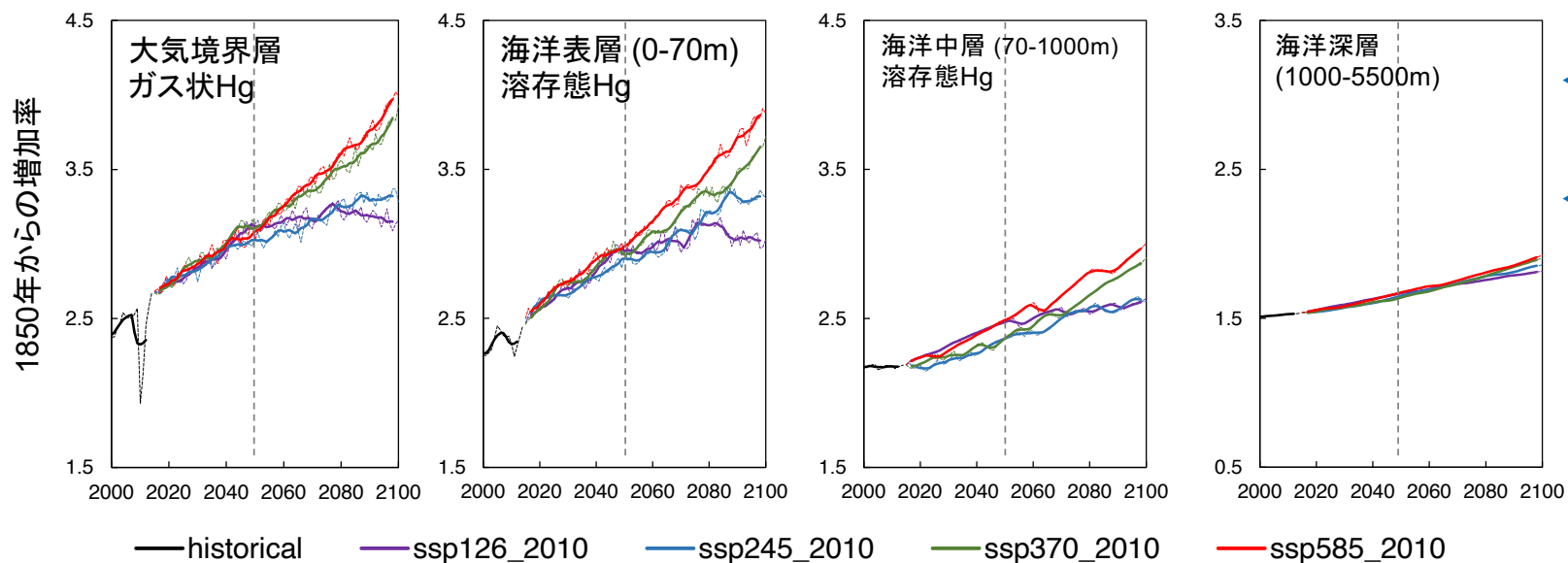


- ▶ 培養時間の経過と共にプランクトン中メチル水銀濃度が増加すると予想。
- ▶ 系統群によって特に取込み状況に差は無いと予想。



# 研究成果：気候変動による将来の水銀含有量予測

## 異なる気候変動シナリオによる将来の全球総水銀量 ( $Hg^T$ ) の増加率予測 (2000-2100年)



- ◀ 縦軸は1850年時の全球総水銀量との比較
- ◀ 2010年の人為的な水銀排出量を繰り返し入力

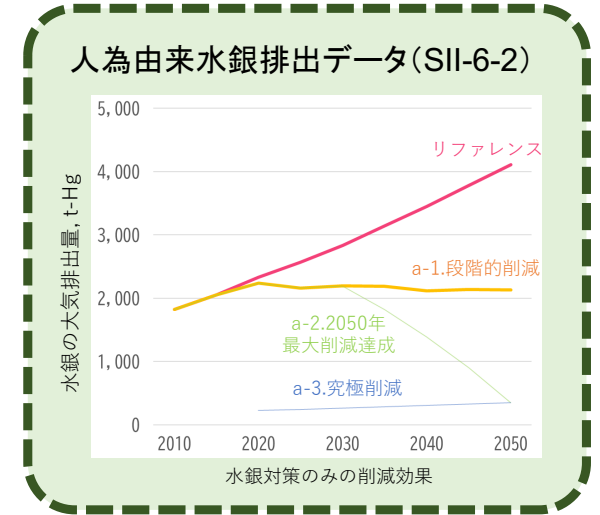
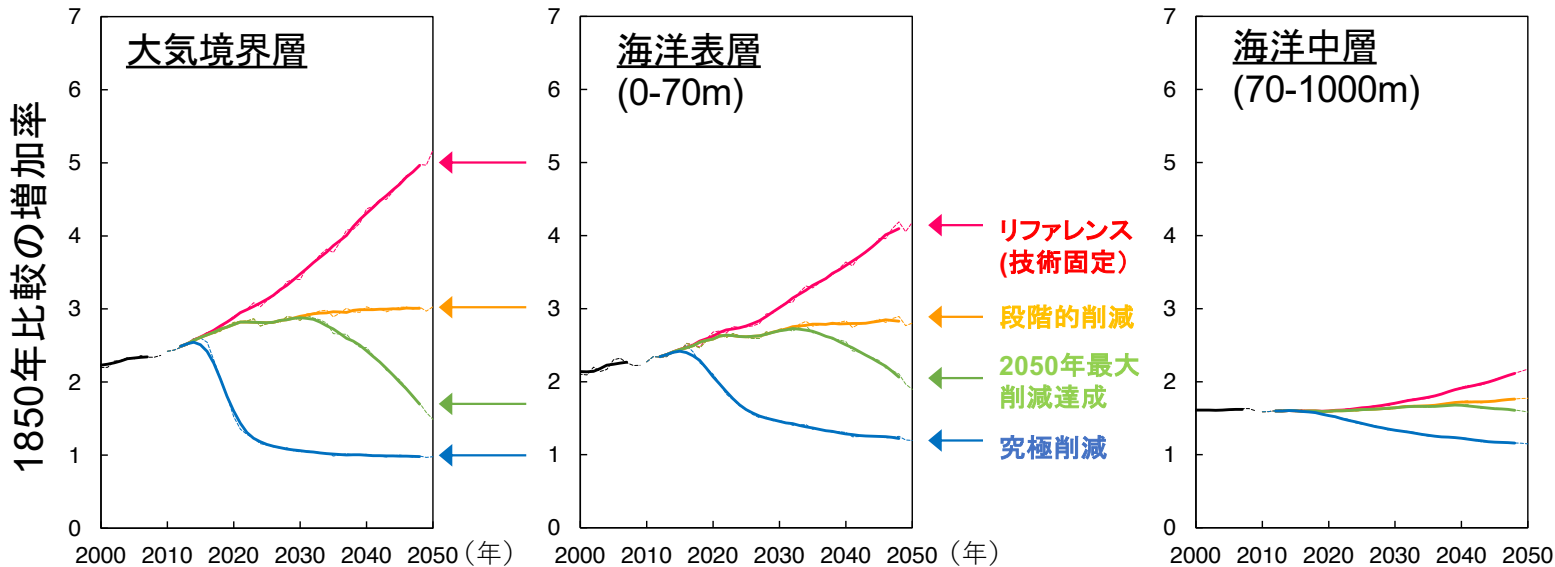
4シナリオ	共通社会 経済経路 (SSP)	2100年の 放射強制 ( $W/m^2$ )
ssp126	持続可能	2.6
ssp245	中庸	4.5
ssp370	地域分断	7.0
ssp585	化石燃料依存	8.5

