

環境研究総合推進費 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～
2022年9月8日

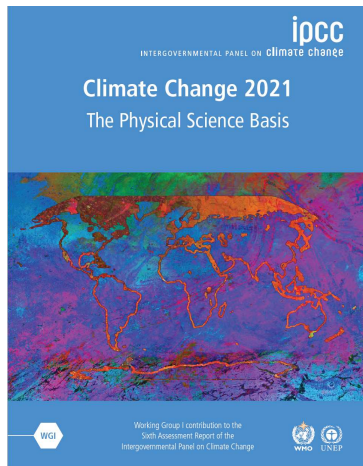
水銀排出の現状と将来 ～ 気候変動対策と水銀対策 ～

花岡達也
社会システム領域
国立環境研究所

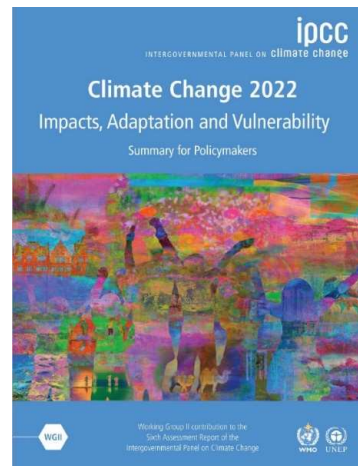
本日のトピック

1. 気候変動研究に関する世界の動向
～IPCC第六次評価報告書のメッセージ～
2. 水銀大気排出の現状と将来
～将来の水銀排出と気候変動緩和策による共便益削減効果～

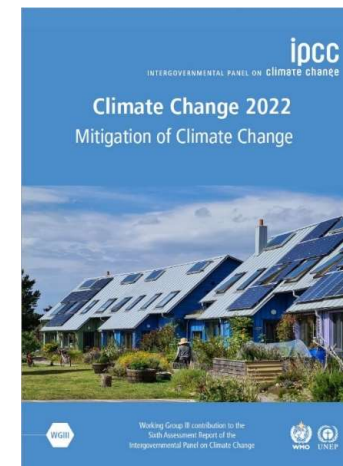
IPCC 第6次評価報告書(AR6)



第1作業部会(WG1)
科学的根拠
2021年8月



第2作業部会(WG2)
影響・適応・脆弱性
2022年2月



第3作業部会(WG3)
緩和策
2022年4月

各報告書は、以下のURLからダウンロードできる。

<https://www.ipcc.ch/ar6-syr/>

日本語要約版は、例えば以下に掲載されている。(他にも各研究機関による解説・要約も報告されている。)

WG1 <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>

WG2 <https://www.meti.go.jp/press/2021/02/20220228002/20220228002.html>

WG3 <https://www.meti.go.jp/press/2022/04/20220404001/20220404001.html>

IPCC AR6 WG1とWG2による主なメッセージ

AR6 WG1(科学的根拠)の特徴

		人為起源の気候変動影響についての評価
TAR 第三次 報告書	2001	「可能性が高い」 (66%以上) 過去50年に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガスの濃度の増加によるものだった可能性が高い。
AR4 第四次 報告書	2007	「可能性が非常に高い」 (90%以上) 20世紀半ば以降の温暖化のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の増加による可能性が非常に高い。
AR5 第五次 報告書	2013	「可能性が極めて高い」 (95%以上) 20世紀半ば以降の温暖化の主な要因は、人間活動の可能性が極めて高い。
AR6 第六次 報告書	2021	「疑う余地がない」 人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない (unequivocal)。

- 気候変動は既に、**世界中の全ての地域**において、観測された気象や気候の**極端現象**(熱波、干ばつ、熱帯低気圧など)に影響を及ぼしている。
- この先**数十年間にGHGsの排出を大幅に減少**しない限り、21世紀中に産業革命前からの気温上昇は2°Cおよび1.5°Cを超える。

AR6 WG2(影響・適応・脆弱性)の特徴

		気候変動が及ぼす観測された影響についての評価
TAR 第三次 報告書	2001	近年の地域的な気候変化、特に気温の上昇は既に 多くの物理・生物システム に対して 影響を及ぼしている 。
AR4 第四次 報告書	2007	多くの自然システム が、地域的な気候変動、とりわけ気温上昇の 影響を受けつつある ことを示している。
AR5 第五次 報告書	2014	ここ数十年で、すべての大陸と海洋において、気候の変化が 自然及び人間システム に対して 影響を引き起こしている 。
AR6 第六次 報告書	2022	人為起源の気候変動により、自然の気候変動の範囲を超えて、 自然や人間 に対して 広範囲にわたる悪影響 とそれに関連した 損失と損害を引き起こしている 。

