

アジア太平洋地域の大気汚染 科学に基づくソリューション・レポート

< サマリー：日本語版 >

国連環境計画（UNEP）

アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ（APCAP）

SLCPs削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ（CCAC）

日本語翻訳

地球環境戦略研究機関（IGES）

日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター（ACAP）

アジア太平洋地域の大气汚染： 科学に基づくソリューション・レポート ＜サマリー＞

国連環境計画

アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ

SLCPs 削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ

日本語版によせて

公益財団法人 地球環境戦略研究機関(IGES) 理事長
武内 和彦

アジア太平洋地域では、急速な経済成長に伴う環境問題が一層顕在化しており、なかでも大気汚染による健康への影響は公衆衛生の面で深刻な危機をもたらしています。各国政府は大気環境の改善に向けた様々な政策措置を行っていますが、人々の健康を守り、生活の質を向上させるためには、各国の環境や社会の事情に適したより効果的な取り組みを迅速に実施していくことが必要です。

「アジア太平洋地域の大気汚染：科学に基づくソリューション・レポート」は、アジア太平洋地域における大気汚染の現状と具体的な政策措置について科学的見地から包括的に分析した初めての評価報告書です。2014年に開催された第1回国連環境総会(UNEA1)において、国連環境計画(UNEP)に対して大気質問題に関する地域報告書の作成が要請され、本レポートが作成されました。レポートの作成にあたっては、アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ(APCAP)と短寿命気候汚染物質(SLCPs)削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ(CCAC)との協働の下、アジア地域内外から多くの専門家が調査・執筆に協力しました。

本レポートは、アジア太平洋地域の多様性を考慮しながら、持続可能な開発目標(SDGs)と整合した費用対効果の高い25の大気汚染対策をとりまとめたものです。対策それぞれの優良事例に加え具体的な成功要因の分析を示すなど、各国の事情に即した応用を促すプラクティカルな内容となっています。本レポートの調査・執筆に携わったIGESならびに一般財団法人日本環境衛生センター／アジア大気汚染研究センター(ACAP)では、レポートの知見とメッセージを限られた専門家だけでなく、広く日本社会に向けて発信することが重要であると考え、このたびレポートサマリーの日本語版を共同で作成しました。

IGESは、アジア太平洋地域のニーズに的確に対応した政策研究を展開するとともに、様々なステークホルダーの皆様との協働による知識の共創を進めています。本レポートで示された対策の実施にあたっては、政府のみならず、企業、市民社会等の幅広い連携・協力が不可欠です。本日本語版が、アジア太平洋地域における大気汚染対策について皆様が理解するうえでの一助となることを期待しています。

日本語版の作成について

一般財団法人 日本環境衛生センター
アジア大気汚染研究センター 所長
畠山 史郎

世界で最も大気汚染問題が深刻な場所として指摘されているアジア地域において、その解決は一刻を争う緊急の課題です。国連環境計画 (UNEP) を初めとして、IGES や、(一財)日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター (ACAP) がネットワークセンターとして活動している東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET) も、アジア地域の大気汚染問題に対して様々な活動を行い、日々取り組んできているところです。

この度、アジア地域内外の多くの専門家の協力の下で、UNEP が事務局となって作成した「アジア太平洋地域の大気汚染: 科学に基づくソリューション・レポート」は、アジア太平洋地域における大気汚染の現状と具体的な政策措置について科学的見地から包括的に分析した、本地域での初めての評価報告書です。この報告書は英文で作成されていますが、サマリーを IGES と ACAP が共同で翻訳し、日本語版を作成できたことは、日本国内での周知・普及において大変重要なステップであると考えます。

大気汚染問題の根本的な解決のためには、科学技術だけでなく、社会経済や政治的な側面からの総合的なアプローチが必要不可欠です。ACAP は、今後もアジア地域の大気汚染問題のすみやかな改善のために鋭意取り組んでいきますが、そのためには様々な関連機関・市民社会との協働が極めて重要です。本レポートのような成果がこれからもアジア太平洋地域の環境改善に役に立てることを願っております。

**アジア太平洋地域の大気汚染：
科学に基づくソリューション・レポート**

<サマリー>

目次

序文	1
共同議長からのメッセージ	3
主要メッセージ	5
序章	10
セクション 1: なぜ断固とした行動が必要か	15
健康影響	15
穀物生産性への影響	17
氷と雪のある地域への大気汚染の影響	18
アジアモンスーンへの大気汚染の影響	19
気候変動への影響	19
政策介入	24
セクション 2: 健康への影響を軽減し、開発目標を達成するための優先対策	27
はじめに	27
クリーンエア対策トップ 25	30
健康、環境、その他の開発上の便益	38
対策の経済的意義	45
アジアの多様性にはそれぞれに合わせたアプローチが求められる	47
セクション 3: 成功する対策の実施	49
はじめに	49
従来型対策	50
次世代型大気環境対策	53
優先的開発課題に資する対策	56
大気汚染エピソード	63
ガバナンスとファイナンス	69
結論	73
略語表	75
謝辞	77

アジア太平洋地域の大気汚染：科学に基づくソリューション・レポート

<サマリー>

国連環境計画

アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ

短寿命気候汚染物質 (SLCPs) 削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ

序文

世界の多くの地域で、良好な大気環境という最も基本的な人間のニーズを満たすことが難しくなっている。世界はこれまで健康への脅威を数多く克服してきたが、大気汚染は近年最も深刻な脅威のひとつである。世界の大気汚染による死者の約 1/3 はアジア太平洋地域に在住している。一方で、同地域では、大気汚染を削減して死亡数を減らし、地球環境を守るための多くの対策が試みられている。

本報告書は、人間の健康、農作物収穫量、気候変動、社会経済開発にプラスの影響をもたらし、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成にも貢献する「クリーンエア対策トップ 25」を提示している。これらの対策が実施されることで、2030 年までに 10 億人が良好な大気環境下で生活でき、2050 年までに気温上昇を摂氏 1/3 度下げる可能性がある。

「クリーンエア対策トップ 25」は、大気質改善を目指す国や都市の成功事例を示すのみならず、次世代のビジネスチャンスを提供し、経済成長を促すものである。例えば、インド東海岸にあるマハラシュトラ州とその首都ムンバイでは、州内の電気自動車を 50 万台に増やすべく施策が進められ、何千もの雇用が創出され、世界的に競争力のある電気自動車及び関連部品の一大生産地となっている。

また、関係者間の協力によりプラスの影響がもたらされた事例もある。中国・深圳市は、中央政府・地方交通部局の支援を得て、16,000 台以上の公共バスの完全電化を行った。ネパールでは、2015 年の地震で壊れたレンガ窯を、窯の所有者と専門家との協働を通じて、より安全で汚染排出の少ない、効率的な窯に作り変える取り組みが進んでいる。富山市では、再生可能エネルギーと省エネを促進しながら交通計画と廃棄物管理を統合することで大気が改善し、気候に一層レジリエントな都市が実現している。

本報告書では、「クリーンエア対策トップ 25」の完全な実施に向けて、政府、民間部門及び市民社会の積極的な関与とともに、市民との簡潔かつ明快なコミュニケーションの重要性を強調している。

本報告書が、大気汚染対策に関するアジア太平洋地域の積極的な取り組みを促すものとなることを希望する。

2018年12月
国連環境計画(UNEP)
Acting Executive Director
JOYCE MSUYA

共同議長からのメッセージ

本報告書は、アジア太平洋地域各国に適した費用対効果の高い選択肢を提示することで、同地域の大气汚染削減対策を支援することを目的としている。

アジア太平洋地域の大气質—現状は？

大气汚染による健康への影響は、アジア太平洋地域全体における公衆衛生上の深刻な危機となっている。同地域では、人口の約 92%にあたる約 40 億人が健康に大きなリスクをもたらすレベルの大气汚染にさらされている。公衆衛生の保護に向けて世界保健機関 (WHO) が定めるガイドラインを超える高レベルの汚染にさらされると、早期死亡や様々な疾病のリスクが高まる。こうした健康への負荷を減らすために、人間の健康と福祉、そして食料生産と環境をむしばむ粒子状物質 (PM_{2.5}) と地上オゾン生成につながる排出の削減に一層取り組む必要がある。

アジア太平洋地域においては、すでに各国政府が汚染レベルを抑制するための諸政策を導入・実施している。こうした政策が実施されなければ、PM_{2.5} に対する人口加重平均した曝露量は 2030 年までに 50% 以上増加すると予想される (アジアの経済成長率を 80% と仮定した場合)。これらの政策は、大气質と健康に便益をもたらすなど、大きな成果を挙げている。しかしながら、それだけでは十分ではない。同地域の人々が WHO ガイドラインを満たす大气質を享受するためにはさらなる取り組みが必要である。

アジア太平洋地域の大气質—何ができるか？

本報告書は、質の高いデータと最新のシミュレーションにより、大气汚染削減に向けた効果的な「クリーンエア対策トップ 25」を特定している。本報告書の分析では、アジア太平洋地域の多様性を考慮し、これらの対策を以下の 3 つのカテゴリーに分類している。

1. 粒子状物質の生成につながる排出に焦点を置いた「従来型対策」
2. アジア太平洋地域におけるクリーンエア政策の主流となっていない PM_{2.5} 生成につながる排出の削減に向けた「次世代型大气環境対策」
3. 大气とのコベネフィットを有する「開発優先目標に資する対策」

「クリーンエア対策トップ 25」が効果的に実施された場合、アジアの 10 億人が 2030 年までに WHO ガイドラインを満たす良好な大气質を享受することができる (2015 年時点ではわずか 3 億 6,000 万人であった)。屋外大气汚染を削減することで早期死亡者数は 1/3 減少し、屋内大气汚染による若年死亡者を年間約 200 万人減らすことができる。

また、「クリーンエア対策トップ 25」は、食料・水安全保障・環境保全・気候変動緩和へのベネフィットももたらすであろう。

アジア太平洋地域の大気質—ベネフィットを達成するには？

取り組みの優先順位や実施の可能性は地域や国によって状況が異なるため、大気汚染対策への柔軟なアプローチが求められる。そのため、本報告書では、各国の実情の違いを考慮した幅広い選択肢を提供している。

アジア太平洋地域は、汚染物質排出削減対策において既に多くの経験を有しているが、対策の実施とその効果を高めるには、既存の政策の遵守の強化と整合の改善が必要である。

政策の遵守に関しては、様々な機関において汚染関係問題に対応できる制度や人材が求められる。本報告書では、政策の遵守において、機関間の調整メカニズムをどのように設計すべきかについて議論している。

大気汚染削減政策の多くは都市部に焦点を置いている。しかし、本報告書が示すとおり、都市周辺地域から大気汚染物質が風などで運ばれることにより、都市内の大気質に悪影響をもたらしている。都市の大気質を効果的に管理するためには、排出をもたらし活動に参与する地域、国、都市、そして地方政府の一層の協働が必要である。PM_{2.5}と地上オゾンは地域規模で影響を及ぼす大気汚染物質であり、地域共同の取り組みと制度メカニズムも求められる。

本報告書からは多くの課題が浮上している。例えば、小規模の対策実施を成功させるためには、政策決定の様々なレベルで関係する組織内及び横断的な調整を促すガバナンスが必要である。また、地域及び国際的な協働イニシアチブは、本報告書で提案した対策を進める上で、資金・技術・能力構築の支援など重要な役割を担う。

こうした多くの課題があるものの、大気汚染削減に向けた費用対効果の高い「クリーンエア対策トップ 25」を実施するベネフィットは費用を上回る。本報告書が効果的な取り組みに貢献することを心より願っている。

「アジア太平洋地域の大气汚染：科学に基づくソリューション・レポート」共同議長

中国・清華大学 JIMING HAO

韓国・ソウル大学 YUN-CHUL HONG

オーストラリア・マードック大学 FRANK MURRAY

主要メッセージ

ニーズ

わずか…

WHO ガイドラインを満たす大気環境下で生活するアジア太平洋地域の人口割合は、2015 年わずか 8% 以下であった。つまり、特に南アジア及び東アジアを中心に地域全体に分布する 40 億人（人口の 92%）が深刻な健康リスクをもたらすレベルの大気汚染にさらされていることになる。こうした極めて多くの人々の生活を改善するには、人間の健康や福祉、そして食料生産と環境をむしばむ PM_{2.5} と地上オゾンの生成につながる排出の削減に取り組む必要がある。

悪化はしなくとも改善されるのか？

排出を抑制する現行の政策が効果的に導入・実施された場合、人口増加、急激な都市化そしてモノやサービスへの増え続ける需要にもかかわらず、2030 年の大気質は 2015 年と比較して悪化することはないであろう。しかし、それ以上改善もしない。つまり、現行の政策は大気汚染を緩和するが限定的ということである。何千万もの人々の貧困を解消し、さらなる大気環境が改善しなければ、2030 年までに 2015 年比 80% の経済成長を達成できないであろう。それでも依然として 40 億を超える人々の健康被害が起きるレベルの大気汚染にさらされ続ける。大気汚染を WHO ガイドラインのレベルに抑え、公衆衛生を守るためにさらなる取り組みが求められる。

解決策

わずか 25 の対策を広く効果的に実施することで状況を劇的に改善する

大気汚染の削減に向けた数百の対策に関し、最新のモデリングを使った分析を実施した。そして、食料安全保障、大気・水・土壌の質、生物多様性、気候の観点から人間の健康と環境にベネフィットをもたらす、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に資する選択肢として、「クリーンエア対策トップ 25」を選定した。

ベネフィット

健康増進

「クリーンエア対策トップ 25」を実施することで、アジア太平洋地域において WHO ガイドラインを満

たす大気環境下で生活する人口割合は、2015年のわずか8%以下から、2030年には22%（約10億人相当）まで増加する。一方、WHO暫定目標を超える高い汚染レベルへの曝露人口は80%減となり4億3,000万人まで減少する可能性がある。さらに、屋外大気汚染による早期死亡者数は約1/3減少し、屋内大気汚染による死亡者数を年間200万人減らすことができる。

食料安全保障の改善と環境保全

地上オゾンは農作物収穫量の減少に強く関係する大気汚染物質であり、食料供給に影響する。「クリーンエア対策トップ25」を実施することで、トウモロコシ、コメ、大豆、小麦についてオゾン由来の推定作物損失量を45%減少させることが可能となる。また、地上オゾンは生産草地と森林にも同様に影響するため、25にまとめられた対策は生態系保護の面でも効果が期待でき、さらにこれらの対策は生態系への窒素と硫黄の堆積を抑制し、水や土壌の質とともに生物多様性にも利益をもたらすことになる。

水安全保障の向上

大気中のブラックカーボンと粉塵によるさらなる温暖化と、それらのカラコルム・ヒマラヤ・チベット地域の氷河や雪原への堆積は、氷河と雪原融解の加速に大きく関係している。「クリーンエア対策トップ25」の実施による粒子状物質の排出削減は、氷河と雪原融解を遅らせ、氷河湖決壊洪水による災害リスクを減らし、何十億の人々の不安定な水安全保障の問題を緩和するであろう。

気候変動緩和

「クリーンエア対策トップ25」の実施は気候変動緩和策にも有効である。2030年のCO₂排出をベースライン予測比で20%削減し、2050年までに予測されている気温上昇を摂氏1/3度下げることがある。これは、地球の気温上昇を2度未満に抑制するとしたパリ協定の目標に大きく貢献するものである。

持続可能な開発目標(SDGs)への貢献

「クリーンエア対策トップ25」はSDGs達成に向けた各国の取り組みを支援する。「クリーンエア対策トップ25」の実施により大気質改善と気候変動緩和がもたらされ、SDG3「すべての人に健康と福祉を」、SDG11「住み続けられるまちづくりを」、SDG12「つくる責任、つかう責任」、SDG13「気候変動に具体的な対策を」の実現に直接寄与する。対策を個別に、あるいは他と連携して適用することで、その他の13のSDGs目標と関連ターゲットの達成に直接的または間接的に貢献することが可能である。

実現に向けて

アジア太平洋地域への選択肢提示

「クリーンエア対策トップ 25」の効果はアジア太平洋地域全体で一律に期待されるものではない。対策はまとめて示されているが、地域や国の多様性により、それぞれの実情に応じた対策の優先順位や実施が検討される必要がある。

必要とするのはアジア太平洋地域の成長にかかるわずかな一部

アジア太平洋地域全域での「クリーンエア対策トップ 25」実施に必要な費用は年間 3,000 億～6,000 億米ドルと推計されている。これは、2030 年までに予想される国内総生産(GDP)の年増加額 12 兆米ドルのわずか 1/20 にすぎない。人間の健康、食料生産、環境保全、気候変動緩和の分野での大きな効果に加え、汚染対策費用の抑制といったコベネフィットが生み出される。

クリーンエア対策への資金調達

「クリーンエア対策トップ 25」の一部は国内の開発優先課題と関連しており、公的予算からの支援が可能である。民間セクターからの出資は、投資の促進条件が整うのであれば、クリーン技術への投資として協力が得られる可能性がある。大気汚染削減や温室効果ガス排出削減に向けた対策への気候資金メカニズムが整う一方、無利子・低利子融資も、政府やその他のステークホルダーが対策実施を進める上で助けになるであろう。また、多国間及び二国間融資機関の大気汚染対策戦略を「クリーンエア対策トップ 25」と連携させることも可能である。対策技術面においては、研究機関や研究ネットワークの支援を受けることが有効であろう。

多様なベネフィットに向けた連携を促す

経済成長の持続は今後もきわめて重要である。しかし、経済成長のみを重視すると、「クリーンエア対策トップ 25」は効果的に実施できない。それには、政府、企業、市民社会が連携して取り組むことが不可欠である。「クリーンエア対策トップ 25」の導入と実施を効果的に進めることができれば、従来の政策決定過程の変革や良好なパートナーシップの促進も期待できる。「クリーンエア対策トップ 25」の実施を十分に検討・選択することは、省庁、地方自治体、産業界、市民社会との間の協調を育むことにもつながる。こうしたパートナーシップの促進により、アジア太平洋地域の持続可能な開発に向けた改革を実現していくことが可能である。

表 A:「クリーンエア対策トップ 25」

「従来型対策」のアジア地域への適用

燃焼後制御	最先端のエンド・オブ・パイプ技術の導入による、発電所や大規模産業からの、二酸化硫黄、窒素酸化物、粒子状物質の排出の削減
工業プロセス排出基準	鉄鋼プラント、セメント工場、ガラス製造、化学工業など、特定の産業に対する高度な排出基準の導入
自動車の排ガス基準	すべての排ガス基準を強化；小型及び大型ディーゼル車の規制に特別の重点
自動車の保守と検査	自動車の車両点検と修理の義務化
粉塵対策	建設・道路粉塵の抑制；緑地の拡大

