

# 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

中島映至

東京大学大気海洋研究所

大原 利眞、増井 利彦、高見昭憲、杉本 伸夫、今村隆史

国立環境研究所

竹村俊彦

九州大学

## 背景の分析

- 京都議定書第2約束期間への参加状況の複雑化
- 増え続ける長寿命温室効果ガス(LLGHG)
- 増加する発展途上国における短寿命大気汚染物質(SLCP)
- Rio+20: ボトムアップ型環境変化研究(ICSU-GEC)への失望と、政策決定者からのトップダウン型枠組み創造の試み(GEC改組・Future Earthや全球気候サービス枠組み(GFCS)の始動)
- 国家レベルでLLHG, SLCPの様々な削減努力が開始
- Climate and Clean Air Coalition(CCAC)の始動



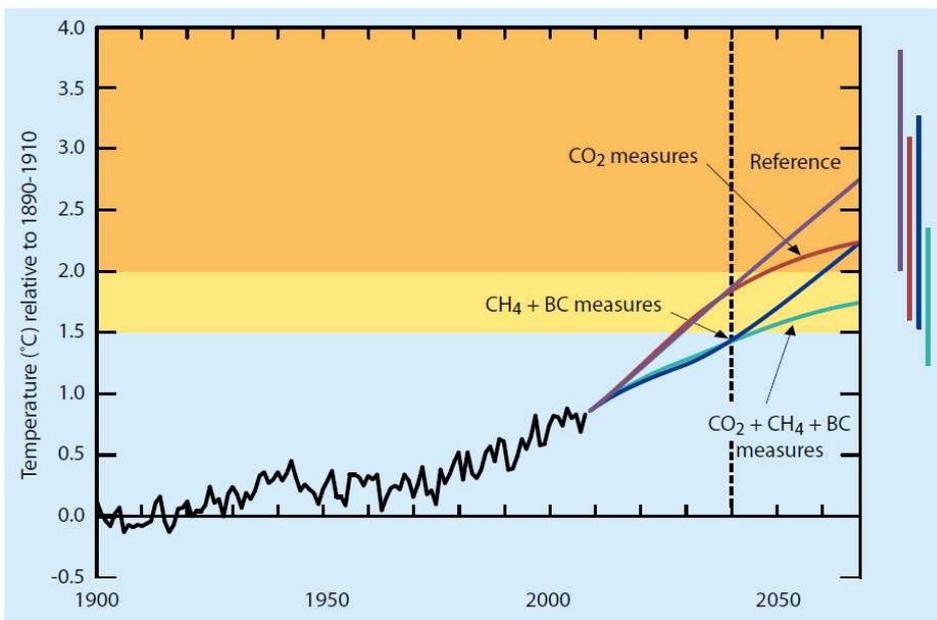
より能動的な削減効果評価システムが必要になっている

- LLGHGとSLCPの削減経路を、削減効果が最適になるように能動的にサーチすることが必要: そのための評価ツール開発と評価が必要
- SLCPの気候影響評価の大きな不確実性

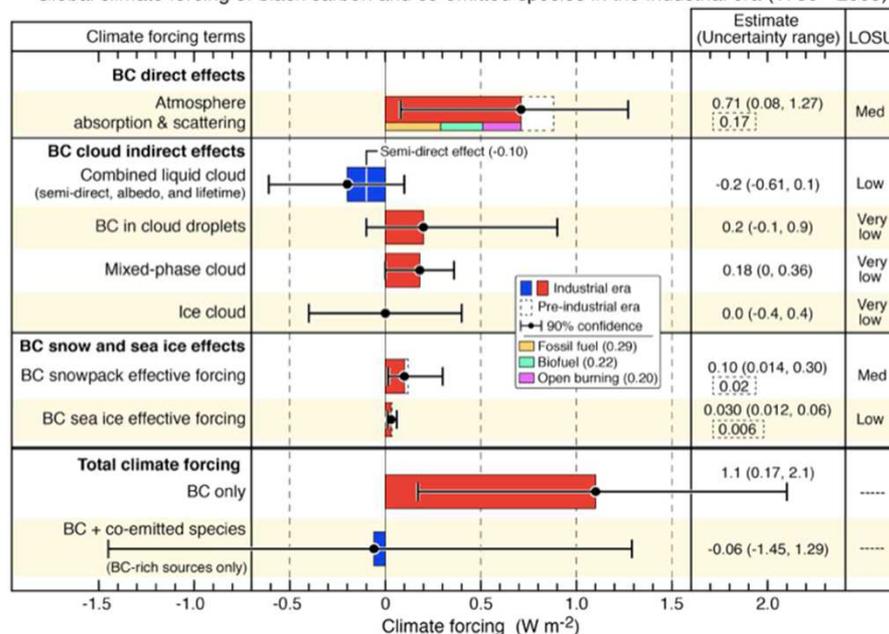
# 地球温暖化削減に関する現状分析

- SLCP概念の導入: Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone (UNEP 2011)
- SLCP削減効果: Emission Gap Report (UNEP 2010)
- 変化する国際議論に対応する必要がある

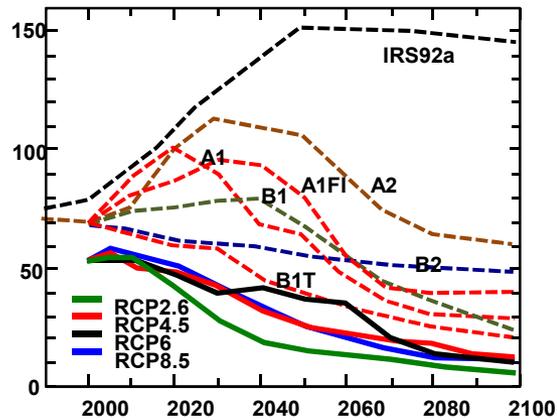
- ...しかしSLCPの放射強制力と気候環境影響の評価は難しい(BC・間接効果)
- 最近の研究では黒色炭素の大きな放射強制力が報告されている (Chuan et al., PNAS 12; Bond et al., JGR 13)



Global climate forcing of black carbon and co-emitted species in the industrial era (1750 - 2005)