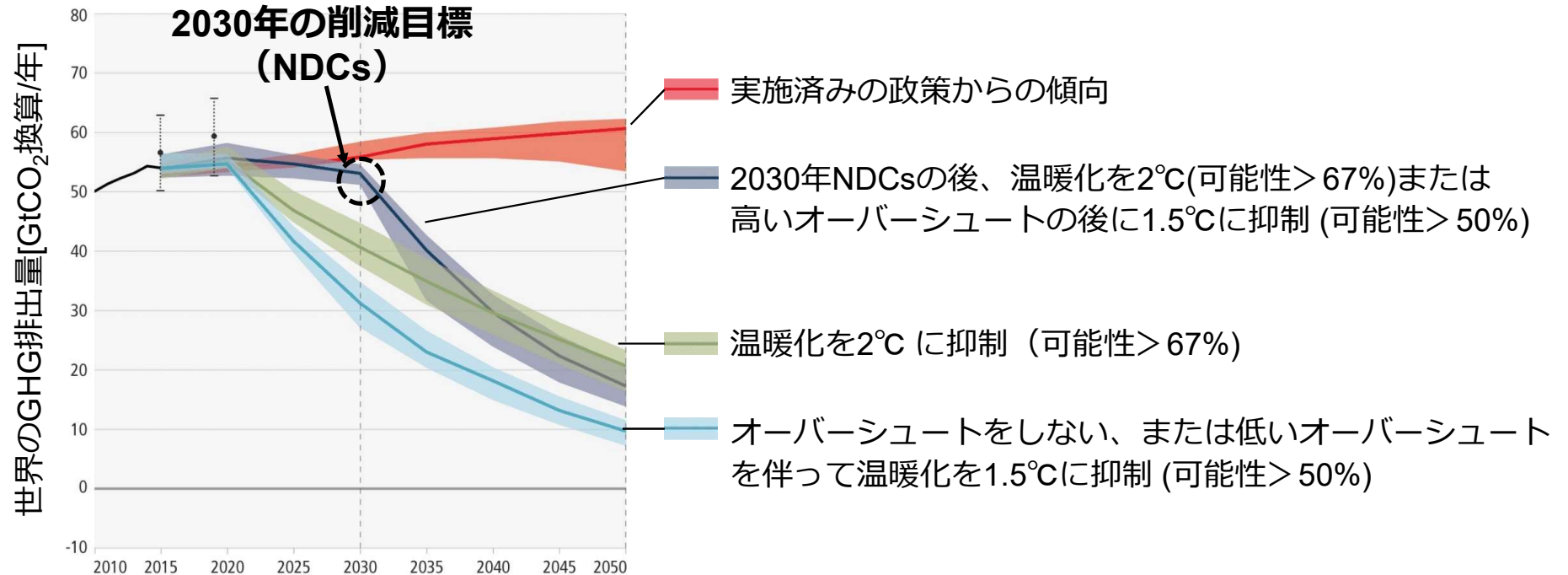
- 地球温暖化を1.5°C上昇付近に抑えることができたとしても、**気候変動に関連する損失と損害を全てなくすことはできない**。それらのリスクは、**現在観測されている影響の数倍までの大きさになる**。
- **今後10年間における社会の選択および実施される行動が鍵**となるが、短期のうちに1.5°Cを超えた場合には、気候にレジリエントな開発の実現可能性は限定的となる。

IPCC AR6 WG3(緩和策) の主なメッセージ

気温上昇水準に応じたGHG排出経路と国が決定する貢献目標との関係

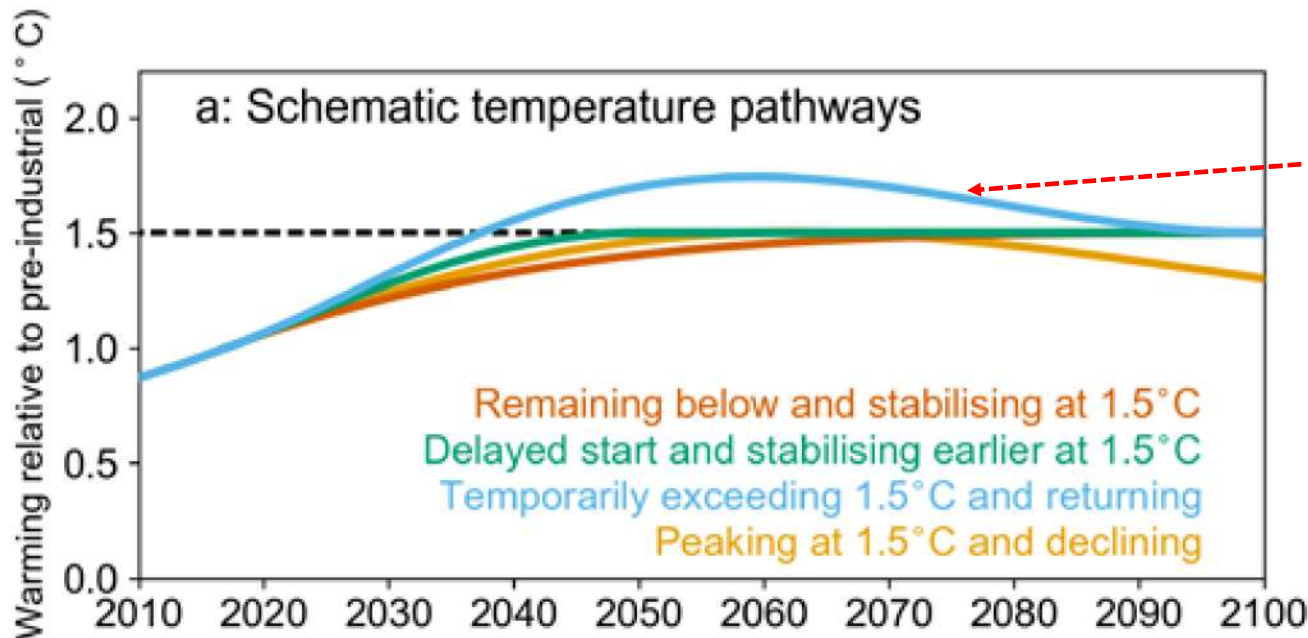
- ❑ **我々は、温暖化を1.5°Cに抑制する経路上にない。**
- ❑ 2°C・1.5°C目標の達成には現行の国が決定する貢献（NDCs）では極めて不十分。
- ❑ 2°Cより低く抑える可能性を高くするためには、2030年以降の急速な緩和努力が必要不可欠。

(SPMのB.6を抜粋・要約)



出典) IPCC AR6 WG3 SPM Figure SPM.4より抜粋・編集

(参考) 気温目標に対するオーバーシュートとは



オーバーシュートとは、例えば、1.5°Cの気温上昇水準の国際目標に対して、産業革命前と比べて平均気温上昇が**一時的に1.5°Cを超えてしまい**、超えてしまった気温を下げるために大気中のCO₂を取り除く対策を取ることで、**今世紀末(2100年)までに平均気温上昇を1.5°C未満まで戻す**こと

一次的に超えた気温を下げるためには大気中のCO₂を取り除く人為的な対策(CDR)が必要

(出典) IPCC (2018) 「SPECIAL REPORT Global Warming of 1.5 °C」より抜粋

B.6.

