
S-12-2
統合評価モデルの改良と
それを用いた将来シナリオの定量化

増井 利彦
(国立環境研究所)

研究実施期間:2014年度～2018年度
累積予算額:274,833千円(間接経費を含む)

環境研究総合推進費環境研究推進委員会S-12部会
終了成果報告会
環境再生保全機構会議室
2019年3月7日



Asia-Pacific Integrated Model
<http://www-iam.nies.go.jp/aim/index.html>



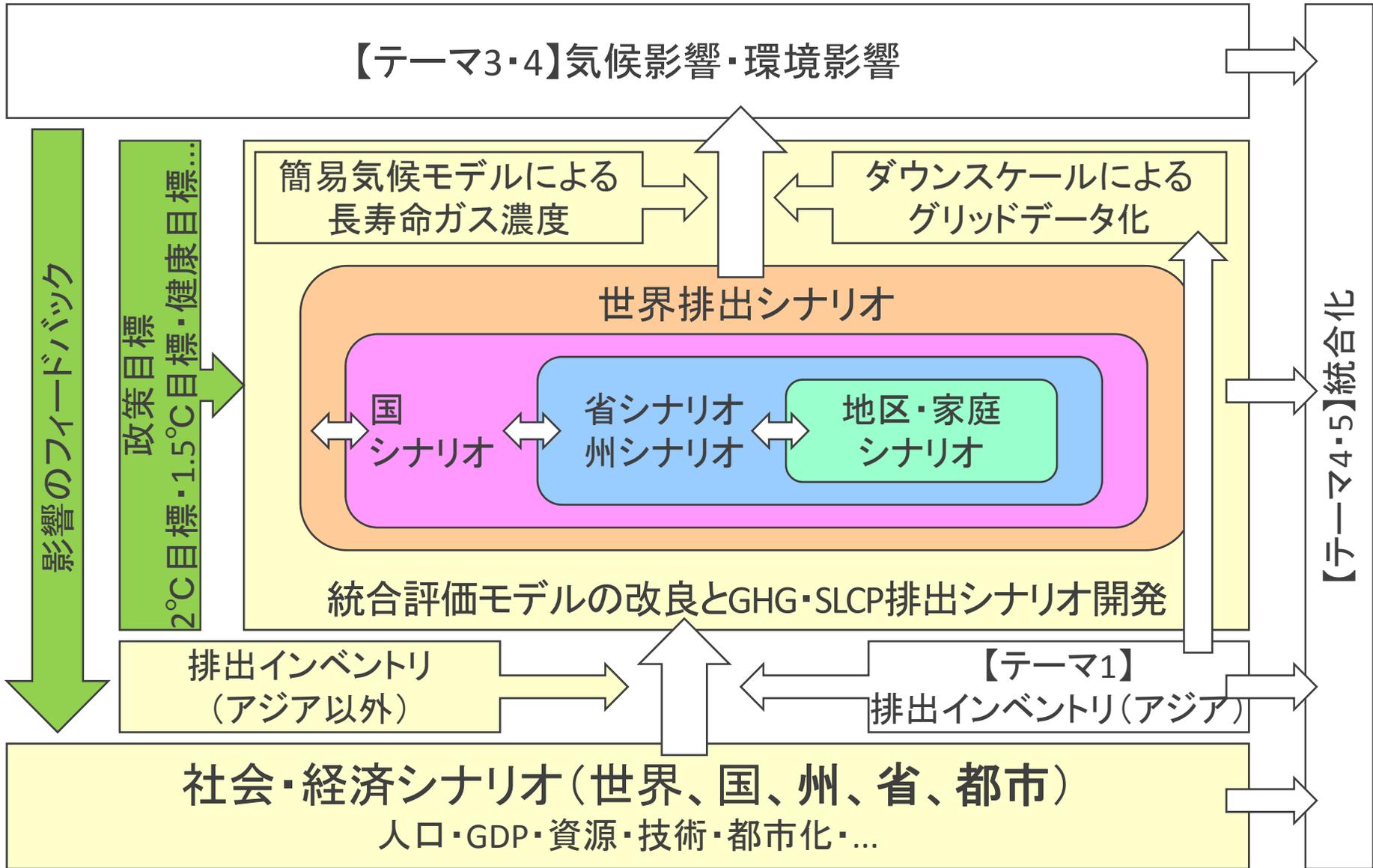
テーマ2「統合評価モデルの改良とそれを用いた将来シナリオの定量化」の研究体制

- サブテーマ1: 世界を対象とした統合評価モデルの改良とそれを用いた排出シナリオの定量化(国立環境研究所)
増井利彦・花岡達也・金森有子・芦名秀一・藤森 真一郎
研究協力者: 甲斐沼美紀子・田邊千英・Xing Rui・Dai Hancheng・Zhang Runsen・Xie Yang・Satish Yaware・Li Zhaoling・Marissa Malahayati・Li Gen・Zhang Shiyao
- サブテーマ2: 国・地域を対象とした統合評価モデル開発と排出シナリオの定量化(みずほ情報総研)
日比野剛・藤原和也・平山智樹・吉川実・不破敦・元木悠子・高野真之
- サブテーマ3: 都市スケールにおける排出シナリオの定量化と大気汚染影響の評価(京都大学)
倉田学児・島田洋子・河瀬玲奈
研究協力者: Xing Rui・Guo Minna

その他、中国、インド、韓国、タイ、インドネシア等の研究機関が研究協力機関となって本研究課題を支援。

テーマ2の目的と概要

様々なスケール、将来像、政策目標を対象としたGHG・SLCPの排出シナリオ開発



テーマ2の主な成果

- 世界、国、地方、都市、家庭など様々なスケールの温室効果ガス、SLCPの排出シナリオを統合的に定量化した。
- 温暖化対策、SLCP対策に要する費用や、負荷削減による環境改善によって生じる便益(損失の回避)も評価した。
- ステークホルダーが集まって議論する際に利用可能なツールの開発、公開を行った。

• 学術的成果

- 平成26年度 査読付き誌上発表:6件 査読なし誌上発表:2件 口頭発表:29件
- 平成27年度 査読付き誌上発表:7件 査読なし誌上発表:2件 口頭発表:16件
- 平成28年度 査読付き誌上発表:4件 査読なし誌上発表:3件 口頭発表:21件
- 平成29年度 査読付き誌上発表:7件 査読なし誌上発表:1件 口頭発表:9件
- 平成30年度 査読付き誌上発表:9件 査読なし誌上発表:2件 口頭発表:11件
- 合計 査読付き誌上発表:33件 査読なし誌上発表:10件 口頭発表:86件

IPCC AR6への入力に向けて、S-12-2での成果の論文化、投稿を今後更に進める予定。

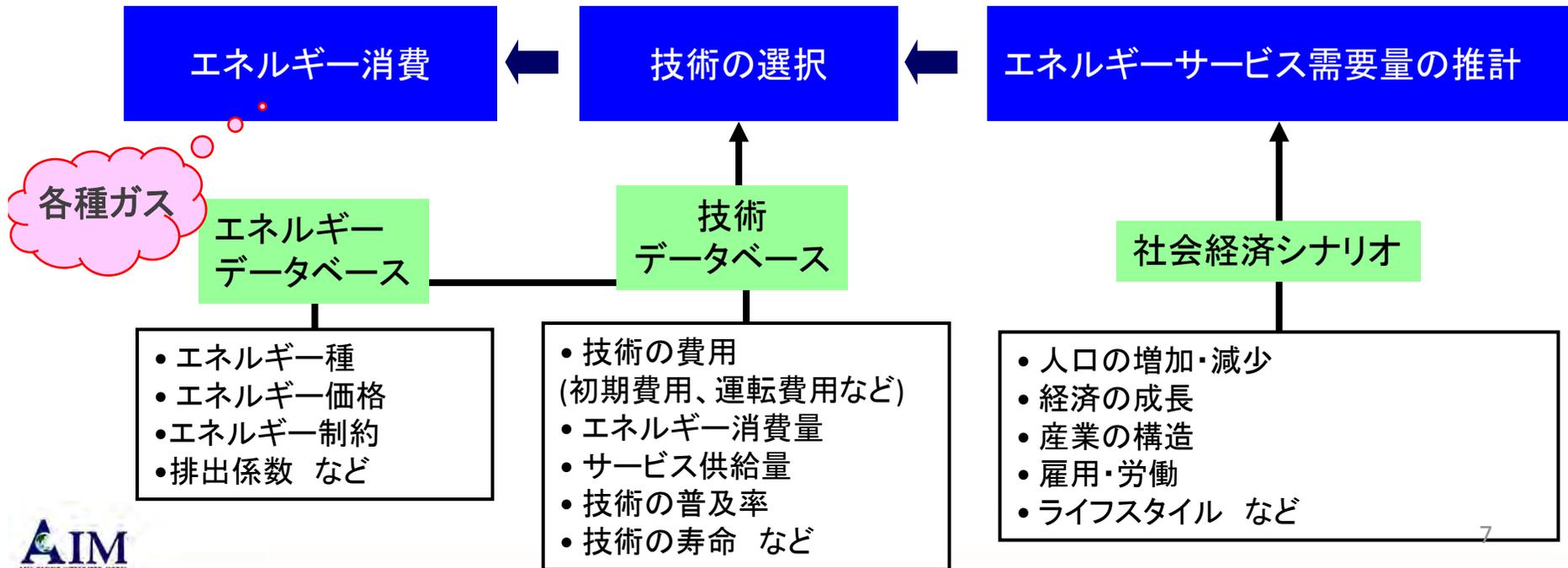
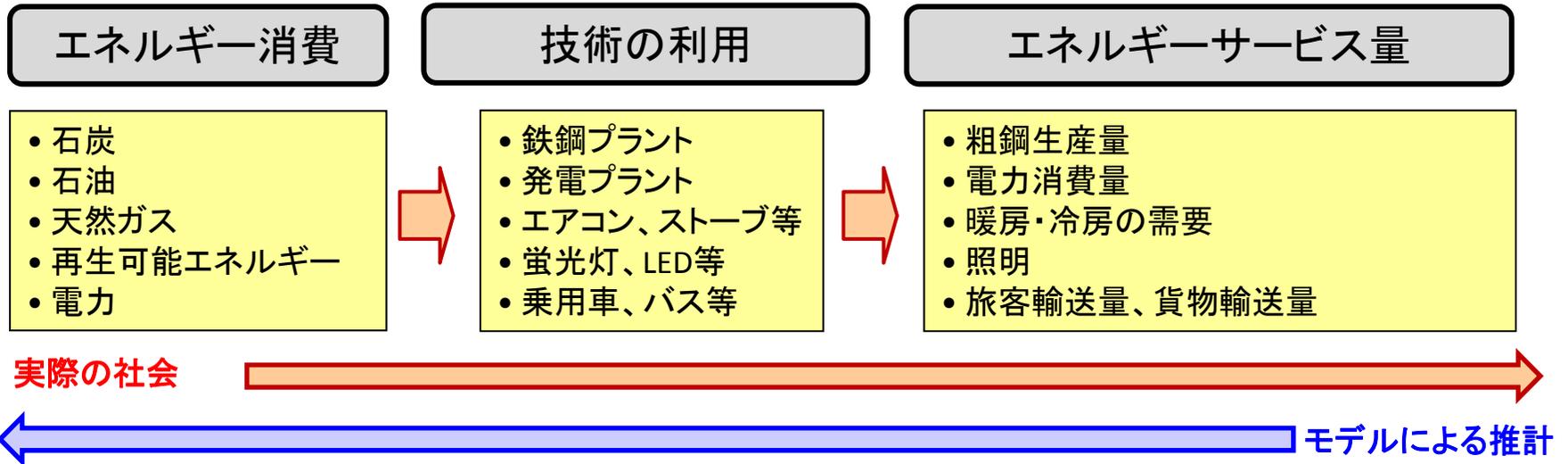
テーマ2の成果を通じた環境研究・環境行政への貢献