1. 大気への人為的な年間水銀排出量に変化は無くても、いずれの環境も2050年ぐらいまで気候変動シナリオ間に差はなく、増加すると予測。
2. 大気境界層と海洋表層は2050年以降、海洋中層は2060年以降、気候変動の影響が表れると予測。
3. 海洋深層は滞留時間が約300年と推定されているために、2100年まではいずれのシナリオでも増加する。

# 研究成果：異なる人為由来水銀排出シナリオによる将来の水銀含有量予測

## 異なる水銀排出シナリオ(SII-6-2の成果)による将来の全球総水銀量(Hg<sup>T</sup>)の増加率予測(2000-2050年)

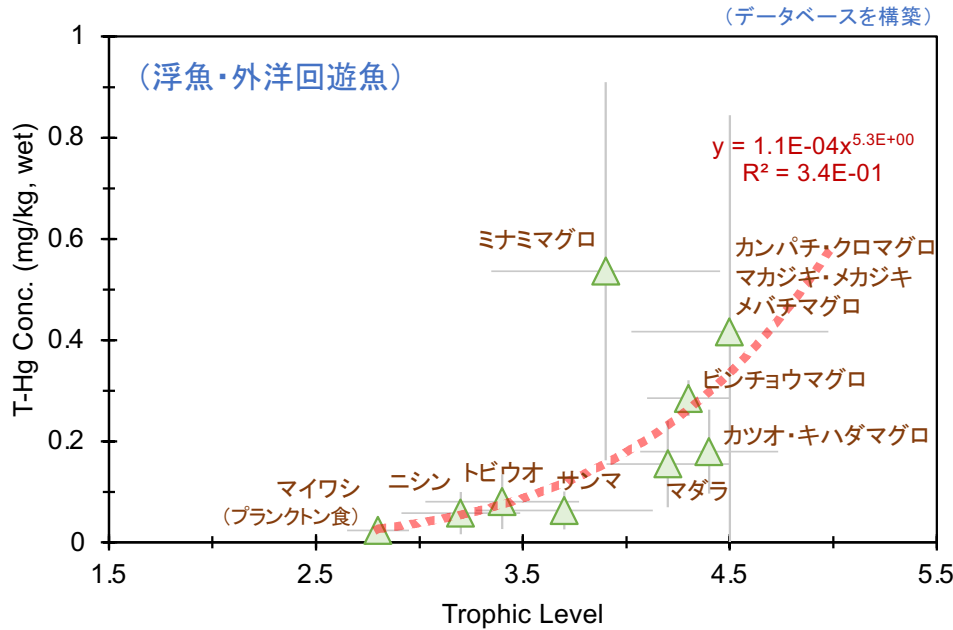
気候変動シナリオ	共通社会経済経路(SSP)	2100年の放射強制(W/m <sup>2</sup> )
ssp245	中庸	4.5



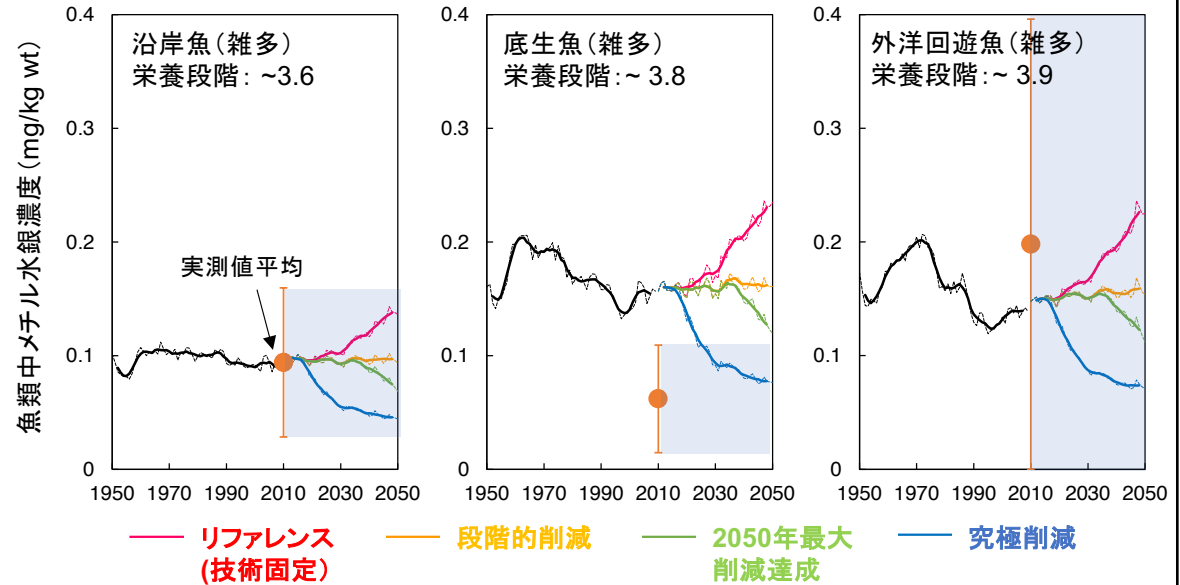
1. 大気へ的人為由来水銀の排出量を削減すれば、いずれの環境中の水銀濃度は減少すると予測。
2. 人為的な水銀排出量を段階的削減シナリオに準じて削減しても、2050年に環境中水銀濃度の増加を食い止めるに留まる可能性もある。

