

環境省環境研究総合推進費（S-12）平成26～30年度
SLCPの環境影響評価と削減パスの探索による気候変動対策の推進

テーマ3（S-12-3）

数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価

テーマリーダー	(1) 竹村 俊彦	（九州大学応用力学研究所）
サブテーマリーダー	(2) 須藤 健悟	（名古屋大学大学院環境学研究科）
	(3) 上田 佳代	（京都大学大学院工学研究科）
	(4) 増富 祐司	（茨城大学農学部）
	(5) 渡邊 真吾	（海洋研究開発機構）
	(6) 中田 真木子	（近畿大学総合社会学部）
	研究分担者	(5) 高橋 洋

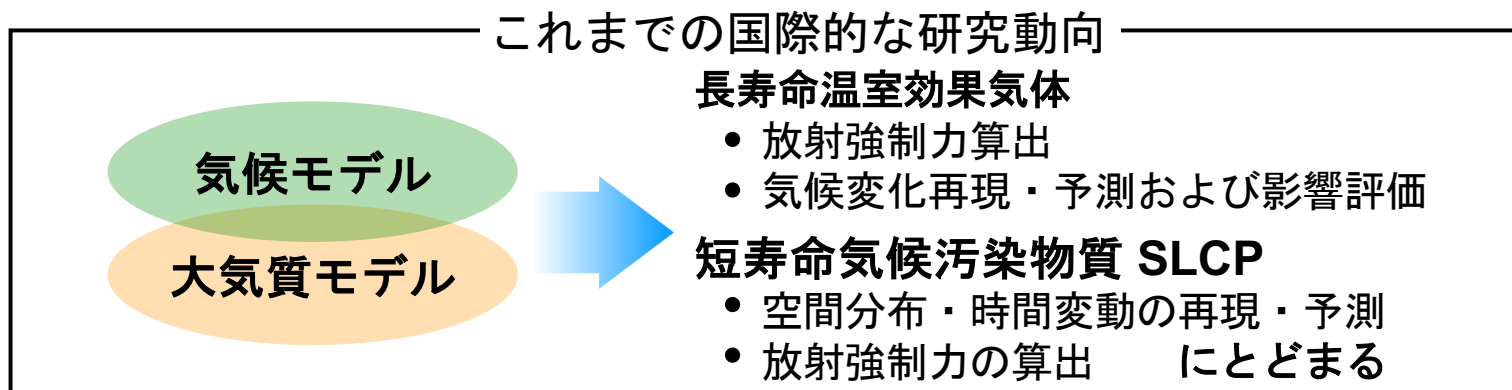
累積予算額：196,219千円

本研究課題の目的

気候・大気質モデルを結合させた数値シミュレーションを行い、SLCP関連排出量の変化に伴う気候・健康・農作物に対するSLCPの影響を定量的に評価する。

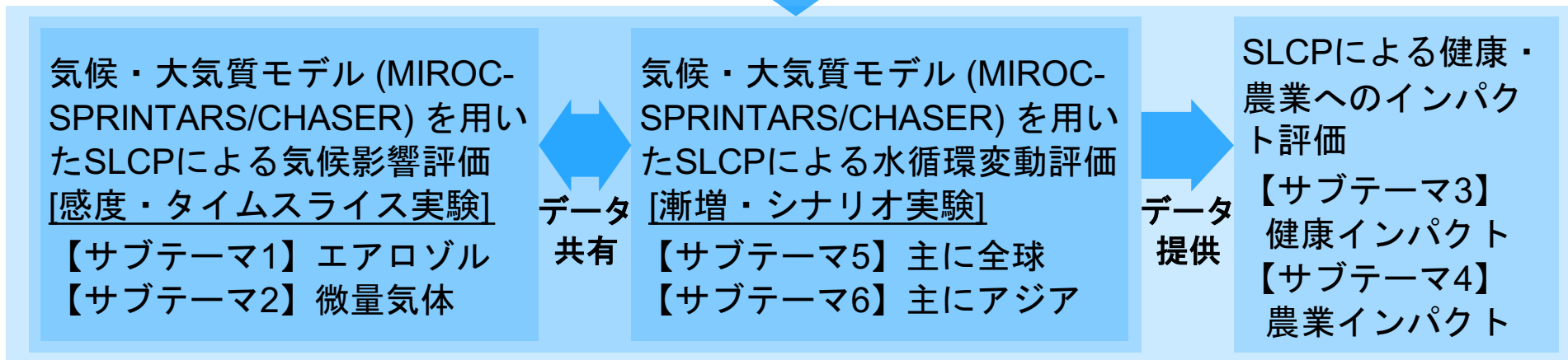
→ 最適なSLCP/温室効果ガス削減経路選択のための科学的根拠資料に資する。

S-12-3の研究の背景・概要・構成



排出インベントリ・排出シナリオ [テーマ1・2]

排出インベントリ・シナリオ供給



テーマ3

計算結果

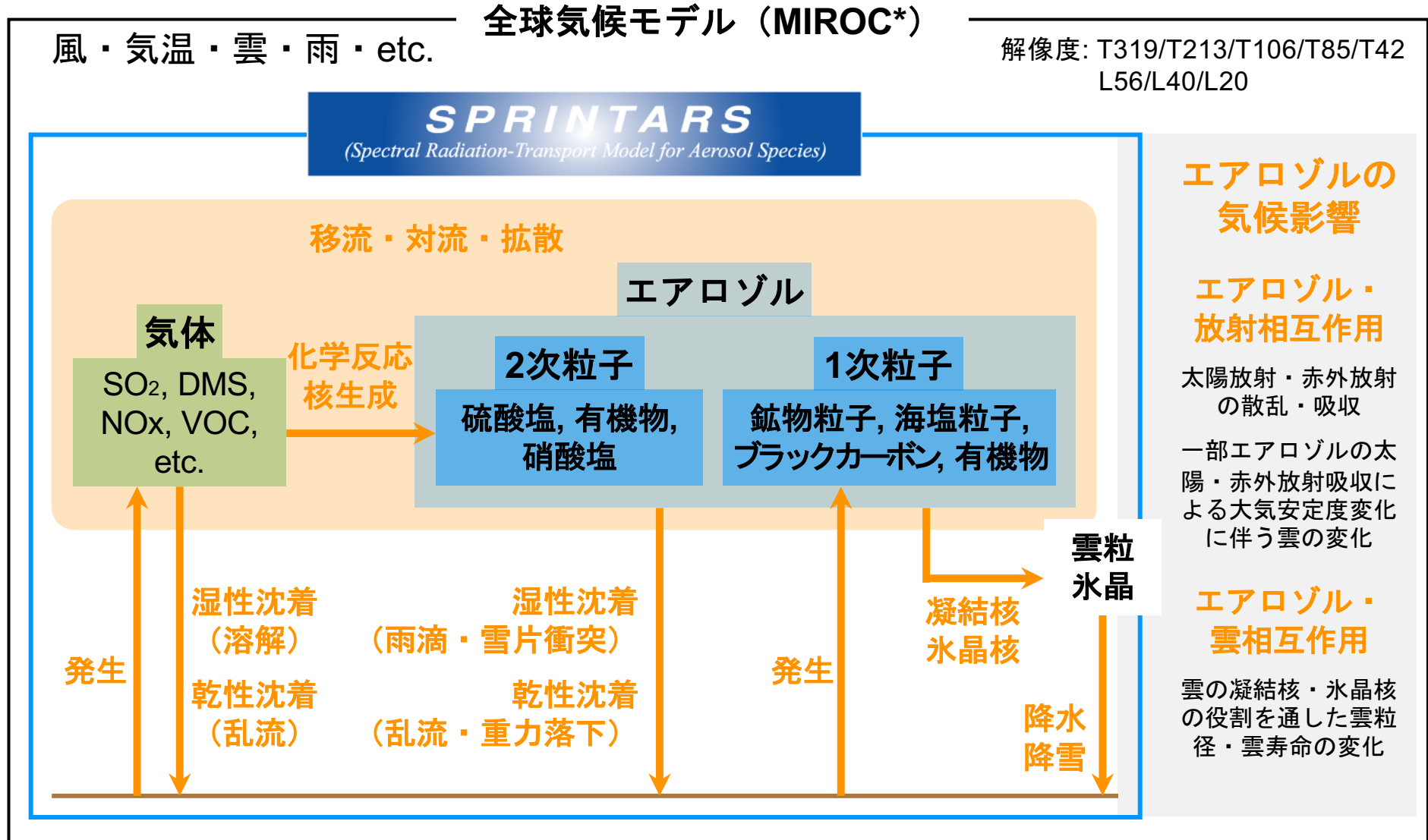
SLCP最適パス探索 [テーマ2・4・5]