地球温暖化が、次の数十年間又はそれ以降に、一時的に1.5°Cを超える場合(オーバーシュート)、1.5°C以下に留まる場合と比べて、多くの人間と自然のシステムが深刻なリスクに追加的に直面する(確信度が高い)。オーバーシュートの規模及び期間に応じて、一部の影響は更なる温室効果ガスの排出を引き起こし(確信度が中程度)、一部の影響は地球温暖化が低減されたとしても不可逆的となる(確信度が高い)

出典) 環境省・文科省・農水省・気象庁「IPCC/AR6/WG2報告書の政策決定者向け要約(SPM)の概要」

IPCC AR6 WG3(緩和策) の主なメッセージ 2°Cおよび1.5°C排出経路

分類		確率	GHG排出量 (2019年比削減率)		GHG排出量 ピーク年	実質ゼロ排出達成年	
気温上昇(産業革命以後)	2030		2050	CO ₂ 実質ゼロ排出		GHG実質ゼロ排出	
C1	2100年 1.5°Cまで 低いオーバーシュート	50%	43% (34~60%)	84% (73~98%)	2020-2025 (100%)	2050-2055 (100%)	2095-2100 (52%)
C2	2100年 1.5°Cまで 高いオーバーシュート	50%	23% (0~44%)	75% (62~91%)	2020-2025 (100%)	2055-2060 (100%)	2070-2075 (87%)
C3	2100年 2°Cまで	67%	21% (1~42%)	64% (53~77%)	2020-2025 (100%)	2070-2075 (91%)	... - ... (30%)

補足) 「実質ゼロ (=ネットゼロ)」とは排出量と吸収量を均衡すること

出典) IPCC AR6 WG3 Table SPM.1 より抜粋・編集

- **全ての部門・地域において早期に野心的な削減を実施しないと1.5°Cを達成することはできない。**
- 1.5°C経路の実現には、世界のGHG排出量は遅くとも2025年までにピークに達し、2030年までに4割削減(19年比)し、2050年代初頭にCO₂を正味ゼロ排出にすることが必要。

(SPMのC.4を抜粋、要約)



- **2050年頃までに世界のCO₂を正味ゼロ排出にする必要がある!**
- CO₂だけでなく、**全ての温室効果ガスを今世紀末までに大幅に削減する必要がある!**
- **今後10年間の脱炭素対策の強化が鍵である。**

本日のトピック

1. 気候変動研究に関する世界の動向

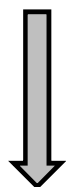
～IPCC第六次評価報告書のメッセージ～

2. 水銀大気排出の現状と将来

～将来の水銀排出と気候変動緩和策による共便益削減効果～

「水銀に関する水俣条約」の背景

世界各国における水銀汚染の顕在化

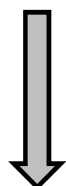


- 1950年代：日本における水俣病
- 1970年代：イラクでの中毒禍
- 近年：小規模金採掘・製錬(ASGM)に伴う南米・アフリカ諸国等における水銀汚染の深刻化

人為起源の水銀の排出・放出および海洋や土壌への水銀蓄積に関する問題に対して国際的な関心



2017年：「**水銀に関する水俣条約**」が発効



- 対象範囲：資源採掘・貿易，資源利用，排出・放出，廃棄までのライフサイクル全体を網羅
- 主な発生源：金採掘，化石燃料の燃焼および産業プロセスなど
- その他内容：**2023年までに条約の有効性評価を行う**ことが規定で定められる

2019年：「水銀に関する水俣条約」第三回締約国会議

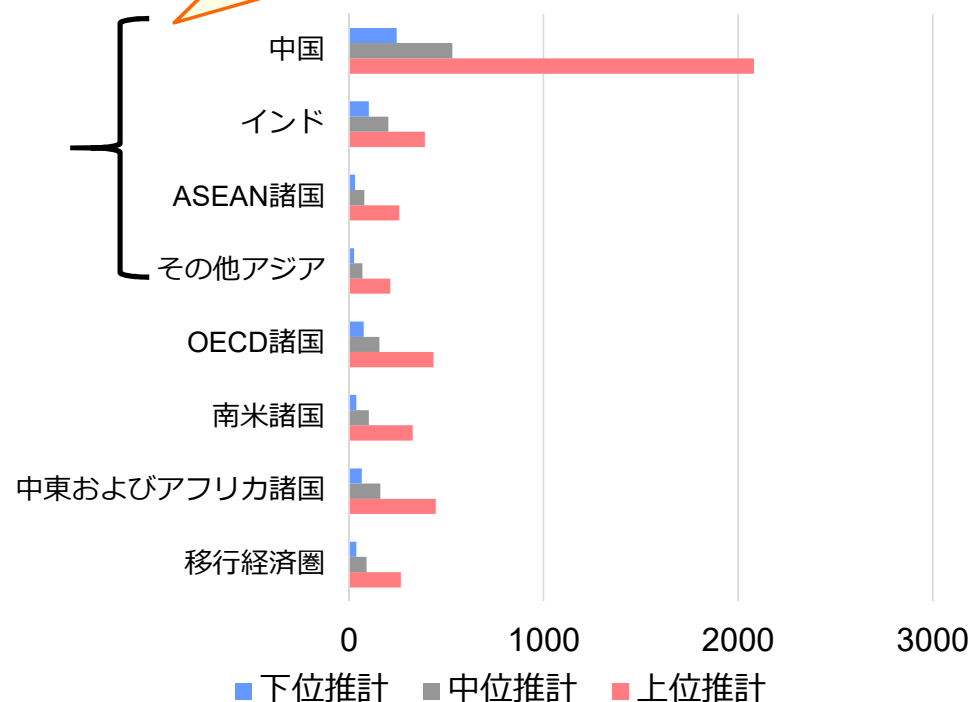
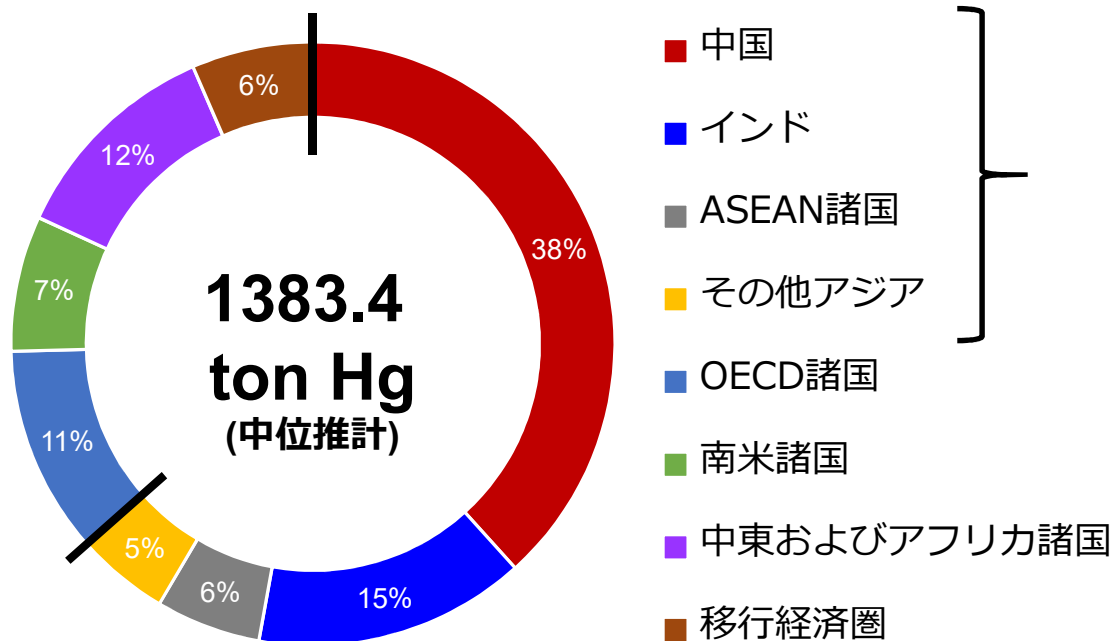
水銀条約の有効性評価の枠組みやその指標が議論されたが、
気候変動枠組条約のような**水銀排出削減目標の設定**
は、まだ定められていない。