# 研究成果: 将来の海産物中メチル水銀濃度予測

日本近海魚類中水銀濃度と栄養段階の関係



全球モデルと食物網蓄積係数による魚類中メチル水銀濃度予測



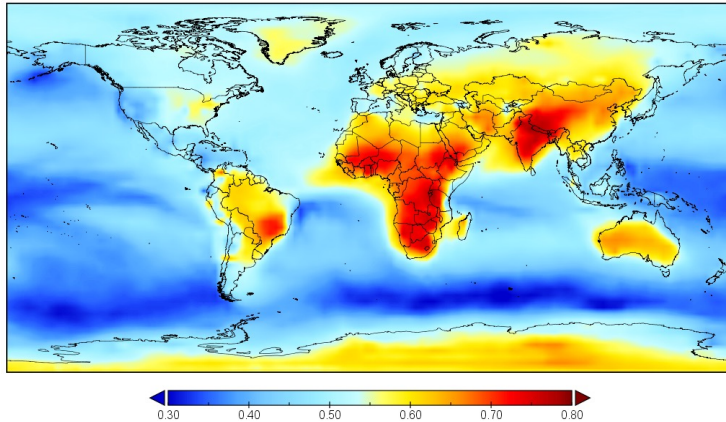
1. 全球海域面積の92.6%を占める外洋に生息する魚類中のメチル水銀濃度を、実測値と比較して2倍以内の誤差で予測した。
2. 外洋回遊魚のメチル水銀濃度予測では、将来も2010年の実測値の誤差範囲内で変動し、海洋魚類の生物モニタリングから条約の有効性を評価することの難しさを示唆した。
3. 全球モデルで沿岸浮魚のメチル水銀濃度は比較的正確に予測したが、底生魚のメチル水銀濃度を過大に評価し、浮魚と底生魚で、水銀蓄積機構を分けて予測することが今後の課題。

# 研究成果：戦略的な全球水銀モニタリング指針確立のための空間解析

## 水銀排出量の削減幅の違い(段階的削減 vs. 2050年最大削減シナリオ)による 大気と海洋上層中の粒子態有機物(POM)の水銀濃度の減少率分布(2050年時)を解析

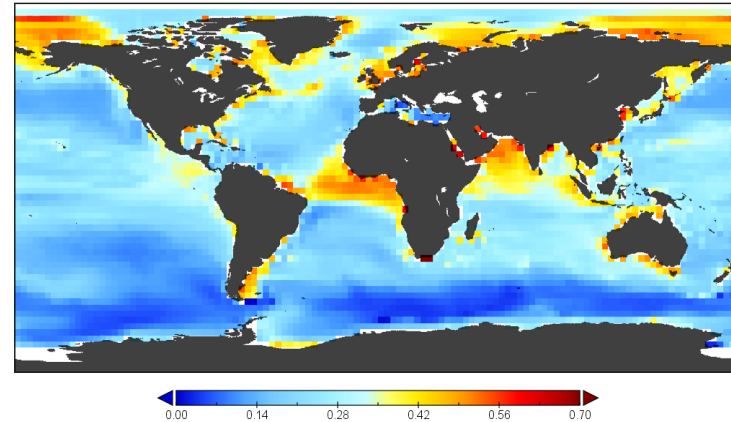
➤ 算出方法  $\text{減少率} = \frac{(\text{段階的削減分布}) - (\text{最大削減分布})}{(\text{段階的削減分布})}$

➤ 結果 大気環境



テーマ2の排出シナリオを用いた全球モデルの結果比較  
 大気 ▶ 条約の有効性評価のためのモニタリングの対象  
 POM ▶ 海洋生物の食物網の底辺に位置し、海水からメチル水銀を取り込み、  
 海洋生物中メチル水銀濃度へ影響を及ぼす