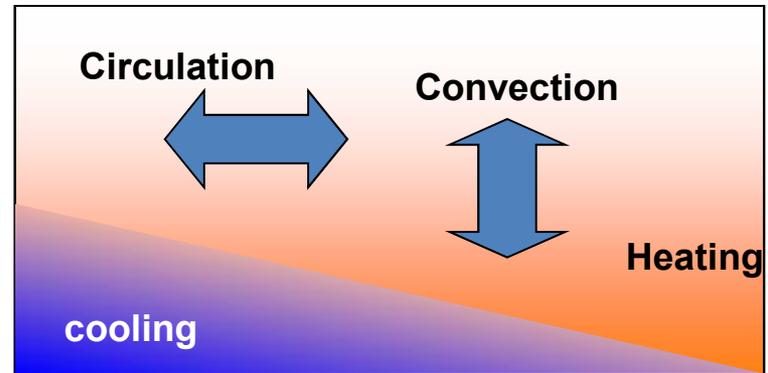


### so<sub>2</sub>排出量の将来シナリオ



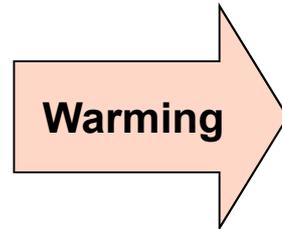
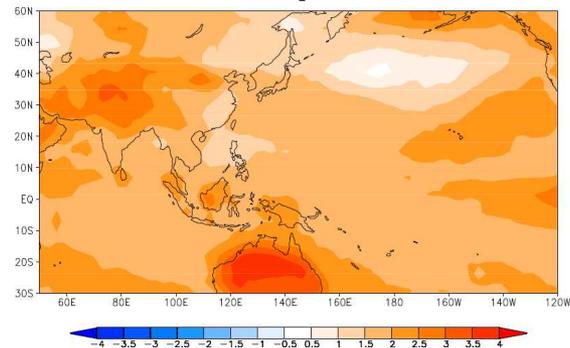
M. Mukai et al. (JGR 08; SOLA 09)

- Aerosol change important to monitor

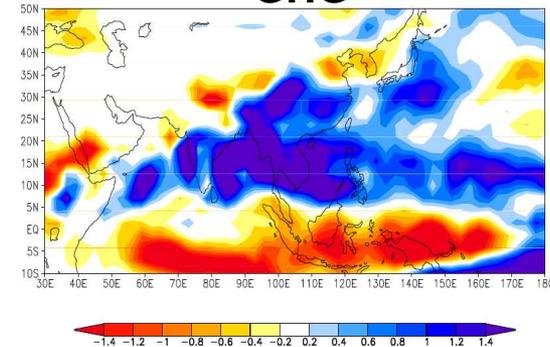


### Precipitation change [mm/day](JJAS)

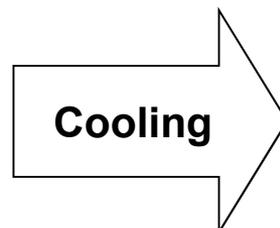
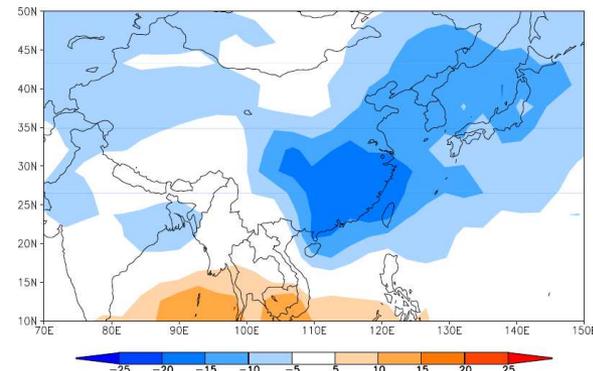
### Surface air temperature change due to GHG



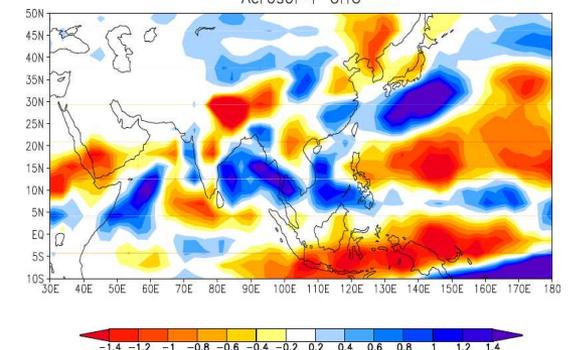
### GHG



### Surface forcing by man-made aerosol (W/m<sup>2</sup>)



### GHG+Aerosol

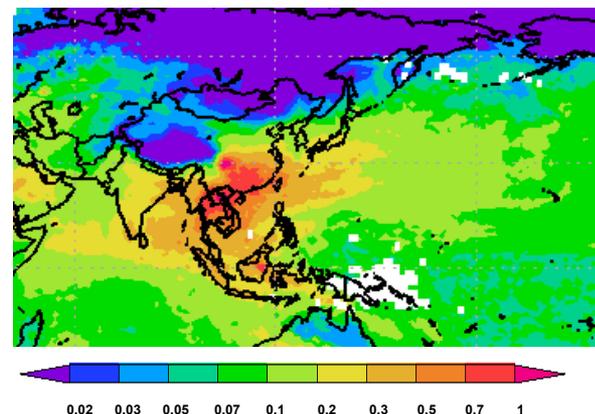
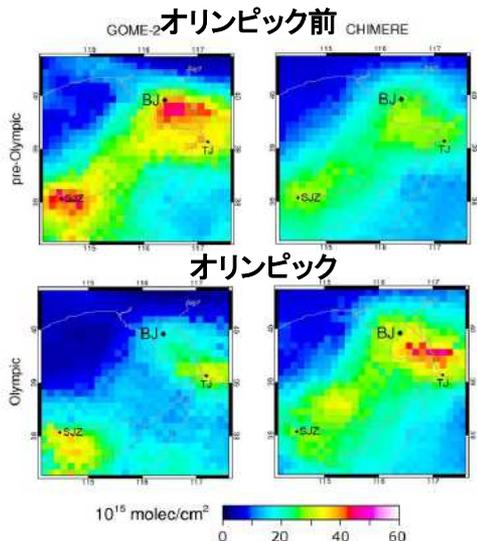


# 大気質変化イベントの解析

Mijling et al. (GRL 09)

例：北京オリンピックによる交通規制

衛星 NOx 排出削減を考慮しない計算結果



領域スケールの  
イベント的  
現象



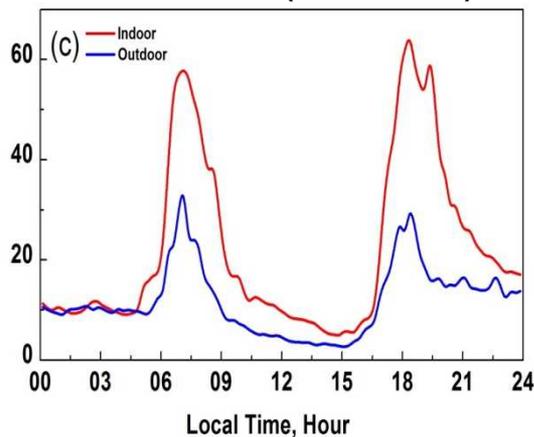
全球的なLLGHGとSLCP  
効果のアセスメント

例：Project Surya (India)

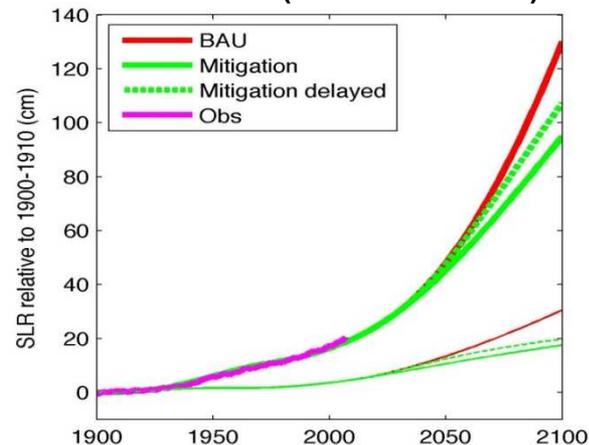


Black Carbon Concentration  $\mu\text{g m}^{-3}$

屋内と外での黒色炭素量 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )  
Praveen et al (ACPD 2011)