- 気候変動緩和策は、これまで**長寿命GHG対策**が中心であったが、**短寿命のSLCP対策**も含めて検討することは地域的な気候変動に対して影響が及び、これを解明することは、全球レベルならびに地域における気候変動を予測するにあたって極めて重要であり、科学的な意義は大きい。また、**大気汚染対策と気候変動緩和策を同時に検討**することの科学的メカニズムや効果を解明し、シナリオとして定量化することは、IPCCや環境政策にも貢献する。
- アジア地域においては、今後、大幅な長寿命GHG排出量の増加が見込まれるとともに**大気汚染対策**も急務であり、本研究課題において収集する技術情報、費用に関する情報と、それをもとにした温暖化対策ならびに大気汚染対策の包括的な汚染物質削減政策の検討結果から、**NDCの深掘り**や**長期低炭素発展戦略の策定**、さらには**SDGsの評価**に向けた基礎情報を提供することができる。
- 統合モデルを用いて分析した結果を基にした**簡易ツール**を作成した。
- PM2.5とオゾンに起因する健康影響、米の生産性といった限られた分野であるが、想定した排出に対する**物理的被害がもたらす経済影響**(GDPへの影響)を明らかにするとともに、取り組みに必要な**対策費用の見積もり**を評価することが可能となった。
- **韓国や中国でのSLCP研究**と意見交換等を行い、東アジア地域での排出予測について連携することができた。また、インドやタイなど東アジア以外の**アジア地域を対象とする研究連携**も進めており、より広範囲な取り組みとその評価が可能となっている。

「国民との科学・技術対話」の実施

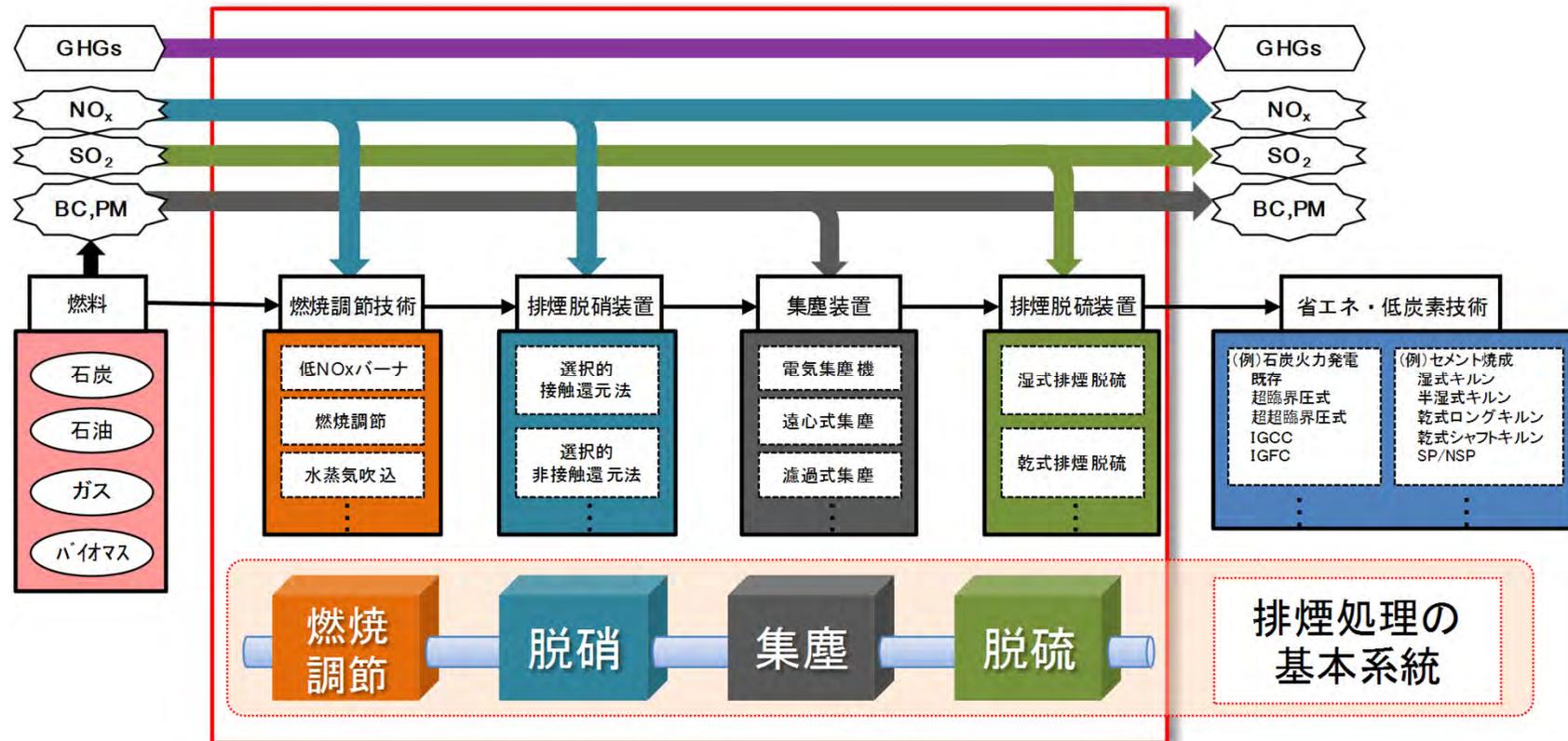
- 他のテーマとともに毎年シンポジウムを開催。
 - 平成26年度 「アジアにおける温室効果ガスと短寿命気候汚染物質の排出削減の可能性(花岡達也)」
 - 平成27年度 「AIMモデルによる大気汚染物質の排出シナリオ(花岡達也)」
 - 平成28年度 「アジア地域の家庭部門からの大気汚染物質の排出量とその影響(倉田学児)」
 - 平成29年度 「SLCPシナリオの構築と排出削減策による共便益効果・相殺効果(花岡達也)」
「アジア地域の家庭部門からの大気汚染物質の排出量とその影響(島田洋子)」
 - 平成30年度 「気候変動と大気汚染を考慮した将来の排出シナリオ(増井利彦)」
- その他、全国環境研究所交流シンポジウム等で講演
- 本課題で開発した排出シナリオを簡易に再現できるツールを開発し、ホームページに公開。排出削減対策コンテストを実施。

技術選択モデルによる将来推計



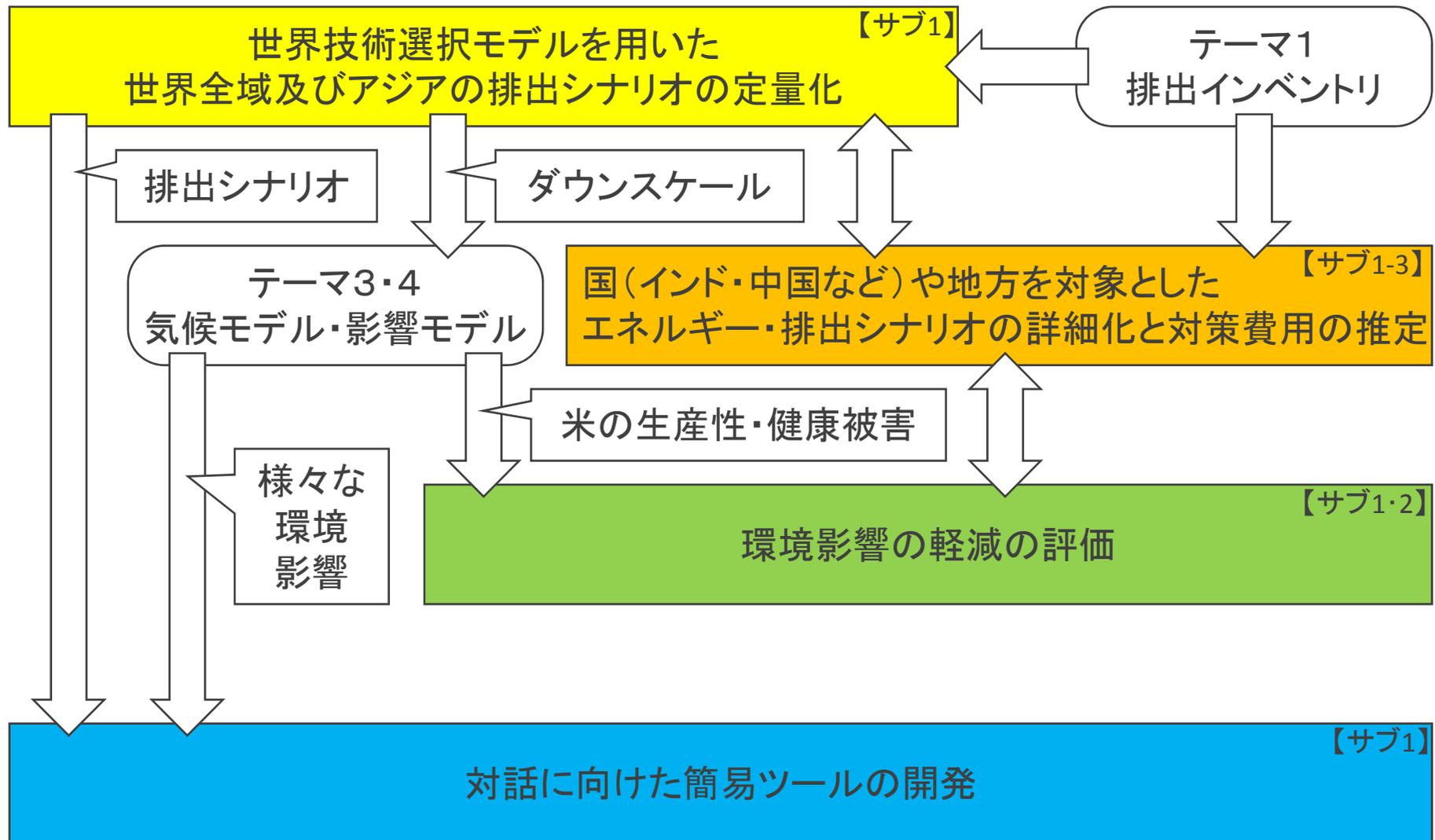
大気汚染対策のモデル化

- 省エネルギー・技術選択モデルである従来のAIM/Enduseモデルに対し、大気汚染対策技術の選択フローを追加した。
- フロー全体での費用最小化による技術選択と、各種GHGおよびSLCP、大気汚染物質の排出量推計を可能にした。



大気汚染排出対策部分(発電・産業部門)のエネルギー・サービスフロー(改良後)