海洋上層(0 - 200m)のPOM



大気

海洋生物

水銀濃度減少が予想される地域

南アジア・アフリカ・南アメリカ東部

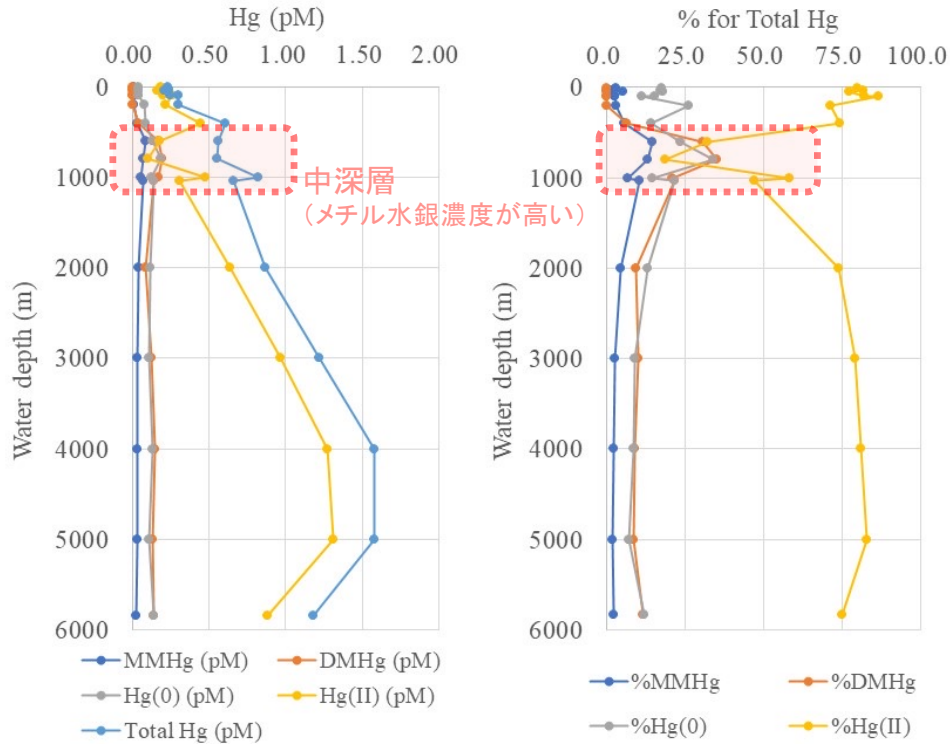
赤道周辺(大西洋・インド洋)・北極海

➤ 結論  
 上記の地域での水銀モニタリングデータ取得により、条約に基づく排出削減対策の効果が検証できる可能性がある。



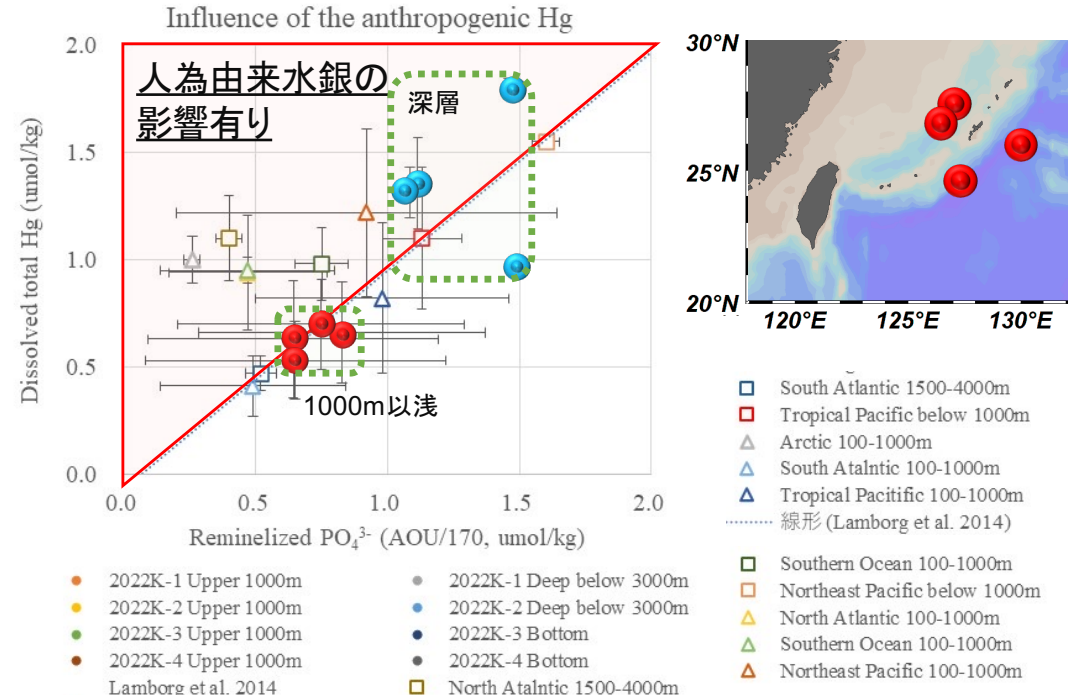
# 研究成果：北太平洋西部における海水中の形態別水銀濃度分布

## 琉球海溝（沖縄本島の東側の測点）



- 他の海域と同様に深海に比較的高い水銀濃度が分布
- 濃度範囲は検出下限値以下から約1.5 pM(0.3 ng/L)。
- 他の海域と同様に中深層でメチル水銀の存在割合が増加。