アジア太平洋の多くの地域で、未だクリーンエア政策の主要な要素ではない「次世代型大気環境対策」

農作物残渣	農業残渣の管理、野焼き禁止の厳格な執行
家庭ごみの焼却	家庭ごみの野焼き厳禁
森林・泥炭地火災の防止	森林・土地・水管理の改善と防火対策による森林・泥炭地火災の防止
家畜の糞尿管理	糞尿の屋根付き貯蔵、効率的活用；嫌気性消化の促進
窒素肥料の施用	効率的な施肥方法の確立；尿素肥料施肥方法の検討（ウレアーゼ阻害剤使用や硝酸アンモニウムなどによる代用）
レンガ窯	効率の改善、排出基準の導入
国際海運	低硫黄燃料の使用と粒子状物質の排出規制の義務付け
溶剤の使用と精製所	工業用及び家庭用の低溶剤塗料の導入；漏出検知；焼却及び回収

大気とのコベネフィットを有する「優先的開発目標に資する対策」

クリーンな調理と暖房	クリーンな燃料の使用—都市部における電力、天然ガス、液化石油ガス（LPG）の使用。農村地域における LPG、先進バイオマスによる
------------	--

	る調理・暖房ストーブの使用;ブリケットによる石炭の代替
再生可能エネルギー発電	風力、太陽光、水力発電の利用拡大のためのインセンティブの導入、非効率な発電プラントの段階的廃止
家庭の省エネ	家電・建物・照明・暖房・冷房の省エネ推進のためのインセンティブの導入;屋上の太陽光の設置推進
産業向けの省エネ基準	産業向けの野心的な省エネ基準の導入
電気自動車	電気自動車の利用促進
公共交通機関の改善	一般車両から公共交通への転換の奨励
固形廃棄物管理	発生源での分別、ガス利用を含む(適切な)処理などによる集中的な廃棄物収集の促進
水田	継続的に湛水された水田における間欠的な曝気の奨励
廃水処理	バイオガス回収を伴う二段階処理の導入
石炭鉱業	採掘前の炭鉱ガス回収の奨励
石油・ガス生産	随伴ガスの回収奨励;ルーティン・フレアリングの停止;漏出抑制の改善
ハイドロフルオロカーボン(HFC)冷媒の交換	大気環境改善のための開発優先目標に貢献する(モントリオール議定書)のキガリ改正の完全遵守

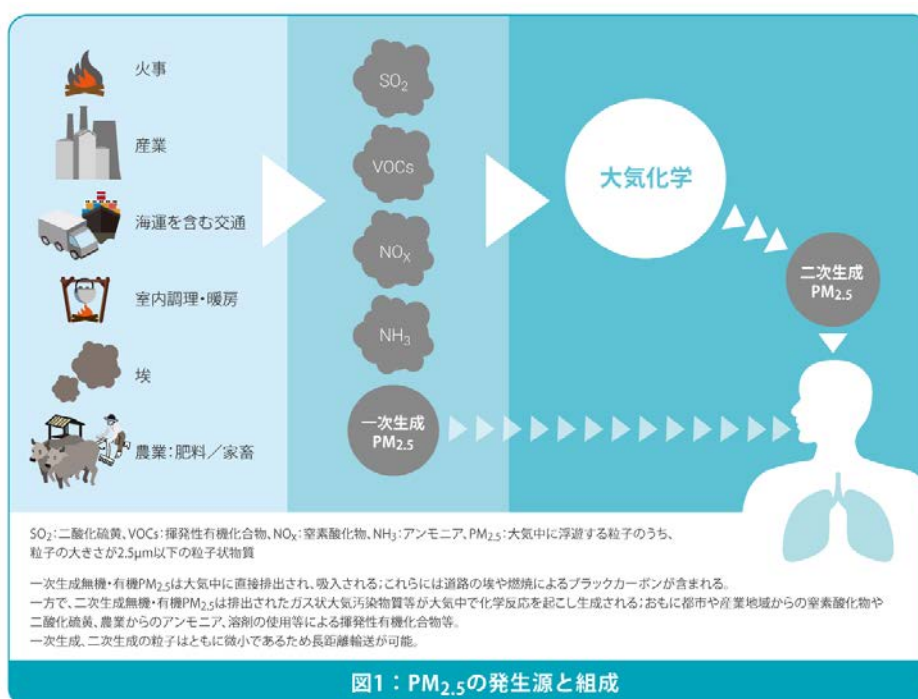
序章

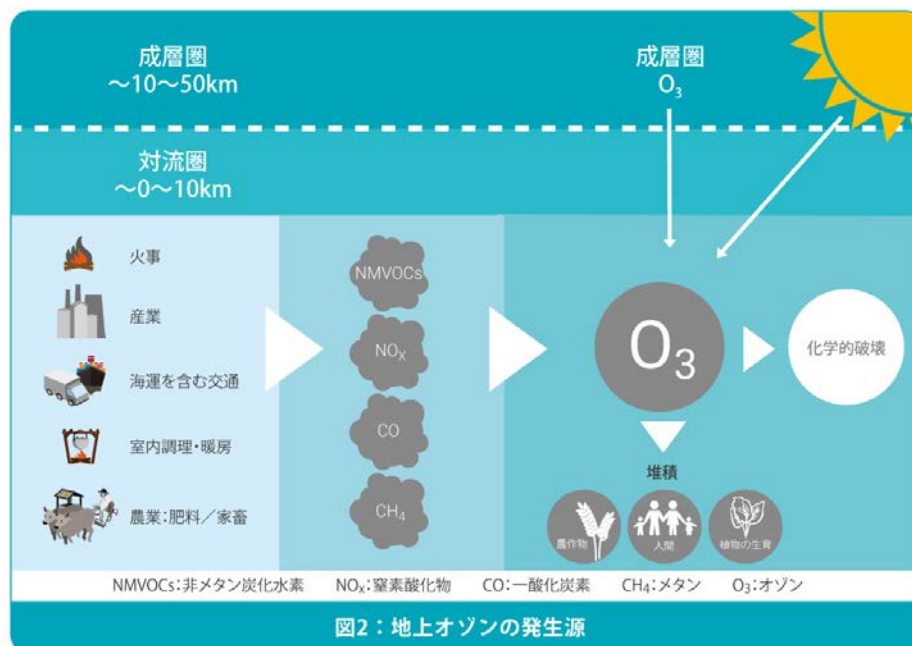
大気汚染が人間の健康に与える影響

大気汚染が人間の健康に与える影響は、アジア太平洋地域全体における公衆衛生上の深刻な危機となっている。WHO ガイドラインが示す健康に大きなリスクのない汚染レベルで生活する同地域の人口の割合は 8% 以下である。同地域での疫学調査は、PM_{2.5}と地上オゾンへの曝露が最大の健康被害をもたらし、大きな健康上の負担となっていることを明らかにしている。

粒子状物質

粒子状物質は森林・泥炭地火災・産業プロセスなどによる化石燃料やバイオマスの燃焼により直接排出される。粒子の成分には、フライアッシュ、各種金属、塩分、ブラックカーボンや有機炭素のように炭素を含むものなどがある(図 1)。排出される粒子には、土埃や海塩といった自然由来のものもある。一方で、多数を占めるのが、排出されたガス状大気汚染物質などが大気中で化学反応を起こし生成されるものである。これには、燃料燃焼や産業プロセスによって排出される二酸化硫黄・窒素酸化物・揮発性有機化合物、そして農業から排出されるアンモニアなどがある。本報告書において、粒子状物質は PM_{2.5}を指す(大気中に浮遊する粒子のうち、粒子の大きさが 2.5 μm 以下のもの)。粒子の大きさが 10 μm 以下の PM₁₀とは発生源や大気の物理的・化学的性質によって様々な関連性があり、地域・季節・気候条件によって変動する。





地上オゾン

地上オゾンは人間の健康と植物の生育に深刻な被害をもたらす。地上オゾンは、一酸化炭素・窒素酸化物・メタンなどの揮発性有機化合物が太陽光線を受けて大気中で光化学反応を起こし、生成される(図 2)。オゾンを生成する物質には、車両・産業生産・燃料燃焼など人為的なもの、植物・土壌からの自然由来のもの、山火事・野焼き・焼畑といった植生の燃焼から生じるもの、溶剤・廃棄物からの排出など、広範囲な発生源がある。窒素酸化物は、通常都市部において、その排出源の近くでオゾンを減少させるが、風下ではその生成を高める。揮発性有機化合物の排出は、都市規模でのオゾン生成に大きく寄与する。オゾンの大気中の寿命は数週間で、これは長距離移動に十分である。

世界保健機関(WHO)ガイドライン

WHO は人間の健康保護のための大気質ガイドラインを定めており、大気中の PM_{2.5}年間平均値を 10 μ g/m³に設定した(表 1)。

健康影響に関する科学的エビデンスに基づくものの、このレベルはかなり意欲的であり、いくつかの国の実情を考慮すると現実的な範囲ではない可能性がある。そのため、WHO では WHO ガイドライン値の最終的な達成に向けての暫定目標を設置している。

表1：WHO PM_{2.5}大気質クライテリア

年間平均PM _{2.5} 濃度		WHO 大気質クライテリア
35 µg/m ³		WHO 暫定目標 1
25 µg/m ³		WHO 暫定目標 2
15 µg/m ³		WHO 暫定目標 3
10 µg/m ³		WHO ガイドライン

今後の展望

幸い、アジア太平洋地域の各国政府は汚染レベルを引き下げる政策を採用・実施しており、今後も継続して対応が行われるであろう。これらの政策が実施されなければ、有害な粒子状物質に対する人口加重平均の曝露量は 2030 年までに 50% 以上増加するであろう(アジアの経済成長率を 80%と仮定した場合)。現行の政策により大気質は明らかに改善され、健康へのベネフィットももたらされているが、WHO ガイドラインを達成し公衆衛生を守るためには、一層の取り組み強化が必要である。

アジア太平洋地域の大气汚染: 科学に基づくソリューション・レポート

本報告書は、アジア太平洋地域における大気汚染の見通しと政策措置に関する初めての包括的かつ問題解決志向型の学際的科学評価である。2014 年に開催された第 1 回国連環境総会(UNEA)の決議 1/7 は、国連環境計画(UNEP)に対して大気質の問題に関する地域報告書の作成を要請しており、本サマリーはそれに応じて作成されたものである。

本報告書の出版は、アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ(APCAP)と短寿命気候汚染物質(SLCPs)削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ(CCAC)の協働のもと行われた。アジア太平洋地域から 3 名の共同議長(中国・清華大学 JIMING HAO、韓国・ソウル大学 YUN-CHUL HONG、オーストラリア・マードック大学 FRANK MURRAY)が評価プロセスの議長を務め、APCAP、CCAC 事務局、地球環境戦略研究機関(IGES)、ストックホルム環境研究所(SEI)、国連環境計画アジア太平洋地域事務所、国際応用システム分析研究所(IIASA)を中心にアジア

地域内外の多数の専門家の協力を得た。

目的

本報告書ならびにサマリーは、SDGs の文脈から大気汚染対策の選択肢を提示し、アジア太平洋地域における取り組みへの支援を目的としている。過去のデータと将来見通しに基づき、経済動向が環境大気と屋内空気汚染に与える影響について詳細な分析を実施した。

分析の結果、人間の健康、農作物収穫量、気候と環境、社会経済開発における利益を最大化しつつ SDGs の達成にも貢献する費用対効果の高い 25 の対策を提示した。

本報告書は、25 の対策を導入するメリットを明らかにするとともに、実施にあたっての指針を事例に基づき解説している。本報告書は、アジア太平洋地域全体において、大気汚染対策の実践と経験の共有のためにも活用が期待されている。

構成

セクション 1 では、劣悪な大気質が人間の健康のみならず環境や気候、開発優先課題に及ぼす多くの影響について、アジア地域の視点から評価する。

セクション 2 では、地域全体で健康被害を最も効果的に緩和し、他の開発目標の達成を促す優先的な対策を選定する。これには、気候変動緩和に向けた大気汚染対策のベネフィットが含まれる。

セクション 3 では、これらの対策がどのように実施されるのかについて、アジア地域内で実際に適用された成功事例を示す。また、地域全体規模での実施を支援する環境や要因についても提示する。

ターゲット層

報告書本体は、大気汚染と気候変動分野の政策決定者に情報提供を行うため、専門家ならびに実務家を対象としている。本サマリーは、報告書本体の知見と結論の概要をまとめたもので、費用対効果が高いことが実証され、すぐに実施に移すことができる対策を示し、政策決定者が各国の開発政策・戦略を立案する上で有益なものとなるよう企図されたものである。

参考文献

本サマリーは本体版に全て基づいている。簡略化のため、全ての参考文献(図表出典元を含む)は本体版のみに記載している。

アジア太平洋

本報告書では、4つのアジア太平洋準地域をまとめて分析結果を示している(図3)。準地域は国連環境計画アジア太平洋地域事務所及び世界銀行の定義に基づくが、データ利用可能性を考慮し、モデリング結果の科学的整合性を確保するために、再編成されている。本報告書での準地域の区分は科学的な便宜上のものであり、公式なものではなく行政上の意図はない。

モデリング調査について、アジアに関しては関連汚染物質の排出ならびに環境濃度の有効データを用いて実施した。一方で、太平洋地域については同様の有効データが利用可能な国は限定的であった。太平洋地域の広範囲を網羅する良質なデータが欠如していたため、当該地域に関するモデリングは必要な信頼性のレベルに至っていない。

本報告書での準地域の構成は以下の通りである：

- 東アジア(東アジアモデル)—中国、北朝鮮、モンゴル(日本と韓国を除く)
- 東南アジア(東南アジアモデル)—カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、タイ、ベトナム(ブルネイとシンガポールを除く)
- 南アジア(南アジアモデル)—アフガニスタン、バングラデシュ、ブータン、インド、イラン、モルディブ、ネパール、パキスタン、スリランカ
- 高所得国(高所得国モデル)—ブルネイ、日本、韓国、シンガポール



図3：アジアの準地域モデル

セクション 1: なぜ断固とした行動が必要か

健康影響

アジア太平洋地域における大気汚染は、公衆衛生面での深刻な危機であり、健康上のリスクは全ての人間に影響を与える

大気汚染は世界的な疾病負荷に係る重要な危険因子である。特に、高齢者や子供、貧困層や脆弱な人間に対しては、その健康に大きな影響を与える。世界保健機関(WHO)による2016年の推定によると、大気汚染への曝露は世界中で年間700万人の早期死亡を引き起こしている。この早期死亡の90%近くは、低・中所得国で発生しており、このうちの3分の2近くがアジア太平洋地域である。

急速に発展したアジア太平洋地域の途上国がこの負荷の多くを負っていることになる。環境大気汚染は、最も急速に成長している都市部等で深刻で、固形燃料を使用する調理や暖房による室内空気汚染も依然として大きな関心事である。約19億人は、家での調理や暖房に木材・木炭・石炭及び家畜糞を利用しており、これが高濃度の室内空気を引き起こしている。

その結果、アジア太平洋地域の大気汚染によって引き起こされる健康リスクは、幾つかの社会経済的階層にわたって都市部と農村部のコミュニティに影響を与える。室内外の大気汚染による死亡者数を合計すると、食事由来のもの、タバコ、高血圧による死亡に次いで、4番目にランクされる。2013年、室内外の大気汚染への曝露による経済損失は世界中で5.11兆ドルと試算された。南アジア及び東アジアにおいては、これによる経済損失はそれぞれGDPの7.4%及び7.5%となる。

WHOガイドラインで判断した場合、アジア太平洋地域で、健康に悪影響のない良好な大気で生活する住民は、人口の8%のみである

アジア太平洋地域では、全ての都市や地域で大気環境モニタリングデータがある訳ではないが、入手可能なデータによると、アジアでは現在、広域にわたり国際的なガイドラインや国家大気環境基準を超過していることが明示された。アジア地域を横断する大気環境は、排出量及び気象条件に関する最善の入手可能な情報を使用した大気化学輸送モデルで再現することができる。

温室効果ガスと大気汚染の相互作用と相乗効果を推定するモデル(GAINSモデル)を活用し、2015年時点でアジア地域の環境大気中のPM_{2.5}の濃度を推定すると、基本的に人口密集地域を含む広範囲でWHOガイドライン値である10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を、上回ることが明らかとなった(図1.1)。しかも、

多くの地域で最も高いWHOの暫定基準(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)をも超えていた。

2015年時点では、アジアの人口のわずか8%未満のみがWHOのガイドラインであるPM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の環境下で生活したということである(図1.1)。さらに、この地域の人口の過半数を超える約23億人は、最も高いWHO PM_{2.5}の暫定基準(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超える大気環境で生活したことになる。2005年から2015年の10年間において、モニタリングデータよりもPM_{2.5}への曝露をより代表していると考えられる人口加重平均による曝露は10%増加し、WHOのガイドライン値の4倍を超える43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達した。

また、2015年においては、約19億人が、バイオマス固形燃料・調理・暖房に使用された石炭の燃焼による屋内大気汚染に曝露されていた。

2015年については、例えば中国東北部やガンジス川流域の多くの都市など、都市部で重度に工業化されている人口密度の高い地区において特に高濃度が算出された。さらに、例えば、ゴビ砂漠やイランの多くの地域など、乾燥地帯から風によって運ばれるダスト等の大きな発生源が存在する場所で高濃度が発生した。

家庭内の調理や暖房による汚染物質排出は、室内外の大気環境の改善のために削減が必要である

固形燃料を使用する調理や暖房によって室内で排出される汚染物質は、その直接的な健康影響に加えて、大気環境も汚染する。例えばインドでは、室内空気汚染が大気汚染に占める割合は、22~52%と推定されている。多くの調査研究から、アジア太平洋地域の幾つかの地域における大気の改善には、調理や暖房により室内で排出される汚染物質の削減が、重要であることが示されている。

室外の大気と室内の汚染との関係、そして都市中心部と周辺の農村部との関係から、大気環境の改善にあたって、様々なステークホルダーとの協働など統合アプローチの重要性は明らかである(ボックス1.2)。

大気汚染エピソード

ほとんどは数日から数週間程度の大気汚染への急性曝露に関するものであるが、相当量の時系列的な疫学研究がこの地域で行われ、北米や欧州での早期死亡への影響に関する研究と類似した結果が示された。しかし、この地域における森林火災や砂塵嵐などの偶発的で急激な事象による健康影響については、確かな科学的研究による解明は十分なされていない。

健康影響に関する世界中の研究者が示したエビデンスは、大気汚染削減のための迅速な行動の必要性を裏付けている

アジア・欧州・北米を横断する短期間の健康影響研究、並びに新たに報告された中国での長期コホート研究は、この地域における大気環境及び室内空気汚染が大きな健康影響負荷を与えていることを多くのエビデンスとともに示した。住民が直面する負荷は非常に大きく、それを考慮するとモデル間の数値の誤差は微細なことだと言えるであろう。

