

SLCP削減施策に関する提言

環境省/環境再生保全機構 環境研究総合推進費戦略的研究開発領域 S-12では、短寿命気候汚染物質(SLCP)の環境影響評価と削減パズの探索による気候変動対策の推進に関する研究(2014-2018年度)の結果、SLCPの削減施策に関する提言を取りまとめたので、ここに示します。

この問題の解決には、市民・政策立案者などの多くの協力が必要です。

何が問題か？

気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21、フランス・パリで2015年11月30日-12月11日開催)では、全球平均地上気温(以下、簡単のために「地上気温」と呼ぶ)の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力等を追求するパリ協定が採択された。一方で、IPCC第5次評価報告書によると、1880年から2012年までに気温は約0.9℃増加しており、合意の実現には、大きな努力が必要になっている。

そのために最も必要なのは、二酸化炭素などの長寿命温室効果ガスの削減だが、その大気滞在時間は数十年と長く、今すぐ大幅な削減が実現しても、その効果は21世紀中頃まで顕著には現れない。そこで近年注目されているのが、大気汚染物質のうち、顕著な温暖化効果を持つとされるブラックカーボン(BC)・対流圏オゾン・メタン等の短寿命気候汚染物質(SLCP)である。SLCPは大気中の滞在時間が短いために、その除去による気温変化は比較的早く現れる。例えば、国連環境計画(UNEP)の報告(図1)によると、SLCPの削減対策を取れば、長寿命気体の削減効果に加えて、さらに0.5℃程度の気温低下が期待できる。そのためもあって、SLCP除去を目指す「短期寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化に関する国際枠組み(CCAC)」が発足した。しかし、UNEPのシナリオは簡略化されたものであり、S-12研究等が進むにつれて、SLCPの気候影響は複雑で、その削減施策も戦略が必要であることがわかってきた。

BCの排出削減による地球温暖化の緩和効果は限定的である可能性が高い。

S-12等の最近の研究によると、ブラックカーボン(BC)の排出量削減による地上気温の低下は、これまで考えられているよりも小さいことがわかってきた。これは、BC削減による太陽光吸収の減少がもたらす大気の大気不安定化に伴って、雲・降水の変化など「速い応答」の調節機能が働いたためである。これにより、太陽光の散乱・吸収によるエネルギー変化(瞬時放射強制力)に対する地上気温変化の感度は、硫酸塩と比較してBCは小さくなる(図2)。ただし、BCや硫酸塩の気候に対する影響は地域性が非常に強いため、地域ごとの定量的影響評価については引き続き研究調査が必要である。

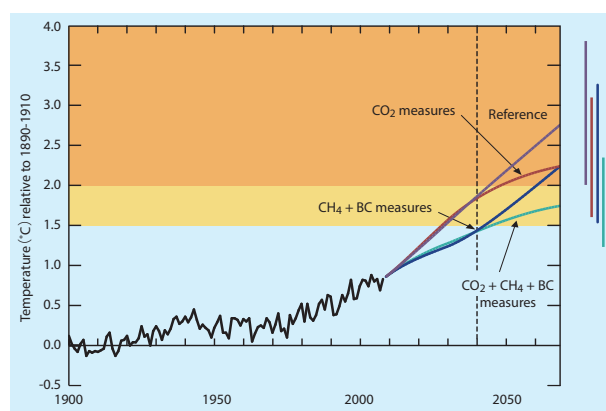


図1. 地上気温の変化と様々な対策シナリオ(UNEP, 2011*)。1900年から2009年までは観測された気温で、2009年から2070年までの気温は様々なシナリオによって予測された結果である。この報告書によると、CO₂とメタン(CH₄)とブラックカーボン(BC)を同時に削減するシナリオ(CO₂+CH₄+BC measures)あるいはCH₄+BC measuresによって、破線で示した2040年に気温上昇を2℃以下に抑制することができる。

*UNEP(2011)Summary for decision makers of the integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone

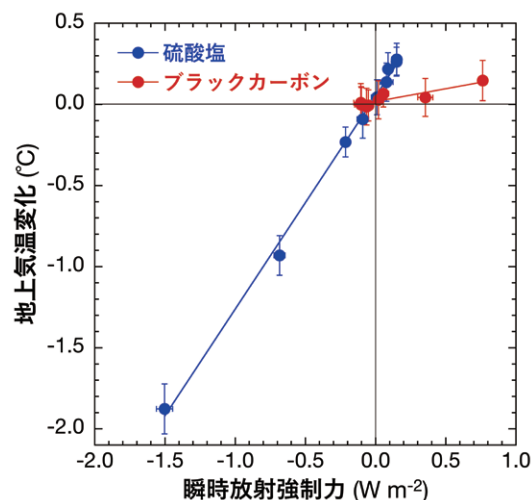


図2. 大気海洋結合モデルMIROC-SPRINTARSによる地球平均の瞬時放射強制力と地上気温変化との関係

提言 1

SLCP各組成の気候・環境影響は複雑であるので、相互作用も考慮した上で最適なSLCP削減対策を探す必要がある。

BCの他に、窒素酸化物(NO_x , Nitrate)の削減も温暖化を却って加速する可能性がある。すなわち、その削減は、オゾン(O_3)の削減をもたらす一方、温室効果ガスであるメタンの寿命を伸ばすためにメタン(CH_4)濃度が上昇する。また、太陽光を散乱して日傘効果を作る硝酸塩エアロゾルの減少をもたらす。この2つの逆効果のために、地上気温が上昇する可能性がある。