## 東シナ海（沿岸）での水銀汚染度評価

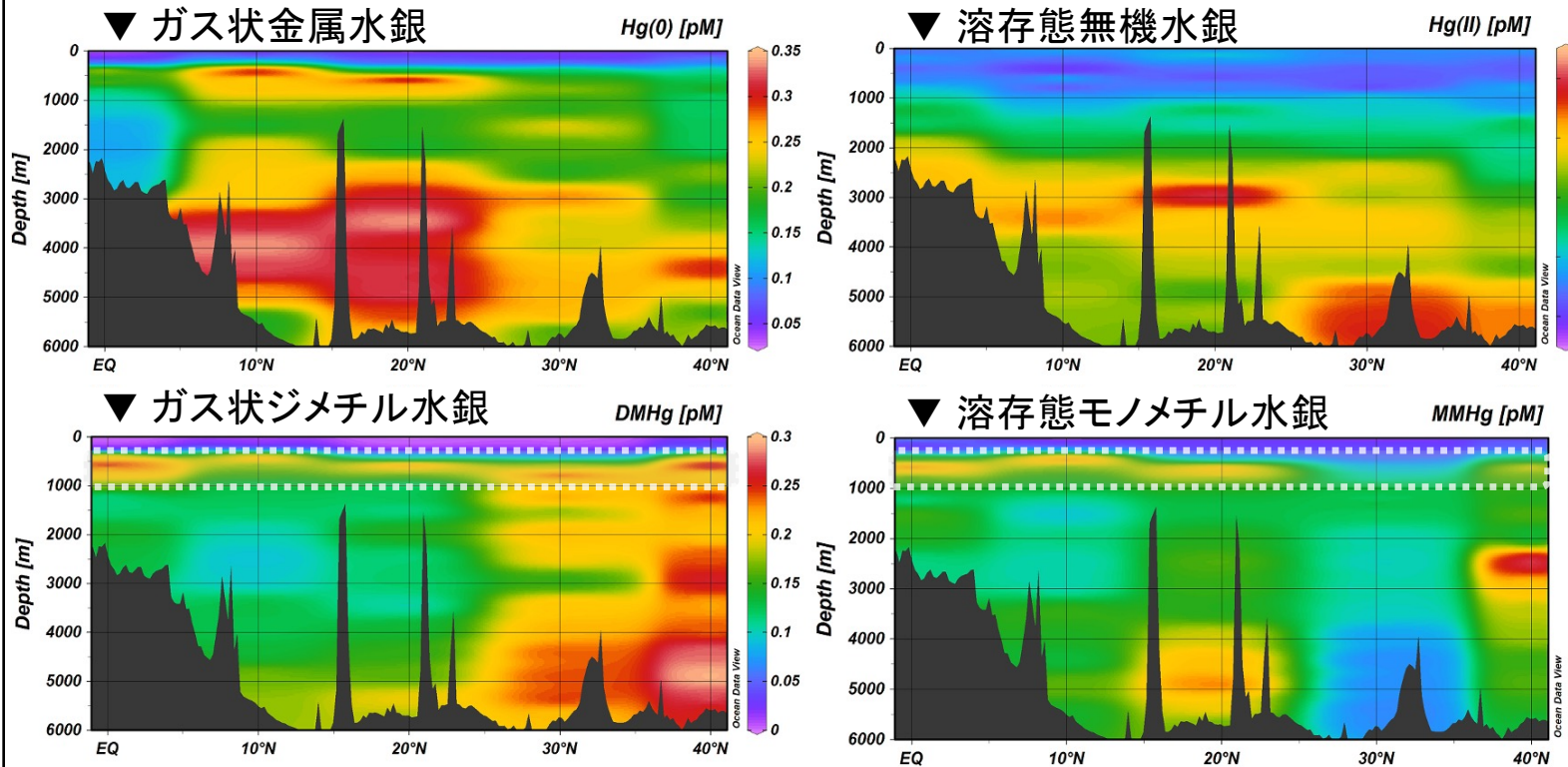


レッドフィールド比に基づいた再石灰化リン酸を指標とした海水中総水銀の汚染度評価  
\* Lamborg et al., 2014 Nature 214, 65-67

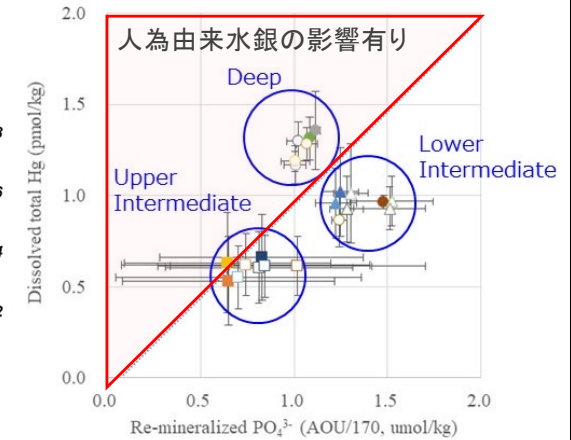
	<1,000 m	> 1,000m
汚染度評価	影響無し	影響有り

# 研究成果：北太平洋西部における海水中の形態別水銀濃度分布

## 東経155度・赤道から北緯40度海域の分布



## 水銀汚染度評価

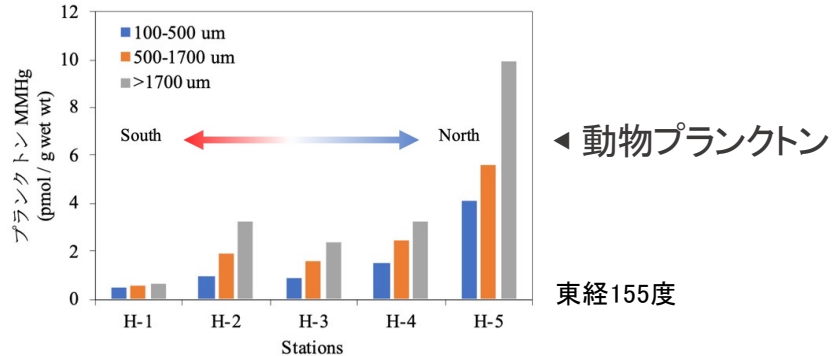


	汚染度評価
100-1,000m	影響無し
1,250-3,000m	影響無し
> 3,000m	影響有り

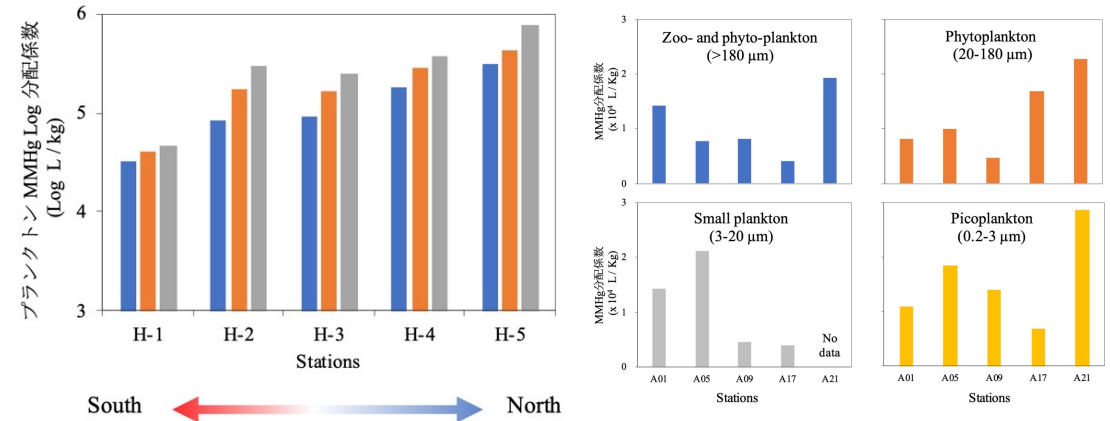
- 他の海域と同様に深海に多くの水銀が分布。濃度範囲は検出下限値以下から約1.4 pM (0.28 ng/L)。
- 中深層 (200-1,000m) でメチル水銀の存在割合が増加、深海で異なる化学形態のガス状水銀が分布。
- 東シナ海・琉球海溝と同様に、深海は人為由来水銀の影響を受けている可能性がある。