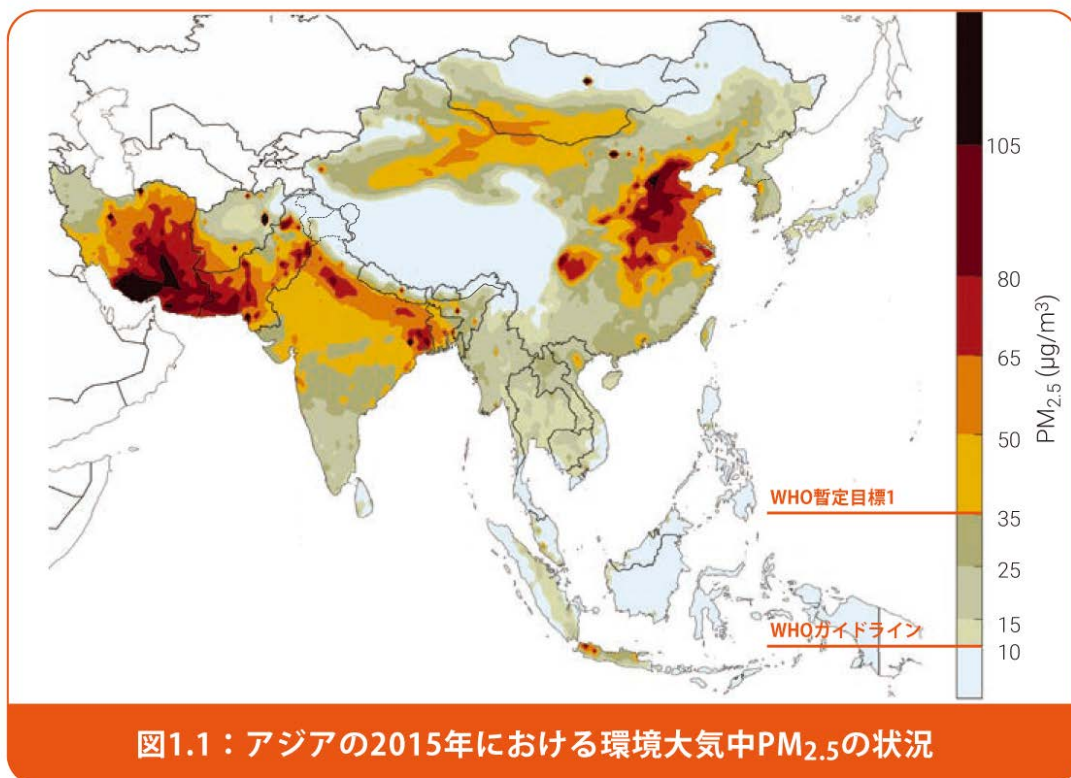


図1.1：アジアの2015年における環境大気中PM_{2.5}の状況

注) 全てのアジア諸国のデータは入手可能であったが、ほとんどの太平洋地域諸国については十分な質を有するデータは入手可能ではなかった。

大気汚染はアジア太平洋地域において穀物生産性、食料安全性及び貴重な生態系に影響を与えている

穀物生産性への影響

大気汚染物質は穀物を含む生態系に悪影響を及ぼす。地上オゾンは、その毒性の故に、排出源から風下方向の農村及び農業地域において高濃度で流布した場合、栽培される農作物に最も被

害を与える大気汚染物質である。比較的低濃度なオゾンの曝露も穀物や自然生態系に被害を与える。長距離移動する物質(二酸化硫黄・窒素酸化物・アンモニア・メタン・一酸化炭素)を含め、オゾン、粒子状物質及びその関連物質は、アジア太平洋地域の生態系に直接及び間接的に影響を及ぼし、穀物生産性や貴重な生態系が悪影響を受ける。

地球規模の光化学シミュレーションプロジェクトによると、ある地域で 2030 年までに更なるオゾン濃度の増加が発生すると示された。オゾン生成に寄与する物質が大量に排出されると、その(オゾン生成に)有利な気象条件と相まってオゾン生成が促進される。アジア太平洋地域の途上国でよく見られる農地と都市部が隣接する土地利用の混在パターンによって、作物のオゾンへの曝露が増加する。

地上オゾンはアジア太平洋の広大な都市域で増加している。農業生産性へのオゾン量上昇の潜在的影響は、世界で栄養不足に苦しむ人々の約60%が住むこの地域の食料安全保障を脅かす。作物の成長期における高いオゾン濃度により、豆類・トウモロコシ・米・小麦など様々な作物の生産性が大幅に低下する。2005年におけるこの地域のトウモロコシと米の収穫量損失は、1ヘクタール当たり50キログラムであったと推定されている。

地上オゾンの上昇は、作物の品質低下を引き起こす。葉物野菜の損傷はそれらの経済的価値を減少させる。また、オゾン濃度の上昇は米と小麦のでん粉やタンパク質と栄養分をも減少させる。

生態系から、食料・繊維・木材・水・医薬品の供給など、数多くの重要なサービスが提供されているが、アジア太平洋の多くの地域ではこれらについても大気汚染による被害がある。生態系は、とりわけ、水の調整と浄化・侵食の抑制・極端気象状況からの保護・レクリエーションと観光などの面でも重要な役割を果たしている。これらすべては、地上オゾンや酸性化、富栄養化等、大気汚染に係る要因によって悪影響を受ける。

多くの大気汚染物質は気候にも影響を与える

氷と雪のある地域への大気汚染の影響

氷と積雪のある地域は、下流域に住む13億人以上の人々の自然の貯水池として役立つ。したがって、アジア太平洋の氷雪地域に対する大気汚染による影響は重大である。氷河の上に大気汚染物質が堆積すると雪が黒っぽくなり、より多くの熱を吸収して積雪期間を短縮することがある。

鉱物塵とブラックカーボン、雪や氷の表面に堆積して、光吸収を促進する粒子である。これらの粒子は日射の吸収を著しく高め、融雪を促進する。これが、ヒマラヤ-チベット氷河の急速な後退

にブラックカーボンが重大な悪影響を及ぼす理由である。

アジアモンスーンへの大気汚染の影響

モンスーンによる降雨は、インド及びパキスタンの耕地にとって主要な水源である。予測が難しい性質を持つモンスーンは、大規模な経済的損失、農地の破壊、そして生計や財産への損害を引き起こす可能性がある。

これらのモンスーン地域で大気汚染レベルが上がると、長期的な降雨パターンに変化が生じる可能性がある。大気中のPM_{2.5}の存在は、夏季モンスーン中の降水パターンに影響を与える可能性がある。例えば、インドのモンスーン降水量の減少傾向や東アジアにおける降水量の南北シフトが観察されるが、これらはアジア内外からの粒子やその他の汚染物質の排出量の変化に関連している。しかし、複雑な地形や多様な排出源、さらに潜在的に複合的な影響を伴う汚染物質の、モンスーンへの影響を推定することには依然として不確実性がある。

気候変動への影響

大気環境は気候変動と密接に関係している。地球の気候変動は、主に人為起源の二酸化炭素の排出によって引き起こされ、また多くの大気汚染物質は同じ排出源で生成される。またその多くは大気環境だけでなく気候にも影響を及ぼす。例えばオゾンやブラックカーボンは大気を温め、硫酸塩や有機炭素は大気を冷却する。大気環境の改善は、気候変動への取り組みに多大な貢献が期待できる一方、短寿命気候汚染物質(SLCPs)と呼ばれる大気汚染物質の削減のみに焦点を置いた対策は、大気の冷却のみならず温暖化を引き起こすことになる。

ボックス1.1：PM_{2.5}に関する国家大気環境基準及びグローバルガイドライン

WHOは、人の健康を守るため、大気環境中の年間平均濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ というPM_{2.5}の大気環境ガイドラインを作成した。健康への影響に関する科学的証拠に基づいているとはいえ、今日の出発点を考慮すると、幾つかの国にとっては意欲的なもの見え、実用的な到達範囲を超えてさえいるようである。こうした見解を受けて、WHOはガイドライン値を達成するという最終目標に向けての暫定目標を作成した。これらの暫定目標は、この地域の多くの国の大気環境規制の中で、PM_{2.5}基準の設定という形で取り上げられている。

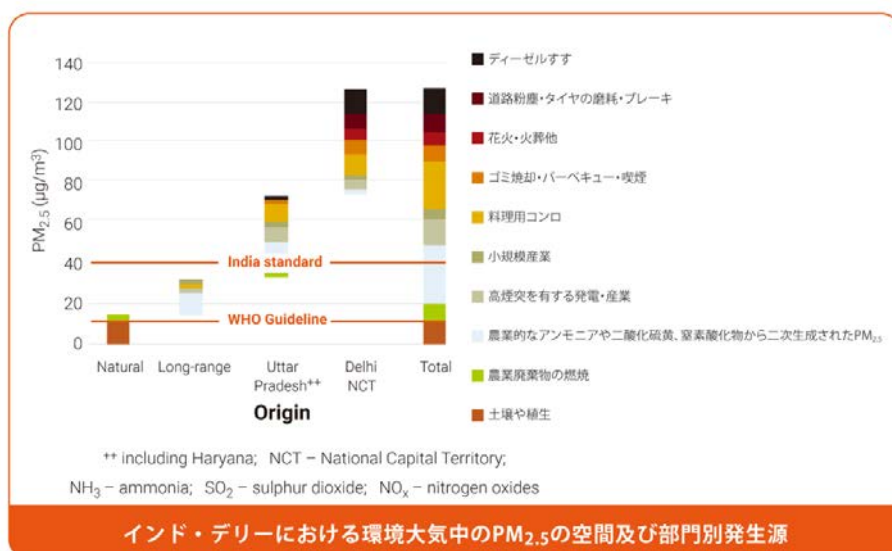
	PM _{2.5} 年間平均濃度	WHO 大気環境クライテリア	国家大気環境基準
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		インド
	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 暫定目標 1	中国(2級) マレーシア
	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 暫定目標 2	モンゴル フィリピン スリランカ タイ ベトナム
	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 暫定目標 3	バングラデシュ 中国(1級) インドネシア 日本 パキスタン 韓国
	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		シンガポール
	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO ガイドライン	
	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^a		オーストラリア

^a最高濃度

ボックス 1.2: なぜ都市地域と農村地域の行政機関が清浄な大気を達成するために協力が 必要なのか

悪化した大気環境は、都市の行政部局によって扱われるべき問題であると考えられる。しかし、PM_{2.5}やオゾンの理化学的特性は、それらが数日から数週間も大気中に残存し、数百キロ以上も運ばれうることから、大気環境の管理に関して重要な空間的問題を提起する。すなわち、特定の地点で検出されたPM_{2.5}やオゾンも、遠方の排出源を起源としている場合もあり、しばしばその都市の地元当局の管轄外にある。

大都市でさえ、環境大気中のPM_{2.5}のかなりの割合は周辺地域や農村を起源とするものである。同時に都市域での排出は周囲の農村地域へと輸送される。小さな都市になるほど、近隣地域からの大気汚染の流入がより支配的になる。



図は、デリーにおける環境大気中のPM_{2.5}に対する異なる排出源の寄与を示している。水平軸は、排出源を示し、自然起源、長距離輸送、近隣州(ウッタル・プラデーシュ及びハリヤナー)、及びデリー首都直轄地域内からの発生を含んでいる。色別されたグラフは、排出起源となる部門を示している。清浄な大気を達成する解決策は、これらの空間的な起源の排出量を考慮し、都市域と農村域の行政の協力に基づく効果的なガバナンスを達成する必要がある。

メタンとオゾンはどちらも SLCPs で、それ自体が重要な温室効果ガスである。地上オゾンの生成に寄与するメタンやその他の物質は、間接的とは言え、気候にも影響を与える。ブラックカーボンや鉱物性ダストのような大気中の粒子はともに直接的に光を放射・散乱・吸収することにより、また、

間接的に雲の反射特性や雪氷の反射表面を変化させることによって、気候に影響を与える。

複数の便益を提供する方策を推進するための政策、特に SLCPs の排出量を減らすことを通じて、大気汚染と気候変動を同時に緩和することに関心が高まっている。大気中のブラックカーボンと地上オゾンを減少させることに焦点をおいた政策は、地球温暖化の進行を遅らせ、大気汚染を軽減することに寄与する。これは二酸化炭素削減政策に代わるものではないが、それを補完することになる。

大気環境と気候変動の関連は複雑であり、多くの研究がなされている。大気環境と気候変動の相互作用を理解することは、大気環境と気候の相互便益を最大化する総合政策のための鍵となる。

ハイドロフルオロカーボンは、気候強制力に強い影響力があることが知られており、極めて大量に排出されている(ボックス 1.3)。これについては、セクション 2 でさらに議論する。

気候変動は局所的・地域的な大気環境への影響を有する

気候の将来的な変化は、気温や降水量その他の気象条件、さらにオゾンや PM_{2.5} の生成に寄与する物質の濃度の変化を通じて、地上オゾンや PM_{2.5} の生成・除去過程に影響することによって、大気環境に影響する。

気候の変化は、幾つかの異なるメカニズムを通じて、大気環境に影響する。最も関連が深いものは以下である。

ボックス 1.3: ハイドロフルオロカーボン

ハイドロフルオロカーボン(HFCs)は、工場で大量に生産される強力な温室効果ガスの一群であり、主に冷蔵や空調に用いられる。HFCs の生成・消費・排出は、毎年 10~15%の割合で伸び続け、5~7 年ごとに 2 倍になっている。「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」に基づき段階的に廃止されているオゾン層破壊物質の代替物質として、また、消費者の空調や冷蔵への需要増加の結果として、急激に増大したものである。アジア太平洋地域は、グローバルな HFCs の需要及び供給が最も顕著な地域の一つである。

住居の空調システムにおける HFCs の使用は、過去数十年間にわたり著しい伸びを示している。現在の傾向が続けば、2030 年までに世界でさらに 7 億台の空調ユニットが加わり、2050 年までには 16 億台になると予測されている。暑い気候の下では、空調は、ピークエネルギーのかなりの割合を占める。したがって、このような空調の急激な増加は、エネルギー安全保障やエネルギー生産に伴う大気汚染と将来の HFC 排出量に大きく関係している。

多くの HFCs の大気中での寿命は 15 年未満である。それらは現在の全温室効果ガスの微小な部分(1%未満)でしかないが、温暖化への影響は特に強力であり、もしそれがそのまま残された場合、2050 年までには気候汚染の 20%近くを占めることになる見通しだ。最近の研究は、HFCs を高い地球温暖化係数(GWP)を有するものから低いGWPの代替品に変えた場合、2050 年までに 0.1°Cの温暖化を回避することが可能だと結論づけている。

1. 化学的生成・消失割合や自然界からの排出に影響する温度変化
2. 大気中での風速や混合による変化
3. 降水量の変化;そして
4. エネルギー消費動向の変動による排出量の変化。

汚染されている地域では、気温とオゾン濃度の上昇との間に強い相関がある。中国の場合、モデル予測では、オゾン濃度の将来的変化は、前駆物質の排出量に最も依存している。日本では、前駆物質の排出密度が低いことから、オゾン濃度の変化は気候変動により多く依存している。

粒子状物質の汚染が気候変動でどのように変化するかを理解することは複雑であり、オゾンのケースより不確実である。粒子が降水で大気中から除去されることから、降水量の変化も粒子状物質濃度に大きく影響することが予測される。

北京の最近の研究で、気候変動は冬季の煙霧現象を助長する気象条件の頻度を 50%増大すると予測しており、すでに過去数十年間状況は悪化している。さらに、煙霧の生成につながる気象

条件が持続する可能性は、増大すると予測されている。これらの局所的な影響は、東アジアの冬季モンスーンの弱まりなど、気候変動で誘引された広域循環の変化によるものである。

アジア太平洋地域ではかなりの汚染削減が達成された。政策的介入が、経済成長と汚染との古くからの繋がりを断ち切るきっかけを作った。

政策介入

1990年以降、地域のPM_{2.5}生成に寄与する全ての汚染物質の排出量は増加の一途であった。特に、二酸化硫黄と窒素酸化物の排出が増大し、これらは経済活動の発展、すなわちGDPの成長と一致していた。揮発性有機化合物やPM_{2.5}の一次排出源である住居でのバイオマス燃焼、あるいはアンモニアの発生源である農業など、非工業部門が主原因となる排出は、より緩慢な増加路線を辿った(図1.2)。

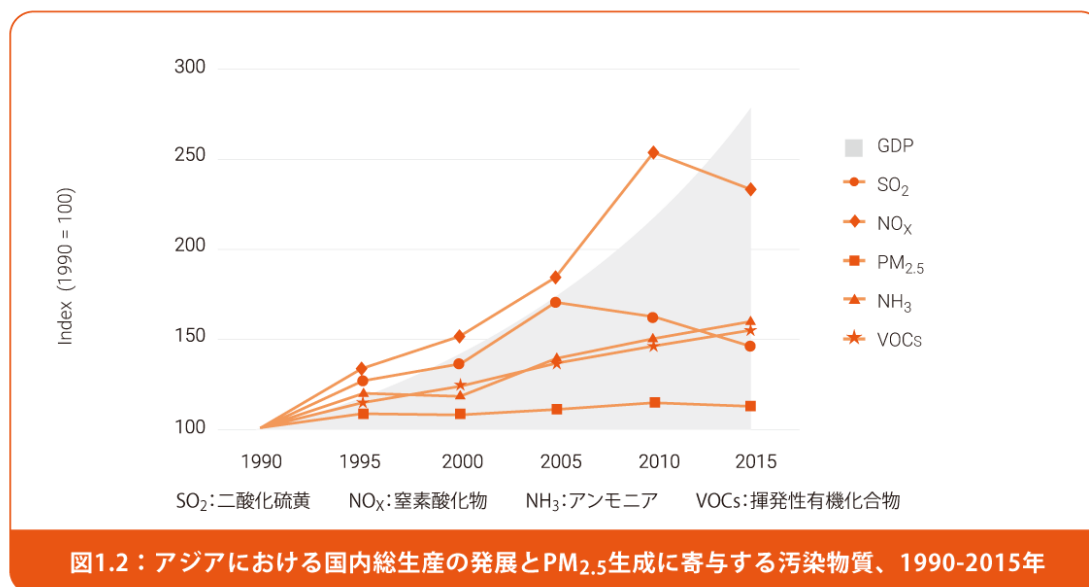


図1.2：アジアにおける国内総生産の発展とPM_{2.5}生成に寄与する汚染物質、1990-2015年

しかし、2005年の政策介入、特に中国の発電所での硫黄規制や自動車排出基準の導入は、経済成長から二酸化硫黄や窒素酸化物の排出を分離する(デカップリング)ことに繋がった。一方、PM_{2.5}の排出は比較的变化が少ない状態を維持した(図1.2)。対照的に、政策介入がないPM_{2.5}の前駆物質でもあるアンモニアの排出は、農業生産の増加に比例して増え続けている。

アジア太平洋地域の政府は、汚染レベルを下げるための政策を採択し、効果的に実施することに成功した。これがなければ、有毒なPM_{2.5}に対する人口加重平均の曝露量は、2030年までに予測