海水準  
Hu et al (Nature CC 2013)



# 対象とする大気質変化事例（候補）

		事例	主要対象物質	時間スケール	空間スケール
日本	中長期対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SO<sub>x</sub>規制</li> <li>・自動車排出ガス規制</li> <li>・ディーゼル車規制</li> <li>・VOC蒸発発生源対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SO<sub>x</sub></li> <li>・NO<sub>x</sub>, PM, O<sub>3</sub></li> <li>・NO<sub>x</sub>, PM</li> <li>・VOC, O<sub>3</sub>, PM</li> </ul>	10～数10年 (年単位)	Urban～ National
	社会経済影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・週末効果</li> <li>・震災影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NO<sub>x</sub>, PM, O<sub>3</sub></li> <li>・多種</li> </ul>	数年(平休日単位) 数年(月単位)	Urban～ National
中国	中長期対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・11次五計のSO<sub>x</sub>対策</li> <li>・都市汚染対策</li> <li>・酸性雨対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SO<sub>x</sub>, PM</li> <li>・NO<sub>x</sub>, PM, O<sub>3</sub></li> <li>・NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM</li> </ul>	5年(年単位) 10年程度(年単位) 10年程度(年単位)	Urban～ National
	短期対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・北京オリンピック</li> <li>・上海万博</li> <li>・広州アジア大会</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM</li> <li>・NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM</li> <li>・NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM</li> </ul>	数か月～数年 (1週間程度単位)	Urban～ Regional
他	社会実験等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Surya(南アジアのABC緩和実験)</li> </ul> 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・BC</li> </ul>	数年 (年単位)	Local

# シナジーの形成

先行研究資産

テーマ4

7

低炭素・クリーン社会の構築

最適緩和  
(経路)の探索

テーマ3

テーマ2

テーマ1

イベント解析  
既存データ  
観測データ

アジア域の領域  
CTM  
(WRF-CMAQ)  
【S-7】

領域モデル  
排出量変化  
の推定

排出インベントリーの高度化

アジア域の排出インベントリー  
(REAS 2) 【S-7】

PM<sub>2.5</sub>技術選択モデルの大気汚染対策  
への拡張・地域モデルの開発

アップ  
スケール

多様な緩和策  
(経路)の策定

削減・適応政策作成  
排出シナリオの策定

将来排出シナリオ  
【S-6, S-7, S-10, A-1103】  
AIM/CGEモデル  
【S-6, S-10, A-1103】

気候変動評価  
GHG, SLCPの削減効果

環境影響評価  
健康 重み付け  
農業 Metric  
水循環

温暖化影響評価モデル  
【S-4, S-5, S-8, S-10】

気候・環境モデル

温暖化予測モデル【S-5】  
(MIROC, 領域モデル)  
地球システムモデル【S-7】  
(MIROC/SPRINTERS/CHASER)  
CTMのダウンスケーリング【S-7】

文科省  
革新・気候情報  
気候適応/SALSA

実環境での排出削減効果  
の評価

地域性と多重影響性を  
考慮したシナリオ作成

排出シナリオの  
影響評価

# 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<sup>8</sup>

達成目標:各テーマが開発する地域大気環境評価システム・地域を対象とした統合評価モデル・気候と環境変動の影響評価システムを連結して、統合運用システムを稼働する。政策立案者とステークホルダーからの意見を反映して、統合運用システムからSLCP削減対策に関する知見を提供する。このような運用に必要なツールキットの開発と必要な情報発信を行う。

テーマ1:大気質変件事例の構造解析と評価システムの構築  
・地域大気質変化解析  
・排出インベントリシステム開発  
・排出量逆推計システム構築

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  
・社会経済シナリオ(世界)  
・排出シナリオ(国・地域)  
・排出・大気汚染評価(都市・家庭)

テーマ3:数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価  
・エアロゾル・ガスの気候変動評価  
・健康影響・農業影響・水循環変動・海面水位変動の評価

排出インベントリの高度化

イベントのアップ・スケール  
将来シナリオ

地域大気環境評価  
モデル

統合評価  
モデル

気候・環境  
モデル

社会行動・施策の評価

影響のフィードバック

アジア域領域CTM  
アジア域排出インベントリ

技術選択モデル  
社会経済シナリオと排出シナリオ

温暖化予測モデル・地球システムモデル  
革新・気候情報・気候適応/SALSA等

テーマ4:統合運用システム(ツールキット・データアーカイブ)

科学

各モデルの高度化

実験設定・メトリック定義  
高次データ作成  
テーマ間問題解決

ステークホルダー  
政策立案者

システム利用

CCAC, UNFCC, IPCC, EANET対応  
気候政策、大気汚染政策の  
提言・評価

社会

情報発信  
クールアースメッセージ

MDG・SDG・Future Earth  
対応

地域戦略

↑↓  
全球戦略

# アウトカム・アウトリーチ

## 1) 行政ニーズ

- SLCP対策の効果解明
- コベネフィット効果に着目した気候変動対策の推進
- IPCC評価報告書への貢献
- CCACへの貢献

## 2) アジアにおけるSLCP削減パス・シナリオの提案

- アジアにおける有効な削減パス・シナリオ
- アジアにおける具体的な地域対策
- 将来の気候変動・環境変動の影響評価

## 3) 既存のポリシーの改良への提言

- すでに提示されている各国のポリシー（各国がプレッジしたGHG排出削減目標、各国の5カ年計画、排出規制等）やビジョンについて、温暖対策やSLCP対策の観点から、既存のポリシーを改良する方向の提言。
- 国内の大気環境対策の検証とそれを踏まえた今後の方向性の提言。

## 4) 統合評価システムの構築

- 政策立案に役立つUS-EPA toolkitのような行政官が使える統合システムの構築。

## 5) IPCC、CCAC以外の国際的な貢献

- UNEP-ABC、UNFCCC、EANET、LTP等における環境省と連携した成果発信
- 日中韓環境大臣会議への提案と設置されたWG等における成果発信（PM2.5、オキシダント）