健康被害を減ら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、図3で示すような複雑な相互作用を考慮して設計する必要がある。S-12研究では、これらの相互作用を考慮して、BC、メタン、炭素系物質(COやVOC)、 NO_x の削減を組み合わせた最適なSLCP削減策を探し出した。

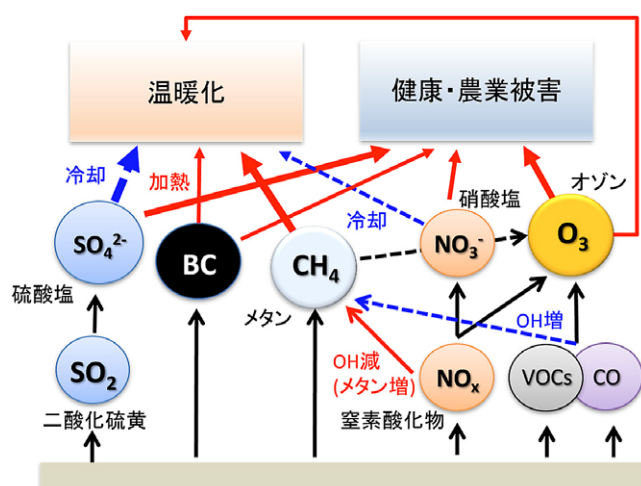


図3. SLCPが温暖化および健康・農業に与える影響と、各物質の相互作用。赤実線および青破線はそれぞれ正・負の影響を意味し、線の太さで影響の大きさを示す。各影響についてベネフィットを期待するには、赤線を弱め、青線を強める（弱めない）エミッション削減方法が効果的である。

提言 2

SLCPの健康・農業・水循環への影響も多大であり、SLCP削減効果はこの観点でも評価する必要がある。

S-12研究等によると、世界他地域と比較して、アジア域ではSLCPの濃度が高く、呼吸器・循環器疾患死亡数や寿命の短期化が顕著である（図4）。また、コメの収量は、オゾン濃度増加により顕著に低下する一方（図5(a)）、エアロゾル濃度増減では、直達光だけではなく植物に有効な散乱光の変化の影響のため、地域により増減が異なってくる（図5(b)）。また、BCや硫酸塩の前駆気体である SO_2 の排出量が増減すると、気温や降水量が変化することにより、大洪水に晒される人口が増加する可能性がある（図6）。BCの変化は地上気温に対する感度は小さいものの、降水量は顕著に変化するためである。

近年顕著に増加しつつある洪水・熱波などの極端現象や、農作物収量、途上国での健康に対してSLCPが及ぼす影響の評価については、国際的にも研究事例が非常に乏しいのが現状である。SLCPが地球の大気や表層のエネルギー収支に及ぼす量や、エアロゾルが雲・降水生成に不可欠な物質であることを考えると、SLCPの総合的な環境影響評価を今後定量的に実施していかなければならない。

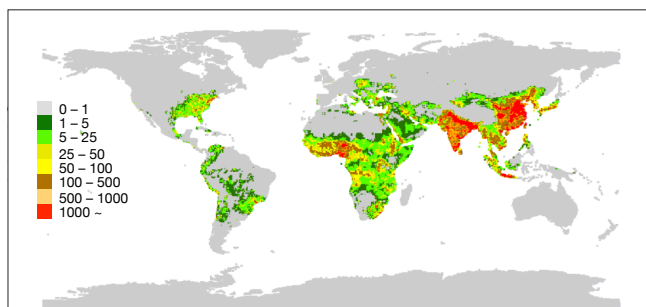


図4. PM2.5関連死亡数推定分布(人/250km²)