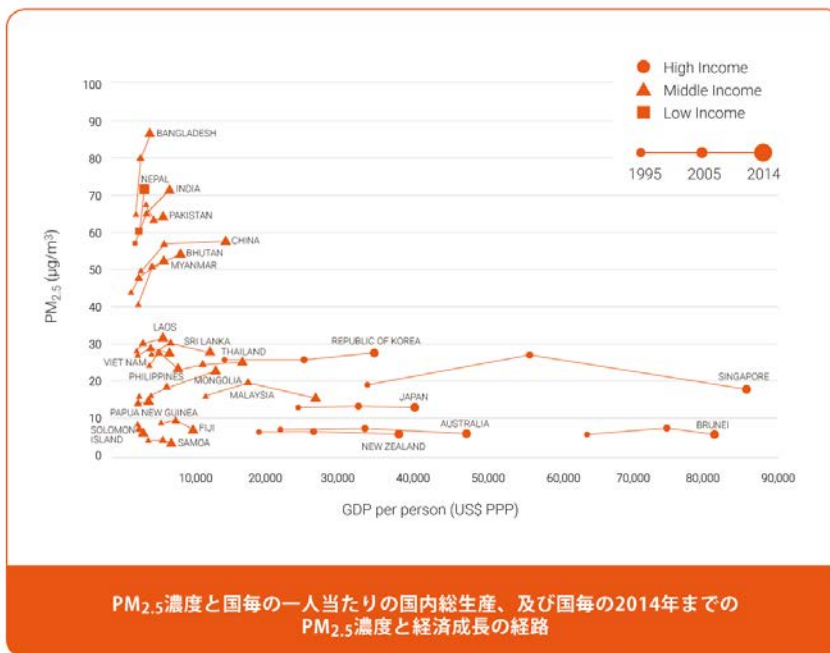
される 80%の経済成長を前提とすると、50%を超えるレベルで増大したものと予測される。これらの政策は、極めて意義深い大気環境と健康上の便益をもたらしている。

公衆衛生の確保のため WHO ガイドラインの大気環境基準を満たすには、取り組みの強化が必要である。アジア太平洋諸国で採用されている大気環境基準は、WHO のガイドラインに沿ったものである(ボックス 1.4)。取られるべき対策は、発展段階や能力、さらにリソース(例えば資金)の利用可能性など、個々の国の実状を反映すべきである。

ボックス 1.4: アジア太平洋地域における発展の多様性

地域内の 41 カ国の経済発展段階は大きく異なり、国の GDP 一人当たり数百ドルから 80,000 ドル以上までの幅がある。データによると、地域内の高所得国では、年間に集団曝露する大気汚染レベルは PM_{2.5} で 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であり、1995 年から 2014 年まで安定している。低所得国でのデータはほとんど存在しない。中所得国では、PM_{2.5} 濃度は 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える程度の幅で大きく変動している。

モデル化した分析によると、準地域間では幾つかの違いが認められる(図 3)。それによると、高所得国は PM_{2.5} がより低いレベルになる傾向にあり、多くの国々ではこれらの濃度は安定しているか低下している(図を参照)。(モデル化した)幾つかの大きな東アジアの中所得国では PM_{2.5} 濃度は非常に高く、1995 年から 2014 年の間に増大した。(モデル化した)多くの東南アジアの中所得国では、PM_{2.5} 濃度は、上記 2 つの事例の中間にあり、排出源規制の対策の成功により、おおむね安定していた。



注: PM_{2.5} 平均は、「2015 年世界疾病負担研究」からの引用で、年あたりの加重人口平均の曝露。曝露は、都市と農村の両地域での人口加重平均した年 PM_{2.5} 濃度により計算。

PPP = 購買力平価

セクション 2: 健康への影響を軽減し、開発目標を達成するための優先対策

はじめに

過去にデカップリングに成功した対策では、将来、清澄な大気を達成するのには不十分

エネルギー政策と汚染防止対策の実施強化は、経済成長と大気汚染をさらに分離(デカップリング)するための重要な決定要因であり続ける。アジア諸国の多くは¹、エネルギー効率化政策やエネルギー集約度の低い製品生産の再構築を通じて、自国経済のエネルギー原単位を削減するため野心的な目標を設定している。これは、エネルギー消費のトレンドが過去と比べ経済成長から分離することを示唆している。これらの政策は、石炭や石油などの化石燃料の役割を縮小しながら、エネルギーシステムの変革を目指している。その結果、国際エネルギー機関によって最近発表されたエネルギー使用量の将来予測によると、2015年と2030年の間に一次エネルギー消費の合計は25%増加すると推定している。これは、同じ期間に見込まれる国内総生産(GDP)の80%の増加をはるかに下回っている。

しかし、これらのエネルギー政策を打ってもエネルギー消費は25%増大し、地域の多くの国で大気環境への圧力をさらに高めることになる。排出量を削減するための技術的手段は存在している。したがって、既存の法律にすでに含まれている重要な対策がより効果的に実施されれば、排出削減が可能だ。加えて、現在のところ法律の対象ではない排出源に関する多くの追加策は、アジア全域で大幅な排出削減を実現できる可能性がある。

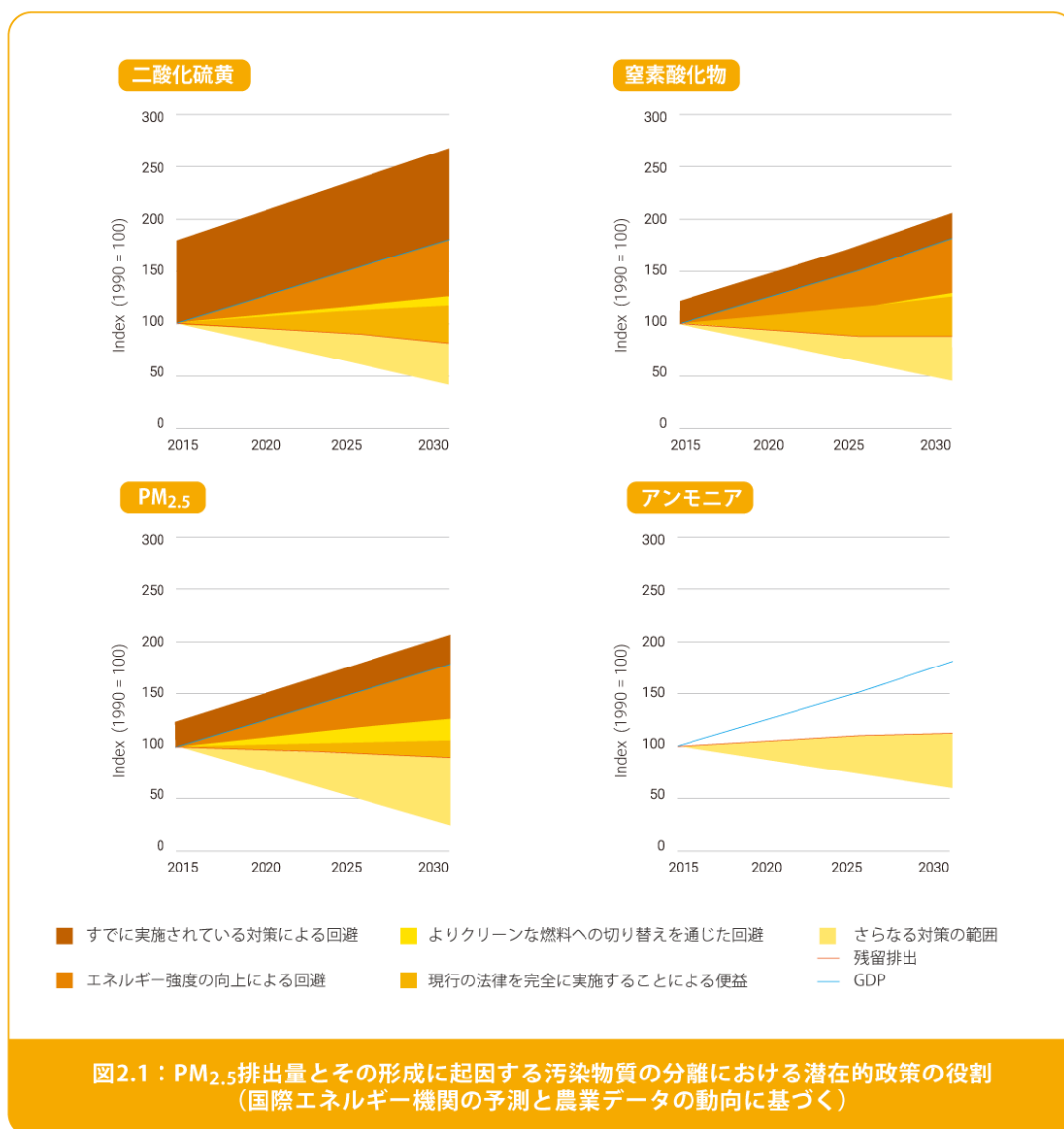
エネルギー政策と汚染防止対策の実施は、今後も経済成長と大気汚染を分離する重要な決定要因となる

規制措置の実施と遵守がどの程度効果的であるかは、将来の排出レベルに重大な影響を及ぼす。過去10年間に施行された政策と措置がなければ、アジアにおける二酸化硫黄の排出量は、2030年までにGDP80%増加を仮定すると、2015年と比較してほぼ3倍になる可能性がある。

すでに実施されている対策は、2015年までに排出量を約40%削減し、効果的に実施されれば今後も同程度の削減が継続されるだろう。エネルギー原単位を下げ、固体燃料を段階的に廃止する現在の政策措置と相まって、2015年と比較して2030年までにその排出量の増加を約20%に抑制できる。もしすべての国が、すでに法律に含まれているが完全に実施されていない排出規制を

¹ アジアにおける関連汚染物質の排出量と大気中濃度についてのデータは利用可能であるが、太平洋については少数の国についてのみ利用可能であるため、このセクションではアジアに焦点を合わせる。太平洋の広い地域に信頼できる質のデータがないため、必要なレベルの信頼性あるシミュレーションができない。

実行に移した場合、アジアの二酸化硫黄排出量は 2015 年のレベルから 20%減少する。利用可能なすべての規制を完全に適用することで、二酸化硫黄の排出量を 60%まで削減することができる(図 2.1 参照)。



同様の状況が窒素酸化物の排出量についても明らかになっており、これは、排出規制がない場合、2015 年のレベルと比較して 2030 年までに 100%高くなる。既存の排出規制と合わせたエネルギー政策措置は、2015 年の水準を 25%上回る増加に抑制する一方、最近導入された法律をタイムリーに施行すれば、2015 年の水準と比較して 15%の排出の削減をもたらす。全体として、2015 年の排出量と比較して、窒素酸化物の排出量は 50%削減できる余地がある。

対策がない場合、PM_{2.5}の一次排出量は 2015 年のレベルと比較して 2030 年までに倍増するだろ

う。すでに実施されている規制は、家庭部門における汚染の少ない燃料を促進するエネルギー政策と相まって、排出量の増加を5%まで低下させるであろう。最近導入された法律をすべて施行すれば、2015年レベルと比較して10%の排出削減をもたらすことができる。利用可能なすべての対策を完全に適用することで、排出量を2030年までに75%削減することができる。

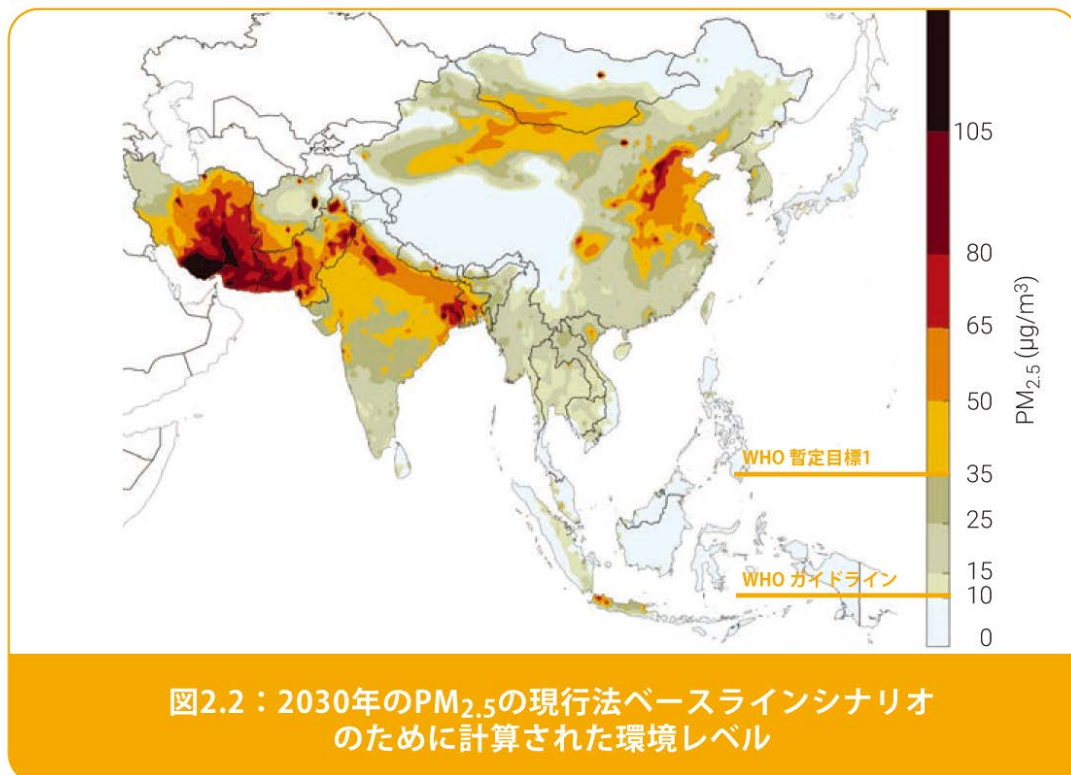
対照的に、人口増加と食生活の変化は農業生産、特に家畜生産の増加を要し、排出規制を強化する政策がなければ、アンモニアの排出は増加することになるだろう。さらに、過剰施肥や尿素・アンモニウム肥料への依存が続くと、土壌・地下水への栄養素の大量流失、及び大気へのアンモニアと亜酸化窒素の排出をもたらす。重炭酸は、2030年までにアンモニア排出量を最大40%削減できる適応可能な技術的対策である。

政策決定は、将来の排出量だけでなく大気環境にも影響を与える。仮に政策介入がなければ、PM_{2.5}への人口加重平均曝露は2030年までに約50%増加し、2015年の1立方メートル当たり43マイクログラム(μg/m³)から約62μg/m³になる。これは、アジアの都市人口の割合を増加させる継続的な都市化とともに、PM_{2.5}形成に寄与する汚染物質の排出量が増加する結果である。

すでにとられた対策により、2030年までに想定されるPM_{2.5}の増加量は約11μg/m³減少する。さらに、最近導入されたすべての排出規制法が効果的に施行されれば、さらに9μg/m³の減少が期待できる。その結果、現在の政策はPM_{2.5}に対する人口加重平均曝露を現在の水準で維持し、それにより80%の経済成長の影響を補償することが見込まれる。

現在の政策はさらに大規模な悪化を避けうるが、大気環境基準は達成できない

しかし、現在の政策では、国内及び国際的な大気環境基準を満たすには不十分である。(上記のシミュレーションによる研究では)東アジアで大気中のPM_{2.5}がいくらか低下しても、人口密度の高い工業化が進んだ地域では、大気環境基準の大幅な超過は継続するだろう(図2.2)。イランでは、自然由来(土壌ダスト)からの高負荷に加え、大気中のPM_{2.5}レベルはさらに上昇するだろう。



人口の約 54%にあたる 24 億人が、最も緩い WHO 暫定目標を上回る PM_{2.5}レベルに苦しみ、13 億人が室内空気汚染にさらされ続けるであろう

現在の政策で、限定的な大気環境改善はかなうが、今日と比較して有害な PM_{2.5}による汚染に曝露される人口を大幅に減らすことはできず、2030 年までの曝露人口は概ね 2015 年と同じレベルにとどまる。世界保健機関(WHO)ガイドラインに準拠した大気環境で生活するのは、アジア人口のわずか 8%であり、総人口の 54%である 24 億人は、依然として最も低い WHO 暫定目標(35µg/m³)を超えるレベルの PM_{2.5}に曝される。さらに、13 億人が危険なレベルの室内空気汚染に曝され続けることになる。

クリーンエア対策トップ 25

2030 年までに適切な政策介入がなければ、アジアにおける PM_{2.5}の人口加重平均は、人口増加・都市化・経済発展により約 50%増加するであろう。しかし、現在の大気汚染対策は、将来の経済成長による悪影響を補償し、人々の PM_{2.5}曝露の減少に関し大きなメリットをもたらす。特に効果的なのは、電力・産業部門の大規模工場での燃焼後の排出制御、ディーゼル車・ガソリン車の排出基準、ならびに鉄鋼・セメント・ガラス製造などの産業プロセスからの排出制御措置である。さら

に、効果的な車両の保守点検が実施されているところでは、PM_{2.5}への曝露が相当程度避けられる。しかし、これらの政策は、単独ではアジアに清浄な大気をもたらすには十分ではない。

本研究(報告書)では大気環境を大幅に改善することができる25の一連の対策が同定されたが、その多くはすでにアジア太平洋地域の一部で実施されている。これらの対策は3つのカテゴリーに分類できる(表2.1)。

表 2.1:「クリーンエア対策トップ 25」

「従来型対策」のアジア地域への適用

燃焼後制御	最先端のエンド・オブ・パイプ技術の導入による、発電所や大規模産業からの、二酸化硫黄、窒素酸化物、粒子状物質の排出の削減
工業プロセス排出基準	鉄鋼プラント、セメント工場、ガラス製造、化学工業など、特定の産業に対する高度な排出基準の導入
自動車の排ガス基準	すべての排ガス基準を強化;小型及び大型ディーゼル車の規制に特別の重点
自動車の保守と検査	自動車の車両点検と修理の義務化
粉塵対策	建設・道路粉塵の抑制;緑地の拡大

アジア太平洋の多くの地域で、未だクリーンエア政策の主要な要素ではない「次世代型大気環境対策」

農作物残渣	農業残渣の管理、野焼き禁止の厳格な執行
家庭ごみの焼却	家庭ごみの野焼き厳禁
森林・泥炭地火災の防止	森林・土地・水管理の改善と防火対策による森林・泥炭地火災の防止
家畜の糞尿管理	糞尿の屋根付き貯蔵、効率的活用;嫌気性消化の促進
窒素肥料の施用	効率的な施肥方法の確立;尿素肥料施肥方法の検討(ウレアーゼ阻害剤使用や硝酸アンモニウムなどによる代用)
レンガ窯	効率の改善、排出基準の導入
国際海運	低硫黄燃料の使用と粒子状物質の排出規制の義務付け