# スケジュール

【達成目標】	3年目での成果	5年目での成果
<p><b>テーマ1 過去の大気質変化事例の構造解析と評価システムの構築</b></p> <p>過去の事例から緩和対策効果の評価する:過去の社会経済変化や環境対策による大気環境変化を科学的に検出することにより、当該地域におけるLLGHG/SLCP緩和対策の有効性を定量的に評価する。</p> <p>過去の事例を再現可能な対策評価ツールを作る:過去の社会経済変化や環境対策による大気環境変化を再現可能なツールを構築することにより、LLGHG/SLCP緩和対策効果を把握できるようにする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内(自動車排出ガス規制、週末効果など)、中国(北京オリンピックなど)を対象に観測データや社会経済データ、対策情報等を収集し、EI/CTM/IMを活用して変化要因や対策効果を定量的に分析。</li> <li>社会経済変化や環境対策による広域的な大気質変化を解析するツールの構築。</li> <li>過去の大気質変化イベントにおける対策効果の定性的把握。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>インド(SURYA)および東南アジアを対象を広げ、変化要因や対策効果の定量的分析。</li> <li>広域的な大気質変化を再現可能なツールの構築。</li> <li>上記イベントの対策効果の定量化。</li> </ul>
<p><b>【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</b></p>		
<p>温暖化対策や大気汚染対策について、地域特性や家計の消費行動を反映できる統合評価モデル開発を行う。</p> <p>2050/2100年までの将来シナリオを作成するとともに、これまで導入されてきた対策やイベントをもとにした将来の温暖化対策及びSLCP対策シナリオについて定量化する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル改良(技術選択モデル:地域詳細化、大気汚染技術の導入、家計生産モデル:対策技術の導入、大気汚染フィードバックの導入、大気汚染モデル:選定地域を対象としたなりゆきケースのモデル化)。</li> <li>なりゆきシナリオの作成と、それによる大気汚染物質、温室効果ガス排出シナリオの作成。</li> <li>対策シナリオ(影響フィードバックなし)の作成。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>テーマ3で分析される影響からのフィードバックを評価できるモデルへの改良。</li> <li>統合運用システムや最適な排出経路の評価に資する排出シナリオの定量化(影響のフィードバックを考慮した対策シナリオの作成)。</li> </ul>
<p><b>【テーマ3】数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価</b></p>		
<p>将来のSLCP濃度の変化に伴う気候変動を定量的に予測し、LLGHG/SLCPの最適な削減経路を提示する。</p> <p>最適パスやその他のパスによる将来のSLCP濃度の変化に伴う影響評価を定量的に行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>テーマ1および2により作成された排出インベントリを用いて、SLCPによる現在までの気候変動の定量的検証。</li> <li>上記の計算結果に基づいて、SLCPによる現在までの気候・環境変動に伴う影響の検証。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本課題により作成された排出インベントリを用いたSLCPによる将来の気候変動の定量的評価。</li> <li>上記の計算結果に基づいたSLCPによる将来の気候変動に伴う影響の評価。</li> </ul>
<p><b>【テーマ4】統合運用システムの構築(統括班)</b></p>		
<p>影響評価指標を分析し、最適パス(とるべきSLCP削減対策)を提案する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各テーマが開発する排出インベントリシステム・地域を対象とした統合評価モデル・気候と環境変動の影響評価システムを連結して、統合運用システムを構築。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>政策決定者とステークホルダーからの意見を反映し、統合運用システムからSLCP削減対策に関する知見を提供。</li> </ul>

## 国際協力

下記の国際プロジェクト／枠組みを通して、世界の最新の動きを当プロジェクトに反映し、また、成果の発信を行うことができる。

- Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
- IPCC
- EANET
- AEROCOM
- UNEP/Atmospheric Brown Cloud Project (ABC)
- Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC)
- Global Emission Inventory Activities (GEIA)
- Hemispheric Transport of Air Pollution (HTAP)
- 中国国家重点基礎研究領域(973)プロジェクト「大気汚染物理化学特性と気候影響」(PI: Hong Liao, 中国大気物理研究所)(2013-)
- 中国国際科学技術共同研究「大気組成変化とその影響と対策の研究」(PI: Guang-Yu Shi, 中国大気物理研究所)(2011-2014)

# テーマ1 大気質変化事例の構造解析と評価システムの構築

アジアにおける大気質変化事例を対象として、

- ・変化要因や対策効果を定量的に分析して対策効果を評価
- ・大気汚染対策による大気質改善効果を定量的に評価可能なシステムを構築・検証

## 大気質変化事例

北京オリンピック、日本や中国の大気汚染対策など      リーマンショック、春節、週末効果、SURYA など

### マルチスケール大気質変化評価システム

統合化

AIM

排出インベントリシステム

排出量逆推計システム

サブ(2)

サブ(3)

### 化学輸送モデルシステム

全球化学気候モデル  
(MIROC/ESM/CHEM)

領域化学輸送モデル  
(WRF/CMAQ)

サブ(1)