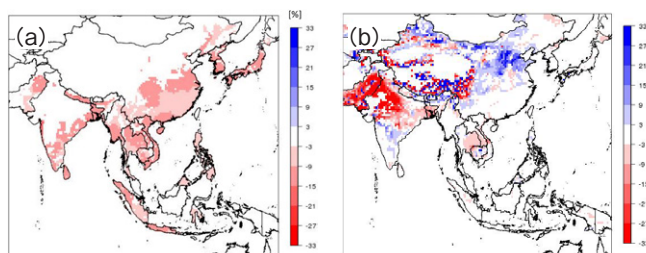


図5. (a) 2001~2010の O_3 による水稲収量変化率
(b) 燃料起源BC排出量ゼロの場合の水稲収量変化率

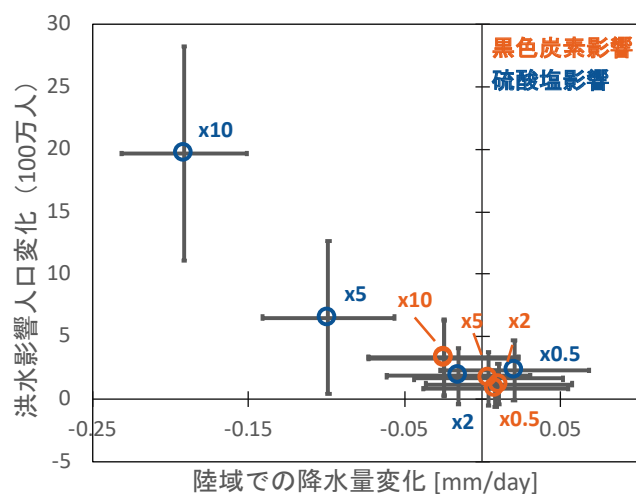


図6. BC(オレンジ)もしくは SO_2 (青)の排出量を増減(半減から10倍)した場合の地球平均降水量変化に帯する大洪水に晒される世界人口の変化。エラーバーは20年間にわたる年々変動の標準偏差を示す。

SLCP削減対策は、健康重視シナリオ、温暖化緩和重視シナリオなど多様な可能性を考慮しながら決定すべきである。

地球温暖化対策のための化石燃料消費から再生可能エネルギーへの転換は、同時に大気汚染対策にもなることはよく知られている。しかし、削減される大気汚染物質によっては新たな温暖化を促進してしまう可能性がある。従って、温暖化を効率的に緩和するには、同時に効果的なSLCP削減対策を実施することが必要である。その場合、次の2点を考慮して最適なシナリオを注意深く探す必要がある。

- (1) 図7に示すようにBCとSO₂の削減において、健康被害と温暖化の両方を緩和することができる組み合わせの範囲は狭いと考えられる。NO_x削減についても同様の事情が存在する。
- (2) 国際的に知られている将来のなりゆきの社会経済状況を考慮したシナリオにはSSPシナリオがあり、長寿命温室効果ガスやSLCPの削減シナリオが提示されている(図8)。しかし、これらのなりゆきのSSPシナリオによるインドと中国のBCとSO₂排出量の関係はどのシナリオも似ており、SLCP削減シナリオとしては十分ではない(図9)。従って、より広範な排出削減の可能性についての探索が必要である。

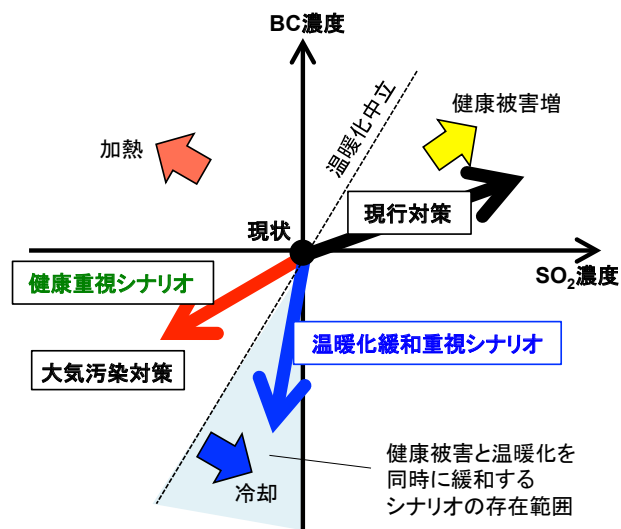


図7. BC濃度とSO₂濃度の変化が作り出す効果。両者の削減は健康被害を減らす。一方、BC削減は弱い冷却、SO₂削減は大きな加熱をもたらす。これらの結果、健康被害と温暖化の両方を緩和することができる組み合わせの範囲は狭いと考えられる。