世界の人為起源の2015年の水銀(Hg)大気排出量 その① 地域別

アジア諸国が占める割合
は世界全体の63%

アジア諸国の不確実性の
幅は大きい

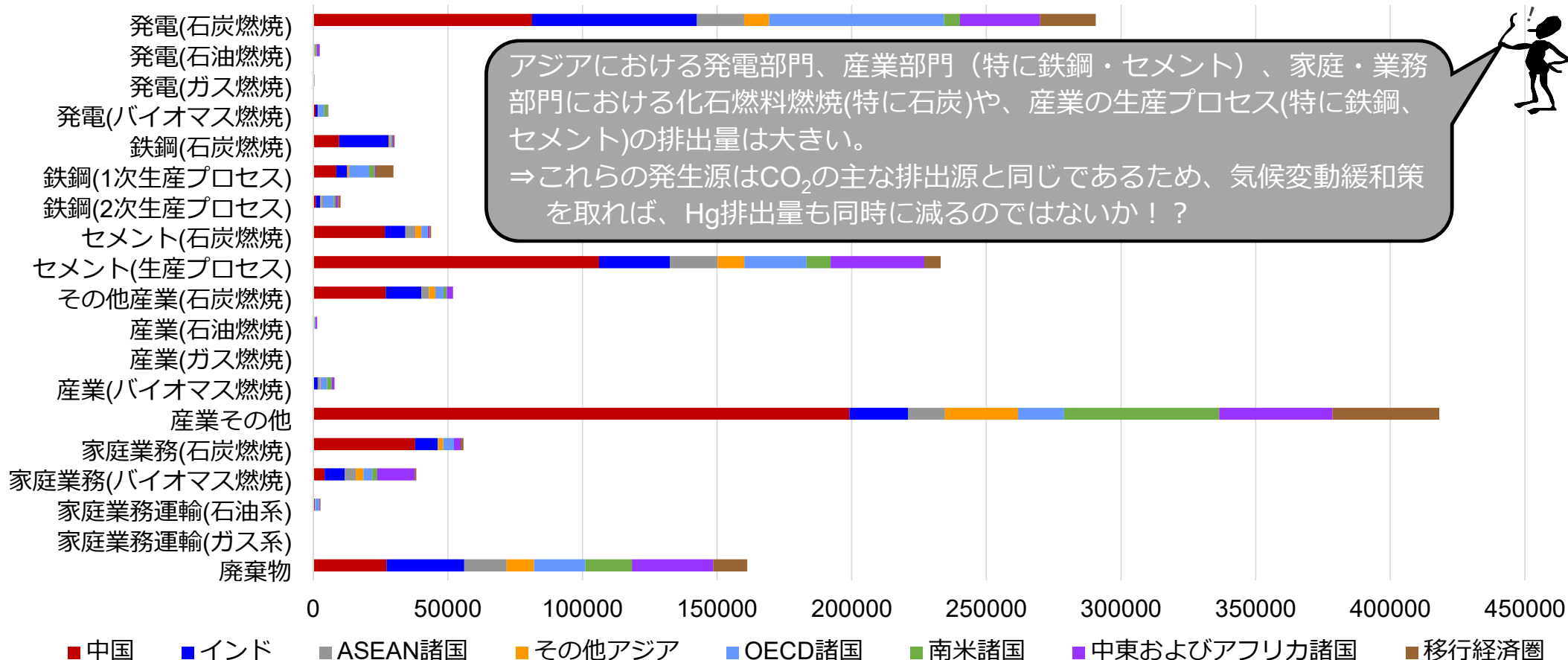


出典) UNEP Global Mercury Assessment 2018のデータより筆者作成。

世界221カ国の発電部門、産業部門、家庭部門、運輸部門など複数部門からの2015年水銀排出インベントリより作成。

(小規模金採掘からの排出は除く)