溶剤の使用と精製所	工業用及び家庭用の低溶剤塗料の導入；漏出検知；焼却及び回収
-----------	-------------------------------

大気とのコベネフィットを有する「優先的開発目標に資する対策」

クリーンな調理と暖房	クリーンな燃料の使用—都市部における電力、天然ガス、液化石油ガス(LPG)の使用。農村地域におけるLPG、先進バイオマスによる調理・暖房ストーブの使用；ブリケットによる石炭の代替
再生可能エネルギー発電	風力、太陽光、水力発電の利用拡大のためのインセンティブの導入、非効率な発電プラントの段階的廃止
家庭の省エネ	家電・建物・照明・暖房・冷房の省エネ推進のためのインセンティブの導入；屋上の太陽光の設置推進
産業向けの省エネ基準	産業向けの野心的な省エネ基準の導入
電気自動車	電気自動車の利用促進
公共交通機関の改善	一般車両から公共交通への転換の奨励
固形廃棄物管理	発生源での分別、ガス利用を含む(適切な)処理などによる集中的な廃棄物収集の促進
水田	継続的に湛水された水田における間欠的な曝気の奨励
廃水処理	バイオガス回収を伴う二段階処理の導入
石炭鉱業	採掘前の炭鉱ガス回収の奨励
石油・ガス生産	随伴ガスの回収奨励；ルーティン・フレアリングの停止；漏出抑制の改善
ハイドロフルオロカーボン(HFC)冷媒の交換	大気環境改善のための開発優先目標に貢献する(モントリオール議定書)のキガリ改正の完全遵守

従来型対策

(上記のシミュレーションを用いた研究で示された)より高度の大気環境管理体制がまだ導入されていない東南アジアや、(同じく研究で示された)小規模産業への現行法が適用されていない東アジアの一部の国をはじめアジア全体に、表 2.1 に要約された従来型対策が適用されると、さらなる

大気環境改善をもたらし、PM_{2.5}の人口曝露を 8µg/ m³、つまり約 35µg/ m³まで減らすことができる。しかし、従来型対策は国内及び国際的な大気環境基準まで曝露レベルを下げることはできず、室内空気汚染に曝露される人々を保護することもできないであろう。

既存の法律ですでに導入されている従来の排出規制の実施と遵守は、本質的に経済成長の影響を補償し、今日の水準での曝露人口を維持するだろう。アジア全域でこれらの従来の対策を完全に実施することで、PM_{2.5}への平均曝露量を最大 15%削減することができる。しかし、これはPM_{2.5}の平均値曝露を 35µg/ m³を超えるに抑制するだけであり、この対策だけでは現在の大気環境基準を満たすには全く不十分である。

次世代型大気環境対策

アジアにおける現在の政策措置のポートフォリオは、主に、大規模な産業プラントや発電所ならびに道路輸送など、経済発展に伴って急速に成長する排出源に焦点を合わせている。しかし、これらの対策では、農業や廃棄物の焼却、森林火災や泥炭火災など、小規模で分散した発生源への対応としては不十分である。他の大陸よりもアジアで重要なこれらの部門では、相当量のPM_{2.5}が直接排出されるだけでなく、大気中の二次粒子の形成(つまりPM_{2.5}の形成)に寄与する窒素酸化物やアンモニアなども排出される。

肥料のより効率的な使用、森林や泥炭火災防止、農業残渣や家庭ごみの野焼き禁止の強化、肥料管理の改善、産業における溶媒排出の抑制など、排出量削減対策は運用可能であり、効果は実証済みである。これらの対策はアジアではまだ大規模かつ効果的に適用されていないが、すでに欧米において大気環境管理ポートフォリオの重要な要素となっている。

これらの対策を含むポートフォリオは、従来の対策と併せて、2015年比でPM_{2.5}への曝露を3分の1以上減らすことができる。これらの措置は、現在大気環境管理に含まれていない農業や家庭などの分野での取り組みを必要とする。さらに、これらの排出削減を達成するために、強化された統治機構(ガバナンスメカニズム)を開発する必要がある。しかし、従来の対策に加えてこれらの対策を完全に実施したとして、2030年までに、アジアのPM_{2.5}の平均曝露量がWHO暫定目標レベル2の25µg/ m³を下回るとは考え難い(図2.3参照)。

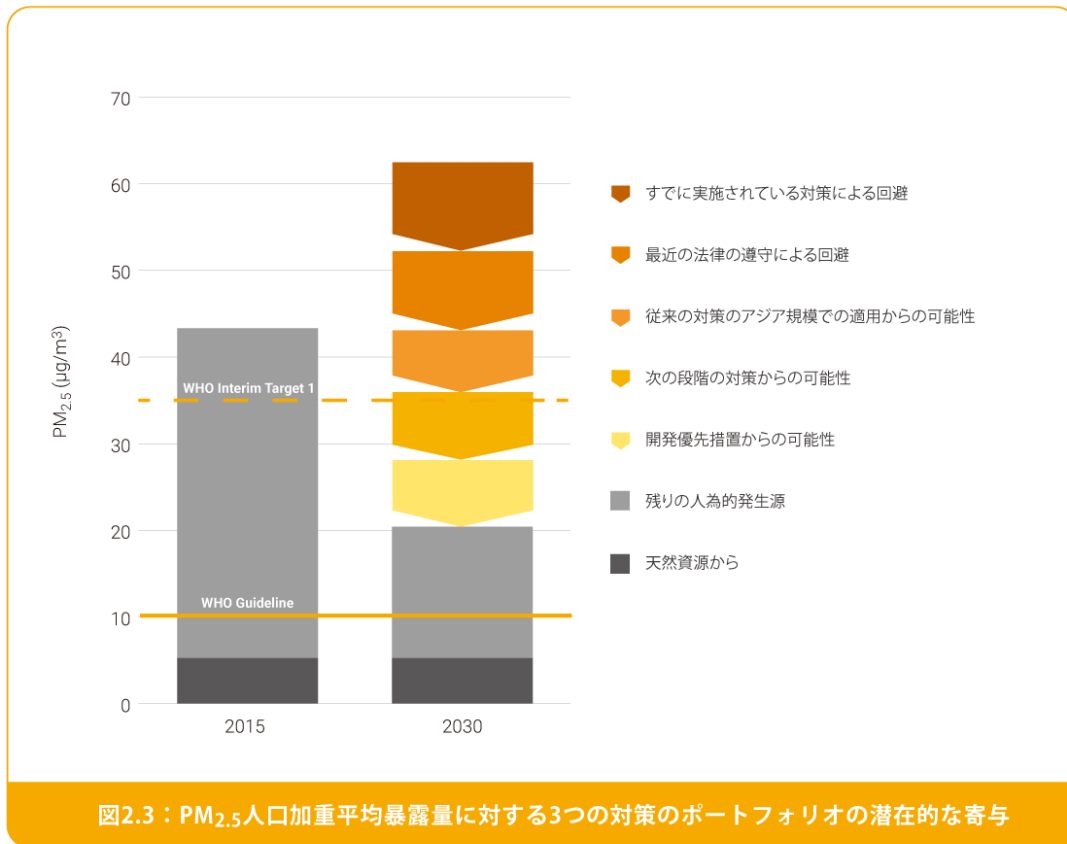


図2.3：PM_{2.5}人口加重平均暴露量に対する3つの対策のポートフォリオの潜在的な寄与

優先的開発目標に資する対策

表 2.1 に示されている従来型対策と次世代型対策のポートフォリオは、大気環境に特に焦点を当てた対策である。通常、この種の措置は、他の政府機関、自動車製造業者、電力会社、製油所、ならびに産業や農業団体を含む他の関連のステークホルダーと協議して、大気環境管理を扱う部局によって決定される。

大気汚染改善を目的とせず、大気環境を改善する手段を提供する追加的対策がある。しばしば、それらは異なる部局の管轄下であり、大気環境管理部局が参加しない政策枠組みの中で議論されている。これらには、エネルギーや農業政策、あるいは都市管理に密接に関連する措置などがある。

特に、開発課題の優先事項への貢献を目的とした方策は、最も汚染排出が多い活動を排除または減らし、それによって環境当局の直接の管轄を超えた追加の排出削減をもたらすことができる。

この分析では、PM_{2.5}の形成に寄与する物質に影響を持つ開発の優先課題を検討する。それは、

国際エネルギー機関(IEA)の「世界エネルギーアウトルック」での研究で潜在的な削減が定量化されている。IEA のエネルギーシナリオにおける実施率を総合的に勘案すると、これらの措置は2030年にアジアにおけるPM_{2.5}への人口加重平均曝露をさらに8μg/m³削減することができ、実施率が増加するにつれ相応の排出削減が期待できる。

地上オゾンへの取り組み

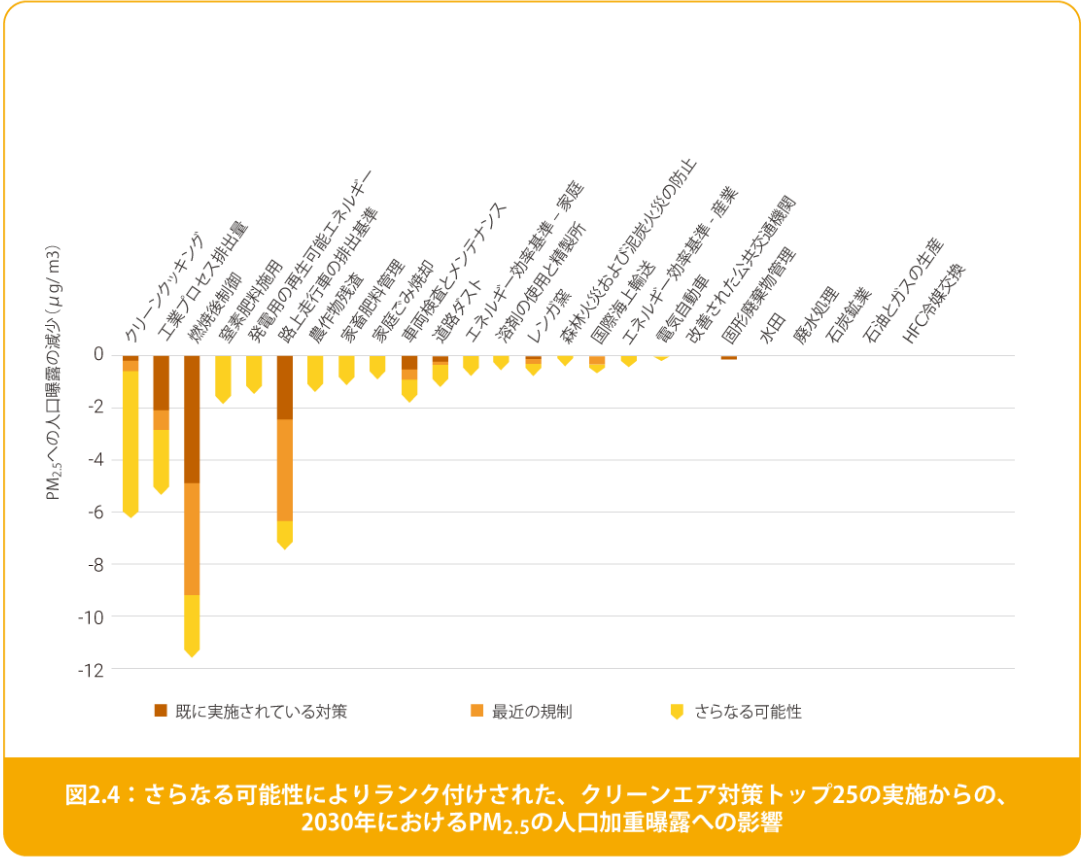
地上オゾンへの曝露は、現在の定量評価ではPM_{2.5}よりかなり低い影響を示唆しているが、それでも人間の健康影響を害する汚染物質として2番目に大きな危険因子である。さらに、地上オゾンは作物などの植生に重大な被害をもたらす。

既述のとおり、地上オゾンの形成に寄与する汚染物質には、窒素酸化物・揮発性有機化合物・一酸化炭素・メタンが含まれる。「クリーンエア対策トップ25」はPM_{2.5}を対象とし、地上オゾンの形成に関与する4つの汚染物質のうち、窒素酸化物・揮発性有機化合物・一酸化炭素の3つを対象とし、ベースラインと比較してそれぞれ50%、60%、70%を削減することとしている。

これらの措置は、アジアにおけるピーク時オゾン濃度の大幅な削減につながり、健康に大きな便益をもたらす。しかし、(アジアを含む)半球規模での定常時オゾン濃度は過去数十年間増加しており、作物や生態系に大きな影響を与えている。メタンは半球規模の定常時オゾンの主な原因の一つで、世界銀行によると、北半球のメタン排出量の約45%はアジアから排出されている²。さらに、対流圏オゾン濃度の減少に貢献するメタン排出量の削減は、SDG13「気候変動に具体的な対策を」及びパリ協定下の国別約束(NDCs)の不可欠な部分に該当する。

全体的に見て、アジアではすでに広く適用されている対策、つまり道路輸送や、発電所・工場での燃焼後の排出対策が最大の改善を生んでいる。それ以外の対策には、クリーンな調理用燃料へのアクセス、再生可能エネルギーの利用拡大、森林火災及び泥炭火災の防止、ならびに農業慣行の改善などがある(図2.4参照)。

² <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE?view=chart>



現在の大気環境基準

「クリーンエア対策トップ 25」の実施により、2030 年にはアジアの広い地域にわたって現在の国家大気環境基準に適合する大気環境が提供されることになるが、すべての地域をカバーするわけではない。地域の追加的な対策によって基準達成は可能だが、北京やデリーのようない工業地域に囲まれた大都市では難しいであろう。さらに、土壌ダストの影響が甚大な地域ではPM_{2.5}のレベルは依然として高止まりする(図 2.5 参照)。

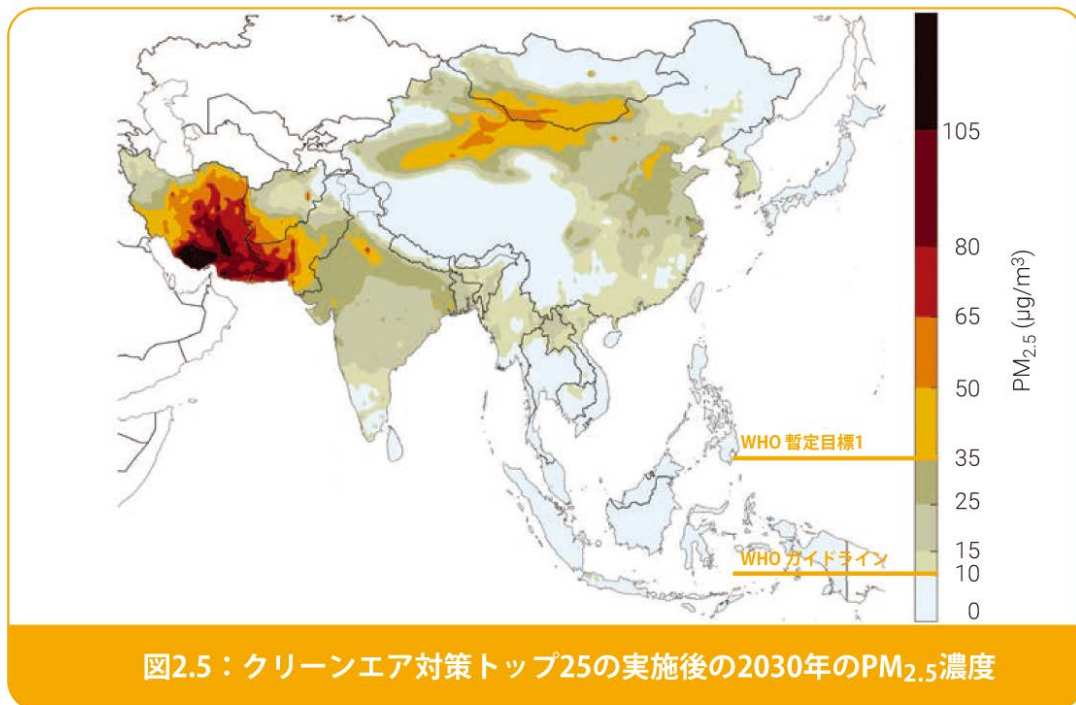


図2.5：クリーンエア対策トップ25の実施後の2030年のPM_{2.5}濃度

「クリーンエア対策トップ25」は、現在の大気環境管理アプローチより広い項目を含んでいる。追加の便益として、国の開発優先課題に貢献する方策（開発課題とのコベネフィット）はさらなる排出削減を可能にし、2030年までにアジアのPM_{2.5}に曝露される人口を20%改善する可能性がある。大気のコベネフィットに加えて、上述した従来型及び次世代型対策が同時になされれば、PM_{2.5}曝露を約20µg/m³まで下げることができる。それでも依然としてグローバルなWHOガイドラインのレベル（10µg/m³）には及ばないが、アジアの広い地域にわたり国家の大気環境基準を達成する可能性がある。

クリーンエア対策トップ25の実施により、10億人が清浄な大気環境を享受し、WHOの最も緩い暫定目標をも上回る曝露に直面する人口は80%減少

住民のPM_{2.5}への曝露は、「クリーンエア対策トップ25」の実施により大幅に改善されるだろう。最も重要なことは、10億人、すなわちアジアの人口の22%が、10µg/m³というWHOガイドラインに沿った大気環境を享受できることである。この割合は、2015年には8%未満であった。加えて、最も緩いWHO暫定目標を上回る汚染にさらされている人口は、2015年の23億（アジアの人口の55%）から80%減少して4億3,000万人となる。それは、人口のわずか10%に抑えられるということだ（図2.6参照）。