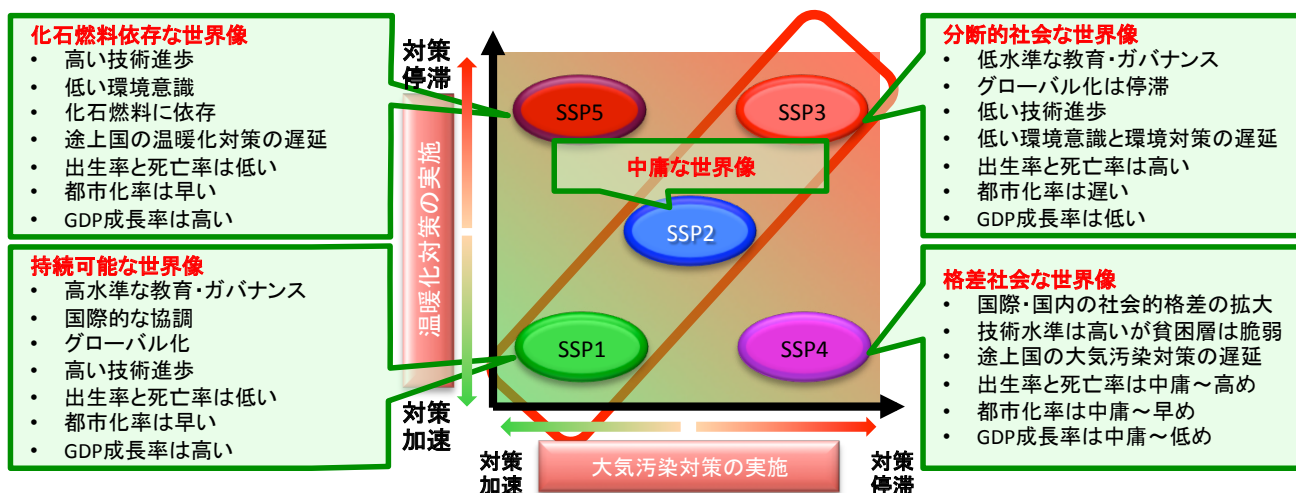


図8. SSPシナリオ。元々は、緩和策の困難さ(縦軸)と適応策の困難さ(横軸)に分けて記述された将来の社会経済シナリオであるが、S-12では、温暖化対策の困難さ(縦軸)と大気汚染対策の困難さ(横軸)に置き換えて検討を行った。データはIIASAから公開されている(<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about#v2>)。

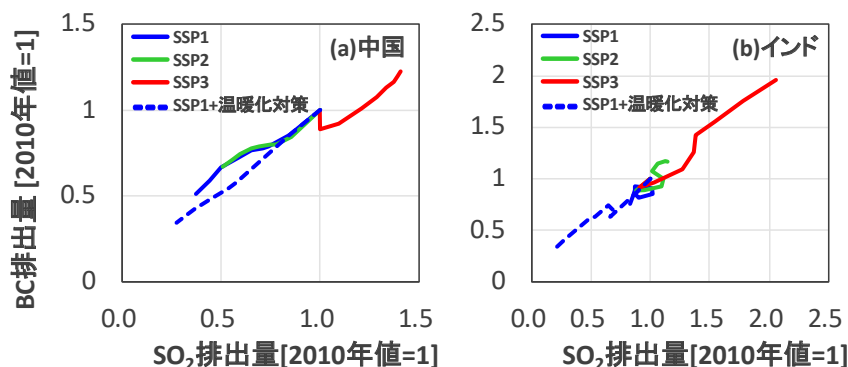


図9. S-12研究で検討したSSPシナリオによる中国とインドのBC(ブラックカーボン)とSO₂排出増減傾向の関係。SSPシナリオの多くにおいて、BCとSO₂の排出増減傾向の関係は似ており、SLCP削減シナリオとしては比較的限られており、より広い探索が必要である。

S-12研究で得られたシナリオを、我が国の削減施策や国際シナリオの提言に利用すべきである。

S-12研究では、図8で示したなりゆきの社会経済シナリオである5つのSSPシナリオのうち、中庸シナリオであるSSP2を基礎として、広範囲のSLCP対策の探索を行なった。2℃目標の達成とSLCP対策を同時に検討するために、主要な対策の組み合わせ(表1)を検討し、世界及びアジアの排出シナリオ量の結果を世界を対象としたAIM/Enduseを用いて図10や図11に示すような将来推計を行い、健康被害と温暖化緩和に寄与できる現段階での最適シナリオを探索した。

表1 S-12研究で検討した将来シナリオ

シナリオグループ	シナリオコード名	グラフ	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度目標低炭素対策	CO ₂ 回収貯留(CCS)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℃目標+除去対策	2D-EoPmid-CCSBLD	—	Mid	✓	✓		✓	
	2D-EoPmax-CCSBLD	—	Max	✓	✓		✓	
	2D-EoPmid-RESTR	—	Mid	✓		✓		✓
	2D-EoPmax-RESTR	—	Max	✓		✓		✓
	2D-EoPmid-RESBLDTRT	—	Mid	✓		✓	✓	✓
	2D-EoPmax-RESBLDTRT	—	Max	✓		✓	✓	✓

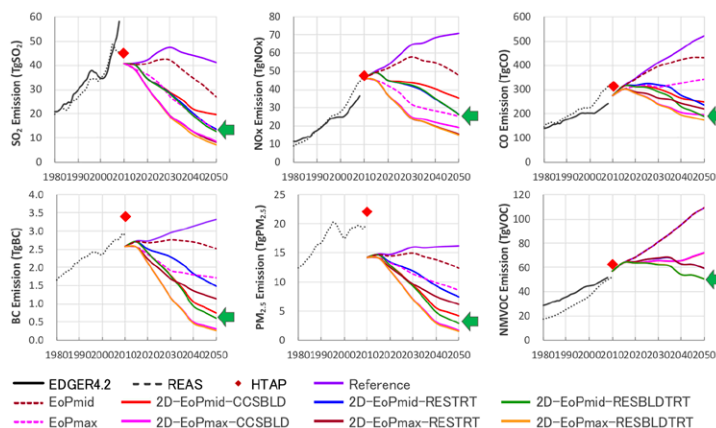


図10. アジアにおけるガス種別の排出経路。2D-EoPmid-RESBLDTRT(緑線および矢印)がS-12研究で示された最適シナリオである。

得られた探索結果によると、環境被害や気候影響が異なるシナリオの存在が明らかになった。様々なガスの排出経路から、S-12研究で検討した将来シナリオのうち、「2℃目標を再生可能エネルギー強化、民生・運輸での電化促進、汚染除去対策は強化継続(2D-EoPmid-RESBLDTRT)」が健康被害の軽減に最も寄与するシナリオであることがわかった。なお、こうした問題は、日本だけで解決できる問題ではなく、アジア全体で検討することが重要であり、各国の事情を考慮すると問題は更に複雑化する。こうしたいわゆる「悪構造の問題」に対しては、最適シナリオを見いだすことは困難で、様々なステークホルダーの参加による問題の共有、構造化と探索的な試行が重要となる。従って、新しいシナリオ検討を続けるべきである。