最適シナリオ提案

全球エアロゾル気候モデルSPRINTARSの概略

サブテーマ1

参考文献: Takemura et al. (JGR, 2000; JCLI, 2002; JGR, 2005; ACP, 2009)

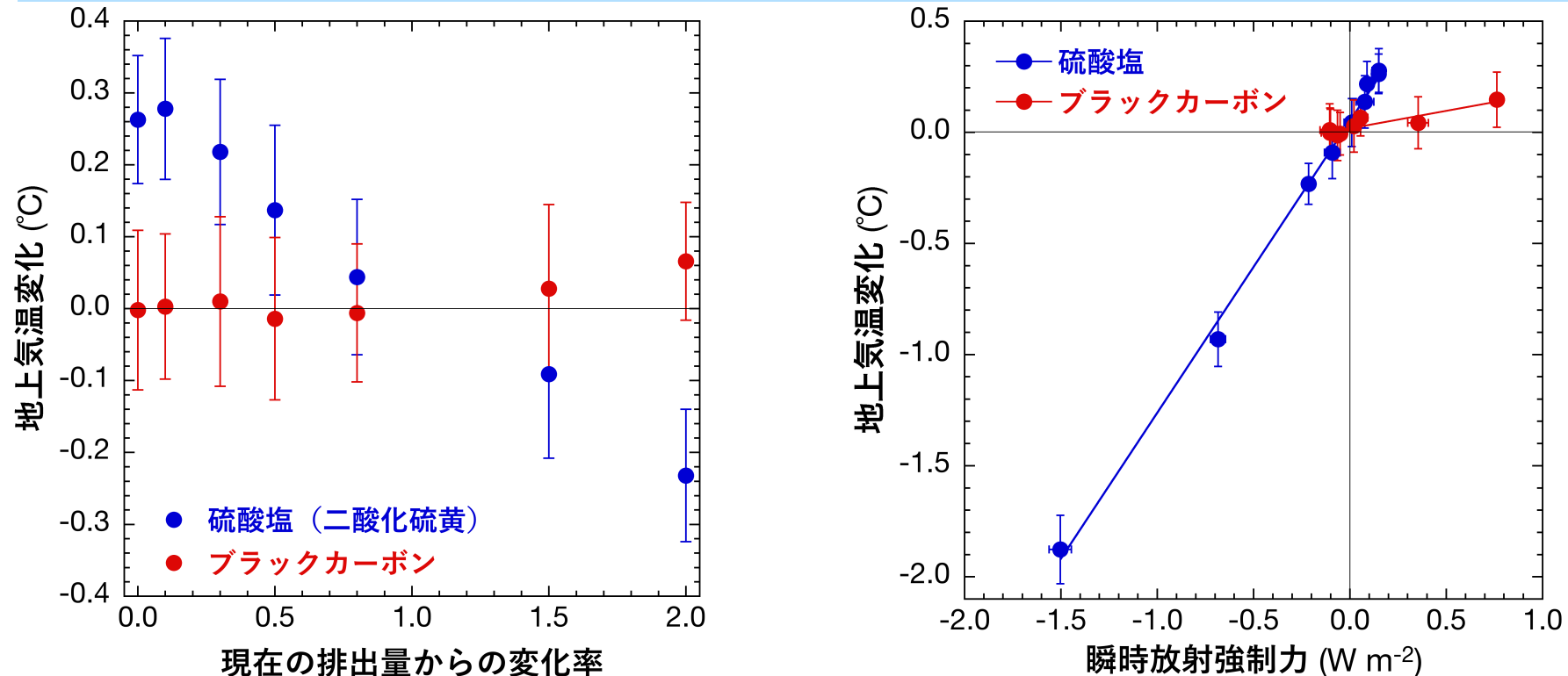


* MIROC: 東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構などにより開発されている全球気候モデル

人為起源エアロゾル排出量増減に伴う地上気温変化

サブテーマ1

大気海洋結合および大気のみでのMIROC-SPRINTARSに与える人為起源エアロゾル関連物質（二酸化硫黄およびブラックカーボン）排出量を現在の0~2, 5, 10倍にするシミュレーションを実施



MIROC-SPRINTARSにより計算された二酸化硫黄もしくはブラックカーボンの排出量を変化させた場合の（左）全球平均地上気温変化（右）全球平均瞬間放射強制力と地上気温変化との関係 (Takemura and Suzuki, Sci. Rep., 2019). * Suzuki and Takemura (JGR, 2019) にてエネルギー収支解析

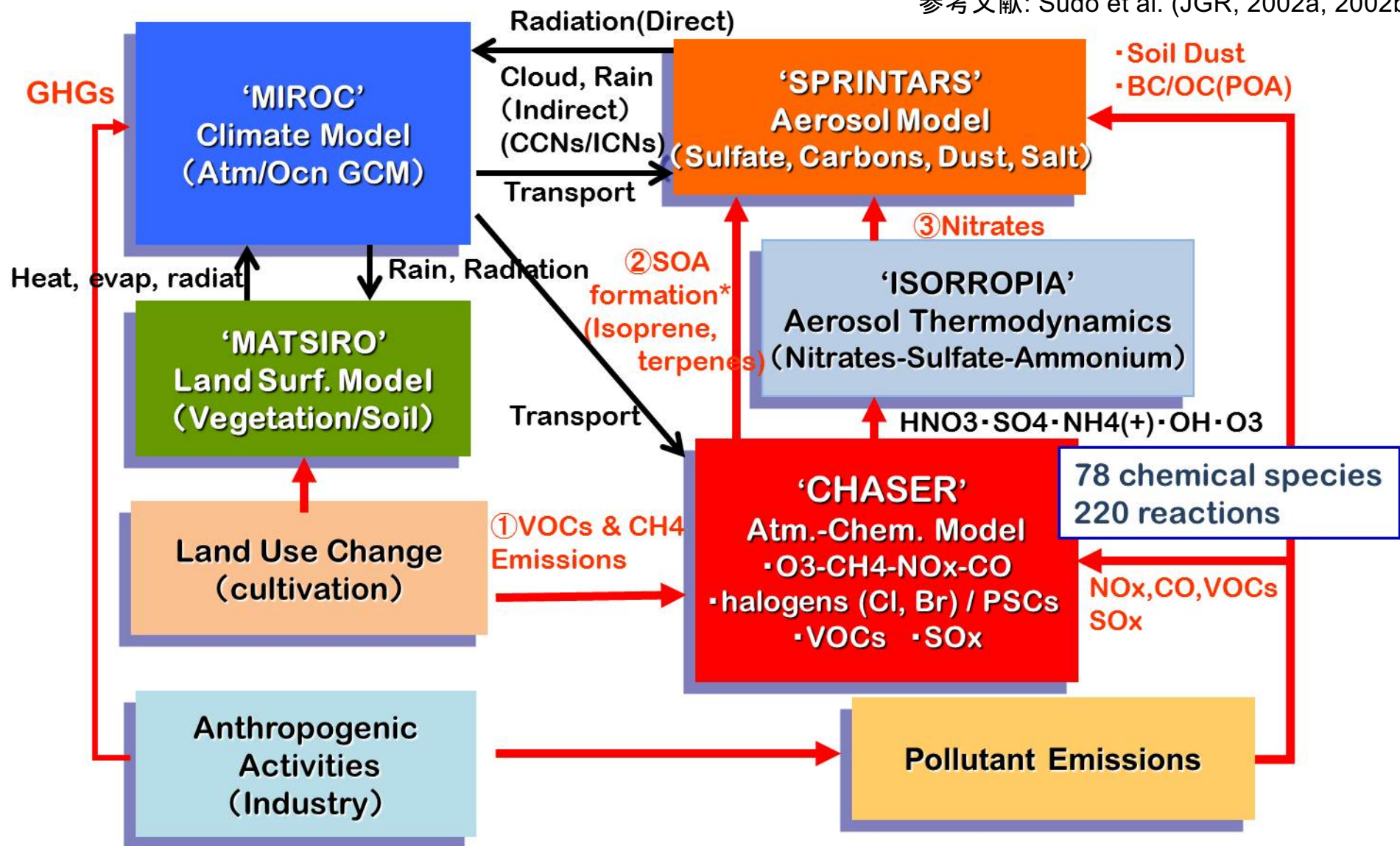
瞬間放射強制力だけでは地上気温の変化の指標にはならない場合がある

→ 気候変動の指標となる様々な気象条件の変化に影響を与える要素（物質）ごとに定量的に把握することが重要

全球化学気候モデルCHASERの概略

サブテーマ2

参考文献: Sudo et al. (JGR, 2002a, 2002b)