# 研究成果：北太平洋西部におけるプランクトン中のメチル水銀濃度分布

## ▼赤道から北緯40度でメチル水銀濃度が増加

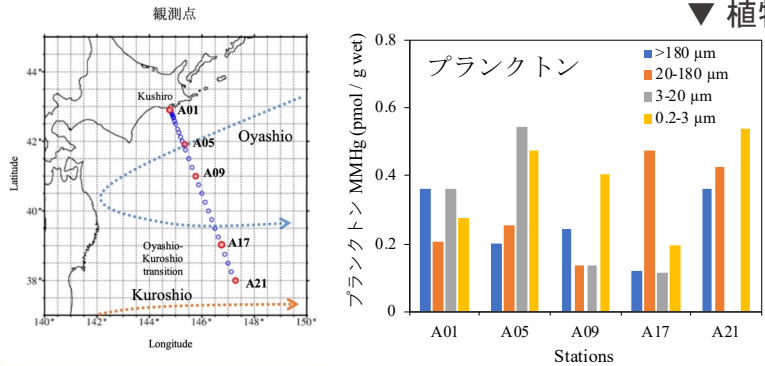


## 海水ープランクトン間で3万倍以上の水銀濃縮



## ▼親潮海域(北海道釧路沖)での分布

### ▼植物プランクトン



- 濃度範囲は約0.2から約10 pmol/gであった。
- 大型プランクトンのメチル水銀濃度が比較的高い。
- 熱帯・亜熱帯よりも、温帯・亜寒帯に生息するプランクトンの方がメチル水銀濃度が高い。

- 海水中メチル水銀濃度と比較して、プランクトン中メチル水銀濃度が約3万 - 79万倍に濃縮されていた。

北太平洋西部海域におけるメチル水銀の生物への移行程度

海水中  
メチル水銀濃度  
0.02 - 0.03 pM

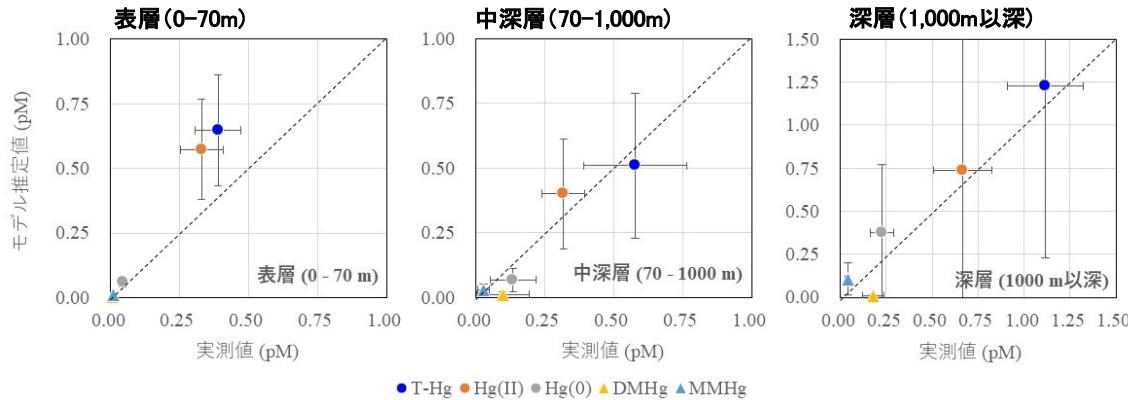
プランクトン中  
メチル水銀濃度  
0.1 - 4.7 ppb, wet

# 研究成果:水銀濃度実測値とモデル推定値の比較

(サブ2結果)

(サブ1結果)

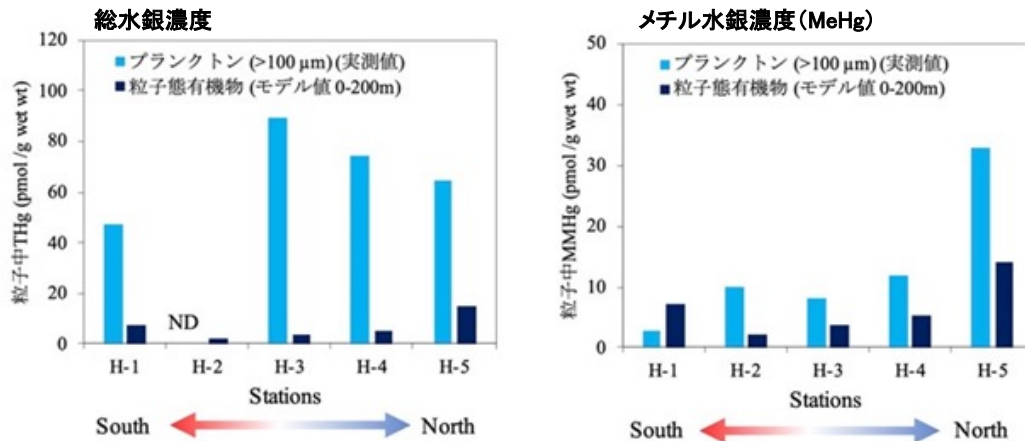
## ▶ 2022年 海水中形態別水銀濃度比較(北太平洋西部海域) \* 図中の点線は1:1の直線関係



- 概ね、0.5 – 2倍の範囲内で濃度が一致。(目標達成)
- 今後の課題
  - 中深層のジメチル水銀(DMHg)濃度の精緻化
  - 深層のモノメチル水銀(MMHg)とDMHg濃度の精緻化