世界の人為起源の2015年の水銀(Hg)大気排出量 その② 部門別



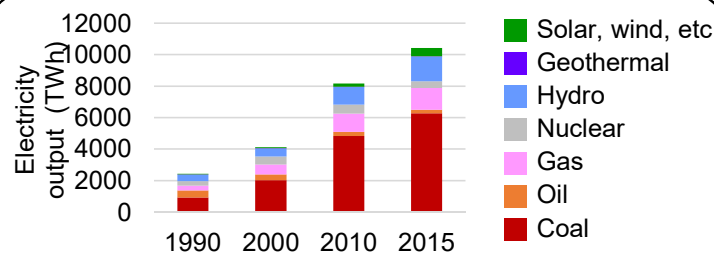
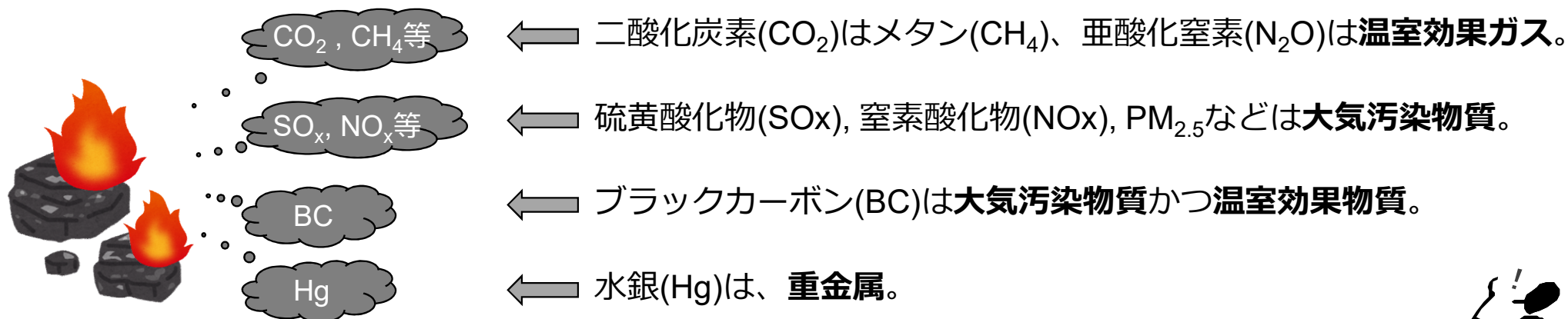
出典) UNEP Global Mercury Assessment 2018のデータより筆者作成。

世界221カ国の発電部門、産業部門、家庭部門、運輸部門など複数部門からの2015年水銀排出インベントリより作成。

(小規模金採掘からの排出は除く)

グラスゴー気候合意のCoal phasedown(石炭火力の段階的削減) の含意 ~1.5°C目標の実現にむけて不可欠な石炭削減とその効果~

例えば、石炭を燃やすときのエネルギーを使って、熱や発電に利用できますが...



アジアにおける石炭火力の割合や約60%

すなわち、CO₂削減を目的に石炭燃焼を削減すると

- ✓ 大気汚染物質の大気排出も同時に削減される！
- ✓ 水銀の大気排出も同時に削減される！



緩和策とSDGsのシナジーとトレードオフ

□ 緩和策とSDGs、緩和策と適応策の間にはシナジーが存在。一方、トレードオフも存在するが、適切な政策によって対処が可能。
(SPMのD.1を抜粋・要約)

気候変動緩和策

エネルギーシステム

- 風力発電
- 太陽光発電
- バイオエネルギー
- 水力発電
- 地熱発電
- 原子力発電
- 炭素回収・貯留(CCS)

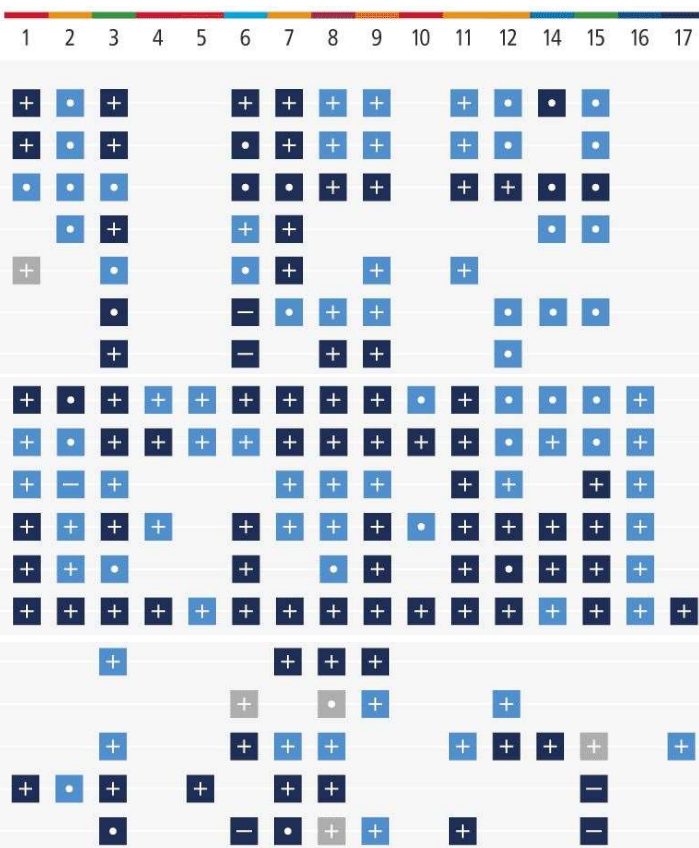
都市システム

- 都市土地利用・空間計画
- 都市エネルギーシステムの電化
- 地域冷暖房ネットワーク
- 都市グリーン・ブルーインフラ
- 廃棄物回避・最小化・管理
- 部門・戦略・イノベーションの統合

産業

- エネルギー効率向上
- マテリアル効率向上、需要削減
- 資源循環
- 電化
- CCS・炭素回収と有効利用(CCU)