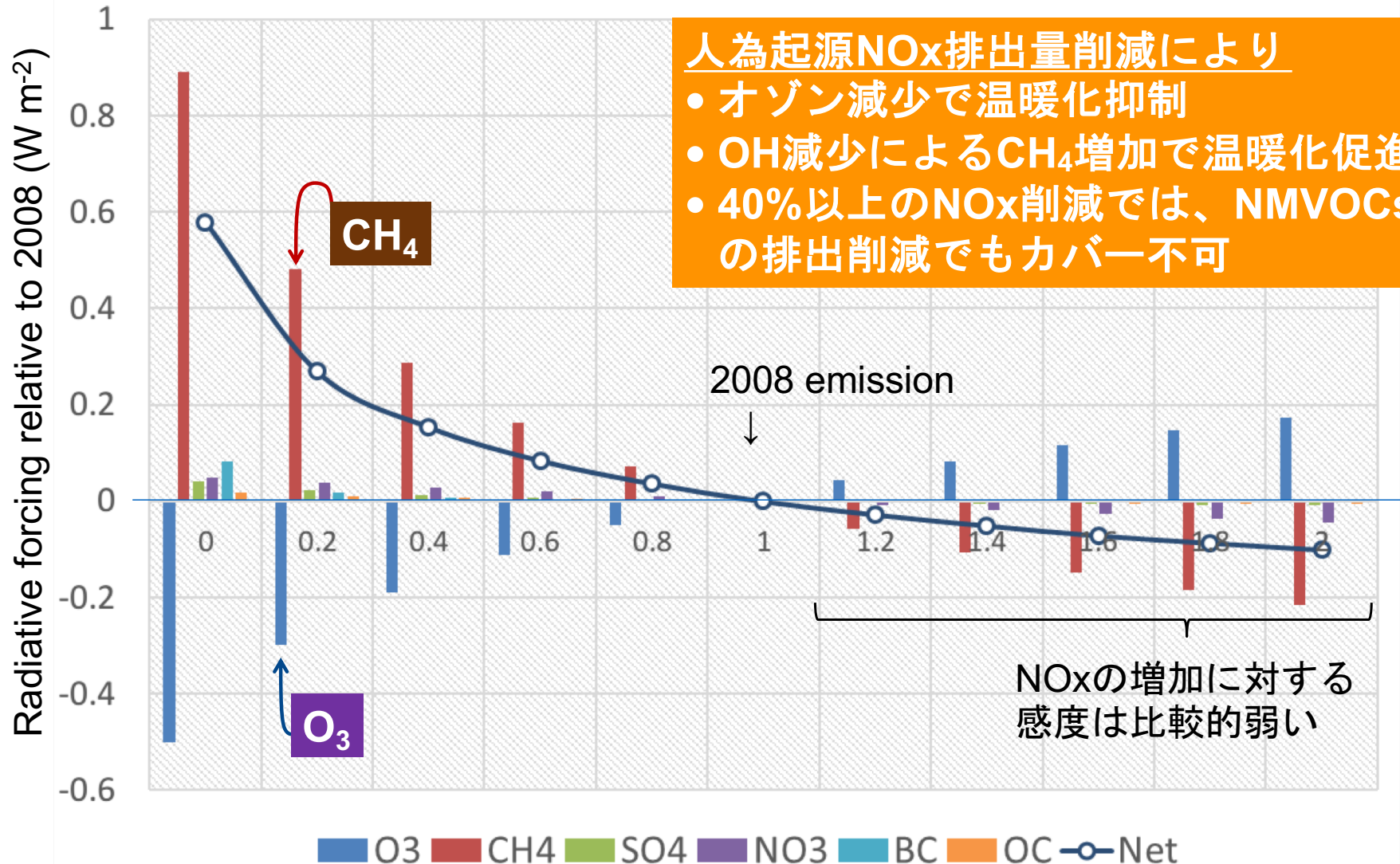


*Based on Griffin et al (2001)

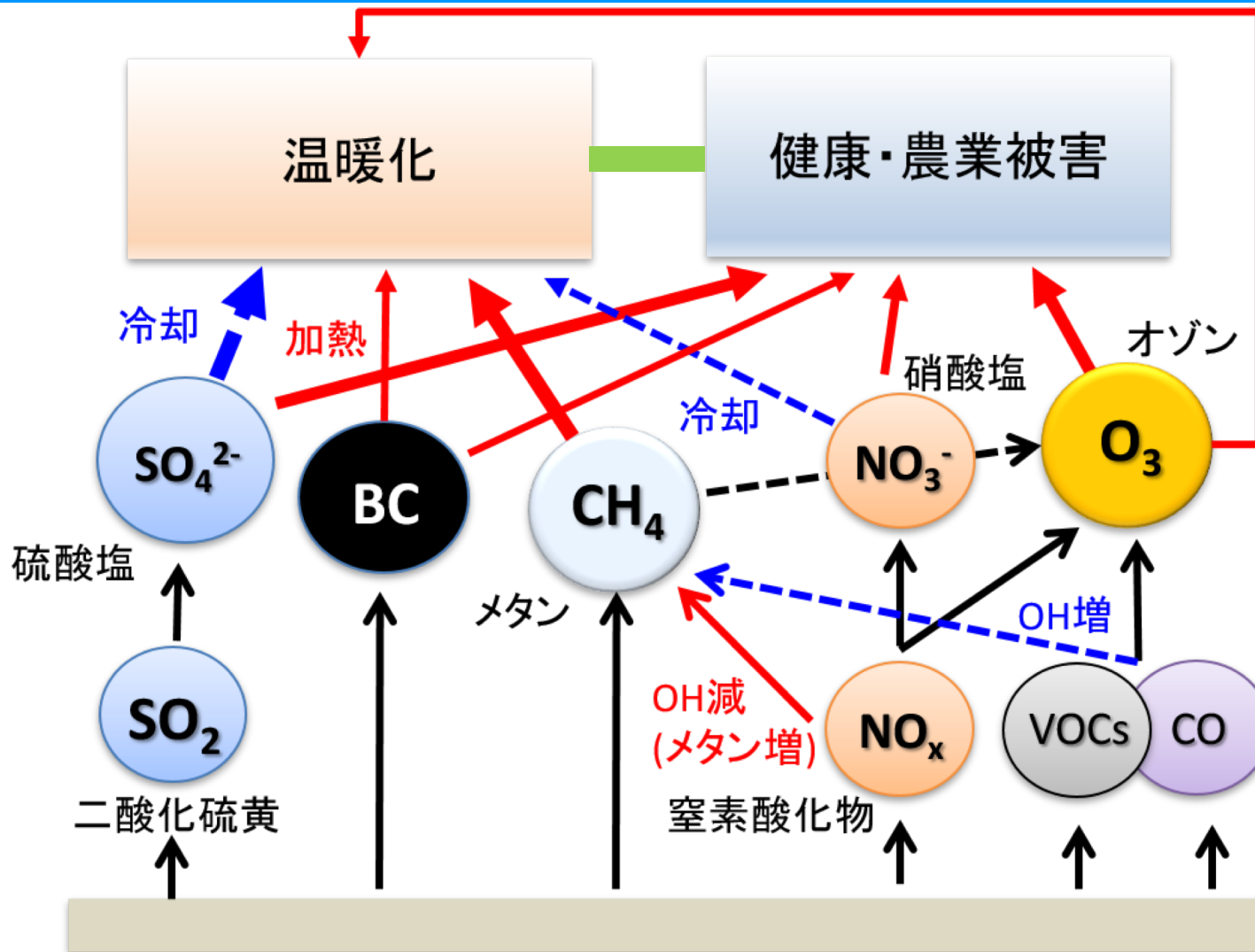
窒素酸化物排出量変化による放射強制力の応答

サブテーマ2

MIROC-CHASERにより計算されたNO_x排出量変化に伴う各大気汚染物質の全球平均放射強制力



SLCPによる影響と相互作用



SLCPが温暖化および健康・農業に与える影響と各物質の相互作用。赤実線および青破線はそれぞれ正・負の影響を意味し、線の太さで影響の大きさを示す。各影響についてベネフィットを期待するには、赤線を弱め、青線を強める（弱めない）エミッション削減方法が効果的である。