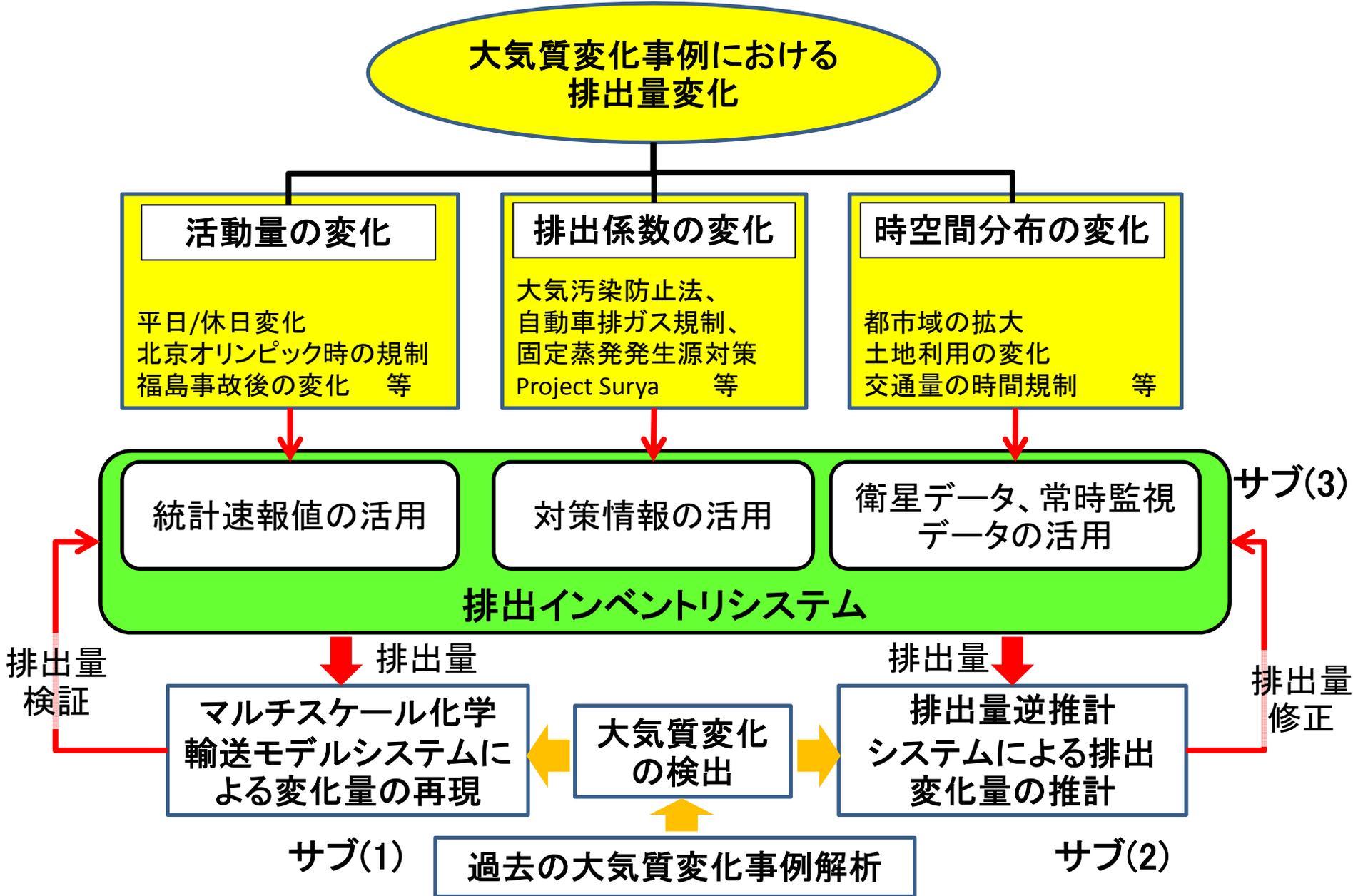
大気質変化評価

大気汚染対策効果の能動的評価・実証

アップスケーリングによる地球規模への展開(→ テーマ2、3)

テーマ2

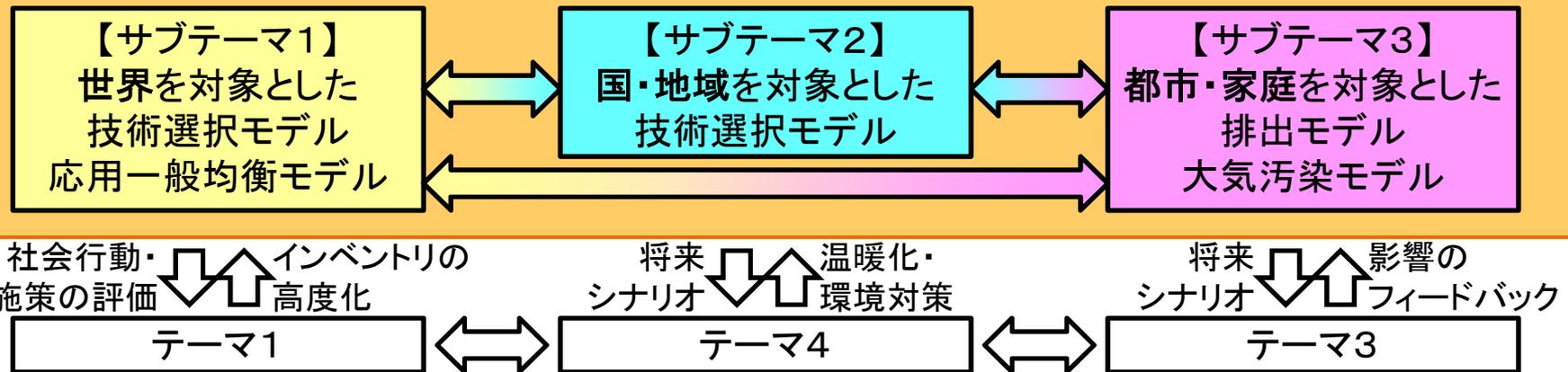
# テーマ1 大気質変化事例の構造解析イメージ



# 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

## テーマ2の目的

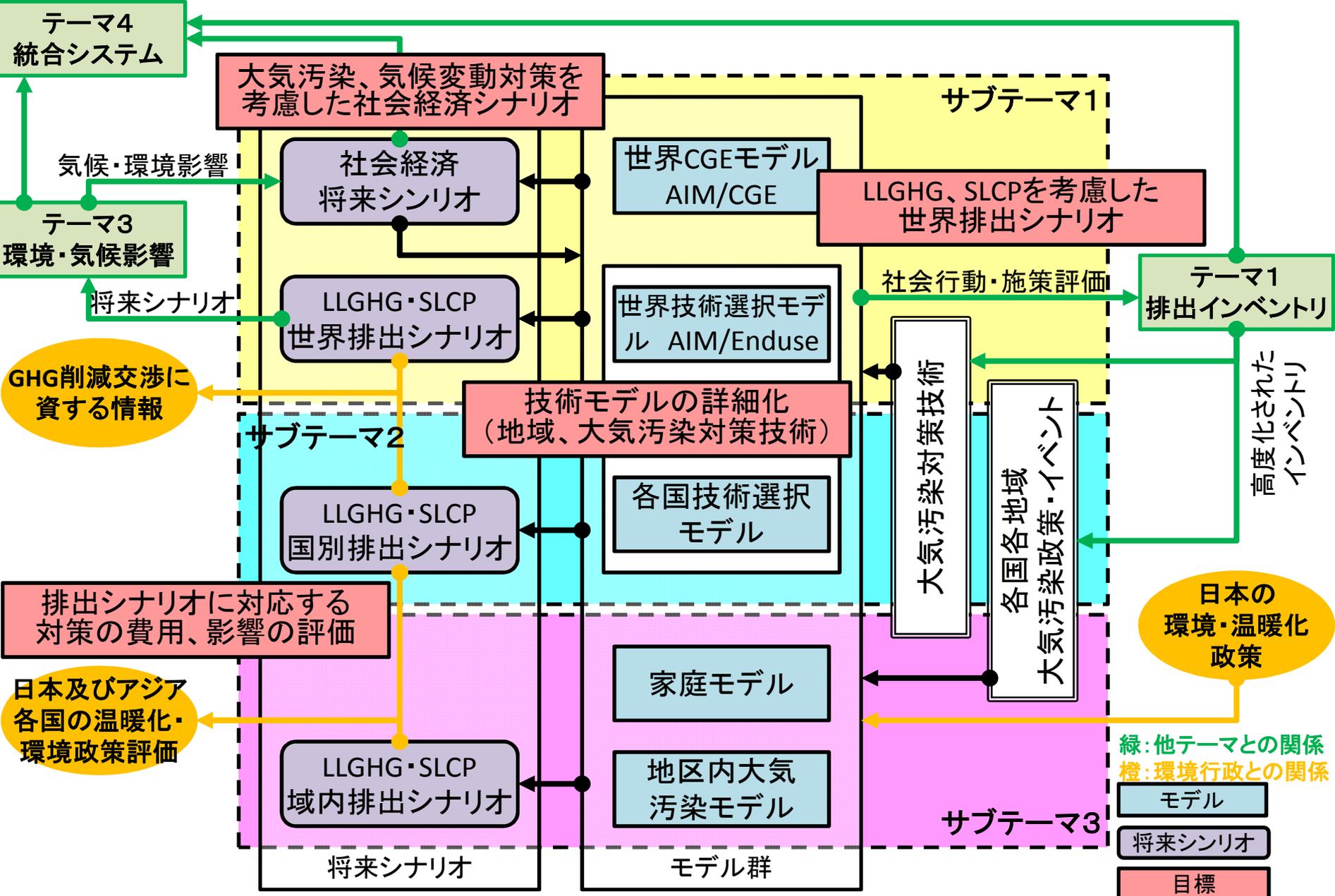
- 技術選択モデルについて、大気汚染対策技術が評価できるように、世界、アジア主要国モデルを更新。国モデルについては地域特性も評価できるように詳細化。改良した技術選択モデルを用いて過去の様々な取り組みとその結果を再現するとともに、将来の社会経済シナリオを応用一般均衡モデルをもとに定量化し、温暖化緩和策、大気汚染対策を組み入れてLLGHG、SLCPの排出シナリオを定量化。
- 家庭、都市スケールを対象に、排出シナリオと大気汚染影響を定量化。
- テーマ3で検討された温暖化、環境影響を反映させた将来の社会経済シナリオを定量化。