気候変動と大気汚染を考慮した 将来の排出シナリオの定量化に向けて

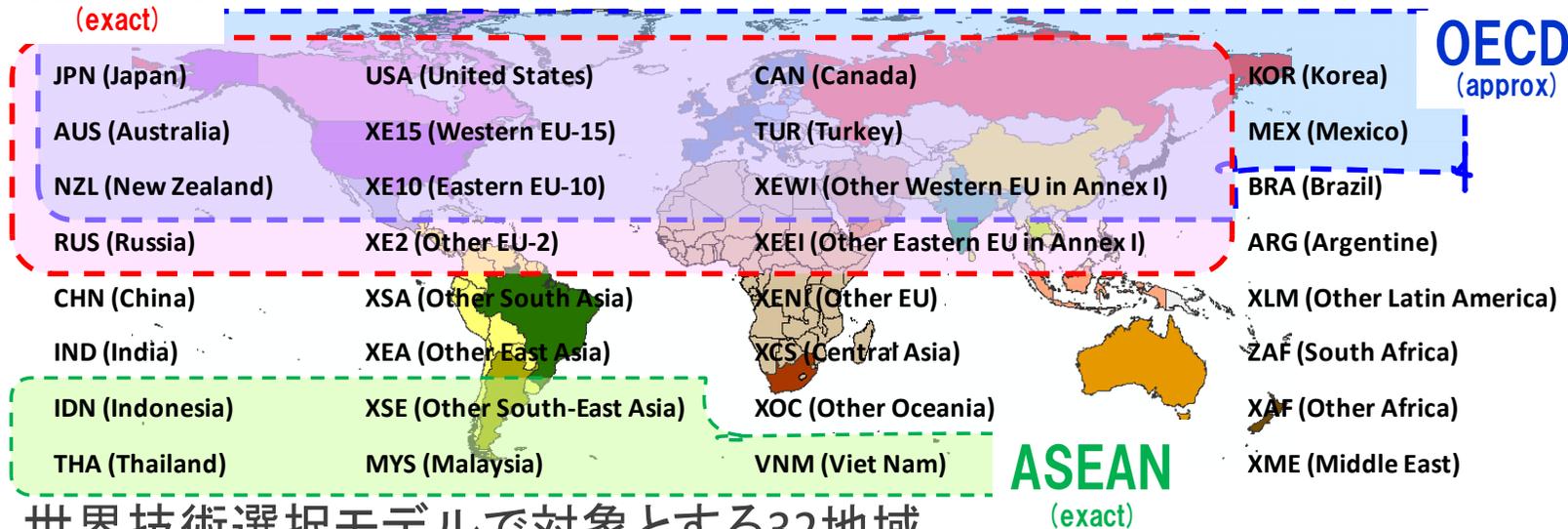


世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

- 使用モデル: AIM/Enduse [Global]
エネルギーサービス需要量(エネルギーを必要とする活動水準)を前提として、設備費用と運転費用の合計を最小化するような技術、エネルギー種の組み合わせを推計するモデル。
- アジアにおける排出インベントリはテーマ1のREASを利用
(REASが対象としていない地域・ガス種についてはEDGARを使用)。
- 社会経済シナリオ(人口・GDP)は、Shared Socio-economic Pathwaysと呼ばれる5つのうち「中庸(SSP2)シナリオ」の社会像の前提をもとに、将来のエネルギーサービス需要を設定。
- 世界の国・地域別の排出量の結果は、ダウンスケールツールを使用して、0.5度メッシュ排出量に変換してテーマ3に提供。

世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

Annex I (exact)



世界技術選択モデルで対象とする32地域

技術選択モデルにおいて取り扱うガス種と発生部門

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	NO _x	BC	OC	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	NH ₃	NMVOC
エネルギー供給部門	Red	White	White	Red	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	White	White	White
燃料採掘部門	White	Blue	White	White	White	White	White	White	White	White	White	Red
産業部門	Blue	White	Blue	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	White	Blue
運輸部門	Blue	White	Green	Green	Blue	White	White	White	White	Green	White	Blue
民生・業務部門	Blue	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Blue	White	Red
廃棄物部門	White	Blue	Green	White	White	White	White	White	White	White	White	White
農畜産・農耕作部門	White	Red	Red	White	White	White	White	White	White	White	Red	White

排出量が最も大きい部門・ガス種。
 排出量が比較的大きい部門・ガス種。
 排出量が大い部門・ガス種。
 排出量小さい(又はない)部門・ガス種。

世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

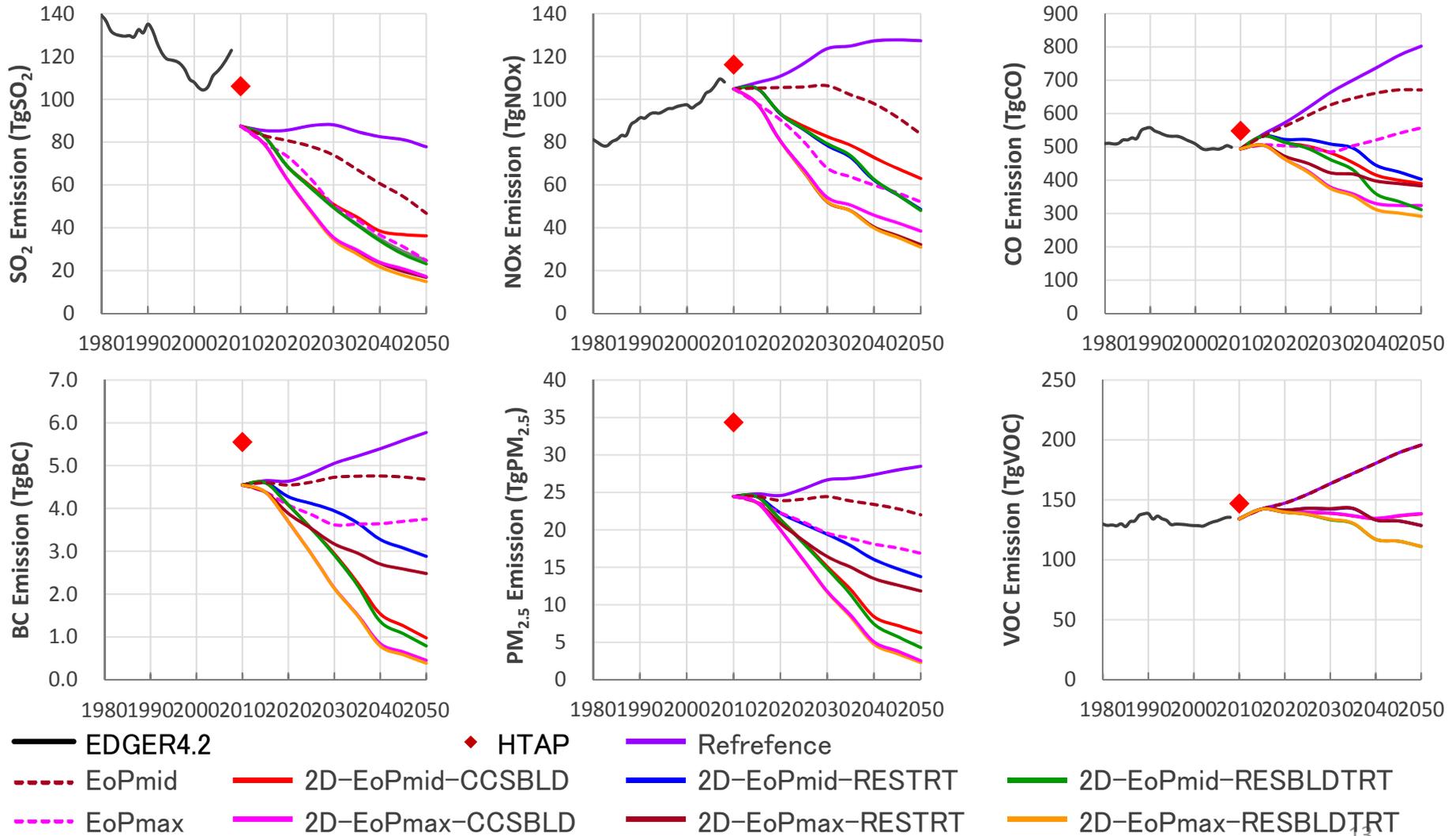
• 想定した取り組み

多種多様な対策の組合せを検討し、特徴的な結果が得られた9シナリオを選択

シナリオグループ	シナリオコード		主な低炭素対策・大気汚染対策・ 短寿命気候汚染物質対策の組合せ					
			除去 対策 強化	2°C 目標 低炭素 対策	CO ₂ 回収 貯留 強化	再生可 能エネ ルギー 強化	民生 部門 電化 強化	運輸 部門 電化 強化
なりゆき	Ref							
除去対策 のみ	EoPmid		Mid					
	EoPmax		Max					
2°C目標 + 除去対策	2D-EoPmid-CCS BLD		Mid	✓	✓		✓	
	2D-EoPmax-CCS BLD		Max	✓	✓		✓	
	2D-EoPmid-RES TRT		Mid	✓		✓		✓
	2D-EoPmax-RES TRT		Max	✓		✓		✓
	2D-EoPmid-RES BLD TRT		Mid	✓		✓	✓	✓
	2D-EoPmax-RES BLD TRT		Max	✓		✓	✓	✓