健康・農作物被害を削減しながら地球温暖化も緩和することのできる最適なSLCP削減策は複雑な相互作用を考慮して設計する必要がある

SLCPによる健康影響の評価

サブテーマ3

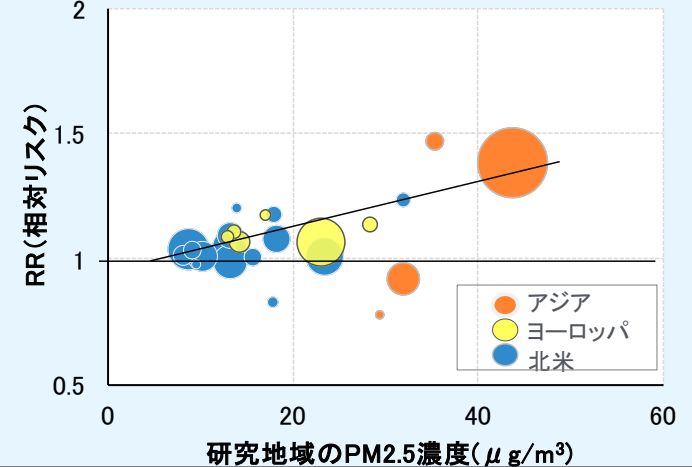
SLCP排出削減シナリオ

MIROC-SPRINTARS/CHASERによるPM2.5やオゾン濃度の推定

人口と死亡率で地域死亡数を推定

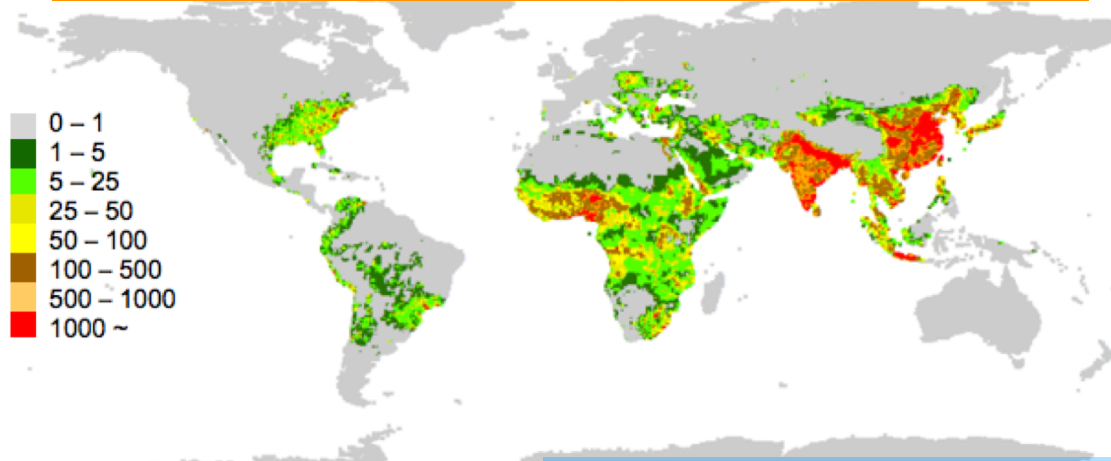
これまでの疫学調査に基づいた大気汚染物質 (PM_{2.5}, オゾン) 濃度と死亡との関係の統計学的推定

研究地域別のPM2.5濃度レベルとリスク比 (研究規模で重みづけ)

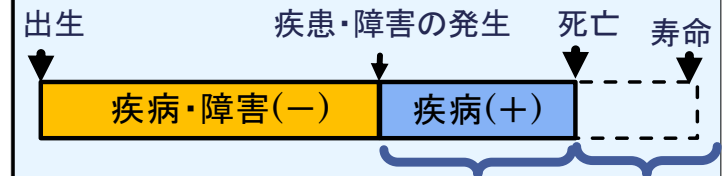


死亡時の年齢を考慮した損失生存年数 (YLL) の整備

大気汚染物質に関連する死亡数・YLLの推定



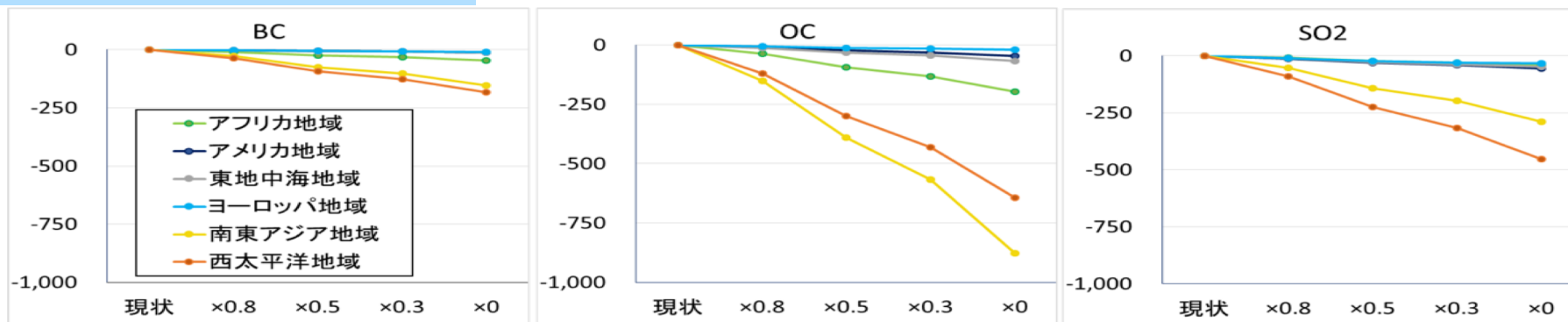
PM2.5関連死亡数の分布 (人/250km²)



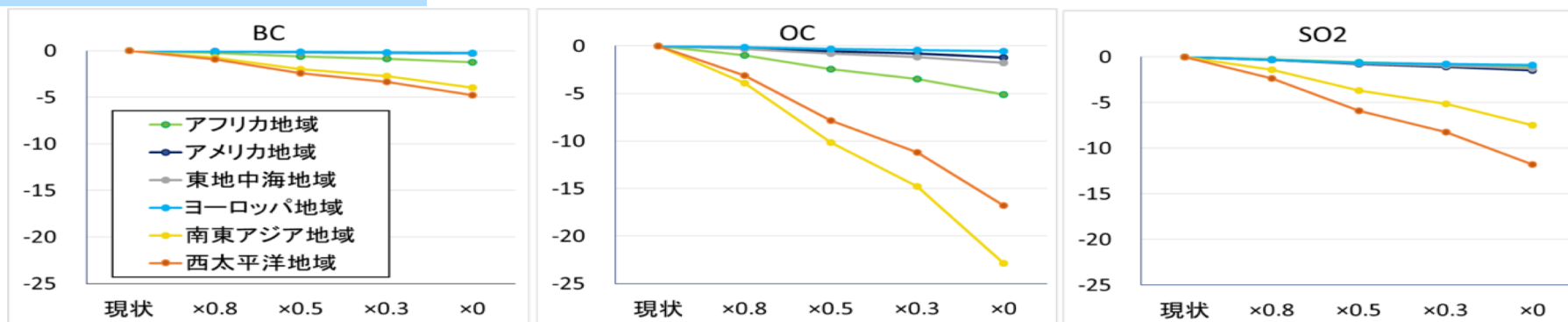
SLCP排出量削減による関連死亡数・YLLの地域別変化

サブテーマ3

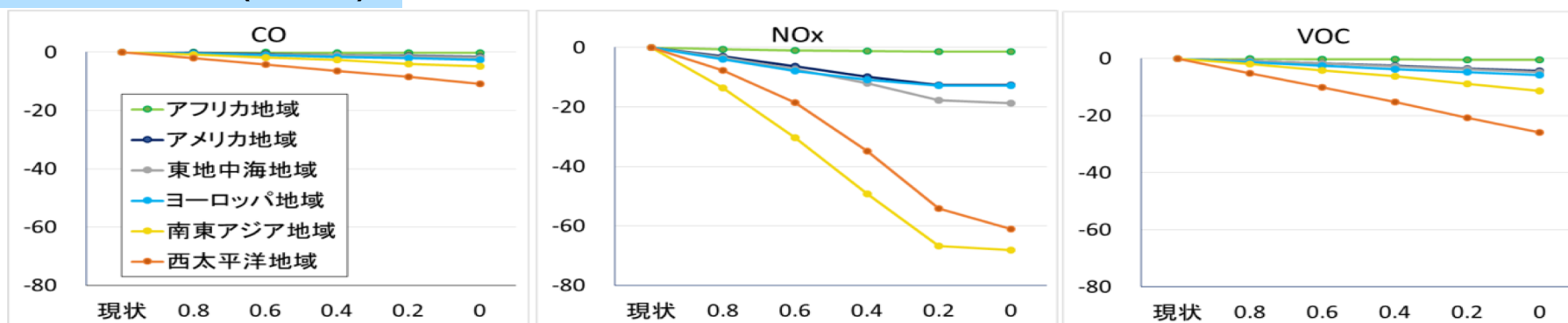
PM2.5関連死亡数 (x10³人)



PM2.5関連YLL (x10⁶年)