## ▶ 2022年 プランクトン中総水銀(左図)とメチル水銀濃度(右図)比較(北太平洋西部海域)

\* 実測値: >100µm プランクトン中水銀濃度  
\* モデル推定値: 水深 0-200m 粒子態有機物中水銀濃度



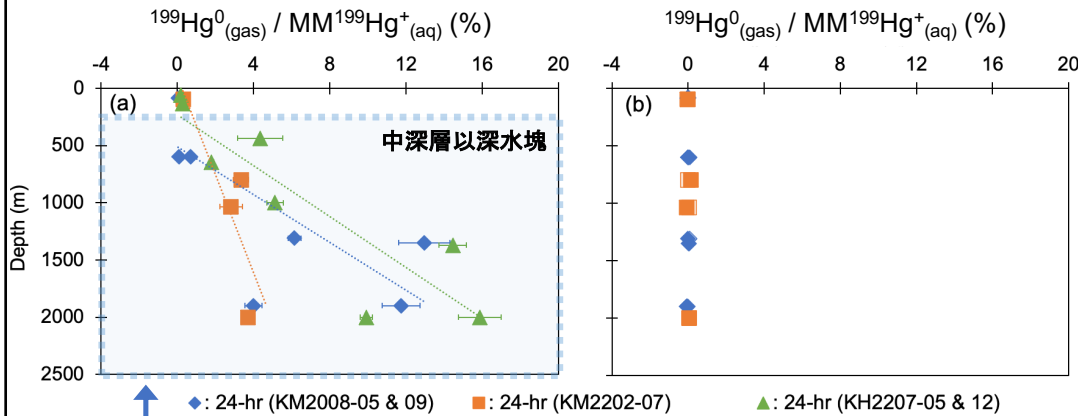
- メチル水銀濃度比較では、5倍以下の範囲で一致し、緯度分布もモデルで再現。(目標達成)
- 今後の課題
  - 総水銀濃度予測の精緻化



# 研究成果：海水中のメチル水銀の形態変化とプランクトンへの取込実験

北太平洋西部の中深層以深の水塊で、共存粒子による、モノメチル水銀の低毒化プロセスを検出

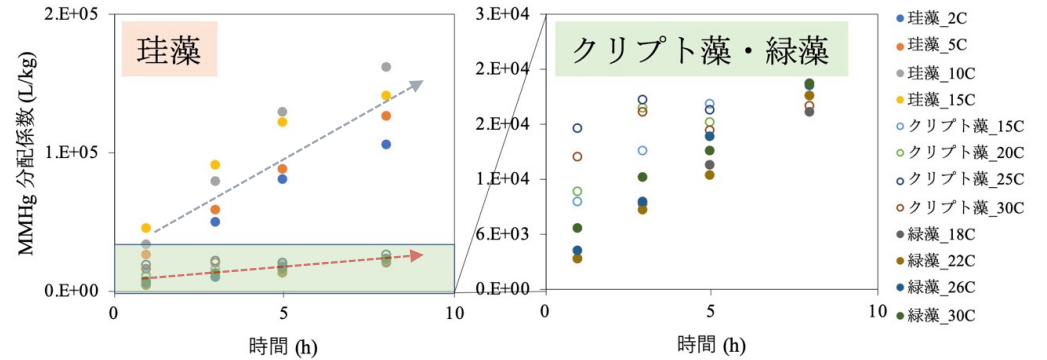
## ▼ 未ろ過海水



スパイクした溶存態水銀( $MM^{199}Hg^+$ )から生成されたガス状水銀の割合( $^{199}Hg^0$ )

- 海洋の大部分を占める深海に、モノメチル水銀を分解し、低毒化させるプロセスがあるという知見を取得。
- 今後、全球モデルで考慮しないといけないプロセス。
- モデル化のためには、分布把握と変動要因の解明が課題

珪藻は、クリプト藻と緑藻よりもメチル水銀を濃縮し、生息水温の上昇に伴って、取込み量を増やす知見。



	細胞サイズ	生息海域	分配係数	水温上昇のメチル水銀濃度への影響
珪藻	15 - 25 $\mu m$	亜寒帯(高緯度)	++	+++
クリプト藻	5 - 13 $\mu m$	温帯(低緯度)	+	+
緑藻	2 - 4 $\mu m$	温帯(低緯度)	+	+

- 珪藻が優占する高緯度海域では、人為由来水銀の影響が減少しても、水温上昇によって、生物相へのメチル水銀取込み量が増加し、高次生物の水銀濃度が増加する可能性がある。
- 生物モニタリングで、条約に基づく水銀対策の効果を検証するには、低緯度海域での生物モニタリングの方が有効

# 環境政策等への貢献

## 行政等が活用することが見込まれる成果

### 1) 水俣条約の有効性評価の枠組み設計と指標を議論する情報としての成果

↑ 中長期的な水俣条約に基づく水銀対策の環境中水銀濃度への効果を可視化

### 2) 水俣条約の有効性評価のための環境モニタリング指針の確立に対する貢献

↑ 大気中水銀濃度と海洋生物中メチル水銀濃度への水銀の排出削減効果が高い地域を可視化

## 行政等が既に活用した成果

### 1) 将来の水銀の大気排出抑制対策の検討への貢献

↑ 将来の全球大気環境等の水銀量予測結果を提示

# 研究目標の達成状況

テーマ	サブテーマ	内容	2020	2021	2022
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			
		形態別水銀の挙動解明とメチル水銀の生物移行(分配)の定量化			

概ね計画通りに研究を遂行し、目標どおりの成果をあげることができた。

## <サブテーマ1>

- 水銀の安定同位体トレーサーを用いた形態別水銀質量分析法の確立し、北太平洋西部海域の調査で、144サンプルの分析を実施。
- 将来の気候、海流、大気データ等のモデル入力データセットを整備し、異なる気候変動シナリオと将来の水銀排出量シナリオのシミュレーションを実施。
- 高度化された水銀の全球モデルの計算値が、実測値と比べて10倍未満であることを確認。
- シミュレーション結果から将来の海産物中メチル水銀濃度を予測し、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データを提供した。

## <サブテーマ2>

- 北太平洋西部海域で3回海洋観測を実施し、形態別水銀分析用に329個の海水試料を得て、水銀濃度分布に関する知見を取得
- 同じ海域で、プランクトン試料をサイズ別に分画して採取し、メチル水銀の分配係数に関する知見の取得。
- 水銀の全球モデルの高精度化の検証データとして提供した。
- 北太平洋に優占する3種類の植物プランクトンへのメチル水銀取込に対する水温の影響を調べ、種によってその応答性が異なる知見を取得。