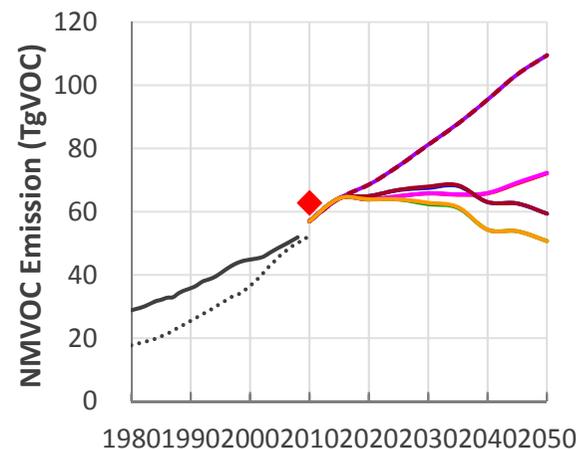
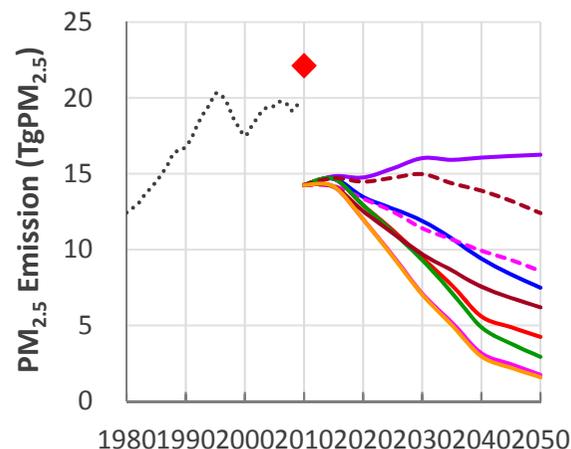
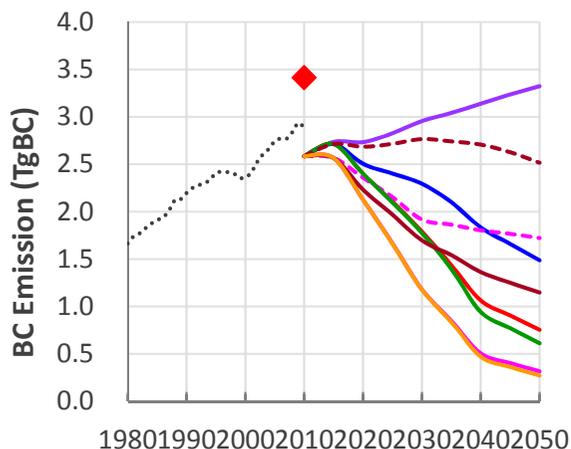
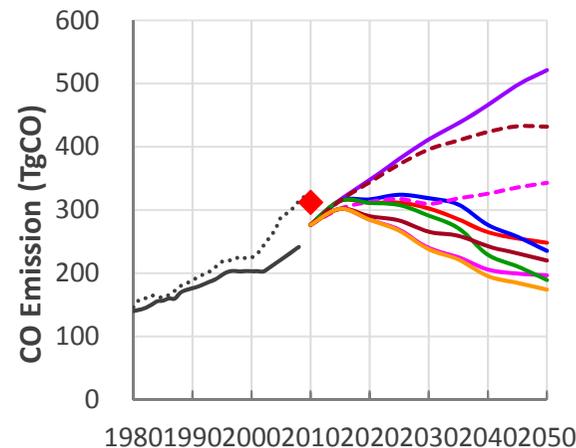
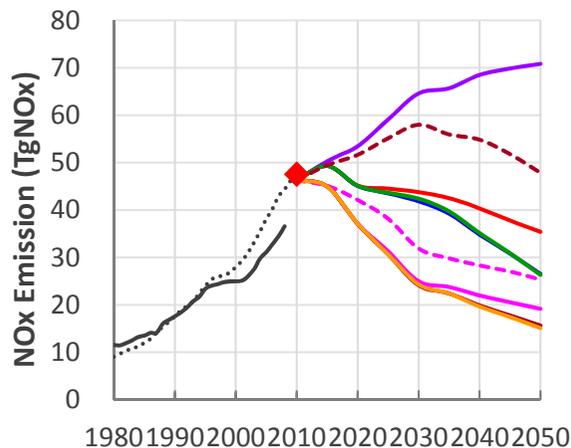
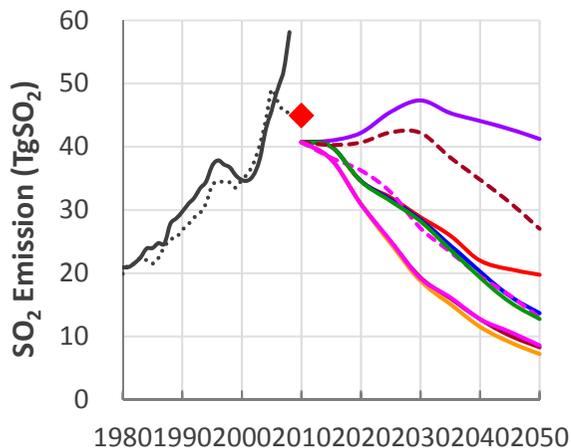
世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

● 世界全体の排出量



世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

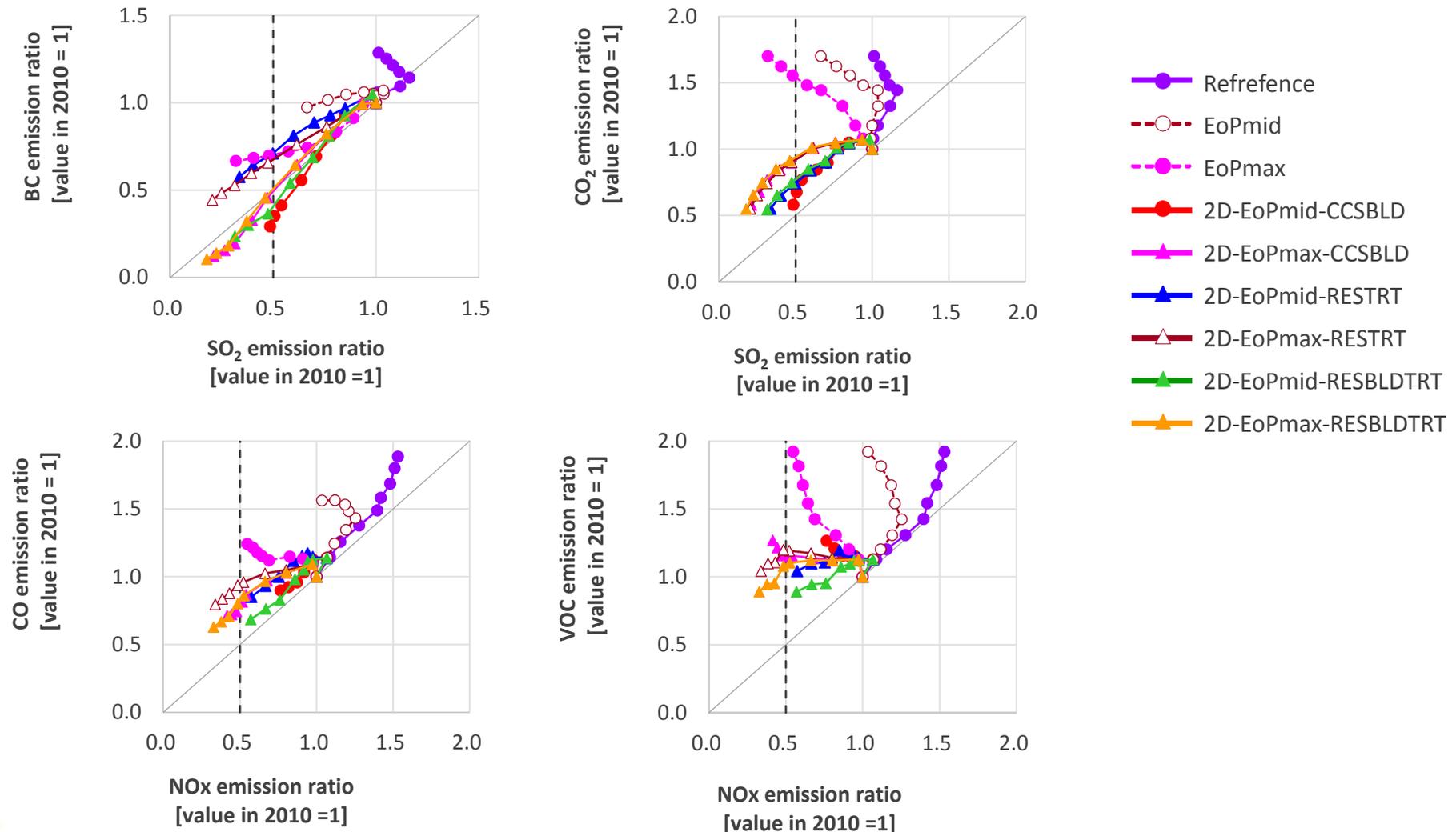
● アジアの排出量



- | | | | |
|--------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| — EDGER4.2 | - - - REAS | ◆ HTAP | — Reference |
| - - - EoPmid | — 2D-EoPmid-CCSBLD | — 2D-EoPmid-RESTRT | — 2D-EoPmid-RESBLDTRT |
| - - - EoPmax | — 2D-EoPmax-CCSBLD | — 2D-EoPmax-RESTRT | — 2D-EoPmax-RESBLDTRT |

世界技術選択モデルを用いた 世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化

● 排出削減量の相関図(アジア)

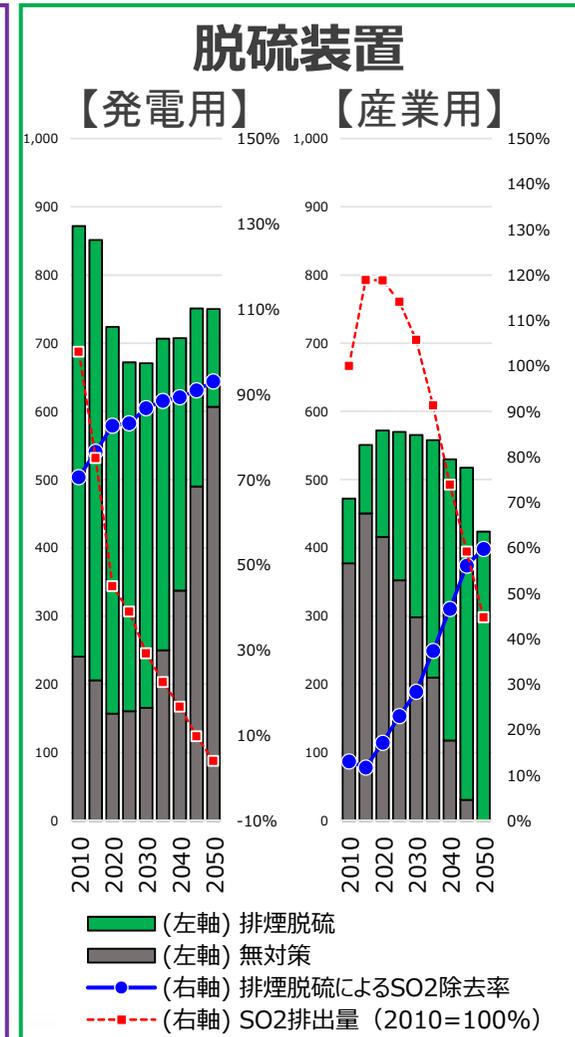
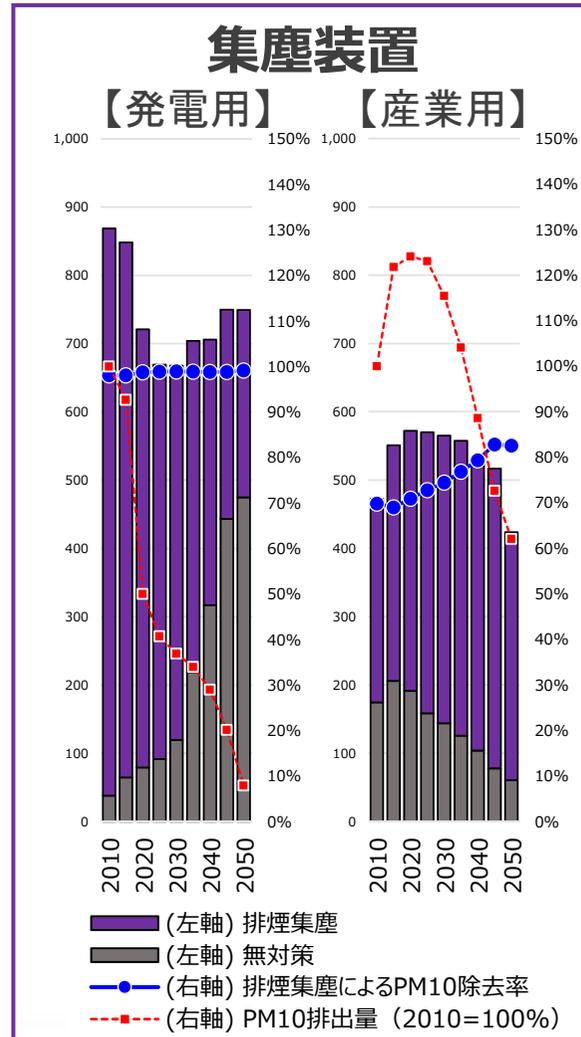
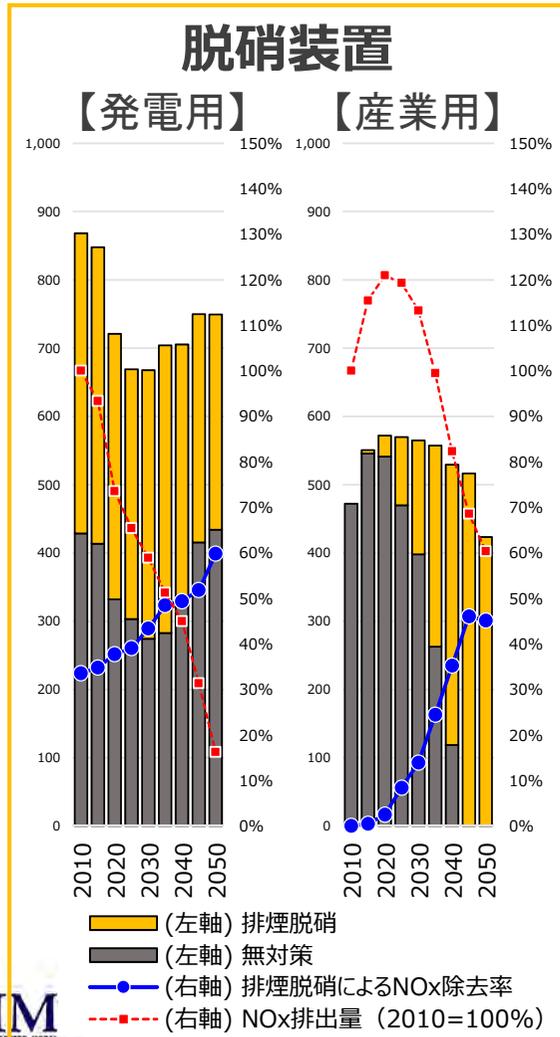