## 想定される成果

- 世界、国、地域について、気候変動や環境影響を考慮した社会経済シナリオと、LLGHG、SLCPの排出シナリオの提示。
- 日本及びアジア各国における様々な温暖化対策、大気汚染対策の評価。

# 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

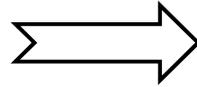


# テーマ3 数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価

環境研究総合推進費などによるこれまでの研究

気候モデル

大気質モデル

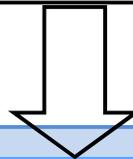


- SLCPの空間分布・時間変動の再現・予測
- SLCP/LLGHGの放射強制力の算出
- LLGHGによる気候変化の再現・予測
- LLGHGによる影響の評価

気候モデルおよび大気質モデルによるシミュレーションを行い、気候・水循環・健康・農業に対する短寿命大気汚染物質（SLCP）の影響を具体的に評価する。

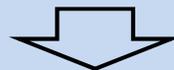
→ 最適なSLCP/LLGHG削減経路選択のための科学的根拠資料に資する

排出インベントリ・排出シナリオ [テーマ1・2]



最適シナリオ提案

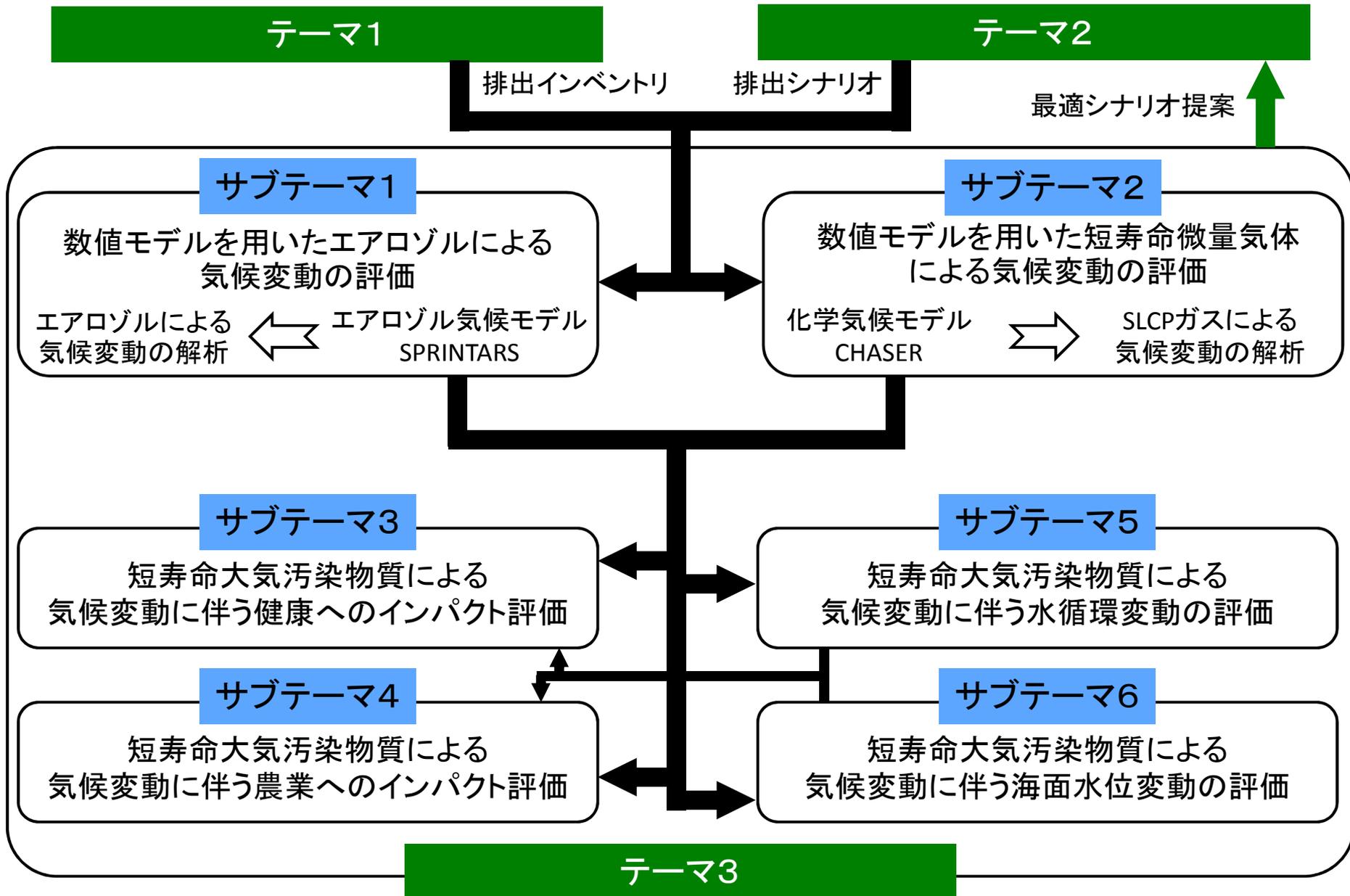
数値モデル（SPRINTARS/CHASER）を用いたエアロゾル・短寿命微量気体による過去・現在・将来の気候影響の評価 【サブテーマ1・2】