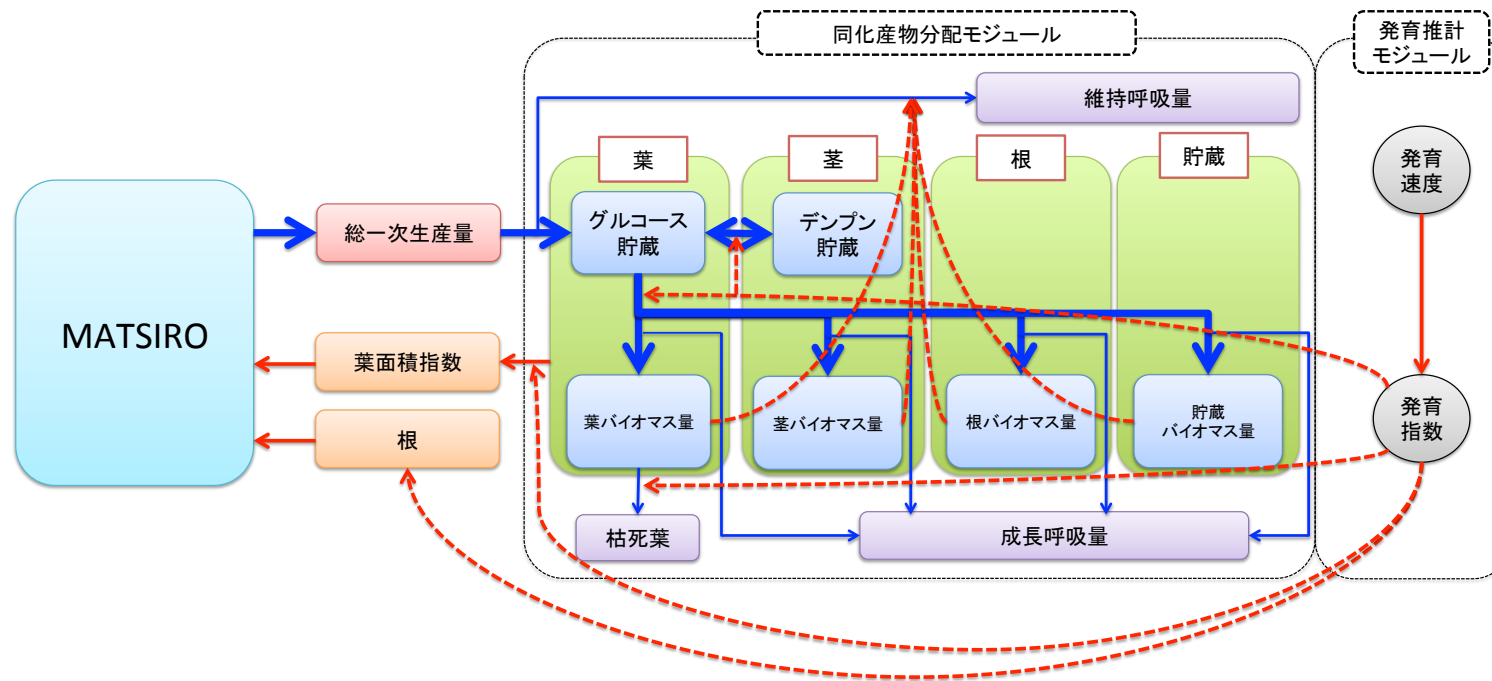


O₃関連死亡数 (x10³人)



SLCPによる農作物影響の評価

サブテーマ4



作物成長モデル MATCROの 開発・改良

Masutomi et al. (Geo. Model Dev., 2016a, 2016b)

- 陸面過程モデル MATSIROに作物モデルを結合
 - 精緻な光合成・熱/水収支モデル・同化物分配モデルが組み込まれている
- 高精度収量計算

オゾン影響モデル

$$An = (GPP * f_{CO_2} - RSP) * f_{O_3} \quad \text{: 純光合成量 (An)}$$

$$Gs = An * mh / C_b + k \quad \text{: 純光合成量 (An) と気孔コンダクタンス (Gs) の関係}$$

$$An = Gs(C_b - C_i) = Ga(C_a - C_b) \quad \text{: 純光合成量、気孔コンダクタンス、CO}_2\text{濃度 (Ca, Cb, Ci) の関係}$$

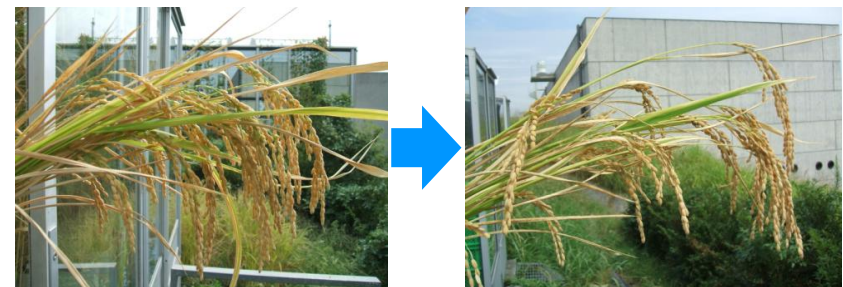
$$f_{CO_2} = \frac{1 + 5.0 \ln(C_a / C)}{1 + 9.0 \ln(C_a / C)} \quad \text{: CO}_2\text{ダウンレギュレーションファクター}$$