世界全域及びアジアの排出シナリオの定量化から明らかになったこと

- 2°C目標シナリオのCO₂排出経路は同じでも、対策の組合せによって非CO₂排出経路は大きく変化。
- なりゆきからエンドオブパイプ技術の導入により、多くの大気汚染物質が削減できる。
ただし、ガス種別に主要なエネルギー種・排出部門が異なり、エンドオブパイプ技術では削減できないガス種もあるため、削減対策として不十分。低炭素対策との組み合わせが重要。
- 2°C目標を達成させる低炭素対策のうち、運輸部門における電気自動車と発電部門における再生可能エネルギーの促進により、より多くのSLPCおよび大気汚染物質の排出削減が可能となる。
同時に、民生部門における(特に途上国での)電化を促進することで、BC、OCなどのガス種を更に多く削減することが可能となる。

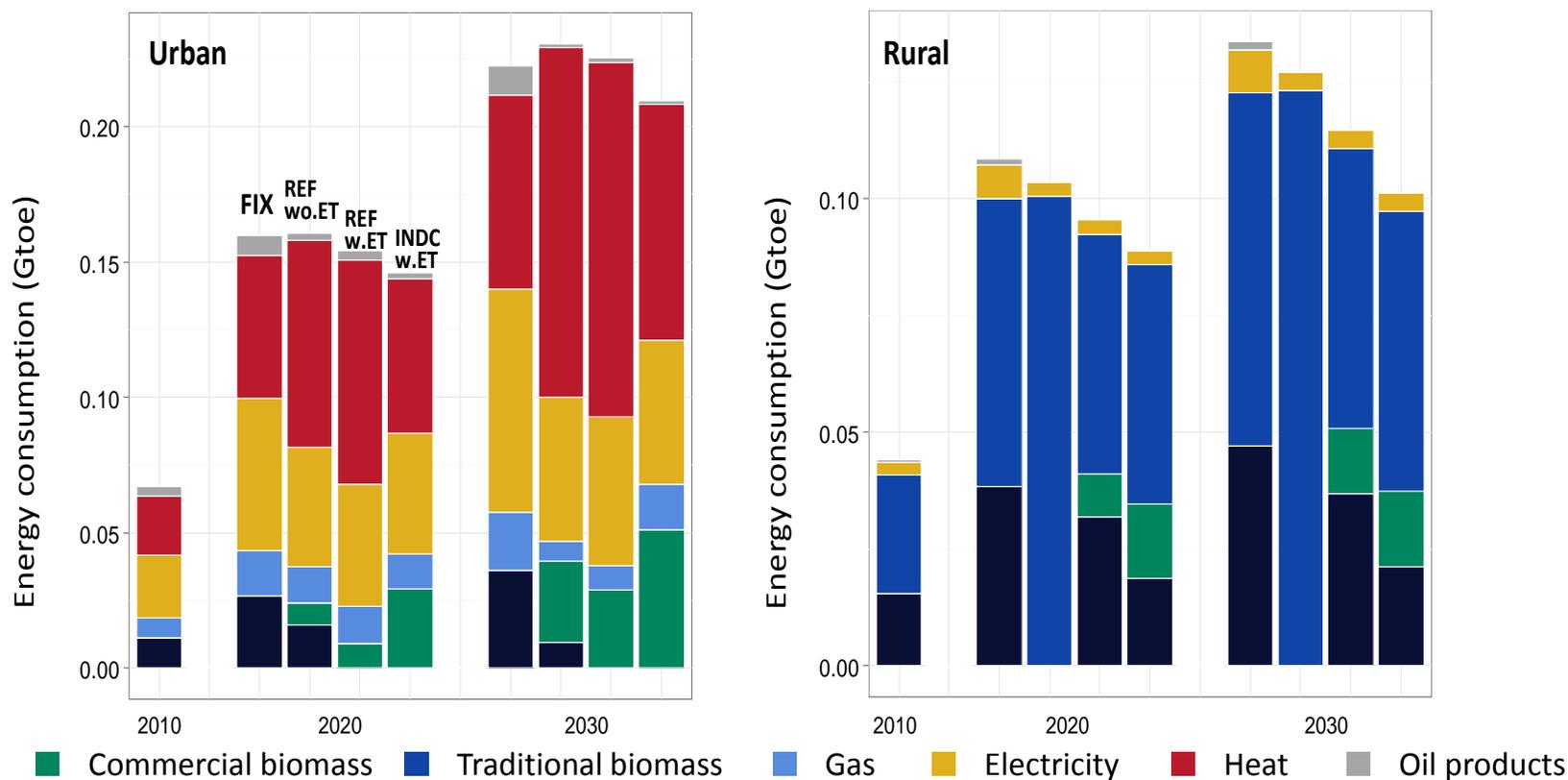
国（インド・中国など）や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

- 2D-EoPmid-RESBLDTRTにおける中国のEoP装置の普及とNOx, PM10, SO2の除去率（左軸：燃料投入量[Mtoe]、右軸：除去率及び排出量比率）



国（インド・中国など）や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

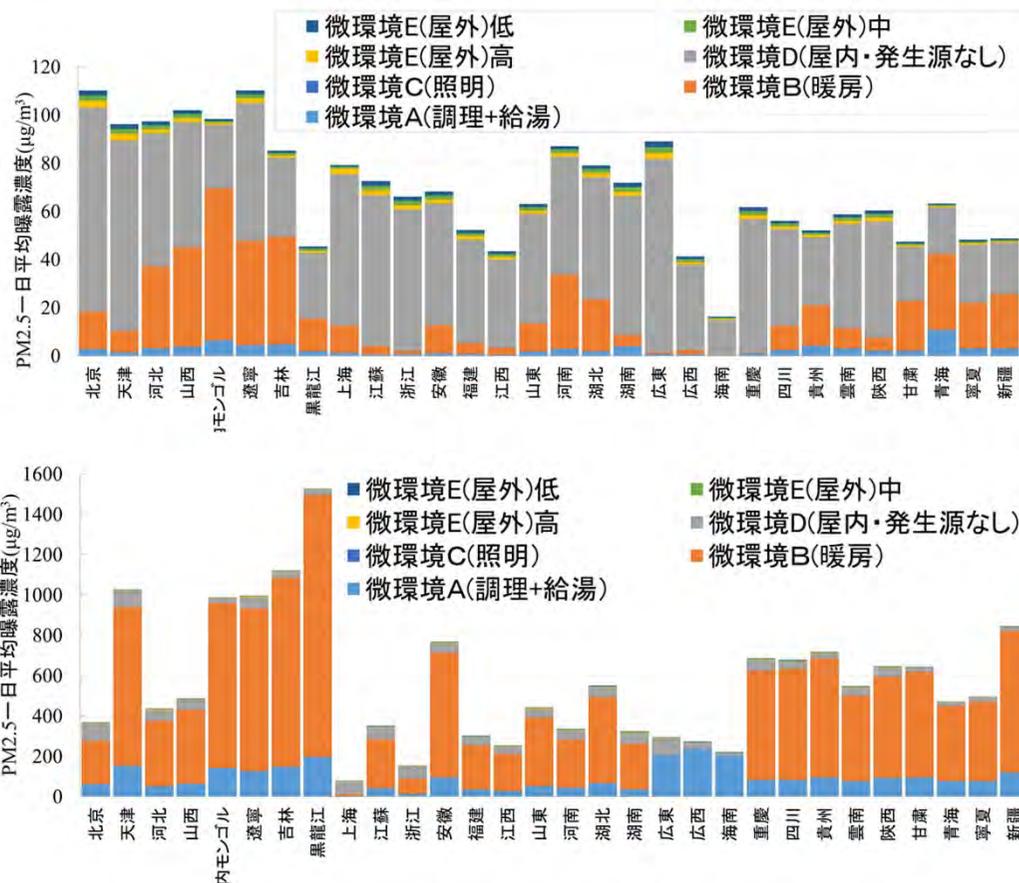
中国の民生部門を対象とした省別技術選択モデルに、エネルギー遷移（経済発展の段階に応じて導入されるエネルギーが変化する）の考え方を取り入れ、費用以外の障壁を考慮した将来のエネルギー種別需要を推計。



FIX : 技術固定 REFwo.ET : なりゆき（エネルギー遷移なし）
 REFw.ET : なりゆき（エネルギー遷移あり） INDCw.ET : INDC（エネルギー遷移あり）

国（インド・中国など）や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

- 中国各省の家庭部門での燃料種別エネルギー消費量とSLCP排出量の推計結果から屋内・屋外のPM2.5曝露濃度を推計した。



- 都市では屋外大気汚染の寄与が大きく、寒冷地では暖房の寄与も大きい。
- 農村では、暖房や調理・給湯の寄与が大きい。特に固形燃料の使用量が多い地域で汚染物質の排出量が大きくなっている。