SLCPによる健康・農業へのインパクト評価 【サブテーマ3・4】

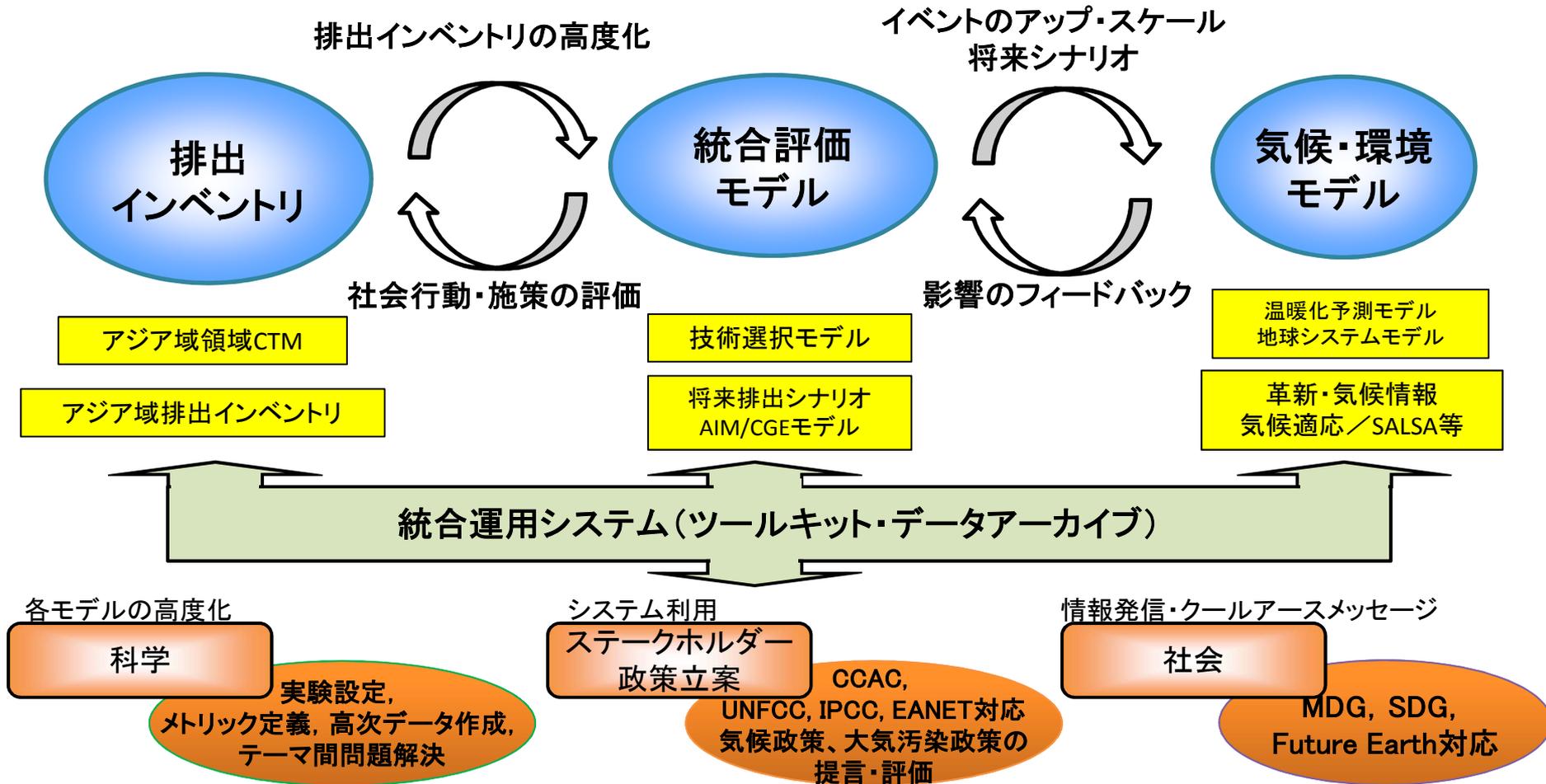
SLCPによる水循環・海面水位の変動評価 【サブテーマ5・6】

# テーマ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4 統合運用システムの構築

達成目標：各テーマが開発する排出インベントリシステム・地域を対象とした統合評価モデル・気候と環境変動の影響評価システムを連結して、統合運用システムを稼働する。政策立案者とステークホルダーからの意見を反映して統合運用システムから、SLCP削減対策に関する知見を提供する。このような運用に必要なツールキットの開発と必要な情報発信を行う。

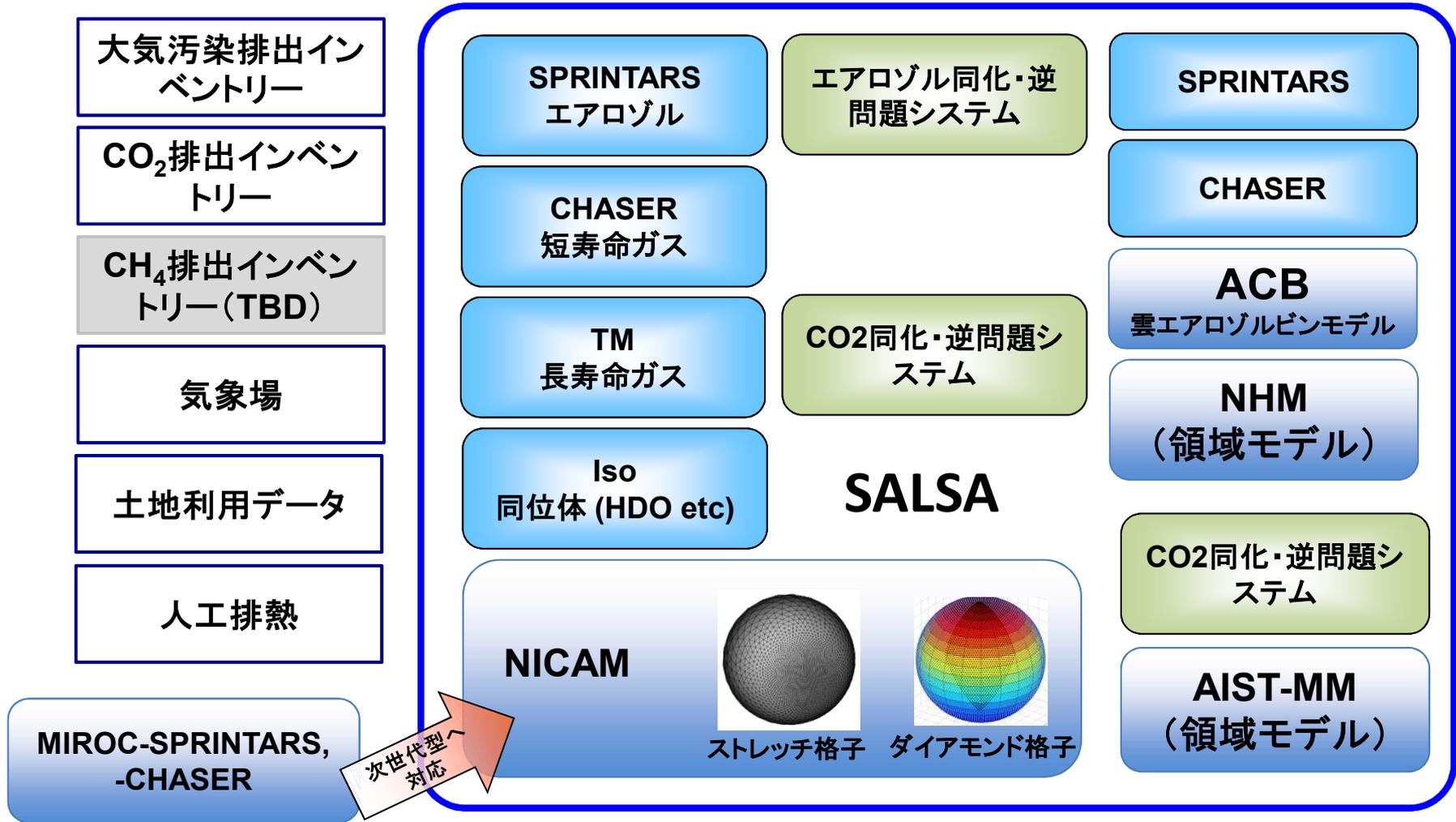


# 統合システムのイメージ(ここでは気候モデリングのみ) (1/3) 19

文科省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)