$$f_{O_3} = 1 - a * \sum F_{O_3} \quad \text{: オゾンによる光合成減少ファクター}$$

$$F_{O_3} = \frac{O_3}{1/Ga + 1.67/Gs} \quad \text{: オゾンフラックス}$$

光合成-気孔モデルにオゾン影響ファクター (赤四角) を加えた

水稻へのオゾン影響

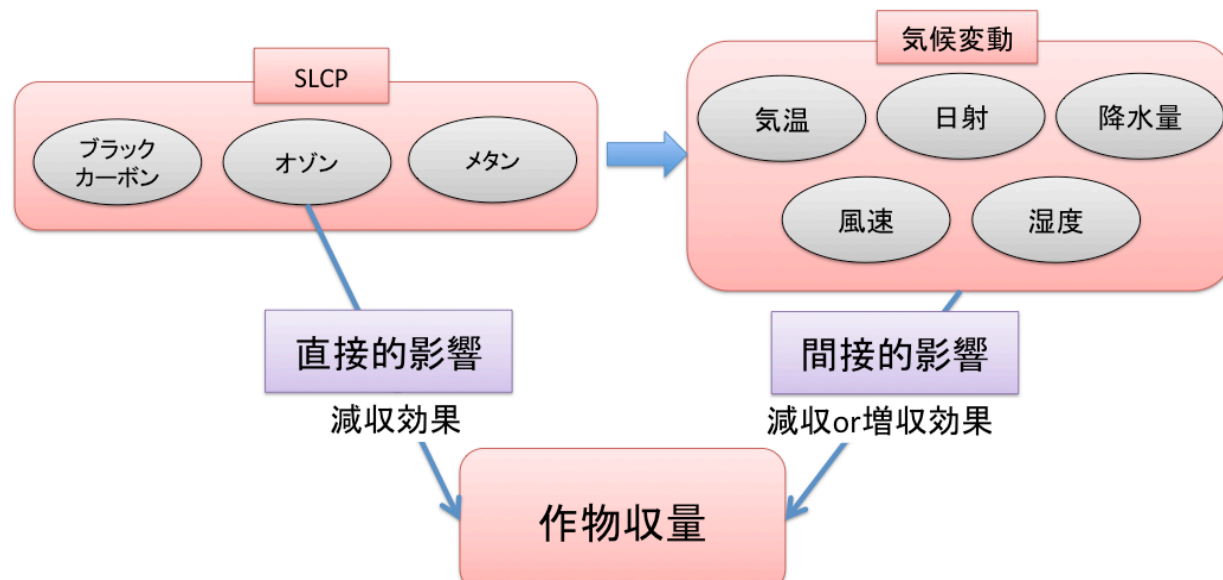


2ppb

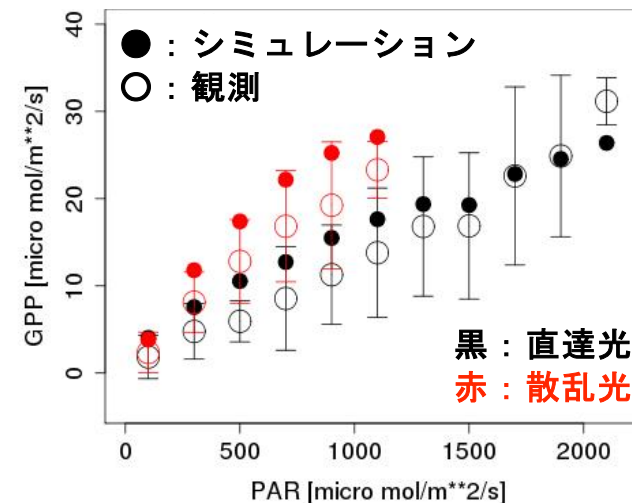
36ppb

エアロゾル・オゾンによる農作物収量への影響の評価

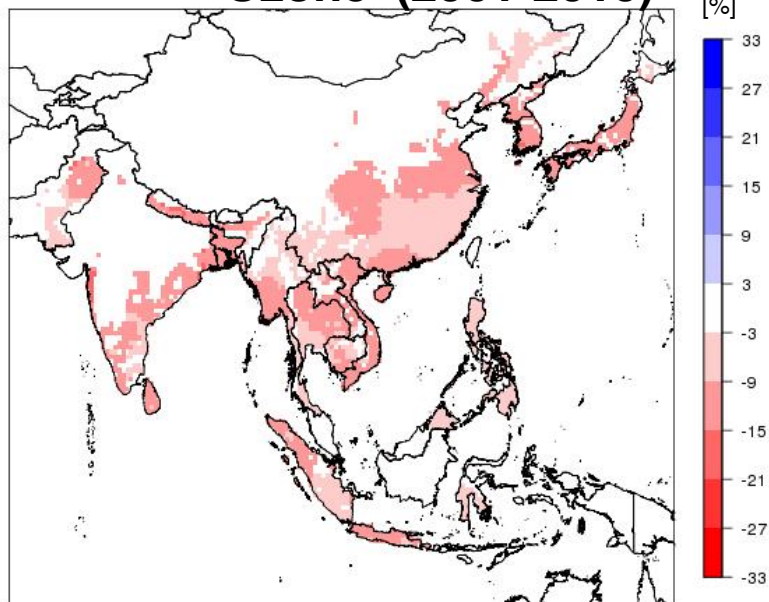
サブテーマ4



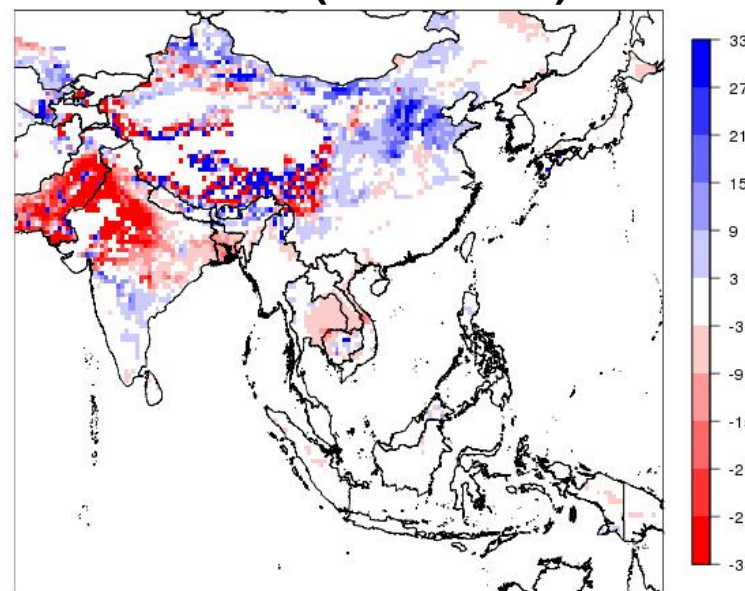
光合成有効放射 – 総一次生産量



Ozone (2001-2010)



BC (2001-2010)



(左) 化学気候モデルCHASERによる2001~2010年のオゾン濃度変化の計算結果を入力した場合の水稲収量変化率
(右) エアロゾル気候モデルSPRINTARSによる人為起源ブラックカーボン排出量ゼロの計算結果を入力した場合の水稲収量変化率

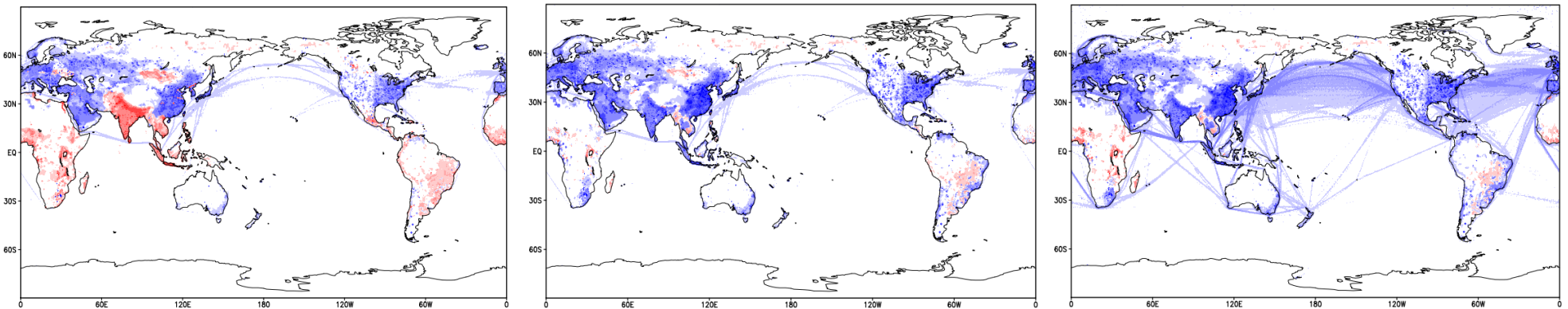
2010年から2050年の排出量変化シナリオ

なりゆきシナリオ

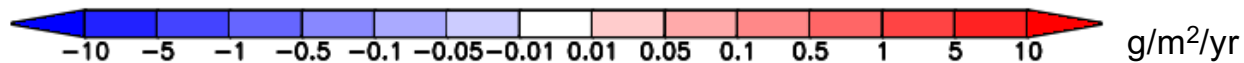
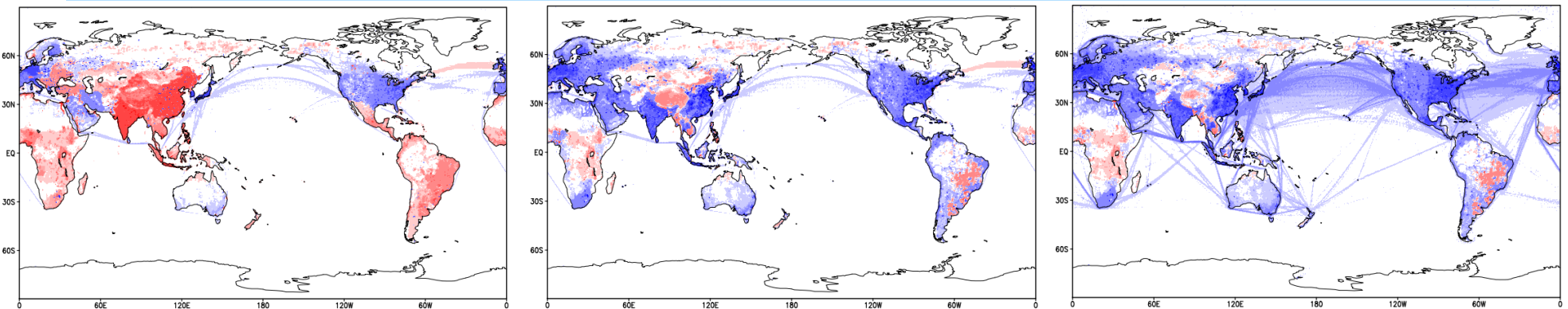
除去対策最大

除去対策強化継続＋
2度目標 (再エネ強化・電化促進)