中国省別の都市及び農村におけるPM2.5の曝露量とその内訳

- さらに家庭部門サービス需要の将来推計をして技術選択モデルを使って、将来の燃料種別エネルギー消費量も推計。

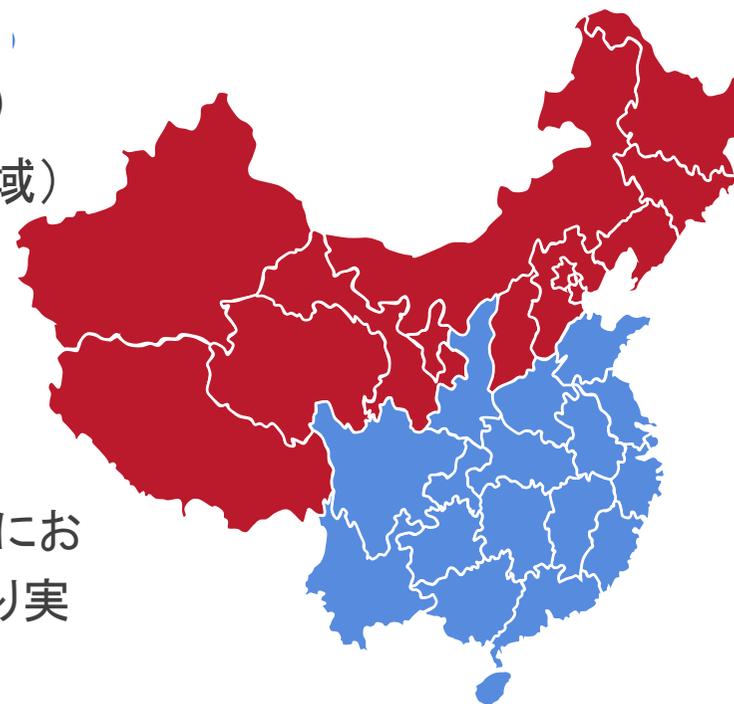
国(インド・中国など)や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

中国を対象に家庭部門の省別、都市・農村(2区分)の各用途のエネルギー消費量を、詳細な統計データの分析をもとに推計。ボトムアップ的なアプローチによる家庭起源のSLCP排出量の推計モデルを提案することを目指した。

農村地域を

- カン(Kang)を使用している地域(寒冷地域)
- カン(Kang)を使用していない地域(温暖地域)

と区別して調理エネルギー消費量を算定。

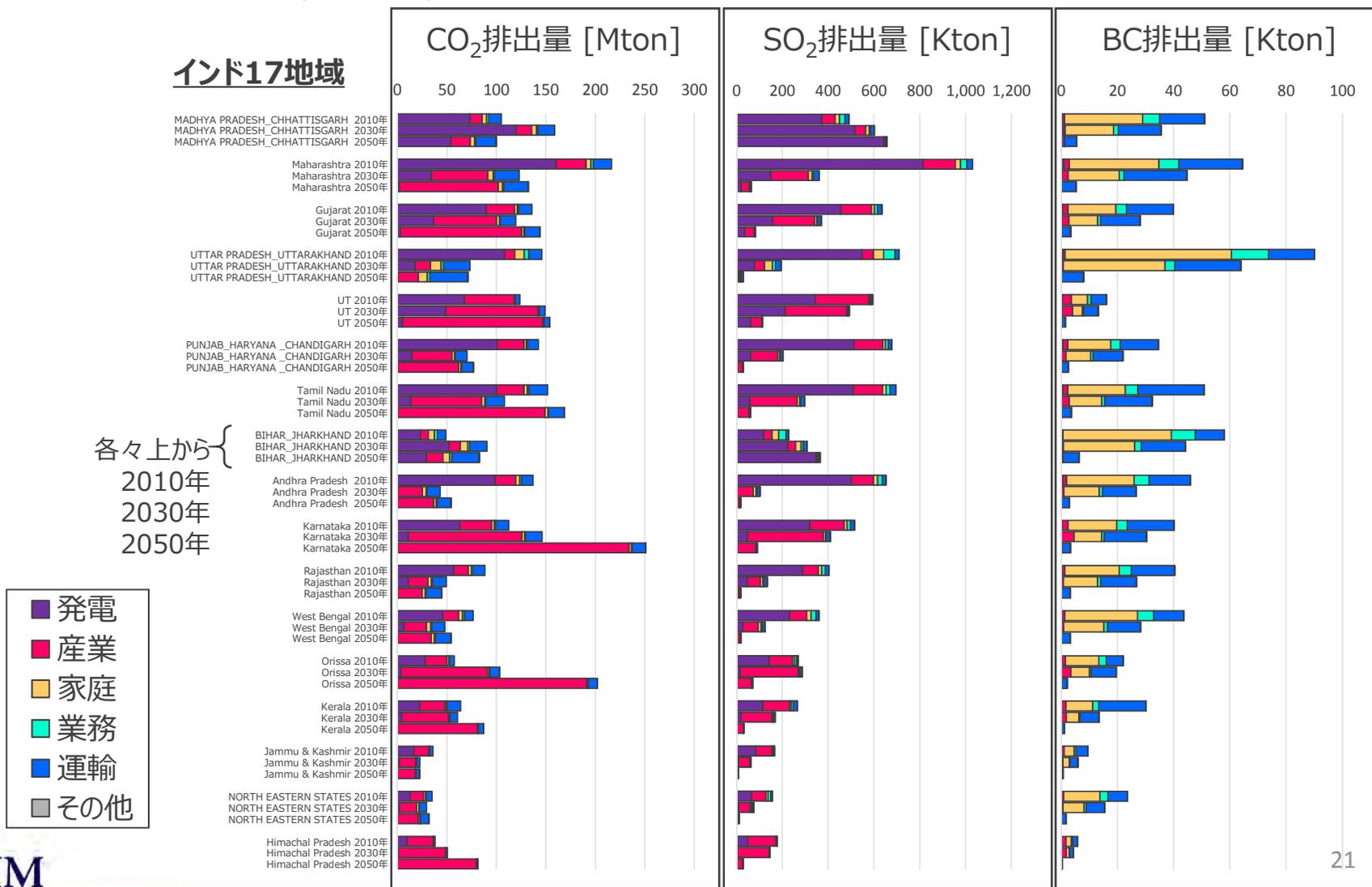


中国の地域区分

農村地域一律に算定するよりも、中国における家庭におけるエネルギー消費をライフスタイルを考慮した、より実態に近い推計をすることにつながることから重要

国（インド・中国など）や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

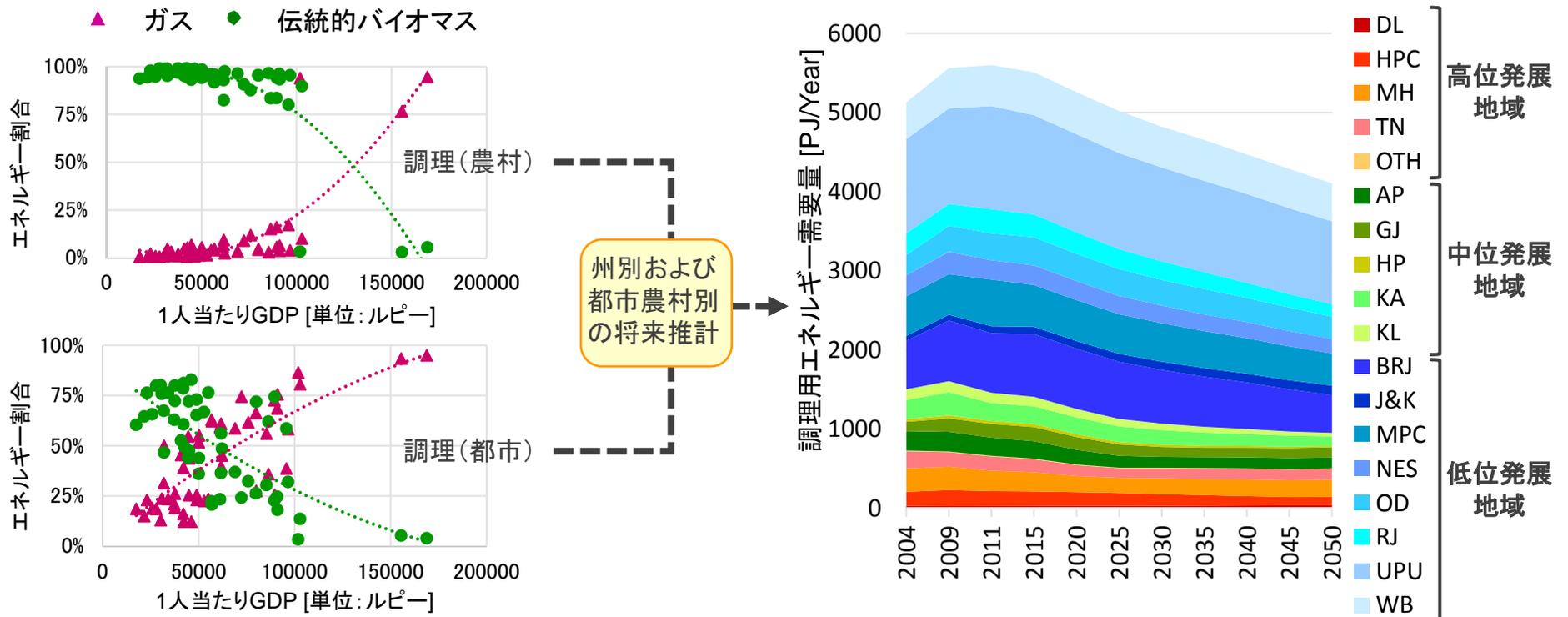
- 2D-EoPmid-RESBLDTRTにおけるインドの17地域ごとのCO₂,SO₂,BC排出量（2010/2030/2050年）



国（インド・中国など）や地方を対象としたエネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

・インド35州別 & 農村・都市別の家庭の将来サービス需要量推計

インドは家庭部門のうち、調理のエネルギー消費が最も大きく、かつ、農村と都市でエネルギー構成が大きく異なるのが特徴。そこで、エネルギー遷移（経済発展や都市化の段階に応じて導入されるエネルギーが変化する）の考え方を取り入れ、費用以外の障壁を考慮した将来のエネルギー種別需要を推計。（下図：18地域に集約した調理の例）。