大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用 (SALSA)からの事例

- 同化・逆問題システムを含む大気物質モデル群:長寿命ガスと短寿命ガス・エアロゾルの同時解析、トレードオフ議論が可能に
- 次世代型モデルNICAMで全球から領域(kmスケール)をカバー:プログラム開発者の少ない日本にとってメリット



# 統合システムのイメージ(ここでは気候モデリングのみ) (2/3)

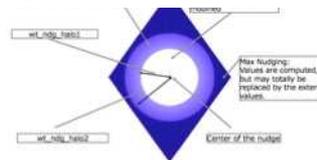
文科省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)

大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用(SALSA)からの事例

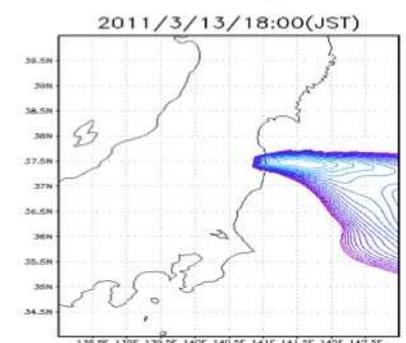
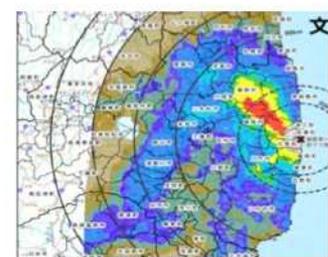
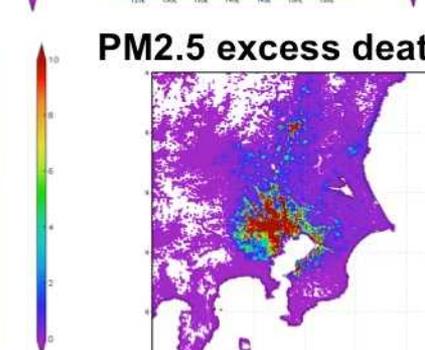
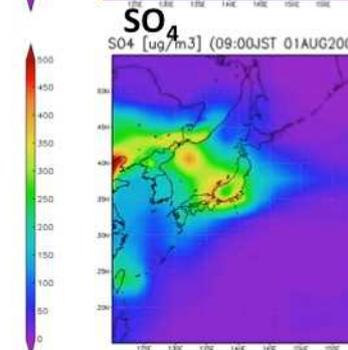
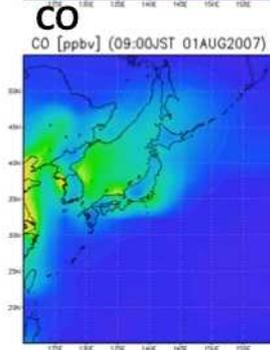
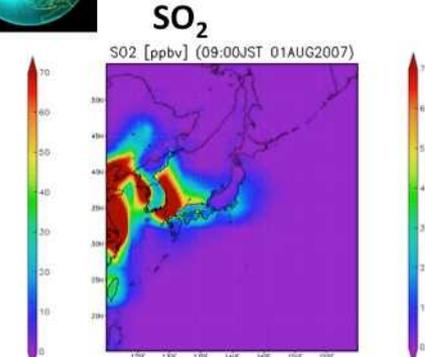
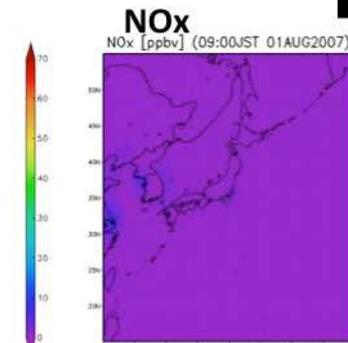
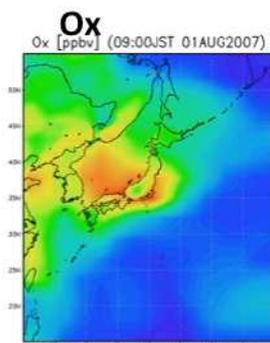
## Stretched-NICAM +SPRINTARS+CHASER



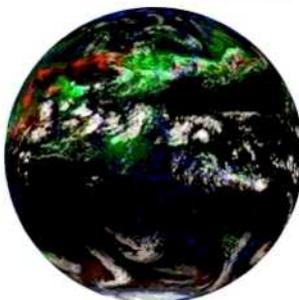
## Diamond-NICAM



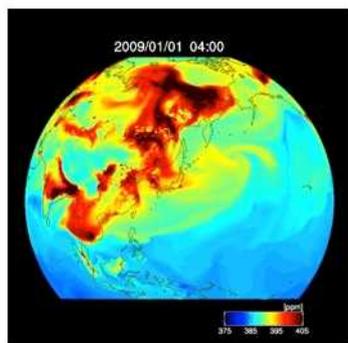
## 福島シミュレーション



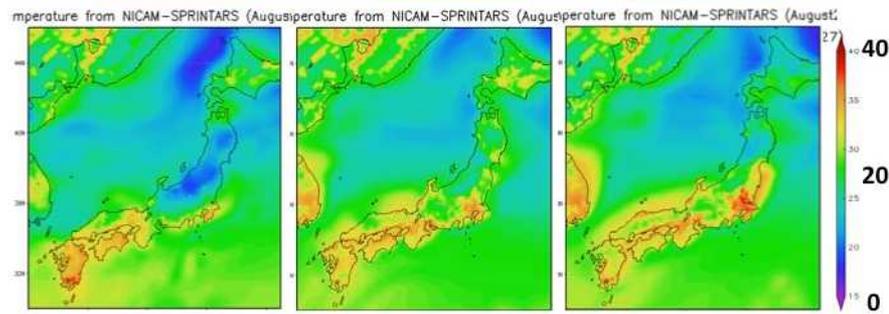
## Cloud, dust, fine particle



## CO<sub>2</sub>



## 1970s Temp. 2000s 2030s



文科省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)

大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用(SALSA)からの事例

## ● 軽減策と適応策の協調戦略の重要性

- 夏の熱関連死亡増加、広域化
- 将来、PM減少、しかし年齢構成変化で死亡増加
- PMIについてはシナリオ依存性大
- 対全死亡比は都心以外でも大、西日本/東日本差がある
- 埼玉・茨城・千葉農地の市街化⇒水系復活や都市内緑化
- 霞ヶ浦高温化⇒首都圏環境インフラランドデザイン展開
- 広大な水田地帯の市街地化⇒農地への通水・水田再生
- 千葉・神奈川・都西部の高温・低温化混在⇒里山保全・活用