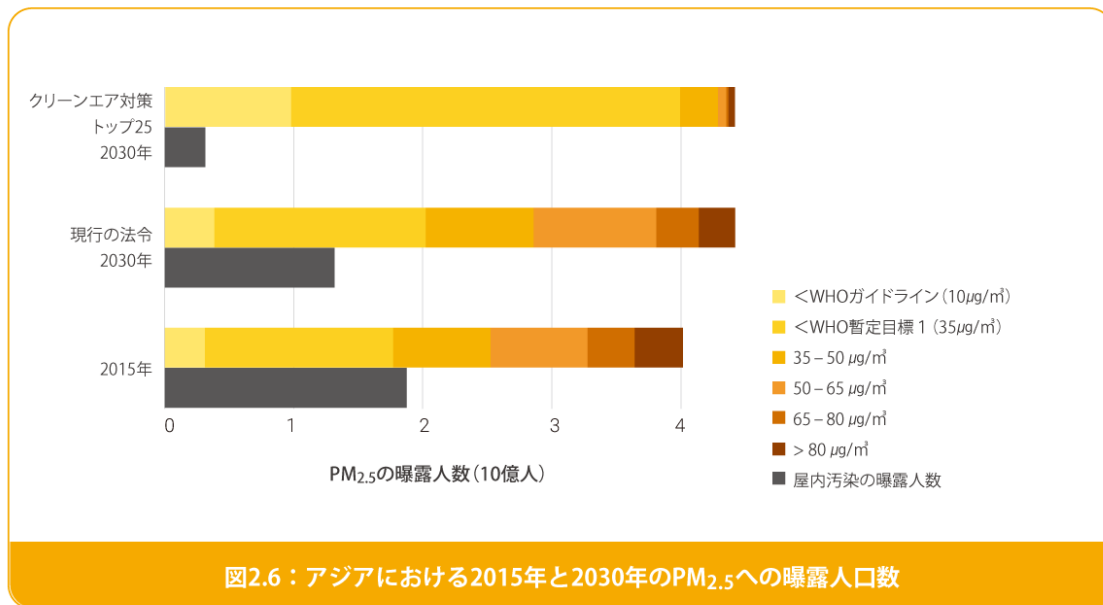


図2.6：アジアにおける2015年と2030年のPM_{2.5}への曝露人口数

健康、環境、その他の開発上の便益

「クリーンエア対策トップ 25」によって、PM_{2.5}汚染による年数十万人の早期死亡、ならびに約 200 万人の屋内空気汚染による早期死亡を防ぐことができる

PM_{2.5}への曝露人口は同一パターンであるとの前提のもと、2010年及び2013年の「世界疾病負担」調査で使用された2つの異なる健康影響評価手法を用いて、2015年の早期死亡者数を定量化すると、310万人、ないしは170万人に達すると推定された。既存の法律で定められた対策をベースラインとした場合、曝露人口はわずかに減少する傾向が示された一方、健康を害する人口は2030年までに400万人、ないしは250万人に増加する可能性がある。このような相違が生じる理由には、次の要因が挙げられる。

- a) この期間に予想される人口増加
- b) 人口の高齢化による、大気汚染に対する脆弱な人口の増加

「クリーンエア対策トップ 25」によって、2015年比で、2030年のPM_{2.5}曝露人口は56%減少する。早期死亡率は、健康影響評価方法の前提条件にもよるが、31~37%低下すると推定される。

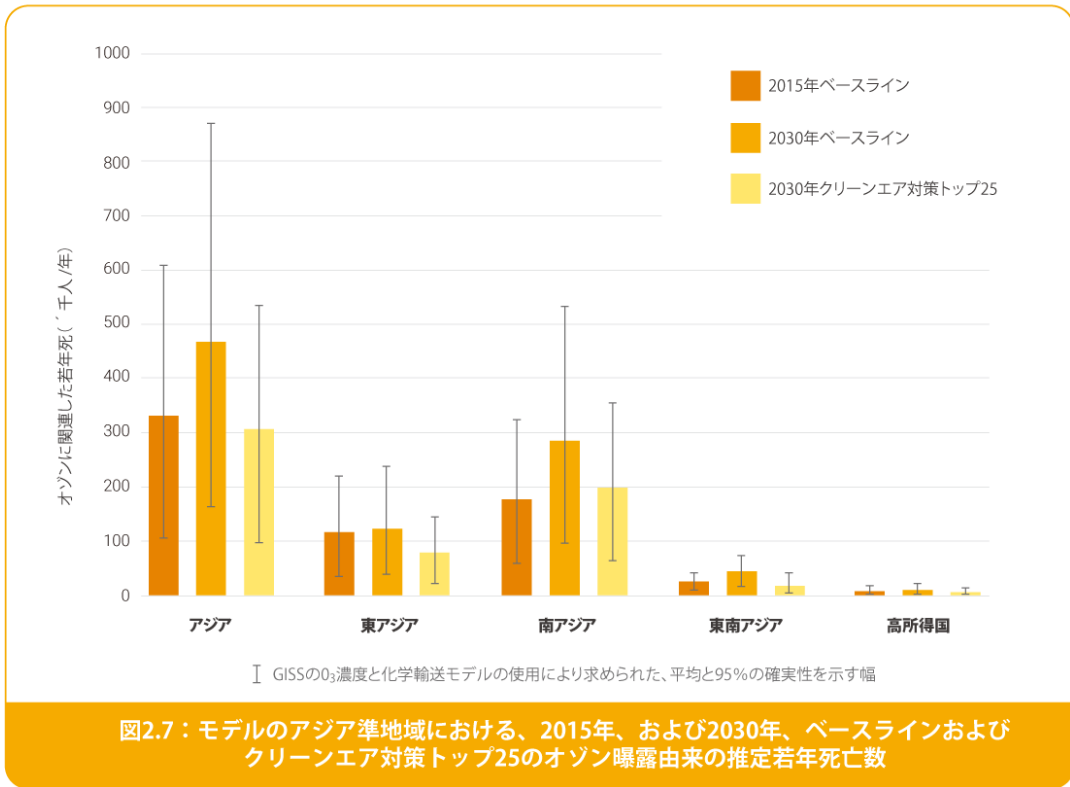
「クリーンエア対策トップ 25」が効果的に実施されると、調理に固形燃料(バイオマスや石炭)を使用する人口を、2015年の約17億人から2030年には4億人未満に激減することができる。このシナリオの想定としては、調理用のクリーン燃料の利用は2030年までにアジア全域で完全には達

成されず、農村地域のこれ以外の人々は先進的なバイオマス調理用コンロを使用するか、石炭に代わってブリケットを利用するとみられる。この移行により、健康影響評価手法の前提条件にもよるが、屋内汚染への曝露による早期死亡数は、推定で年間 120 万～200 万件減少する見込みである。

オゾン関連の健康への影響軽減

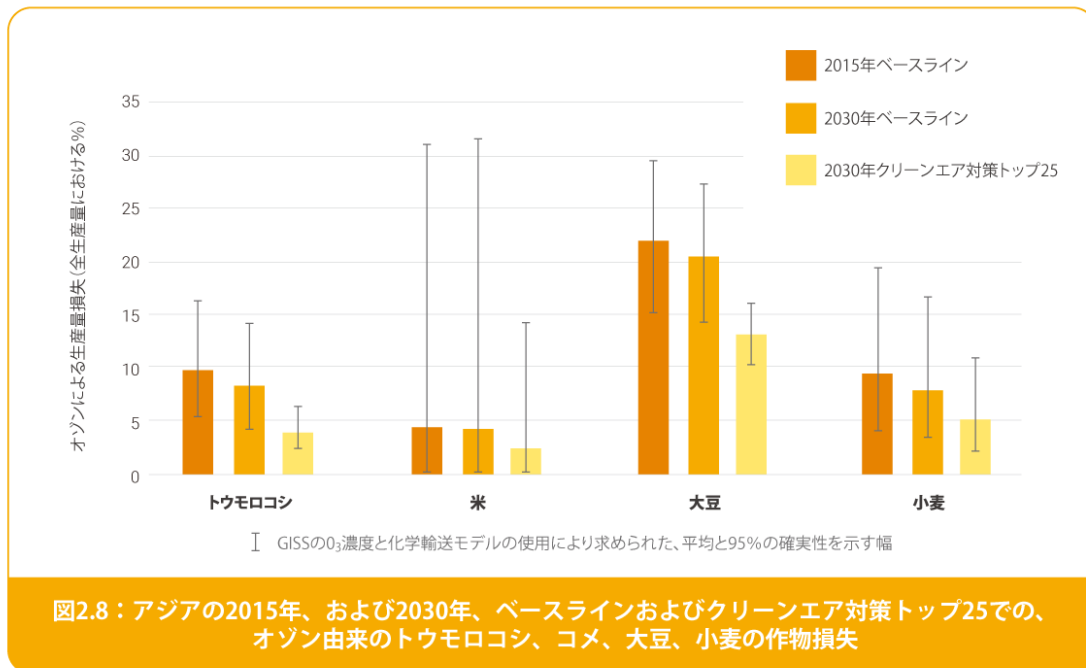
「クリーンエア対策トップ 25」により、オゾンの生成に寄与する汚染物質、すなわち窒素酸化物・揮発性有機化合物・一酸化炭素・メタンの排出量も大幅に削減できる。

2 つの地球規模の大気化学輸送モデルから得られるオゾン濃度を使用し、以前に世界全体でのオゾンの健康影響を定量化する際に使用された健康影響評価手法を用いて推定すると、2015 年ではアジア全体で 330,000 件以上に及ぶ早期死亡がオゾンへの曝露関連であることが示された。オゾンによる最大の曝露があったのは、このシミュレーション結果によると、南アジア、次いで東アジア、東南アジア、そして高所得国の順であった(図 2.7 参照)。ベースラインの場合、推定されるオゾンの健康影響は、2030 年までにすべての地域で増加する。これは、高齢人口の増加とオゾン濃度の変化に起因する。「クリーンエア対策トップ 25」により、アジア全域での 2030 年のベースラインと比較し、このオゾンによる健康影響は 40%削減すると推定される。「クリーンエア対策トップ 25」の導入結果として推定されるオゾンの健康影響は、モデル化された東南アジアで最大で、2030 年のベースラインから 58%の減少、次いで高所得国(44%減)、東アジア(36%減)、南アジア(30%減)となっている。



オゾンによる作物損失の回避

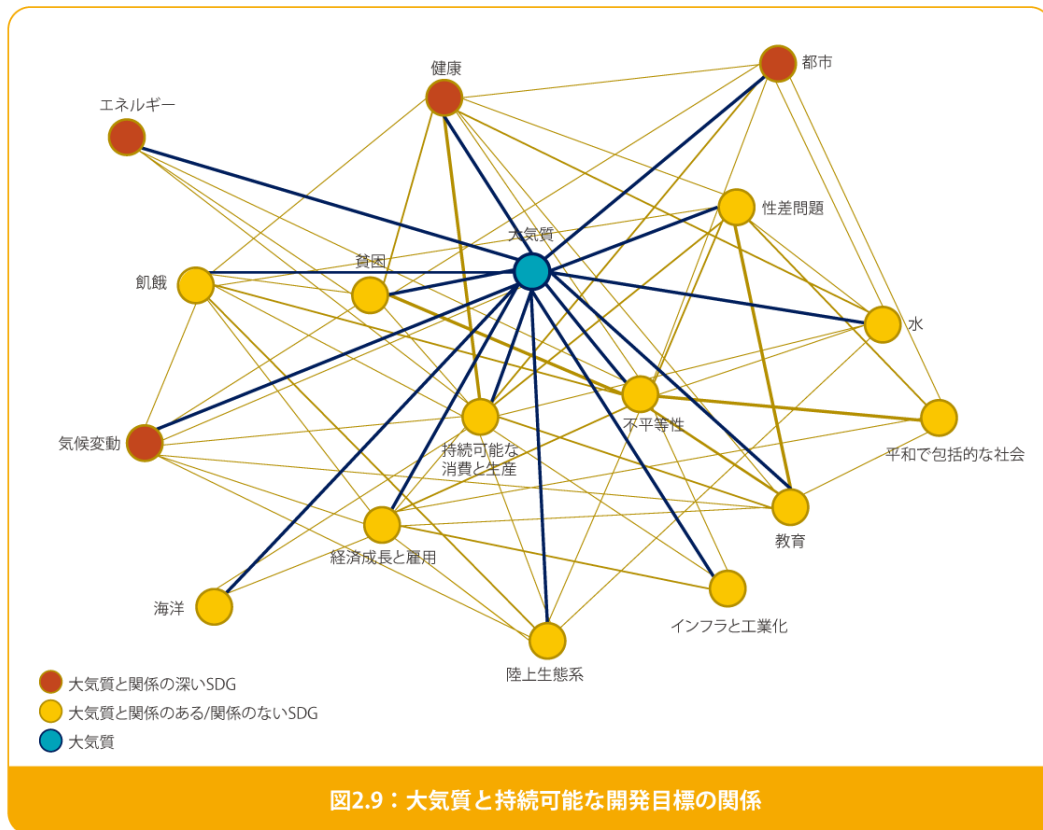
大気汚染が人間の健康に与える影響に加えて、大気中のオゾンは作物などの植生を損傷し、その結果、収量の減少や森林・草原などの自然植生への被害をもたらすおそれがある。オゾン由来の作物収量損失を世界規模で推定するために以前に使用された適切な手法を用いて推定すると、2015年にアジア全土でオゾン濃度の上昇から生じた作物の損失は、トウモロコシが10%、米が4%、大豆が22%、そして小麦が9%であった(図2.8参照)。これは、4つの作物すべてで5,100万トン、作物収量が減少したことに相当し、その大部分は(生産量の多い)米と小麦の収量の減少である。



「クリーンエア対策トップ 25」を実施することで、2030 年のベースラインシナリオと比較して、オゾンによる農作物の推定損失量を 45%減らすことができる。オゾンによる作物損失の減少率は、シミュレーションでは東南アジア(56%減)、次に東アジア(48%減)、高所得国(46%減)、そして南アジア(38%減)となると推定された。ただし、オゾンによる作物影響の推定は不確実である。その理由は、アジアと他の地域の(異なる)作物の反応が異なること、推定値にはすべての作物に対するオゾンの影響はカバーされていないこと、森林や他の自然植生に対する影響は含まれていないことなどである。しかし、PM_{2.5}濃度の削減に重点を置いた対策やメタンの排出削減を目的とした対策の実施は、オゾン濃度の削減につながり、その結果、農作物の収量に相当量のコベネフィットをもたらす。

複数の持続可能な開発目標による便益

本報告書で特定された措置は、複数の開発目標に同時に寄与する行動の例である(図 2.9、2.10)。「クリーンエア対策トップ 25」で特定された対策の多くは、SDG 7「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」、SDG 11「持続可能な都市とコミュニティ」、SDG 13「気候変動に具体的な対策を」、など特定の SDG に関連している。大気質を改善し、大気汚染への曝露を減らす措置は、複数の SDG に直接貢献する。実際、大気質に関しては、3つの SDG 目標、3.9、11.6、及び 12.4 で具体的に言及されている。これらの対策のたとえばクリーンな燃料による調理は、貧困・ジェンダー・不平等に関するものなど他の SDG にも有意義な直接的・間接的便益をもたらす。



気候や気温に影響を与える汚染物質の削減

本報告書は、WHO ガイドラインの範囲内に大気質を確保することによって、人間の健康を守るという観点から、政策措置を分析しているが、「クリーンエア対策トップ 25」から生じる排出削減は、また、気候変動にさまざまな形で影響を与える(図 2.10 参照)。地上オゾンと同様に、PM_{2.5}に含まれる大気汚染物質は、特に直近から中期の期間において、放射バランスに影響を及ぼし、温度上昇に影響を与える。異なる物質は異なる作用を生み、ブラックカーボン・メタン・オゾンなど温暖化を起こすものもあれば、有機炭素・二酸化硫黄・窒素酸化物などのように冷却するものもある。これは、前述したようにヒマラヤや北極圏などのような場所へ長距離にわたり熱を伝達するだけでなく、気温に関しても国を超えた地域的な影響を及ぼす。

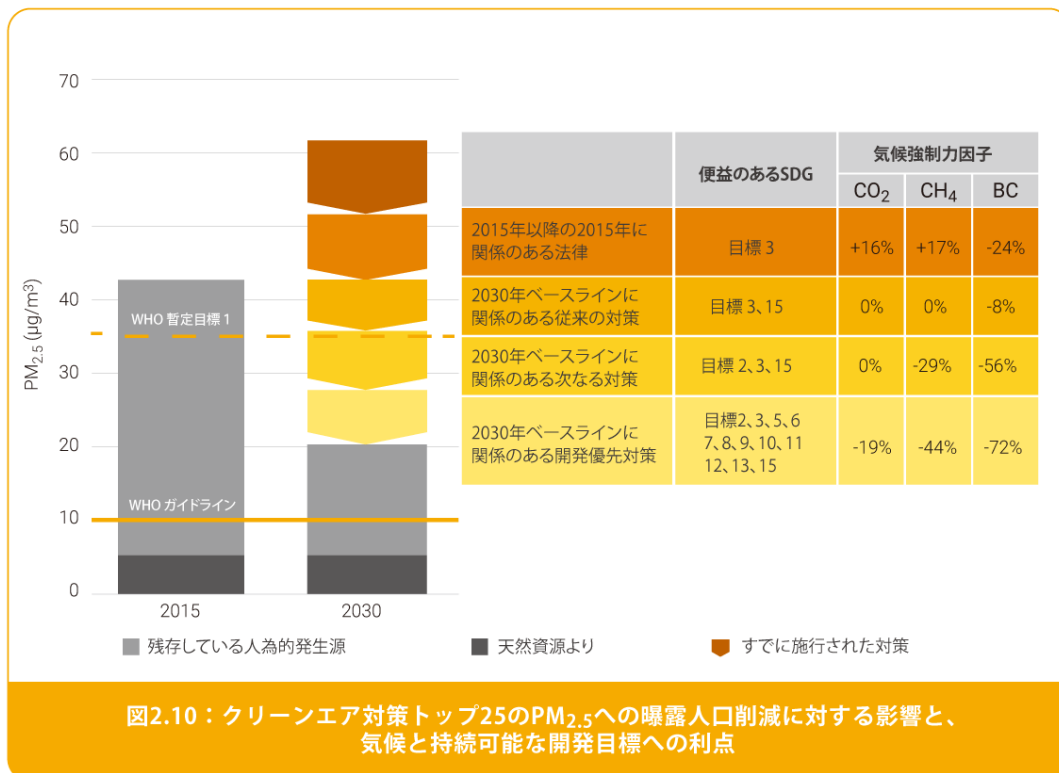


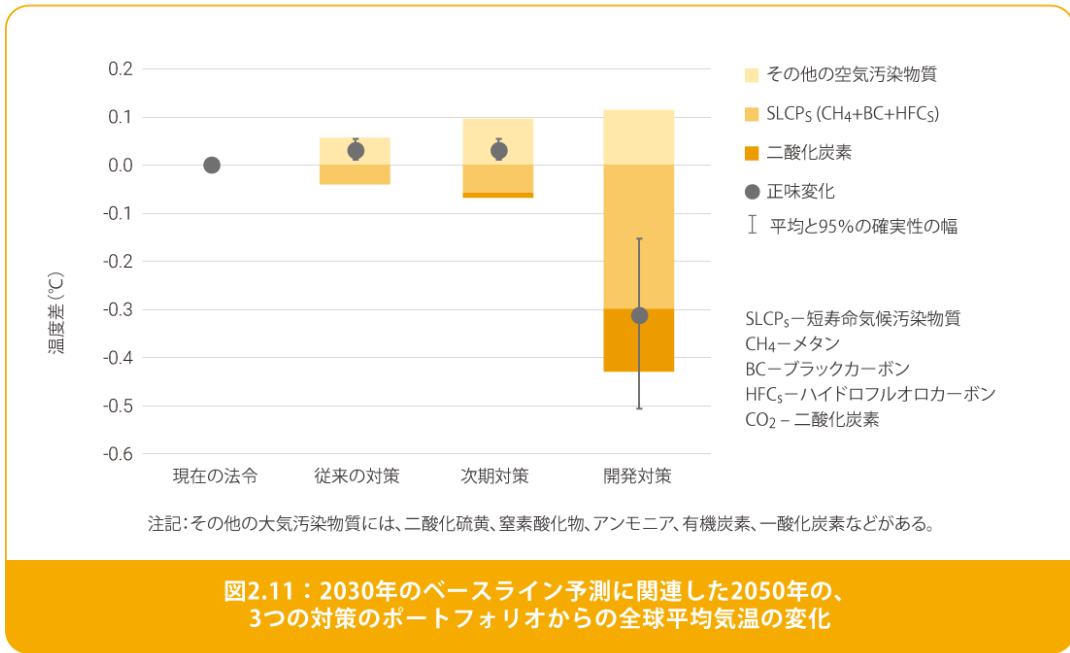
図2.10：クリーンエア対策トップ25のPM_{2.5}への曝露人口削減に対する影響と、気候と持続可能な開発目標への利点