二酸化硫黄 SO₂



窒素酸化物 NO_x

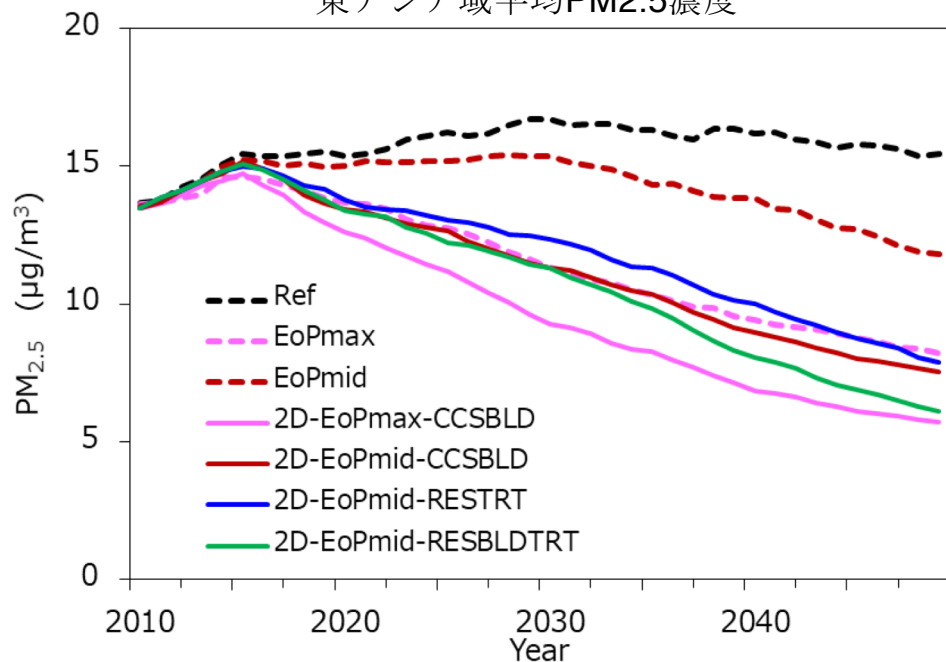


S-12テーマ2により作成された燃料起源SO₂/NO_xの2010年から2050年の排出量変化

短寿命気候汚染物質濃度の将来予測

サブテーマ5, 6, 2

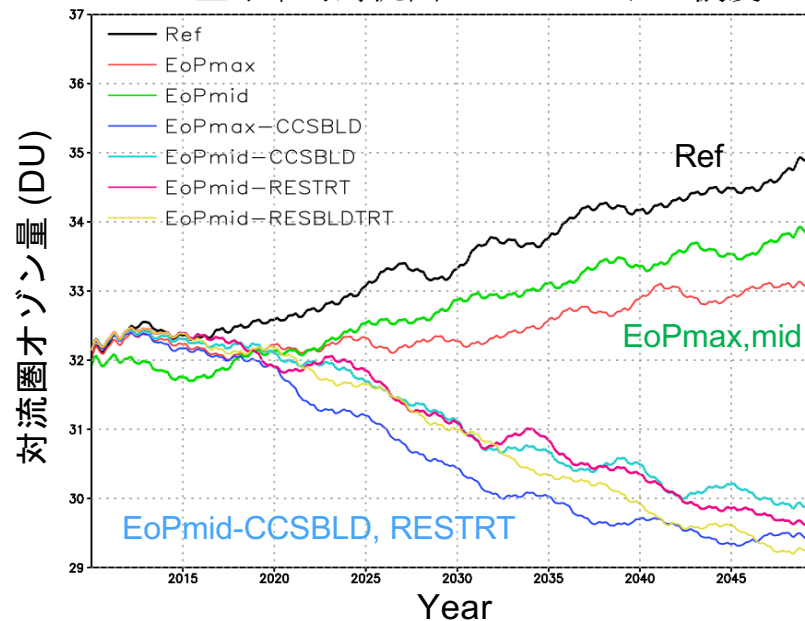
東アジア域平均PM2.5濃度



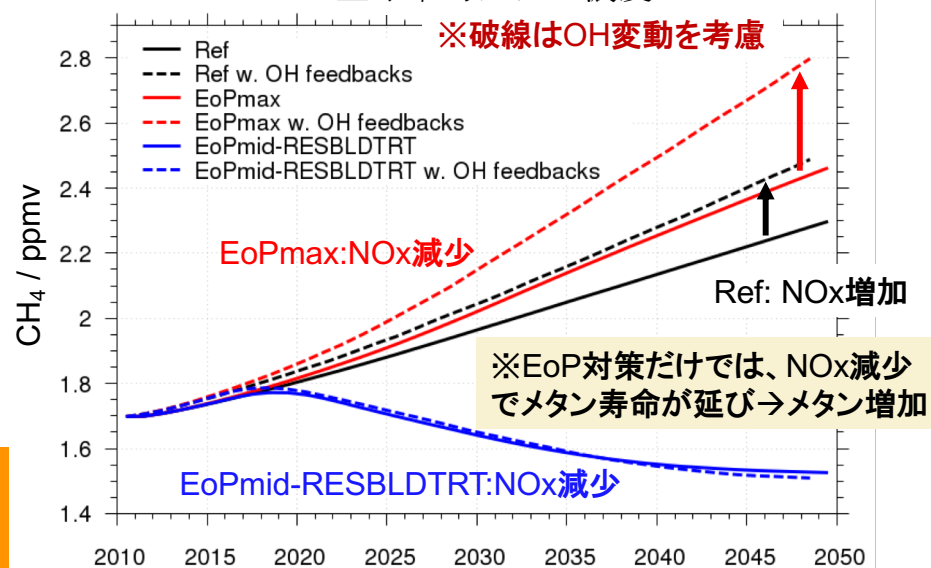
Ref: なりゆきシナリオ EoP: 除去対策
 CCS: 炭素貯留 BLD: 民生部門電化促進
 RES: 再エネ強化 TRT: 運輸部門電荷促進

エアロゾルモデルSPRINTARSおよび大気化学モデルCHASERが組み込まれた地球システムモデルMIROC-ESMに数種類のシナリオに沿った短寿命気候汚染物質の排出量予測データを入力して計算された (左上) 東アジア域平均PM2.5濃度 (右上) 全球平均対流圏オゾン量 (右下) メタン寿命の経年変化

全球平均対流圏オゾン・カラム濃度



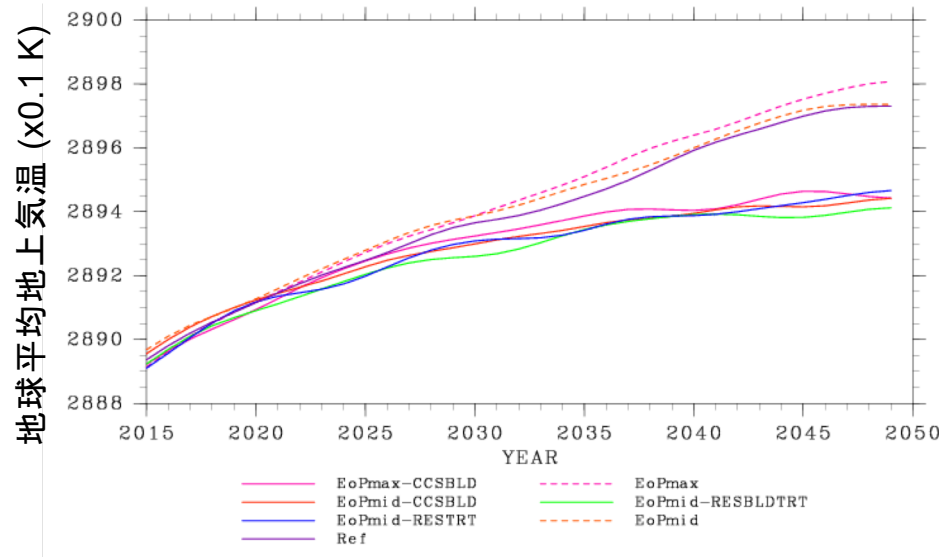
全球平均メタン濃度



短寿命気候汚染物質の総合的な濃度低減には除去対策だけではなくエネルギー転換が必要

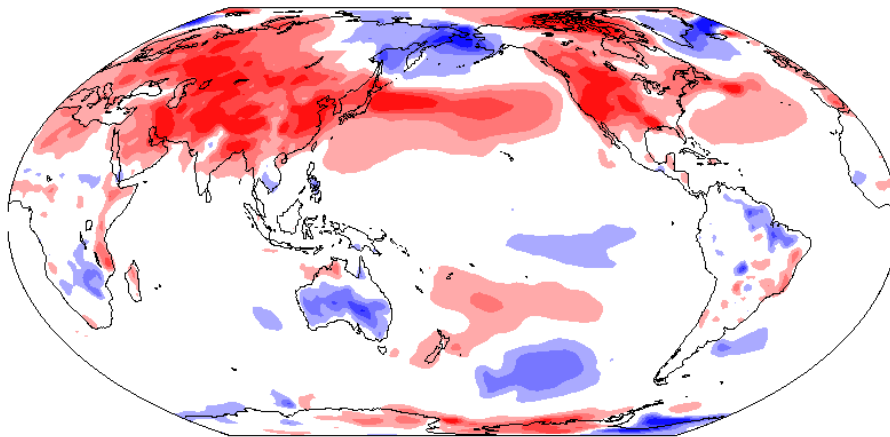
短寿命気候汚染物質排出量削減を考慮した気温将来予測

サブテーマ5, 6

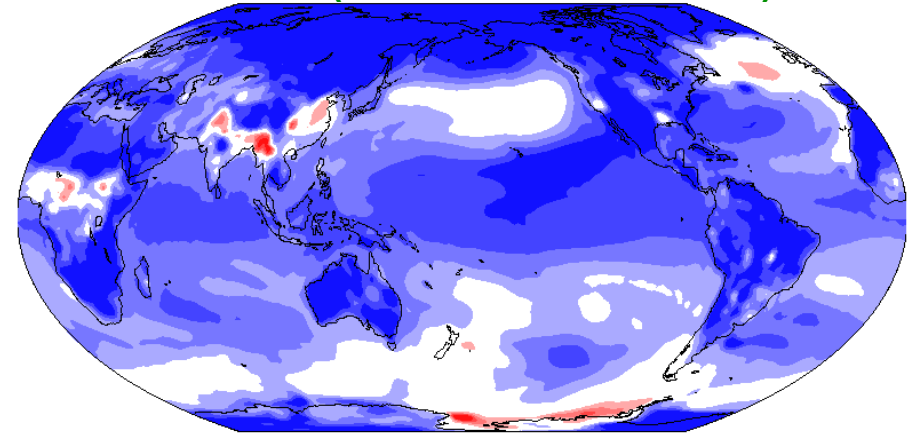


- 短寿命気候汚染物質の除去対策のみ
 → 長寿命温室効果ガス濃度の上昇のためなりゆきシナリオよりも昇温
 → 2度目標に従い長寿命・短寿命物質の両者を適切に削減することが必要
- 現在の短寿命気候汚染物質濃度が非常に高いアジア・アフリカでは適切シナリオでも昇温傾向が残ってしまう