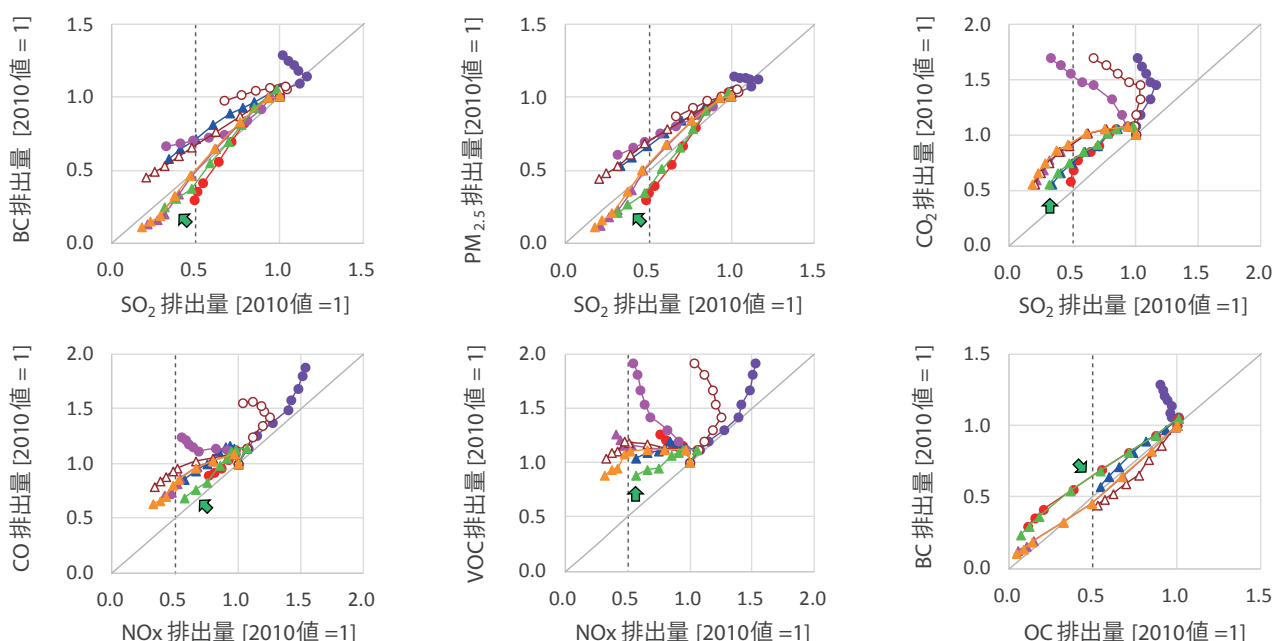


図11. アジアにおける各ガスの排出経路(2010年を1とした経路)。2D-EoPmid-RESBLDTRT(緑線および矢印)がS-12研究で得られた最適シナリオである。

SLCP削減の国際政策と国内政策の立案においては、シナリオ検討を続けるべきである。新しいシナリオ検討が必要な場合に備えて、本研究で確立したシナリオ検討システムを環境省主導で迅速に利用できる体制を整えるべきである。

S-12研究では、アジアの最新のSLCP排出インベントリであるREASと整合したSLCP排出削減対策を検討することができるように、AIM/EnduseモデルのSLCP排出過程を精緻化した。それにより、インベントリと整合的なSLCP排出量の算定と、排出削減対策に必要な技術選択の評価が可能になった。将来のなりゆきの社会経済シナリオであるSSPシナリオを基礎として、健康重視シナリオ、温暖化対策重視シナリオなど広範囲なSLCP排出経路の探索を行なった。

得られた探索結果によると、図10、11で示すようにシナリオによって環境被害や気候影響が異なるシナリオの存在が明らかになった。さらに、こうした多くのシナリオから、最適なシナリオを見いだす作業は、将来において様々なステークホルダーがどのような項目を重視するかといった価値判断も関係することから、非常に複雑で困難であることがわかった。従って、SLCPに起因する健康影響や気候変動に関わる国際政策と国内政策の立案においては、環境省が主導して、アジア各国と連携して、将来の社会経済シナリオの検討、SLCP、温室効果ガス排出削減についての政策検討が可能となるように、S-12研究で構築したシステムを迅速に利用できる体制を整えるべきである。

S-12研究において、CO₂をはじめとする温室効果ガスに加えて、SLCPの将来排出量を予測する技術選択型のモデルAIM/Enduseモデルを開発し、将来シナリオの検討を行ってきた。

開発したAIM/Enduseモデルの条件を変更することで、様々な将来シナリオの検討が可能であるが、こうしたモデルを使ってシミュレーションを行うには、データ構築やプログラミングなど様々な知見と計算時間が必要となる。このため、ステークホルダーが集まって対策を議論している最中にモデルを使って結果を行い、その結果を議論に提供するということは難しい。