SDGsとの関係



- 1 貧困撲滅
- 2 飢餓ゼロ
- 3 健康と福祉
- 4 質の高い教育
- 5 ジェンダー平等
- 6 安全な水と衛生
- 7 廉価なクリーンエネルギー
- 8 働きがいと経済成長
- 9 産業、技術革新、インフラ
- 10 不平等の削減
- 11 持続可能なまち、コミュニティ
- 12 責任ある消費と生産
- 13 気候変動対策
- 14 海の豊かさ
- 15 陸の豊かさ
- 16 平和、公正、強力な制度
- 17 パートナーシップによる目標達成

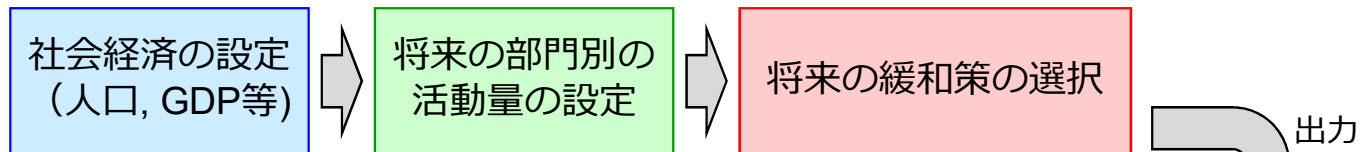
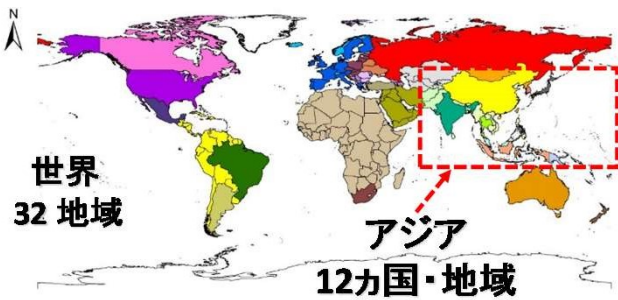
関係のタイプ:
 + シナジー
 - トレードオフ
 ● シナジーとトレードオフの両方
 空白は評価していないことを示す

確信度:
 ■ 確信度高い
 ■ 確信度中程度
 ■ 確信度低い

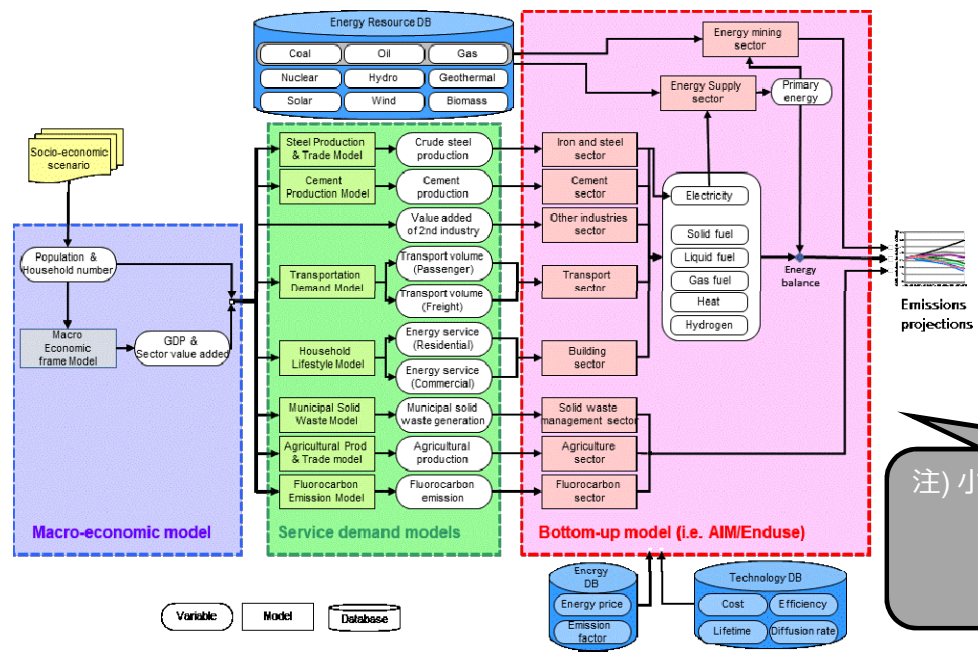
出典) IPCC AR6 WG3 SPM 8 より抜粋・編集

AIM/Enduse[Global]モデルの概要

- 技術積み上げ型最適化モデル
- 逐次均衡モデル (1年単位)
- 技術遷移や政策(炭素税、エネルギー税、補助金、規制など)の効果を評価。
- 世界32地域分類(アジア12地域分類：日本、中国、インド、韓国、インドネシア、タイ、ベトナム、マレーシア等)。



- 3つのステップ;
- 1) 社会経済シナリオの設定
 - 2) 将来の活動量（粗鋼生産量、セメント生産量、運輸輸送量等）の推計
 - 3) 技術積み上げモデルを用いた対策技術選択の評価