除去対策最大



除去対策強化継続＋
2度目標 (再エネ強化・電化促進)

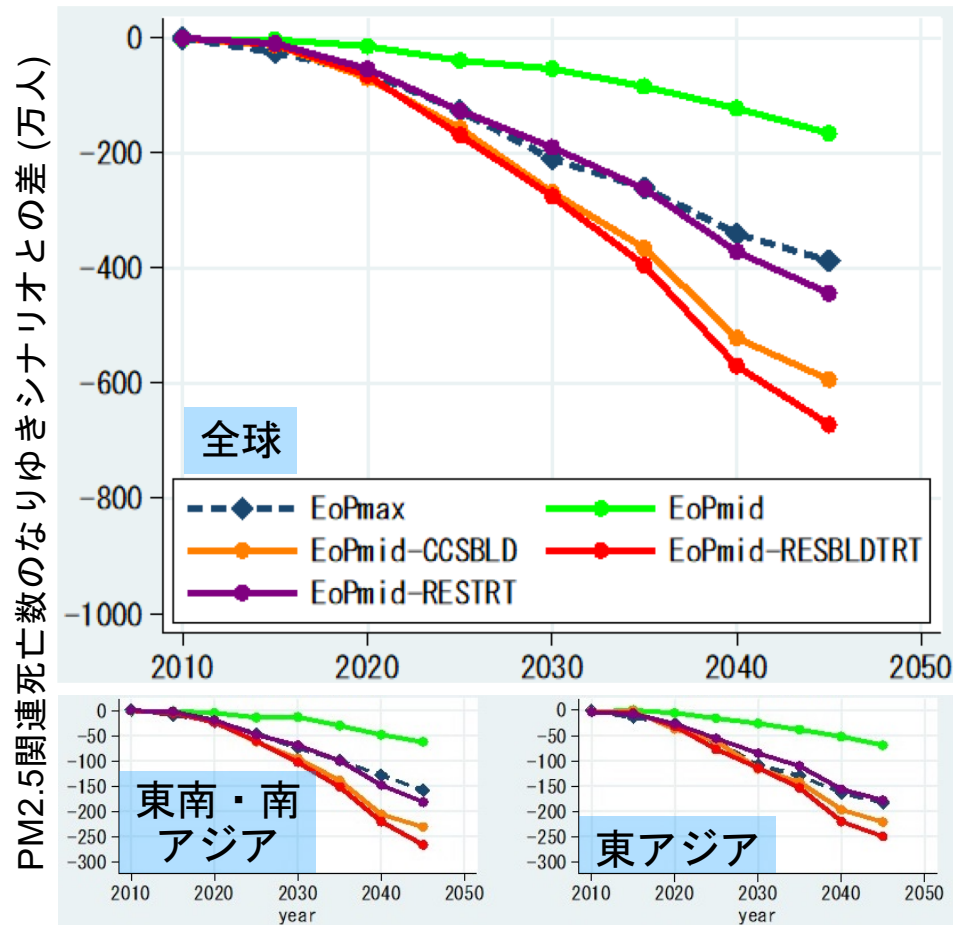


MIROC-ESMによる年平均地上気温のなりゆきシナリオとの差 (2040～2049年平均)

短寿命気候汚染物質排出量削減を考慮した影響予測

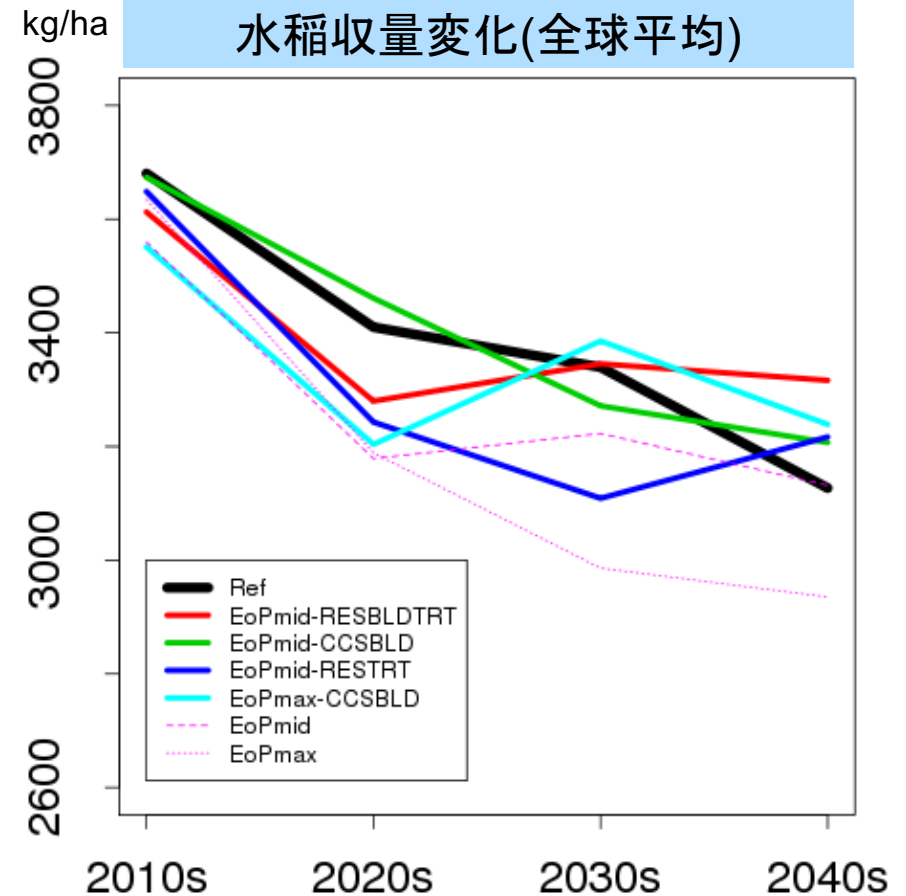
サブテーマ3, 4, 5, 6

PM2.5関連死亡数変化



- なりゆきシナリオと比較していずれの対策でもPM2.5関連死亡数は減少
- 除去対策強化継続+2度目標（再エネ強化・電化促進）シナリオが最も減少
- 東アジアや東南・南アジアでの効果大

水稲収量変化(全球平均)



- すべてのシナリオで水稲収量減少
- 今世紀中頃では除去対策強化継続+2度目標（再エネ強化・電化促進）シナリオが最も収量減少が抑制

科学的意義・環境政策への貢献・今後の課題

- これまでは様々な仮定の下に推定していたSLCPの気候影響について、自ら開発してきた気候モデルを利用して物理・化学的に複雑な相互作用が含まれた一貫した評価が可能となった。
 - ブラックカーボンの地上気温変化や窒素酸化物排出量変化に伴うメタンの定量的変化などの新知見を得た。
 - SLCPの濃度変化と気候変動を一貫評価できる気候モデルの結果を利用した健康・農作物影響推定を新しい評価モデルの開発により、定量的に実施した。
 - SLCPと長寿命温室効果気体の両方の削減を考慮した新しいシナリオを利用した数値モデルによるシミュレーションに基づいて気候・健康・農作物影響の将来予測計算を実施した。
- * 国民との対話・アウトリーチ
S-12公開シンポジウム(年1回), CCAC Science-Policy Dialogue講演, APCAPレポート執筆
気象サイエンスカフェ, 中国自治体担当者向け講演, Yahooニュース解説記事
その他公開講座講演や新聞・テレビ取材協力

CCACやAPCAPなどでの気候変動緩和と大気汚染削減のco-benefitの議論に物理・化学的に一貫した新しい科学的定量評価を提供

今後の課題

近年顕著に増加しつつある熱波・洪水などの極端現象や農作物収量・新興国／途上国での健康に対するSLCPの影響を地域ごとの状況に応じて定量的に評価

今後国内外で求められる気候変動適応のための具体的行動に必要な情報の提供