今回開発したAIM/SLCPツールは、AIM/Enduseモデルで計算した様々なシナリオの結果をあらかじめ解析しておき、様々な取り組みのうち主要な対策による排出削減効果を近似的ではあるが、簡易に推計し、さらには気候モデルの結果を解析し、簡略化推計式を用いて環境影響も提示できるようにすることで、リアルタイムで議論に貢献できるようにしたWebツールである(図12)。



図12. AIM/SLCP(SLCPの将来排出量を予測する技術選択型のモデルAIM/Enduse)のWebページ
(http://www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/)

SLCPの気候・環境影響の評価は始まったばかりであり、不確実な点も多く残されている。従って、本プロジェクトで確立されたSLCP影響評価技術基盤を徹底的に利用した評価をさらに続けるべきである。

S-12研究では大気汚染物質の排出の把握、その結果を反映するSLCPの排出に関する技術選択AIMモデルの拡張、それを用いてSLCP排出に関する将来シナリオを探索するシステム、それをさらに気候モデルと組み合わせる気候影響を評価するシステムを開発した(図13)。また、詳細な領域計算から全球的な影響評価までをシームレスに行う必要があるため、計算格子を柔軟に設定できるNICAM-Chemを実用的に稼働できるように整備し(図14)、世界最高解像度での全球計算を実施可能にした(図15)。これらの最先端のシステムを今後活用して、よりよいシナリオ作りを行うべきである。

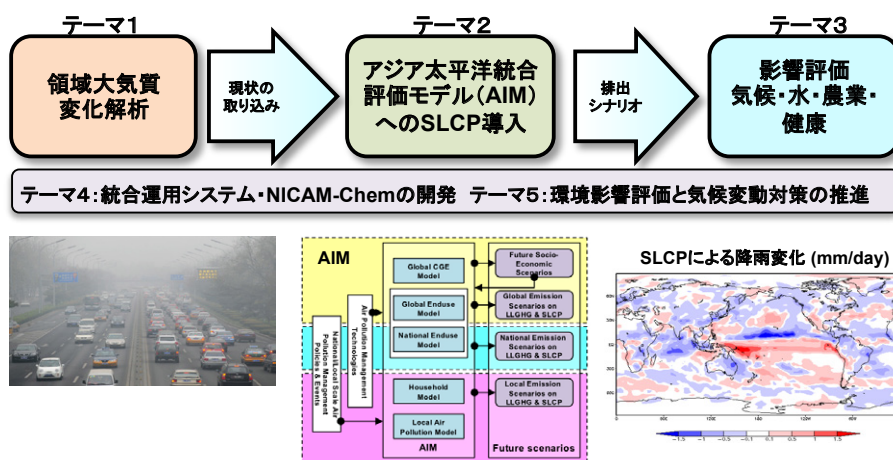


図13. S-12研究のテーマ間連携によって構築されたSLCP排出の削減探索システムの概念図。技術選択に依存するSLCP排出変化から気候影響までをend-to-endに結びつけた評価が可能。

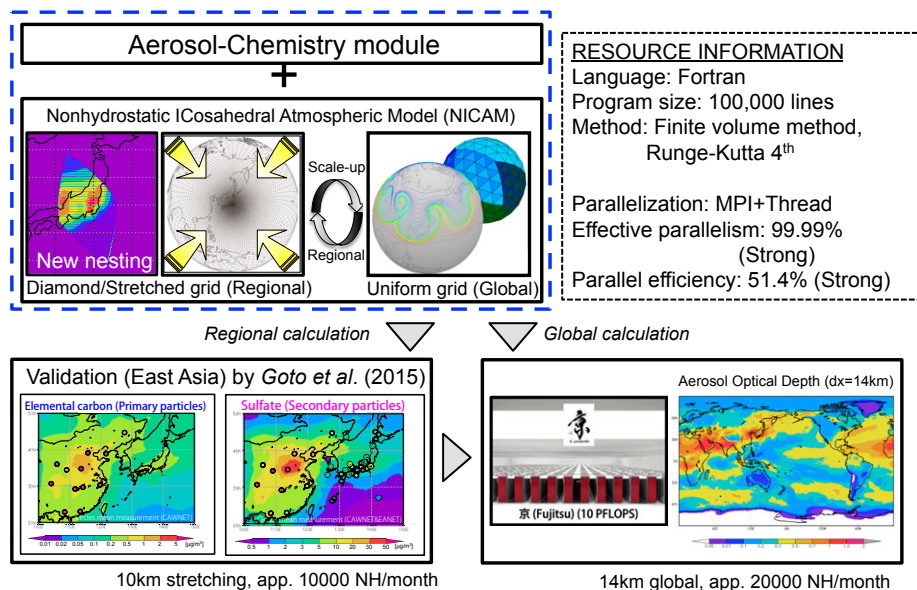


図14. 領域から全球までをシームレスに計算可能なNICAM-Chemモデルの概要。排出されたSLCPが化学輸送過程を経て雲・降水を含む気象場と相互作用する様子を様々な時空間スケールで計算できる。