「クリーンエア対策トップ 25」は、地球規模の気温上昇率の純減少をもたらし、パリ協定の目標達成に大きく貢献する

アジアの国内及び国際的な大気環境基準の達成に向けた実質的な対策は、二酸化硫黄・窒素酸化物・アンモニア・揮発性有機化合物など二次的粒子の形成に寄与する汚染物質の排出量の大幅な削減を必ず含んでいる。メタンのような VOC とは違い、これらの物質の多くは通常、大気を冷却するように作用するため、その減少は冷却効果の減少による温度の上昇を意味する。しかし、「クリーンエア対策トップ 25」の措置には、明らかに、気温上昇に寄与する物質の排出量の削減も含まれている。

アジア排出シナリオが世界の平均気温に及ぼす影響の推計³では、予想される世界の排出のベースライン変化で、2015年に比して2040年から2050年までに約0.6℃の世界の平均気温の上昇をもたらすことが示されている。アジアにおいて優先的開発課題（開発課題とのコベネフィット）への取り組みが進めば、この温暖化を約0.3℃下げる可能性がある（図 2.11 参照）。

³ 絶対地球温位法を使用



この温度変化(低下)には複数の要因がある。大気汚染物質である二酸化硫黄・窒素酸化物・アンモニア・有機炭素の排出量を減らすと、ブラックカーボンを除けば、 0.12°C の温暖化が起こる。しかし、メタンとブラックカーボンの排出量の減少は、これを相殺して余りあり、さらに温度を下げる。これにより、全体として温暖化が 0.3°C 減少する。さらに、優先的開発課題を構成する措置による二酸化炭素排出量の削減により、 0.13°C 温暖化が抑えられる。アジア諸国によるHFCの段階的廃止に関するキガリ改正の実施により、気温はさらに 0.02°C 低下すると考えられる(ボックス 2.1 参照)。

ボックス 2.1: キガリ改正

オゾン層破壊物質に関するモントリオール議定書のキガリ改正は、生産と消費を段階的に減らすことで大気中のHFCの濃度を減らすことを目的としている。オゾン層に影響を与えないため、HFCは、オゾン層破壊物質であり温室効果ガスであるクロロフルオロカーボン(CFC)及びハイドロクロロフルオロカーボン(HCFC)の代替品として使用されてきた。しかし、HFCはそれ自体、強力な温室効果ガスである。キガリ改正は2019年1月1日に発効し、モントリオール議定書は地球温暖化に対するさらに強力な対策となる。改正を完全に遵守すると、2047年までにHFCの消費と生産は80%強減となる。改正の影響としては、世紀末までに世界の気温の 0.5°C 上昇が避けられ、そして電化製品のエネルギー効率改善を促進することによって、気候に対し重要な便益をもたらす。

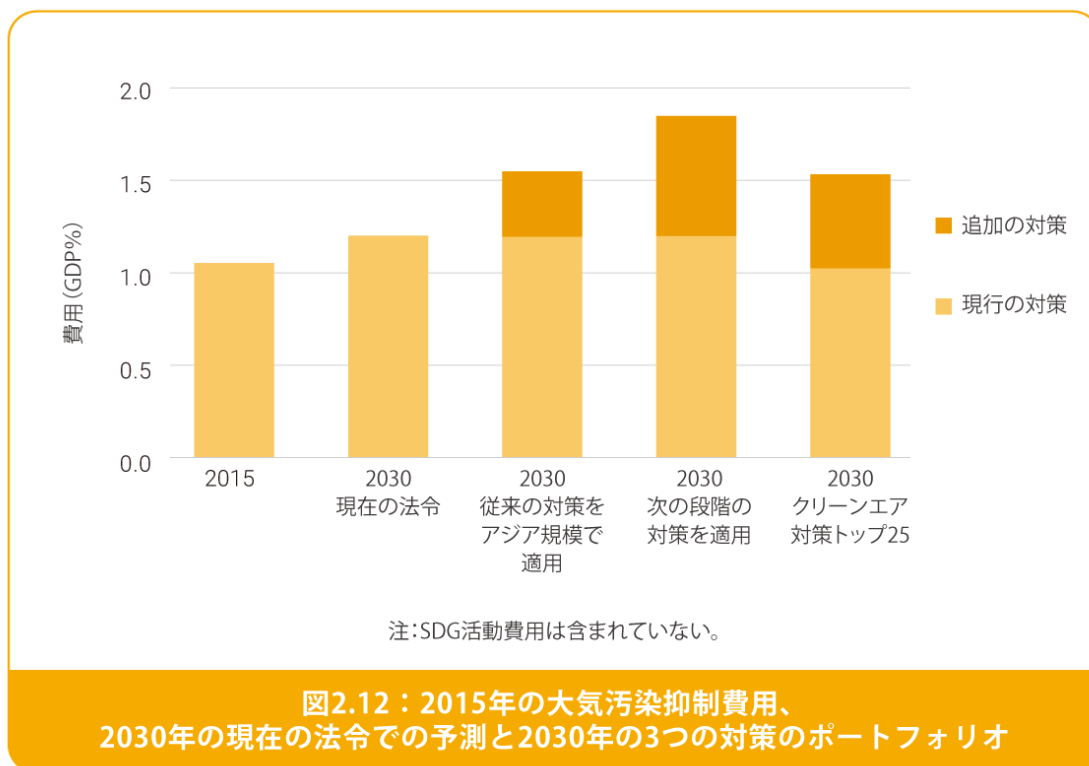
ハイドロフルオロカーボン管理による複数の便益

持続可能な開発に貢献する最終的な対策は、オゾン層を破壊する物質に係るモントリオール議定書キガリ改正の完全な批准とその遵守による、HFC 冷媒の環境に優しい物質への代替である。温室効果ガスでもある HFC は、主にオゾン層破壊物質の代替品として製造・使用されていたもので、現在モントリオール議定書の下で段階的に廃止されている。しかし、急激に拡大する消費者向け冷凍・空調市場のために、多くの国で最も急速に増大している温室効果ガスでもある。HFC の緩和による直接的な便益に加えて、この措置は、SDG 7「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」の重要な要素であり、HFC 冷媒を使用する冷蔵庫やエアコンなどの電化製品・機器のエネルギー効率の改善促進にもつながる。

対策の経済的意義

「クリーンエア対策トップ25」の実施には、将来の経済成長によって得られる資金のほんの一部が必要

アジアは現在、その経済生産の約 1% (年間 1,600 億米ドル) を排出抑制に費やしていると推定されている。それにより大気質・環境・人間の福利などに、明示的ではないものも含め、多大な便益を享受している。2030 年までに、80% 拡大する経済活動から生じる汚染に対処するには、現在の法令の完全実施を前提とすると、環境保全費用を GDP の 1.2% に増加させることが必要となる (図 2.12)。アジア全域で従来の対策を完全に実施するには、GDP の 1.55% の排出抑制コストがかかり、それによって人口への曝露を 1/3 減らすことができる。GDP の 1.85% (年間約 5,000 億米ドル) を使うことにより、次世代型大気汚染対策を実施することで、人々への曝露を半分に減らすことができる。



「クリーンエア対策トップ 25」の実施により、曝露人口は 60%削減される。このシナリオでは、汚染の原因となる燃料の消費量が減るため、汚染をコントロールする装置の必要性も下がり、大気汚染に関連するコストは GDP の約 1.5%に減少する。優先的開発課題に必要な措置の実施にかかる追加費用は、この大気汚染を中心とした評価の範囲外である。しかし、優先的開発課題の一連の措置が促進されると、大気質が大幅に改善されることに加え、大気汚染管理に関し、年間約 750 億米ドルの費用削減となる。

アジア全域で 2030 年時点の大気汚染防止費用は、絶対額では年間 3,000~6,000 億米ドルである。これは、一見高額に見えるが、2030 年までにアジアの GDP は年間 12 兆米ドルの増加が見込まれており、これに占める割合はわずか約 5%である。

現在、公害防止費用は、技術的に高度な自動車の排ガス規制に最も多く費やされており、その割合は、増加する自動車数と共に、今後さらに増大すると予想されている。

アジア全域で従来の汚染防止対策を拡張すると、電力・工業部門のコストが 2 倍になる。多くの対策は低コストで実施できるため、次世代型大気環境対策としては、追加の汚染防止対策を住宅や農業部門に向けていくと考えられる。しかし、これらの部門の対策は少額で施行できるものが多いため、全体として低コストのままであると考えられる。

アジアの多様性にはそれぞれに合わせたアプローチが求められる

クリーンエア戦略では、それぞれの国や都市の状況、そして戦略を作成し施行する能力に応じて、異なるアプローチが求められる。大気環境改善において、すべての都市・国・地域をカバーする統一的な政策規定は存在しない。画一的なアプローチは、それぞれの地域には異なる状況があるため、不可能であり、また望ましいことでもない。

アジアの地域によって異なる便益

「クリーンエア対策トップ 25」が大気質と(汚染への)曝露人口に与える影響は、地域によって異なる。図 2.13 は、「クリーンエア対策トップ 25」の実施が、シミュレーションした東南アジア及び高所得国で曝露人口を WHO ガイドライン(の目標)以下に、そして東アジア及び南アジアでは WHO 暫定目標 1 以下に抑えられることを示している。

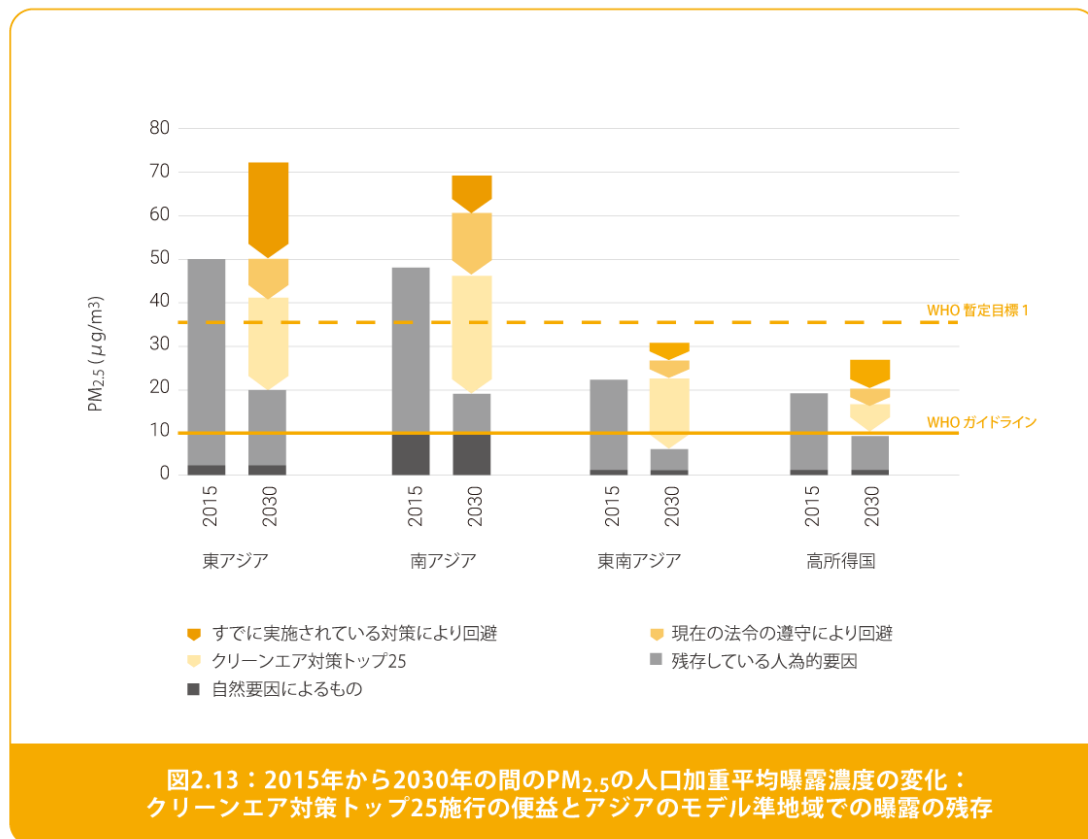


図 2.14 は、屋外及び屋内で、さまざまなレベルの PM_{2.5} にさらされる人口の減少と、それが準地域でどのような変化があるかを示している。「クリーンエア対策トップ 25」は、シミュレーションによると、東南アジア及び高所得国において、WHO 暫定目標 1 (35 µg / m³) を超過する地域をなくせると考えられる。同じくシミュレーションによると、南アジア及び東アジアでは、WHO 暫定目標 1 を超える濃度にさらされる人口の割合がはるかに減少すると予測される。南、東、東南アジアでは、屋内大気汚染は大幅に減少すると予想されており、高所得国ではすでに大きな問題とはなっていない。

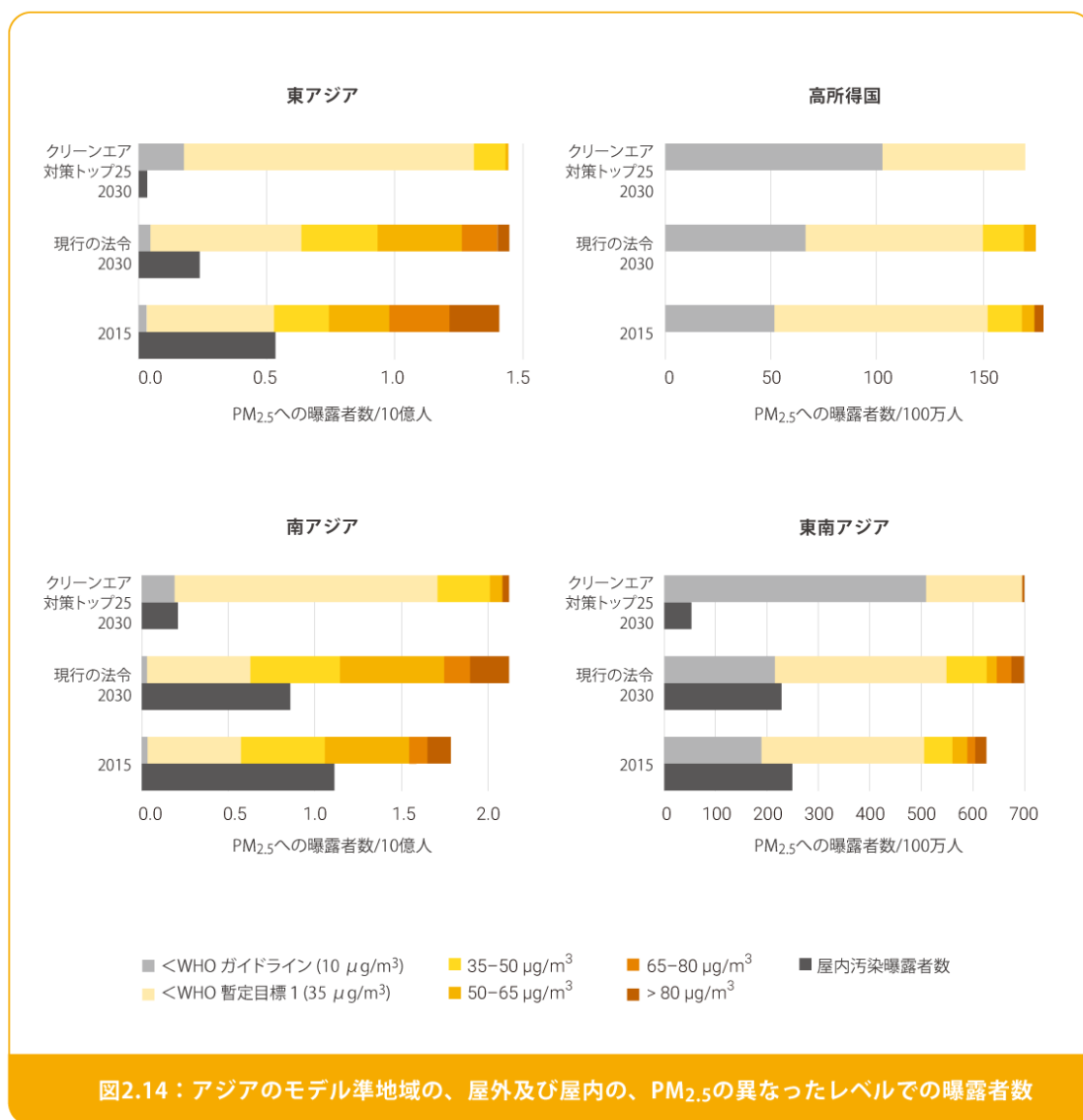


図2.14：アジアのモデル準地域の、屋外及び屋内の、PM_{2.5}の異なったレベルでの曝露者数

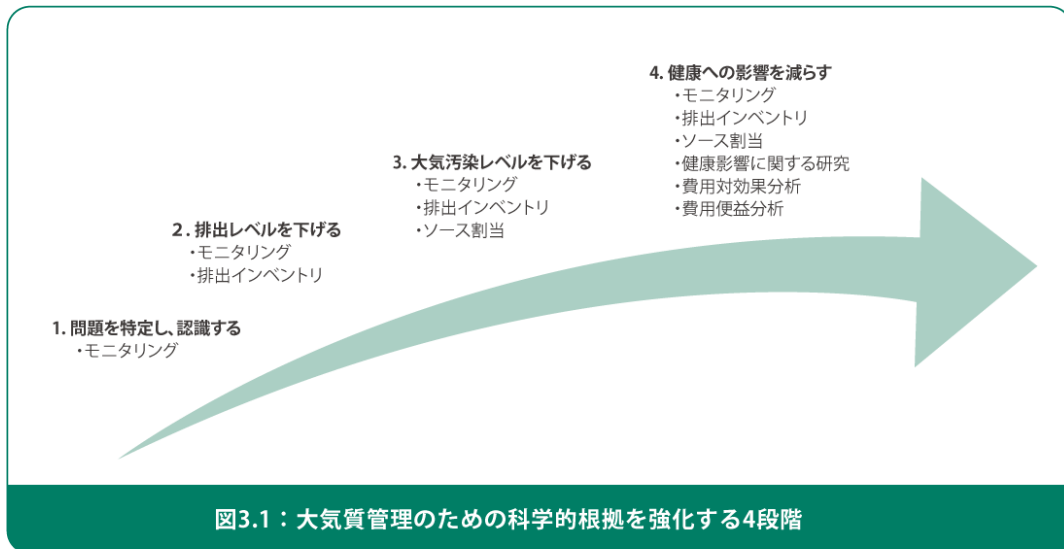
セクション 3: 成功する対策の実施

はじめに

大気汚染を管理し防止するための対策が成功裏に実施されれば、アジア太平洋地域の何百万もの人々が、より長く健康的な生活を享受できる

セクション 2 では、最先端のモデリング手法を使って、アジア太平洋地域の大気汚染を大幅に削減できる対策を特定した。シミュレーションでは、25 の対策の効果的な実施が、危険なレベルの大気汚染に曝露することを防ぎ、何百万もの人々がより長くより健康的な生活を享受し、また他の環境関連の開発目標を達成できることが示された。このセクションでは、アジア太平洋地域の国々が、過去の対策を評価し、成功の度合いに影響を与える要因に焦点を当てる。本セクションの結びでは、選択した対策の遵守を確保する上で、ガバナンスやファイナンスの果たす重要な役割を明示する。