# 研究成果の発表状況

## 誌上発表(5件)

1. 丸本幸治、武内章記、多田雄哉:地球化学会誌、印刷中、(総説)海洋における水銀の濃度分布と動態(査読あり)
2. 多田雄哉、丸本幸治:地球化学会誌、印刷中、(総説)海洋における水銀の形態変化と微生物群の関わり(査読あり)
3. 武内章記、河合徹:雑誌「金属」特集“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”「水銀の環境動態と海産物中メチル水銀濃度予測の課題」(査読なし)
4. 武内章記、丸本幸治(2021)人為由来水銀による環境中水銀含有量の増加とその動態 廃棄物資源循環学会誌 v. 32 368-374(査読なし)
5. 林岳彦、河合徹(2021)全球モデルを利用した水銀の健康リスク計算手法の開発 廃棄物資源循環学会誌 v. 32 384-391(査読なし)

## 口頭発表(16件)

1. Kawai T., Sakurai T., Suzuki N., EGU virtual general assembly 2020 (2020) Investigation of long-term fate of mercury in the ocean using a new global model.
2. N. Suzuki: Global Observation System for Mercury (GOS4M) Virtual Kick-off Workshop (2020) Multimedia fate study and monitoring of mercury in Japan.
3. 河合徹:令和2年度メチル水銀研究ミーティング(2021年、オンライン開催)全球モデルを用いたメチル水銀の摂取量予測に関する研究
4. 武内章記、岡部宣章、多田雄哉、丸本幸治、土屋正史、第29回環境化学討論会(2021)水銀安定同位体を利用した西部北太平洋海水における金属水銀生成ポテンシャルの鉛直分布
5. T. Shintani, A. Takeuchi, 2021. Optimizing pre-concentrated gaseous elemental mercury analysis on a gold trap using ICP-QQQ with an on-line thermal desorption unit for stable isotope tracer studies. Pacifichem2020 Virtual
6. 河合徹、武内章記、林岳彦、近都浩之、丸本幸治、多田雄哉、第29回環境化学討論会(2021)全球モデルを用いたメチル水銀の摂取量予測
7. 岡部宣章、武内章記、多田雄哉、丸本幸治、土屋正史、2021年度日本地球化学会年会(2021)海水中ジメチル水銀の動態把握に向けた水銀同位体トレーサー研究
8. Kawai T., Hayashi T. (2022) ASSESSING HUMAN EXPOSURE TO METHYLMERCURY FROM SEAFOOD CONSUMPTION USING A GLOBAL MODEL. 2022 Ocean Sciences Meeting.
9. 河合徹(2022)水銀の陸域動態モデルを用いた気候変動の影響予測. 環境化学物質3学会合同大会, 同予稿集, 622-623
10. Kawai T., Takeuchi A., Hayashi T. (2022) Assessing Impacts of Climate Change on Mercury Dynamics and Human Exposure Using a Global Model. The 15th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP), Abstracts)
11. 丸本幸治、武内章記、多田雄哉、小畑元:GEOTRACES-Japan Symposium 2021(2021、オンライン開催)「北太平洋亜寒帯域における化学形態別水銀の分布」
12. 丸本幸治、多田雄哉、武内章記、河合徹:第29回環境化学討論会(2021)「海水中におけるジメチル水銀とモノメチル水銀の分別定量法の検討」
13. 丸本幸治、丸本倍美:第1回環境化学物質3学会合同大会(第30回環境化学討論会)(2022)「環境省水銀分析マニュアルの前処理方法を用いた魚類中セレンの分析」
14. Y. TADA, K. MARUMOTO, N. OKABE, A. TAKEUCHI: 15th International Conference of Mercury as a Global Pollutant 2022(2022, Online) “Methylmercury partitioning in marine phytoplankton and their response to increasing water temperature.”
15. 丸本幸治、多田雄哉、武内章記:第2回環境化学物質3学会合同大会(第31回環境化学討論会)(2023)「北太平洋西部海域における海水中ジメチル水銀の鉛直・水平分布」
16. 多田雄哉、丸本幸治、武内章記、小畑元:第2回環境化学物質3学会合同大会(第31回環境化学討論会)(2023)「北太平洋西部海域におけるプランクトン中メチル水銀濃度の緯度変化」

## 国民との科学・技術対話(5件)

1. 海と地球のシンポジウム2021(リモート開催)にて、海洋汚染物質の実態把握と海洋生態系への影響評価の航海概要についてを発表
2. 第21回SATテクノロジー・ショーケース2022(リモート開催)にて、「水銀条約の有効性評価に向けた全球モデルの構築と動態予測」を発表
3. 国立環境研究所公開シンポジウム2022(リモート開催)にて、「将来の海産物中メチル水銀濃度予測への取組み」を発表
4. 国立環境研究所公開シンポジウム2022(リモート開催)にて、「将来の海産物中メチル水銀濃度予測への取組み」を発表
5. 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-環境研究総合推進費 SII-6 セミナー(ハイブリット開催)にて「人為由来水銀による環境中水銀含有量の推移」を発表

知的財産権・マスコミ等への公表・報道等:特に無し



# 研究経費の内訳

	令和2年度	令和3年度	令和4年度	合計(千円)
サブテーマ1	19,999	19,996	19,999	59,994
サブテーマ2	11,538	11,538	11,538	34,614
合計(千円)	31,537	31,534	31,537	94,608

	令和2年度 実績額	令和3年度 実績額 (繰越額を含む)	令和4年度 実績額	主な用途
直接経費	物品費	11,749	11,430	ガラス・樹脂製実験器具・試薬類・高圧ガス類等
	人件費・謝金	8,134	9,510	研究系契約職員
	旅費	2,042	2,040	調査航海・国内出張
	その他	4,481	5,300	分析機器使用料・委託業務・機器賃貸借
直接経費	26,406	28,280	26,922	
間接経費	4,615	4,614	4,615	(直接経費の30%以内)
合計	31,021	32,894	31,537	

以上