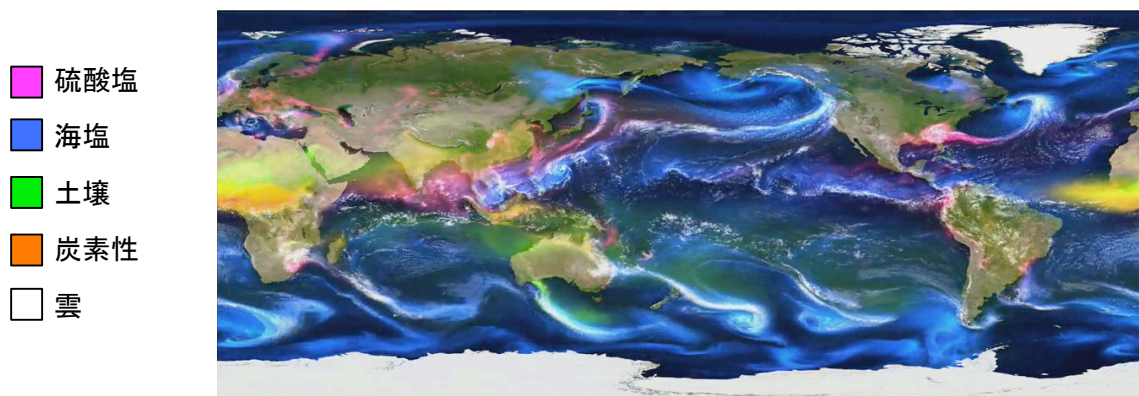


図15. 京コンピュータ上でNICAM-Chemモデルを世界最高水準の水平解像度で稼働させることで再現された様々な大気汚染粒子と雲の全球分布の例(2011年11月17日)。従来型の気候モデルでは扱えなかった両者の相互作用を詳細に計算できる。

社会経済活動と環境対策の変化が激しいアジア域では、SLCPを含めた大気汚染物質の排出動向と削減シナリオとの違いを監視し続けて、迅速に排出インベントリの更新を行う必要があり、衛星データ解析と、その結果を反映した排出インベントリ構築をルーチン化すべきである。

S-12研究では、従来法(REAS排出インベントリ)と逆推計法(衛星観測に基づく推計)を使った新しいSLCP排出インベントリの構築法を確立した。これにより、社会経済統計データの取得が難しい国を含めた領域スケールの排出インベントリを準リアルタイムで更新できるめどが立った。また、本手法を用いて、中国における近年のSLCP排出状況を調べることによって従来法との差が見出され、両手法の比較検証を通してREASを改良した。社会経済活動と環境対策の変化が激しいアジア域においては、迅速に排出インベントリの更新を行う必要があり、衛星データ解析と、その結果を反映した排出インベントリ構築をルーチン化することが重要である。



図16. 衛星観測を用いた排出量の逆推計

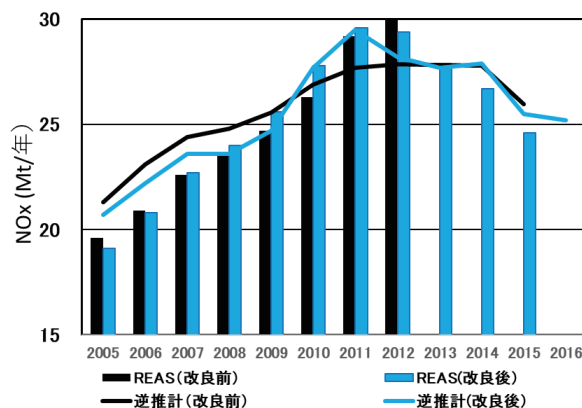
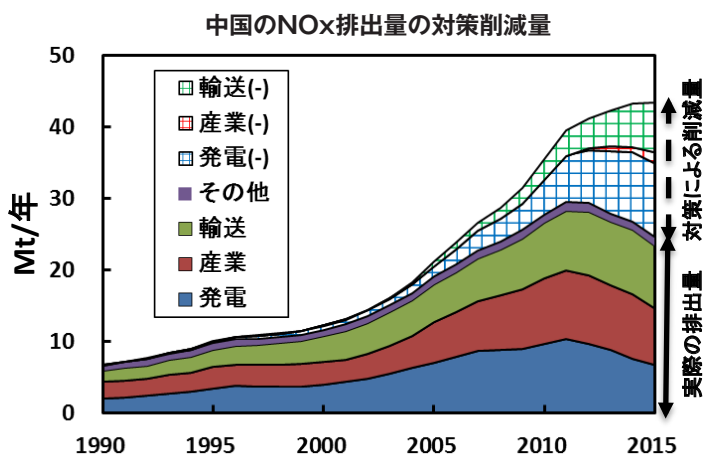


図17. 排出インベントリと逆推計による中国のNO_x排出量の比較。両者を改良することにより整合するようになった。

排出インベントリ、化学輸送モデル、逆推計手法で構成される計算システムを、アジア域の大気汚染の現状把握や対策効果の評価手法として活用すると同時に、このシステムを参考にして、国内の地域大気汚染対策の評価手法を構築すべきである。