出力

エネルギー消費量
非エネルギー消費量
など

排出量

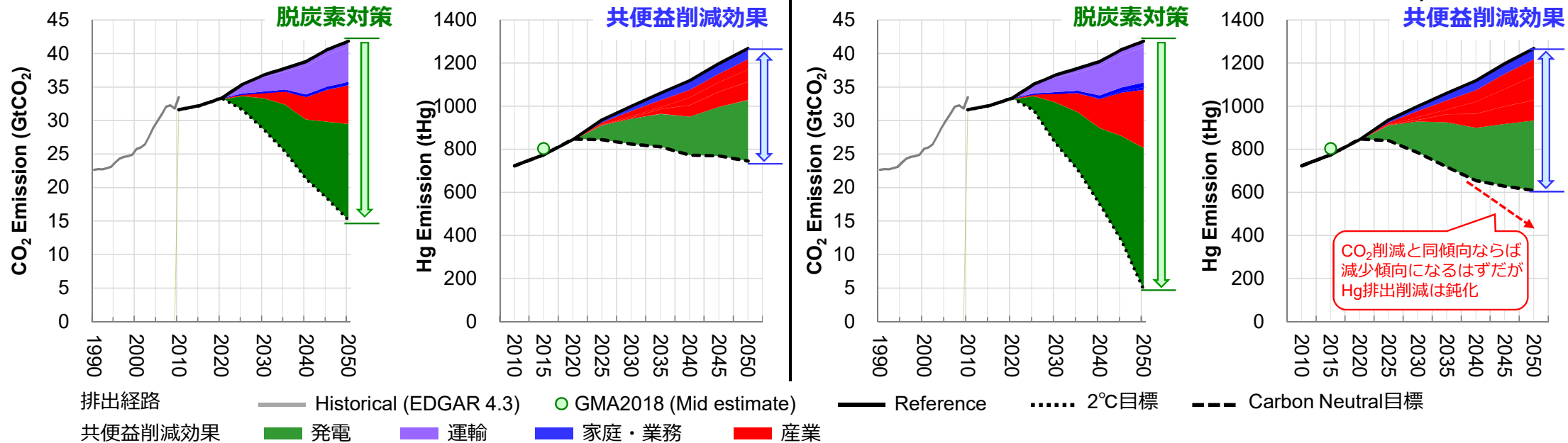
注) 小規模金採掘やエネルギー集約産業ではない非鉄金属などの産業部門、および廃棄物部門からのHg排出量の推計は、本モデルの対象外。

世界のCO₂およびHgの排出経路のまとめ

- パリ協定2°C目標に向けて気候変動対策を導入することによって、ある一定の大きな共便益Hg削減効果が期待される。ただし、CO₂削減傾向（2010年比で2050年半減）と異なり、共便益Hg削減効果は2050年までに2010年比と同等程度まる。
- カーボン・ニュートラルに向けて脱炭素対策を強化すると、同時に共便益Hg削減効果も増える。ただし、CO₂削減率と同等のHg削減率は得られず、共便益削減効果の限界あり（国別・部門別に、主な要因は異なる）。

2°C目標シナリオ相当
(2050年に2010年比CO₂半減)

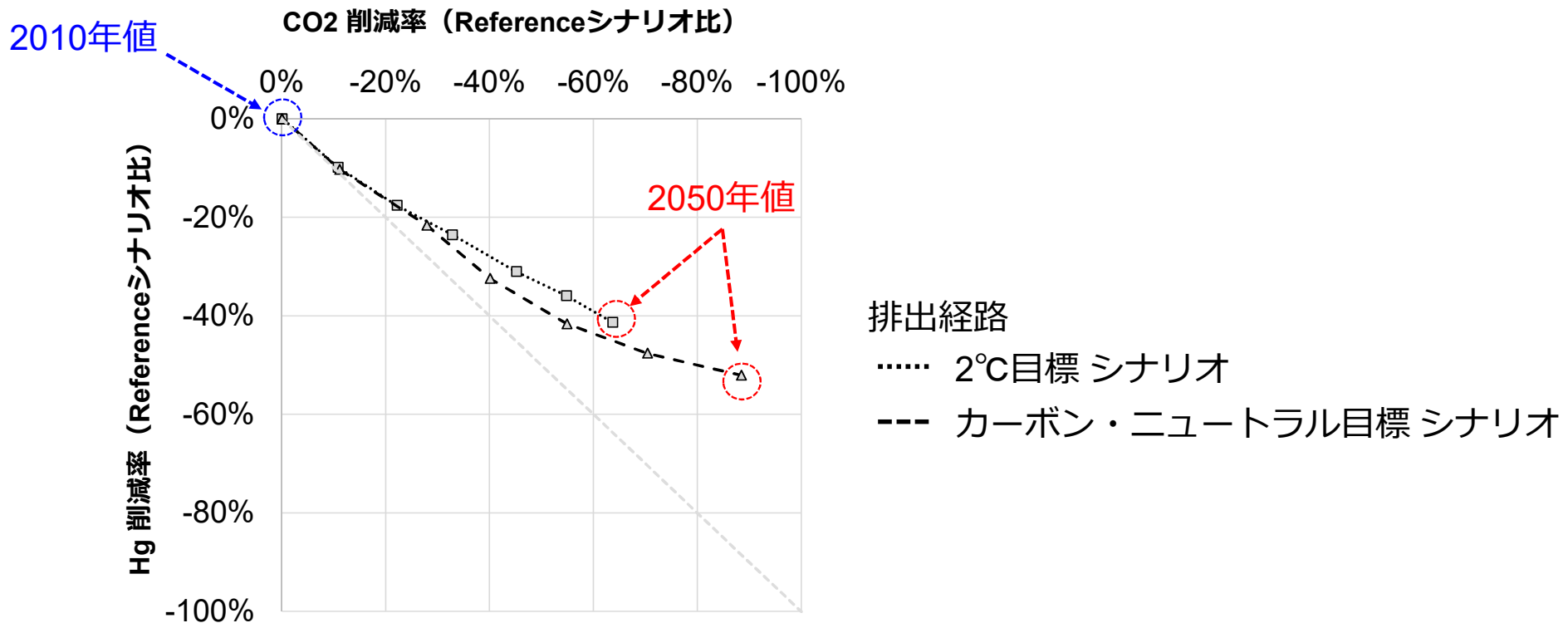
1.5°C目標シナリオ相当
(先進国は2050年頃にカーボンニュートラル、
途上国は2060年頃にカーボンニュートラル)