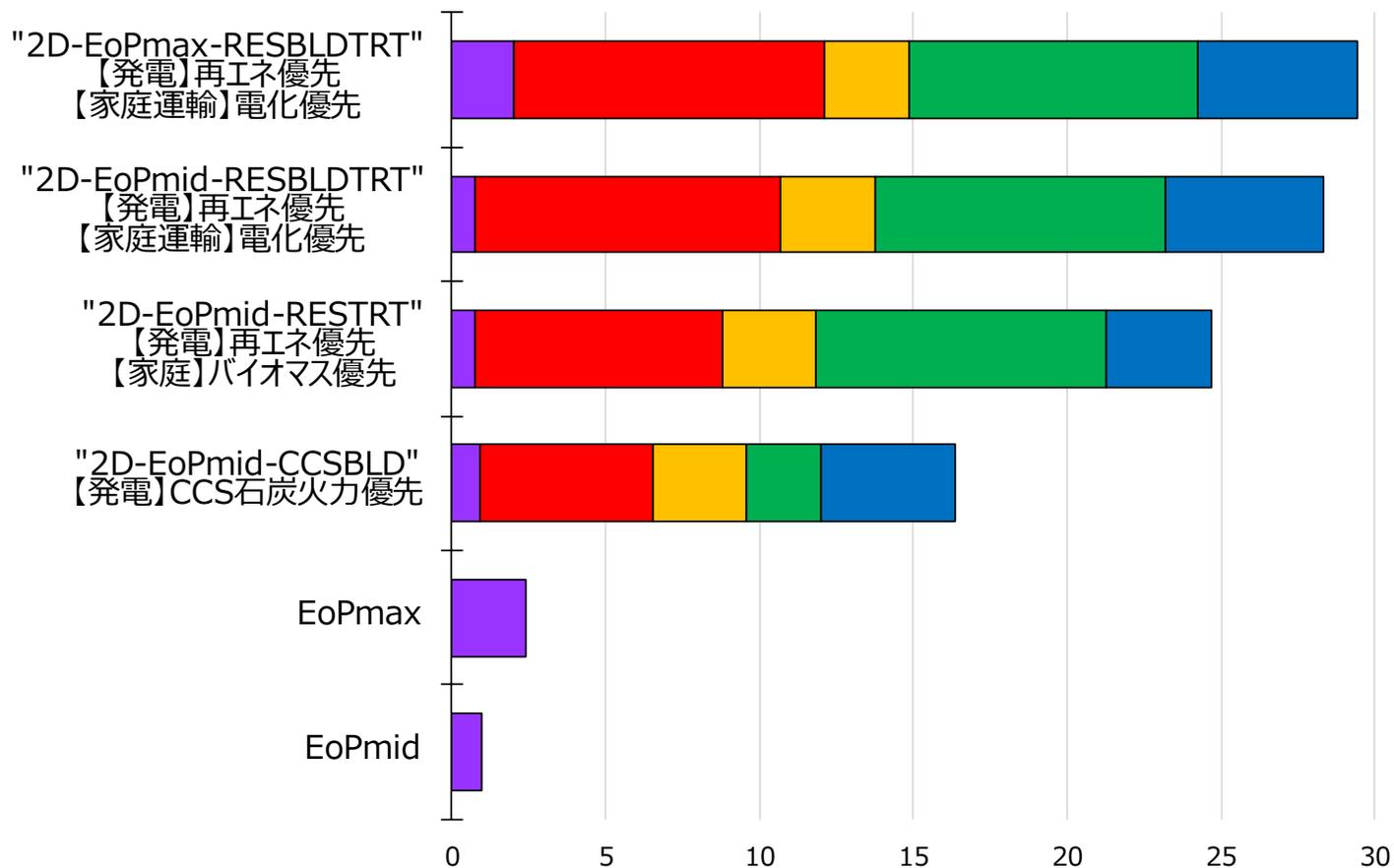


現在までのエネルギー遷移の傾向

将来エネルギーサービス需要量推計

国（インド・中国など）や地方を対象とした エネルギー・排出シナリオの詳細化と対策費用の推定

- 2050年までの対なりゆき比累積追加的投資額
（中国・インドの合算値；単位：兆ドル）



※2 EoP=エンドオブパイプ技術
（排煙脱硫・脱硝・集塵装置）

■ エンドオブパイプ技術

■ 省エネ低炭素技術（発電）

■ 省エネ低炭素技術（産業）

■ 省エネ低炭素技術（運輸）

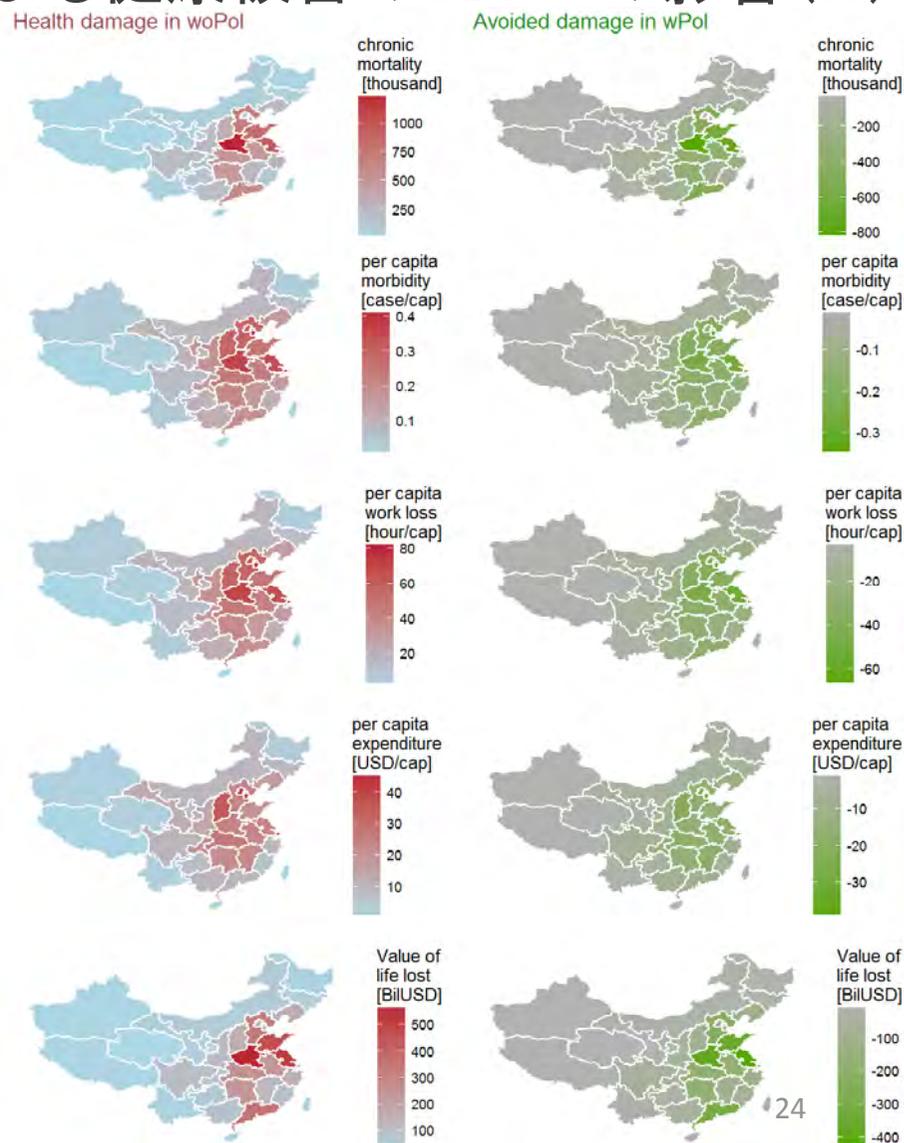
■ 省エネ低炭素技術（民生他）

Hanaoka et al. (to be submitted)

環境影響の軽減の評価

2030年の中国省別のPM2.5による健康被害のGDPへの影響(%)

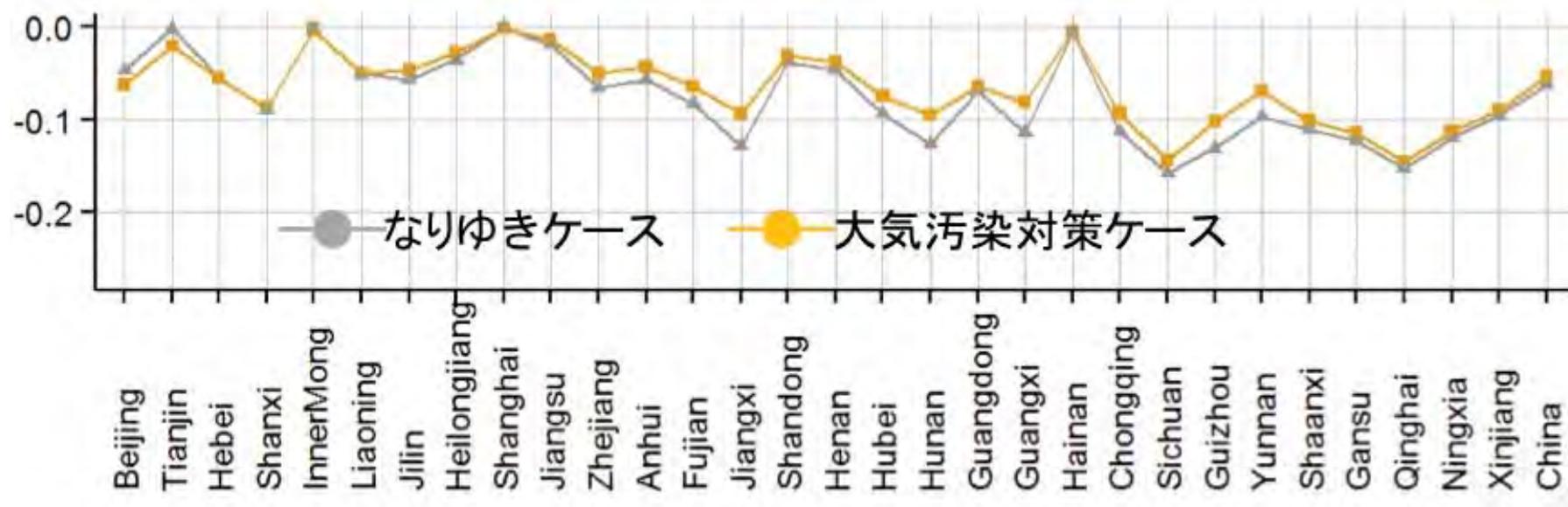
- 死亡率: 中国で、2030年に923.7万人 (WoPol: 大気汚染対策なし)、233.5万人 (WPol: 大気汚染対策あり)がPM2.5により死亡。河南省、山東省、江蘇省、河北省、四川省で死亡率が高い。
- 疾病率: 2030年に2.28億人 (WoPol)、6600万人 (WPol)が罹患。上気道疾患や喘息による通院患者が主。
- 通院等に関する支出額: 2030年に2063億元 (WoPol; GDPの0.11%)、533億元 (WPol; GDPの0.027%)の追加的支出が発生。
- 大気汚染対策の導入により、中国全体でGDPの0.3%の損失を回避。上海、北京、天津、江蘇省、河南省、浙江省で対策による便益が大きい。



Xie et al. (2017)

環境影響の軽減の評価

- 2030年の中国省別のオゾンによる健康被害のGDPへの影響(%)



2030年の中国において、オゾンによる健康影響は、なりゆきでGDPの0.034%に相当。大気中での化学反応や自然起源の影響が大きいために、現行の大気汚染対策を行っても被害は0.030%(0.004%の軽減)に止まる。