S-12研究では、我が国において過去に実施された大気環境政策による排出量低減効果と大気質改善効果を初めて評価し、その効果が大きいことを定量的に示した。今後、大気汚染対策を推進する上で、このような形で社会に対し、わかりやすく政策による効果を示していくこと(EBPM: Evidence-Based Policy Making)が重要である。併せて、本課題で構築したアジアスケールの大気環境対策評価手法を参考にして、国内の地域大気汚染対策を精緻に評価することを目的とする、排出インベントリ、化学輸送モデル、逆推計手法を組み合わせた評価システムの構築を推進することを提案する。



日本・中国の排出削減対策によるPM_{2.5}の低減濃度(2010年の年平均値)

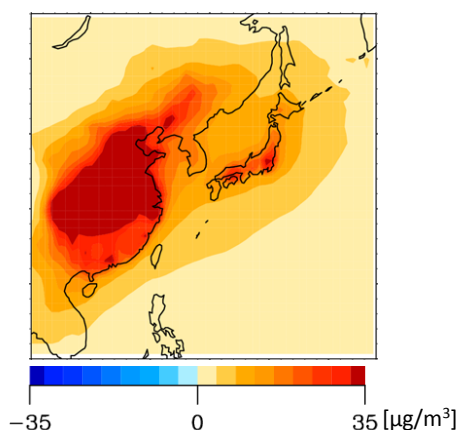


図18. 中国におけるNO_x排出量とその対策削減量、日本・中国の排出削減対策によるPM_{2.5}濃度の低減効果

皆さんもSLCP削減シナリオの作成に参加しませんか？

AIM/SLCPを使って、2030年と2050年の気温上昇と健康影響をできるだけ抑える世界全体の対策の組み合わせを検討して下さい。

基本設定で、世界及び2030年もしくは2050年を選択し、対策を反映させた後にそのデータをファイルに保存して下さい。

応募方法

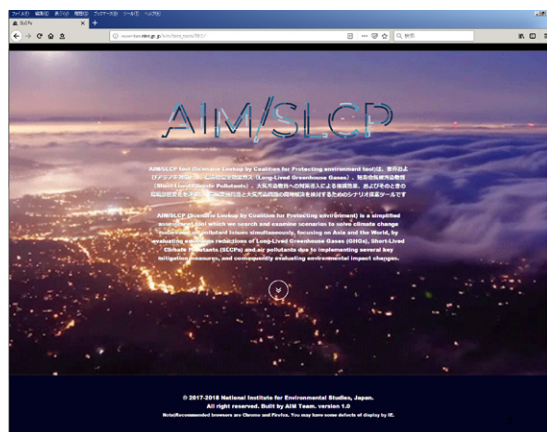
必要事項および保存した2つのファイル両方をSLCP削減シナリオコンテスト系のメールアドレス(s12contest@nies.go.jp)宛に、締め切りまでにお送り下さい。

【お送りいただくメールの件名】

排出削減対策コンテスト応募

【お送りいただくメールに記載していただく内容】

- ご氏名
- 取り組みについて検討されたこと
(記載例) ● □□部門での対策を重点的に取り組んだ。
 - 2050年には△△の排出基準が強化され、
○○の技術が大量に普及することを想定した。 など
- 「世界・2030年」のCSVファイル
- 「世界・2050年」のCSVファイル



締め切り

2019年2月28日午後5時

ご質問も、SLCP削減シナリオコンテスト係(s12contest@nies.go.jp)までお送り下さい。

S-12では以下の活動により成果の発信と波及効果の推進を行なってきました。

- ▶ 専門家対話・CCAC事務局との議論
- ▶ 全国環境研究所交流シンポジウムでのS-12政策の説明
- ▶ 5回の公開シンポジウムによる市民対話、アンケート結果の反映
- ▶ エコプロ等によるS-12成果の発信
- ▶ SLCP削減シナリオ探索コンテストの開催
- ▶ 行政文書への反映、簡易ツールの行政と市民による利用、S-12で確立したシステムの行政利用

SLCP問題は複雑なので、その研究と理解のために、このような活動を続けてゆく必要があります。

S-12プロジェクト「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」(2014-2018年度)は、環境省／環境再生保全機構 環境研究総合推進費の戦略的研究開発領域研究の1つです。また、右に示すSDGsのいくつかに関連した研究プロジェクトです。

【本プロジェクトに関する問い合わせ先】

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター 統合環境経済研究室

(Phone: 029-850-2524, email: aim-as-nies@nies.go.jp)

ホームページ: <http://157.82.240.167/~S12/moej-s12/>

【パンフレット編集者】

中島映至(宇宙航空研究開発機構・S-12代表)、大原利真(国立環境研究所・S-12テーマ1代表)、増井利彦(国立環境研究所・S-12テーマ2代表)、竹村俊彦(九州大学応用力学研究所・S-12テーマ3代表)、芳村圭(東京大学大気海洋研究所・S-12テーマ4代表)、花岡達也(国立環境研究所)、須藤健悟(名古屋大学大学院環境学研究科)、鈴木健太郎(東京大学大気海洋研究所)、五藤大輔(国立環境研究所)、鶴田治雄(リモート・センシング技術センター)