出典) 花岡ら (2022) 第38回エネルギーシステム・環境・経済コンファレンス 予稿集より

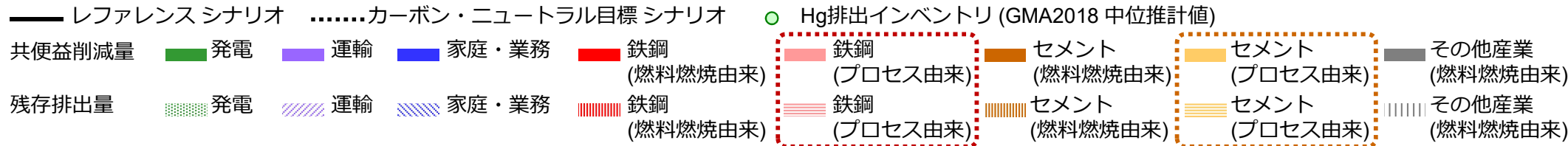
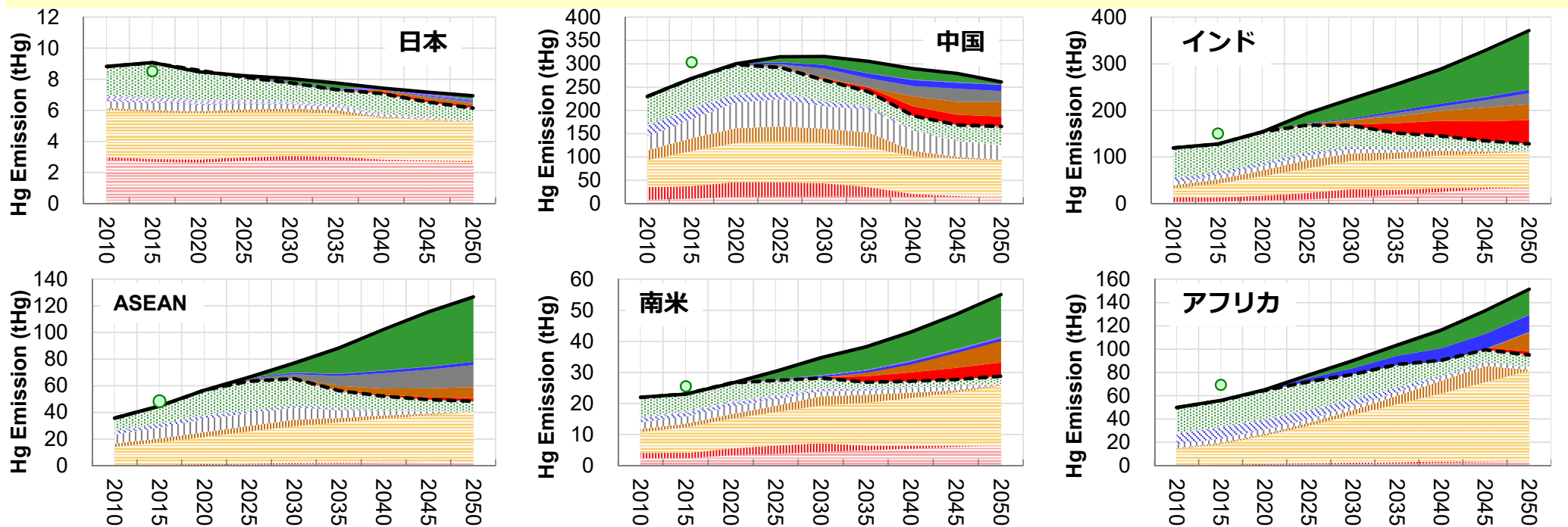
世界のCO₂およびHgの排出経路のまとめ

- 2030年頃までは、CO₂削減対策と共に共便益Hg削減効果が得られ、その関係は比例に近い（下図の45度線上に近い）。
- 2035年頃以降から、CO₂削減率に比べて、Hg削減率のスピードは鈍化していく。



カーボン・ニュートラル目標シナリオにおける 地域別・部門別の共便益水銀削減量および残存排出量

- 共便益削減効果に地域偏在性がある。
 - インド、ASEAN・南米は共便益削減効果が大。アフリカは共便益削減効果が小（∵セメント生産由来が支配的）。
- いずれの国においても鉄鋼・セメント生産プロセス由来のHgが残存するので水銀除去対策必須。



出典) 花岡ら (2022) 第38回エネルギーシステム・環境・経済コンファレンス 予稿集より

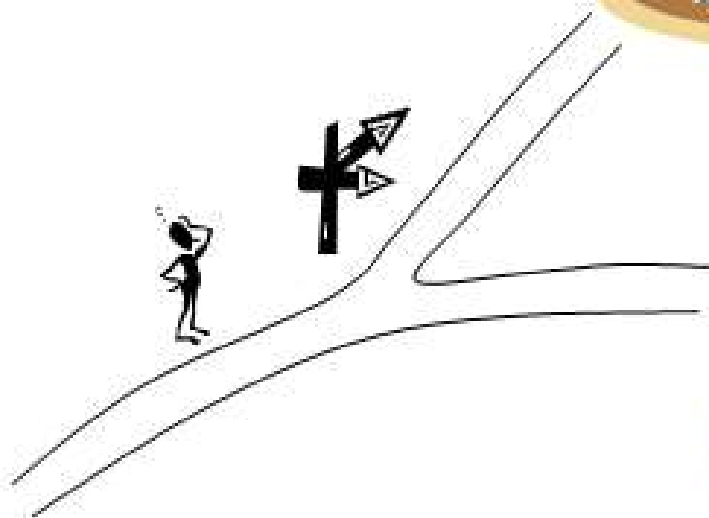
まとめ

1. 気候変動緩和策の共便益削減効果として、大きな水銀排出削減が見込まれる。ただし、CO₂排出削減率と同等の効果は得られず、共便益Hg削減効果には限界がある。
2. 気候変動緩和策の共便益Hg削減効果の特徴には地域偏在性がある。世界各国に共通して、セメントおよび鉄鋼部門の生産プロセスに由来する水銀排出量が残存する。
3. 人為起源のHg大幅排出削減を目指すには、気候変動緩和策による共便益削減効果への期待だけではなく、水俣条約の下で水銀除去対策の導入（例えば、セメントおよび鉄鋼部門の生産プロセスへの導入）を強化していくことが重要である。

Timing is important!



【連絡先】
花岡達也
hanaoka@nies.go.jp



ご清聴ありがとうございます

本研究は、（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費SII-6-2(1) [JPMEERF20S20603]およびS-20-3(1) [JPMEERF21S12009]により実施した。