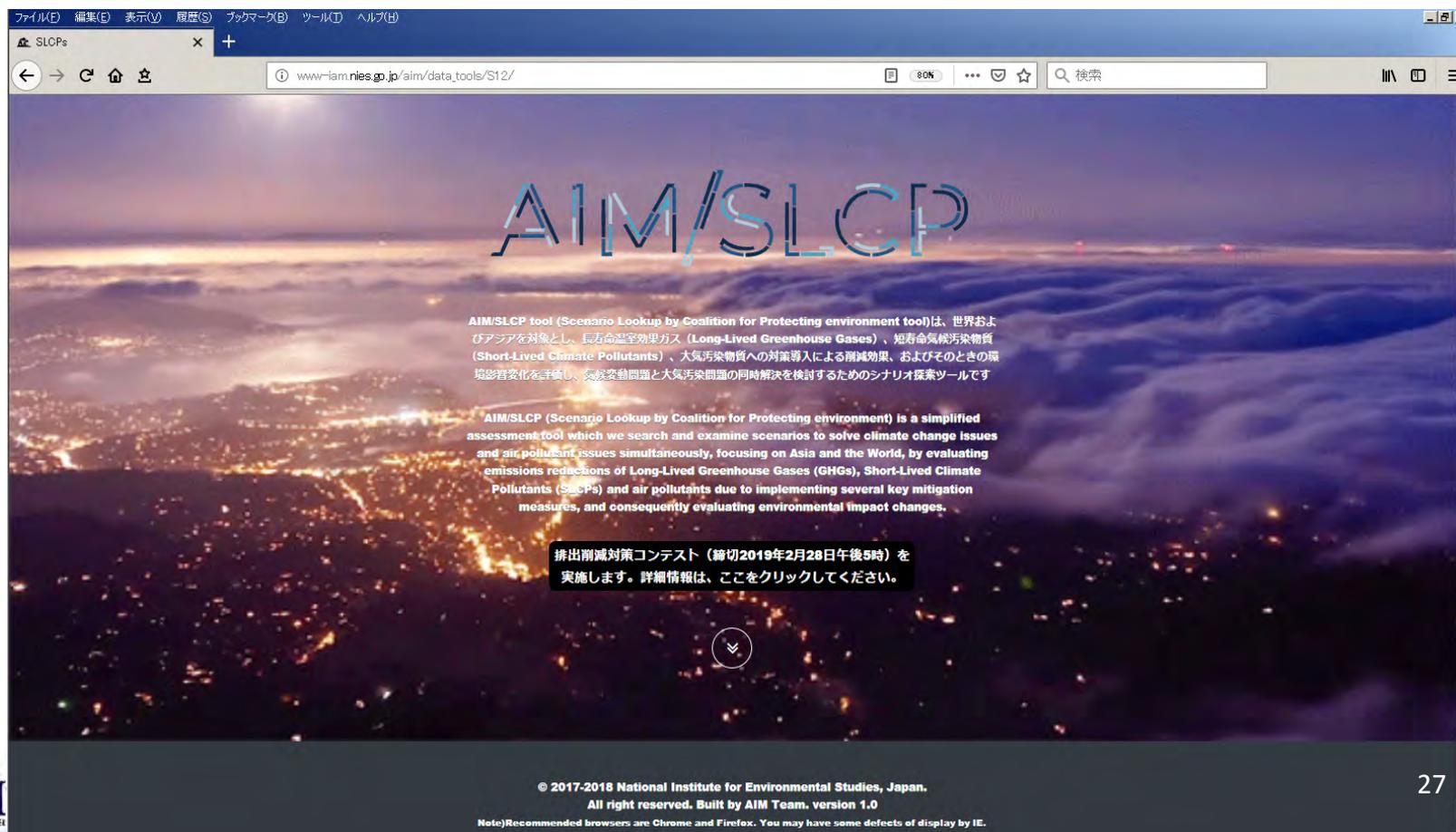
環境影響の軽減の評価

- 対象とする地域や汚染物質の種類によって、被害額は大きく変化する。
- 2°C目標を実現する費用は、エンドオブパイプ技術による対策費用よりも高額となり、導入促進に向けた政策支援が必要。
- 課題
 - 健康影響については、PM2.5とO3による影響、農業影響は米の生産性の変化のみを対象としており、今後は、温暖化による他の影響も含めたより包括的な影響の評価が必要となる。
 - 気候変動影響は、2050年以降において深刻化することが予想されており、分析期間の延長が必要となる。

対話に向けた簡易ツールの開発

- 統合評価モデルを用いた分析は、プログラミング等の知見とともに、計算に多大な時間を要する。「対策議論で使えるツール」を目的にAIM/SLCPを開発。

http://www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/



The screenshot shows a web browser window displaying the AIM/SLCP website. The browser's address bar shows the URL www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/. The website features a night cityscape background with the title "AIM/SLCP" in large, stylized letters. Below the title, there is a paragraph of Japanese text and an English description of the tool. A black box with white text contains a notice about a pilot project. At the bottom left is the AIM logo, and at the bottom center is the copyright information.

AIM/SLCP tool (Scenario Lookup by Coalition for Protecting environment tool)は、世界およびアジアを対象とし、長寿命温室効果ガス (Long-Lived Greenhouse Gases)、短寿命気候汚染物質 (Short-Lived Climate Pollutants)、大気汚染物質への対策導入による削減効果、およびそのときの環境影響変化を評価し、気候変動問題と大気汚染問題の同時解決を検討するためのシナリオ探索ツールです

AIM/SLCP (Scenario Lookup by Coalition for Protecting environment) is a simplified assessment tool which we search and examine scenarios to solve climate change issues and air pollutant issues simultaneously, focusing on Asia and the World, by evaluating emissions reductions of Long-Lived Greenhouse Gases (GHGs), Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs) and air pollutants due to implementing several key mitigation measures, and consequently evaluating environmental impact changes.

排出削減対策コンテスト（締切2019年2月28日午後5時）を実施します。詳細情報は、[ここをクリックしてください](#)。

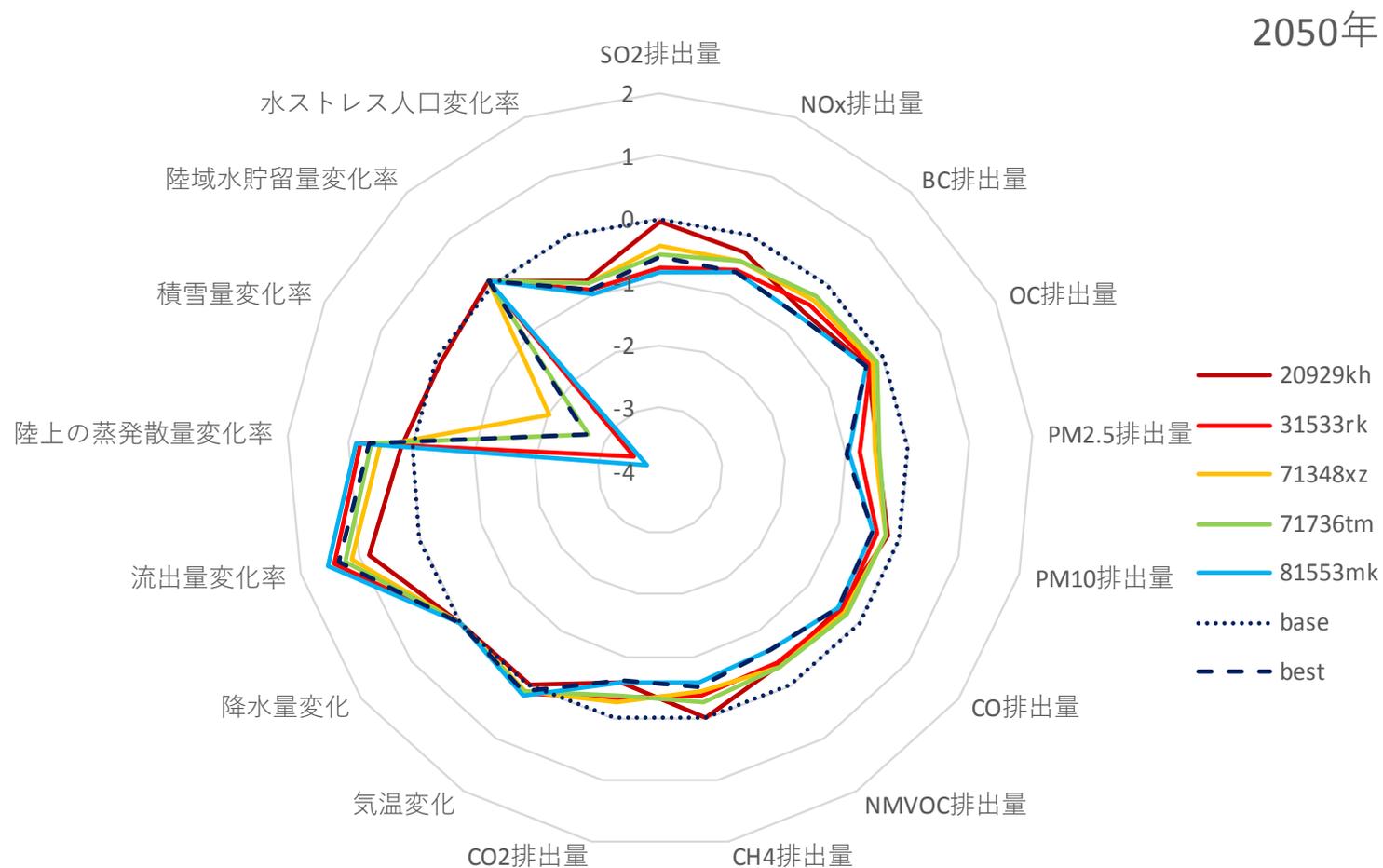
© 2017-2018 National Institute for Environmental Studies, Japan.
All right reserved. Built by AIM Team, version 1.0
Note)Recommended browsers are Chrome and Firefox. You may have some defects of display by IE.

対話に向けた簡易ツールの開発

- 2019年3月6日までのアクセス数：合計393件
 - 87件(2018年12月)
 - 143件(2019年1月)
 - 155件(2019年2月)
 - 8件(2019年3月)
- 2019年2月28日午後5時まで、AIM/SLCPを使った「排出削減対策コンテスト」を実施。
 - 応募5件
- 課題
 - 作成したツールでは世界全体が対象。国内で使用してもらうためには、地域の排出、影響が対象となるような工夫が必要。
 - 使用するブラウザによっては正確に作動しない場合がある(研究として実施することの限界)。

対話に向けた簡易ツールの開発

応募頂いた結果について、排出量変化、環境影響変化で比較。



S-12-2のまとめ

- 世界、国、地方、都市、家庭など**様々なスケールの温室効果ガス、SLCPの排出シナリオ**を統合的に定量化した。
- 温暖化対策、SLCP対策に要する**費用**や、負荷削減による環境改善によって生じる**便益(損失の回避)**も評価した。
- ステークホルダーが集まって議論する際に利用可能な**ツールの開発、公開**を行った。

今後の展望

- パリ協定の実現や大気環境の改善に向けて、世界の温室効果ガスやSLCPの排出削減は加速させる必要がある。政策や様々なステークホルダーと協力して研究に取り組む必要が今以上に求められ、**排出量だけでなく費用など意思決定に必要な情報を適切なタイミングで提供**することが重要になる。
- 温室効果ガスやSLCPの大幅削減の実現には、技術的な取り組みだけではなく、**社会経済の転換(Transition)**も必要となり、より多様な社会像を対象とした定量化が求められる。
こうした分析を**アジア各国の研究者と連携**して取り組み、排出削減の実現の一助となるような分析、支援を行うことが求められる。