アジア太平洋地域の事例を見直す前に強調すべきは、「クリーンエア対策トップ 25」は、各国に適切なオプションの選択肢を提供していることである。これらのオプションの選択とその導入時期は、地域間で当然異なるであろうが、各国は比較的似たプロセスを経る可能性が高い。それは、国は、確実さが増す科学に基づくプロセスを選択するためである。そのプロセスは、多くの場合、大気汚染問題を特定し認識するため、環境機関による大気環境のモニタリングデータの取得から始まる。この初期段階では、排出量削減の政策形成に必要なモニタリングデータと排出インベントリを改善するための土台が敷かれる。インベントリの開発に続いて行われる排出源の分析は、大気質全体の改善を意図した政策の基礎となる。最終段階は、どの対策が健康や清浄な大気質などの便益を最大化するのかを決定するために、健康影響分析や費用対効果分析／費用便益分析を実施することが多い(図 3.1 参照)。本報告書は、アジア太平洋地域の結果を示すものではあるが、要請があれば、国レベルのデータも利用可能としている。



従来型対策

従来の排出管理対策の遵守強化により、アジア太平洋地域の大気質を大幅に改善できる

セクション 2 での主なポイントの一つは、2030 年までに約 80% の経済成長率があっても、従来型対策を効果的に実施することによって、大気汚染への平均曝露を最大で現在の水準にとどめ、一部の地域に限っては曝露を減らすことができるということである。アジア太平洋地域の多くの国々では、大気環境基準の設定が、発電所や工場など排出源に従来型対策を導入する出発点となる。このプロセスが進むにつれ、ますます多くの国の環境部局は、基準をまず導入し、その後の強化に熟練してくる。このことは、ある程度のレベルの基準を採用している国の増加と、より厳しいレベルの基準を採用している国の増加数から明らかである(図 3.2 及び 3.3 参照)。しかし、将来的には各国が世界保健機関(WHO)のガイドラインに沿った基準を導入していかなければならない。

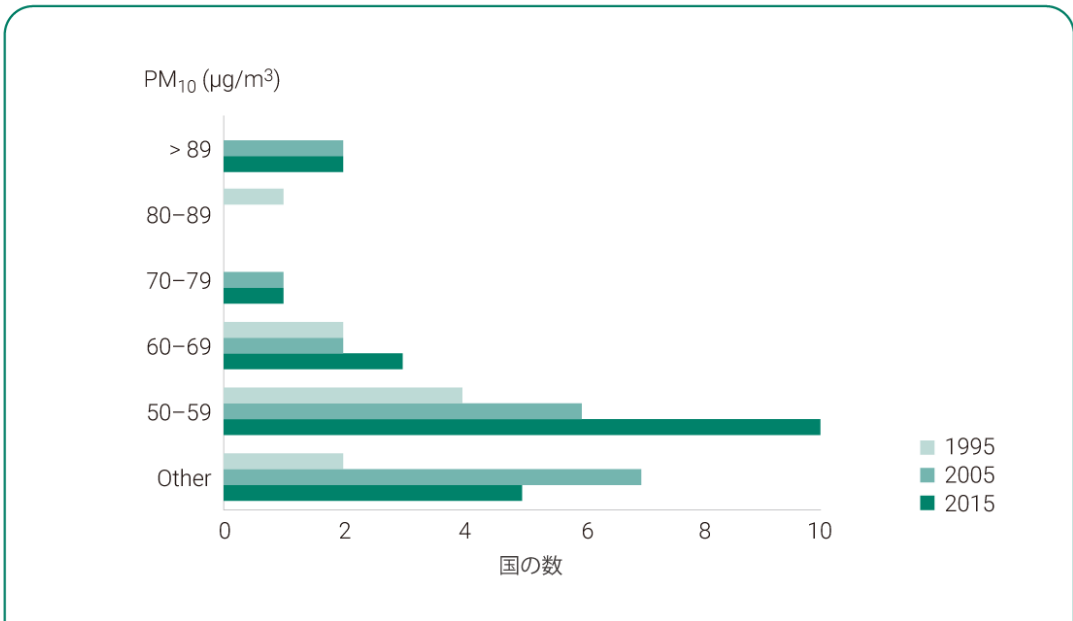


図3.2：PM₁₀の環境大気質基準を設定している国の数（基準レベル毎）

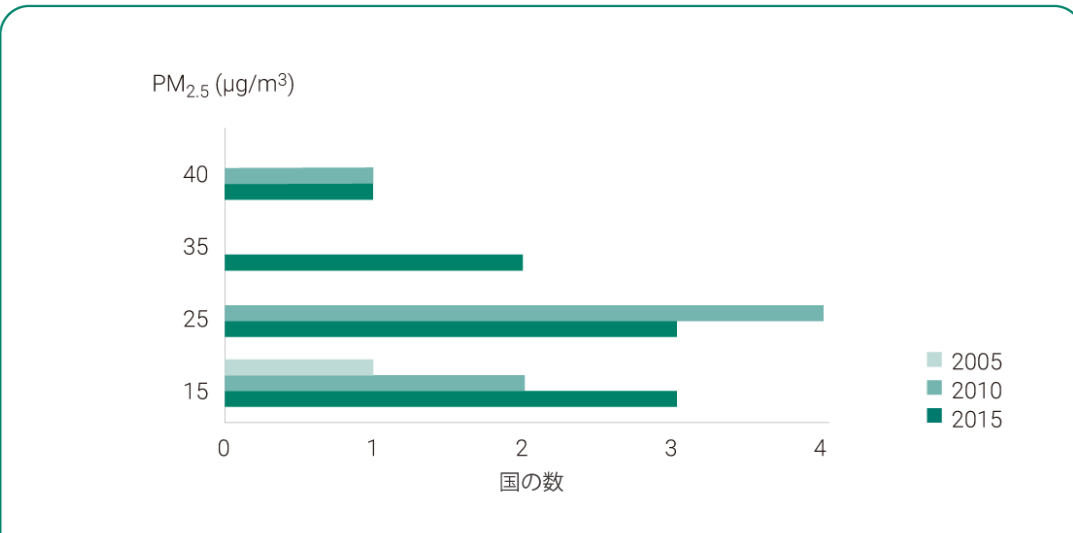


図3.3：PM_{2.5}の環境大気質基準を設定している国の数（基準レベル毎）

アジア太平洋地域の多くの国々では、発展の初期段階で従来型対策を採用することができる

環境基準設定に加え、生産・排出に関する基準を厳格化し、エネルギー・工業からの排出を減らすために、技術上またはプロセス上の変革を奨励してきた政府もある。韓国からタイに及ぶ国々では、これらの規制の変革により、発電所に排煙脱硫装置等の排出削減技術導入を促進した。

一方、リープ・フロッグ（一足飛び）を実現した例にインドがある。インドは、新旧の石炭火力発電所に対するより厳格な基準を継続的に実施したこともあり、最近、石炭火力発電所はエネルギー効率の高い超臨界技術へと移行した。さらに、インドの首都デリーでは、厳しい基準の段階的な導入が、発電所の操業停止やガスへの移行をもたらした。より厳格な基準は、公害防止技術への投資やより広範な構造的変化を促すことができる一方、これに対応する移行を実現するには、法的に裏付けられた経済的インセンティブが必要であることが多い。中国やモンゴルといった国では、大気汚染課徴金を規定する法律が、そうしたインセンティブを与えている。

クリーンエア行動計画は、大気汚染を管理し防止するために政府が採用する追加的メカニズムである。場合によっては、政府が新たな政策優先事項に対応することから始めることもできる。2012年に中国の中央政府は、PM_{2.5}を抑制する取り組みの一環として、大気環境インデックスに基づく新しい大気環境基準と技術規制を発表した。より最近では、インド政府が、国家クリーンエアプログラムを採択した。大気モニタリングネットワークを拡大し、データの普及と公衆へのアウトリーチを改善し、大気汚染の予防・管理・軽減のための計画を要請した。クリーンエア行動計画は、常に全国レベルで始まるわけではない。ベトナムの都市カントーも、地元の大気汚染源を対象とする行動計画を策定した。

運輸部門、特にディーゼルエンジン規制も潜在的な便益をもたらす従来型対策の一つである。多くの場合、運輸部門の改善は、より厳しい排ガス規制によってもたらされる。この地域の多くの国で、環境部局は運輸部局、自動車製造業社、化石燃料産業と協力して、基準のレベルを上げた。より高い基準をクリアするには、燃料中の硫黄濃度を50ppm、さらには10ppmまで下げる必要がある。そのためには製油所との協力が特に重要である。そのような燃料を確実に利用可能にするには、精製所の規制とコミットメントを必要とする。運輸に伴う汚染に対処する別の解決策に燃料転換があり、アジア太平洋地域の一部の国で実施されている。さらに、規制方法の変更は、政府部局以外の機関からもたらされることもある。例えば、インドの最高裁判所は、デリーの公共交通機関全体（バス、タクシー、三輪タクシー）に圧縮天然ガス（CNG）への切り替えを義務付ける判決を出した。この画期的な決定により、インドには現在1,094のCNGステーションがある。

非技術的な解決策は、大型業務用車両からの排出量削減に役立つ。例えば、貨物自動車の効果的な物流とルート計画によって、不要な移動を回避できる。また、対策を効果的に組み合わせることもできる。例えば、古いバスを入れ替えることで、ルートの合理化と最適化の機会が広がり、それはサービスの質を補完的に向上させることにもなる。アジア太平洋地域の多くの途上国にとって、大気汚染の大部分は先進国から輸入された中古車に由来する。その排出削減を促すため、モンゴルはハイブリッド車と電気自動車に有利な物品税を導入した。これは、低・中所得世帯の中古車購入行動を変えることとなった。

技術的解決策とは別ではあるが、大型排出車両を排除する車の点検・整備プログラムは、適切に設計されたディーゼル車管理戦略の重要な要素である。東京では、十分な人材を配置して実施した車両検査が、都市で最も高い排出車両の排除に寄与した。インドネシアのジャカルタにある13,000台のバスに対して、点検・整備プログラムが展開され、ディーゼル煤煙の排出量が30%、燃料消費量は5%削減された。

ほとんどの従来型対策は、関連する法律によって強化される。政府部門間で関連する法律がより一貫性のあるものになった国もある。インドでは汚染に関連した分野別の法律があるが、1981年のインドの大気汚染防止法(の成否)は、1988年の自動車法(2007年に改正)、2002年の自動車燃料政策法、2006年の国家環境政策法、そして2009年の国家環境審判法の成果に依存している。

大気汚染の一因だが上述の政策の多くでカバーされていない発生源は粉塵である。粉塵は未舗装の道路やインフラ施設から発生する可能性があり、拡大する輸送・建設ネットワークがある地域において深刻な大気汚染問題となっている。例えばインドの一部の都市では、PM_{2.5}の半分以上がこの粉塵に起因する。未舗装の路面の再舗装・水や適切な化学物質を使用した粉塵抑制など、この問題に対処するための技術的選択肢は政策決定において利用可能である。バングラデシュのラジシャヒ市などの一部のケースでは、将来を見通して政治家や市民が、粉塵を抑えるため多くの樹木や低木を植える協調的な活動に参加した。舗装された既存の路面では、加圧スプレーや機器による街路清掃により、粉塵を吸い取るか、または排水システムに洗い流すことが可能である。

次世代型大気環境対策

2030年までにアジアで80%の経済成長が見込まれる中、従来型汚染防止対策の実施は、大気質の悪化を回避する上で有益と思われる。しかし、大気汚染による健康影響をさらに緩和するには他の対策が必要となる。本セクションでは、調理用ストーブプログラムから溶媒管理に至る、従来の排出規制対策よりも多様な対策に焦点を当てる。これら多様な規制の策定や実施に関わるステークホルダーも、より多岐にわたるものとなる。

農業や土地利用の変化には、確立された行動や慣習を変えるインセンティブが必要である

農業残渣

農業残渣の野焼きは、依然としてアジア及び太平洋地域の多くの国々で一般的である。そして、農業残渣の野焼きは、東南アジアの大気汚染の特に深刻な発生源であり、全人為的排出量の5

～30%を占めている。作物残渣の燃焼は季節性が強く、乾期のPM_{2.5}濃度を著しく増加させ、時には地方や地域の汚染エピソードの一因となっている。多くの国で野焼きが禁止されているものの、影響を受ける地域コミュニティの関与を伴わない禁止の有効性は疑わしい。禁止をより確実にするためには、農家と協力して作物残渣の使用の代替策を提供することが必要である。例えば、機械式稲藁梱包機を広く使用すれば、地上バイオマスを農地外使用のための圧縮藁梱包に変換でき、農家は次の作物収穫サイクルのために土地を迅速に準備できる。インドでは、政府が分野横断的なアプローチを取り、農家から農業廃棄物を購入して、それを石炭と一緒に燃焼できるバイオマスペレットに変換するよう電力会社に依頼している。さらに、インドはバイオマスのガス化、残渣をマルチとして埋め込むシードドリルの使用(happy seeders)、農業残渣を生産的な用途に利用し、野焼きの禁止をより効果的にするバイオメタン化プロセスの可能性を模索している。

森林火災及び泥炭地火災の防止

森林火災及び泥炭地火災は、アジア太平洋地域において深刻で根強い問題である。最大規模の火災の多くは、東南アジアで発生しており、その原因はゴム・パーム油・紙の生産のためにプランテーションを拡大する上で一般的に行われてきた強引な土地開墾である。その背景には経済的要因がある。機械による土地の開墾は、火や化学薬品による土地の伐採と比べて、費用が1.5倍から最大40倍かかる可能性があるためである。

農業セクター全体で火を使用しない方法を推進することで、国によっては山火事を最大90%減らせる可能性がある。また、開墾活動が火災のほぼすべてを引き起こしている場合、有用な農業残渣製品の市場を作ることが、火を使わない開墾方法に大きなインセンティブを与えると考えられる。これらの措置は、開墾機材の購入またはリースの支援と共に、あるいは森林保全地域をカーボンシンクとして完全に収益化することで、個別に導入することができる。これらの問題解決に資する地域の取り決めの中で、特に東南アジア諸国連合(ASEAN)越境煙霧(ヘイズ)条約に注目が集まっている。近年、インドネシアがこの条約の批准を決定したことは、煙霧をなくすためのロードマップを生み出し、条項を支える措置により大きなインセンティブをもたらした。

糞尿管理

家畜の糞尿は、アンモニアの主な発生源である。アンモニアは大気中の二次粒子の形成において大きく作用する。しかし、アジア太平洋地域では家畜の糞尿が体系的に管理されることはほとんどない。大半の個人農場は小さなオープンピットを所有しており、そこに糞尿を捨て、後に畑で使用するために堆肥にする。大規模な工業用畜産農場は作物生産地域にはないため、糞尿を有機肥料資源ではなく廃棄物として扱っている。地面に施用される糞尿は、一般的に広く散布され(よく

Broadcasting と呼ばれる)、急速に土壌に取り込まれることはほとんどない。そのような貯蔵及び散布方法では、窒素がアンモニアとして揮発し、窒素の大きな損失となっている。

施設内貯蔵タンクの使用及び堆肥施用後の土壌への迅速な混合などにより糞尿管理の慣行を改善することは、アンモニアの放出減少の有効な手段である。また、多くの国において、炊事または発電用のバイオガス生産や、結果として生じるスラリーを肥料として使用する農場・コミュニティプロジェクトで嫌気性肥料消化を利用できる可能性がある。

より効率的な施肥

現在、アジアにおける無機窒素肥料の総消費量は世界の使用量の 60%を占めている。中国とインドは、窒素ベースの肥料、特に尿素の最大の生産国であり消費国である。しかし、窒素ベースの肥料の使用が非効率的であれば、窒素化合物が大気や生態系に大量に放出されることになる。環境への影響と補助金のコストを抑えながら、これらの損失を減らすための対策を採用している政府もある。例えば、インドは、窒素の損失を 10~15%減らすことができる硝化抑制剤であるニーム油で尿素系窒素をコーティングすることを課すイニシアチブを導入した。その他、窒素の分割施用、緩効性ないしは徐放性肥料の使用、特殊肥料の促進、さらに作物窒素の必要量を決定するための葉色図の使用などの有望な技術によって、インドでは 2030 年までに窒素ベースの肥料の損失を、20~25%防ぐことができる。バングラデシュは、スーパー尿素顆粒、尿素の深層配置、バイオ有機肥料及び低投入量の作物品種など窒素ベースの肥料の使用効率を高めるための革新的なアプローチを導入した。その結果、米の収量は 15~20%増加し、窒素ベースの肥料の使用量は 20~30%減少した。

中小企業やインフラ開発には、排出量を削減するための革新的な管理アプローチが必要かもしれない

レンガ窯

レンガ窯はアジアの多くの地域で大気汚染の主な発生源となっている。レンガ窯による排出に苦しむ国々にとって、汚染を減らす一つの方法は、比較的エネルギー集約的な固定煙突窯から、より効率的なジグザグ垂直シャフトレンガ窯やトンネル窯への移行である。これらの移行による全体的な影響は、燃料の種類、技術、そして新しい技術の維持管理によって異なる。おそらく、新技術の有効性を判断する上での最大の変数は、長年の生産方法をどの程度変更できるかということである。各国は、固定煙突技術の段階的廃止(バングラデシュ)や、レンガ生産の効率化を目的とした持続可能な建築物政策(ベトナム)を通じて、生産方法の見直しを模索してきた。ネパールのカトマンズ渓谷で近年成功した事例では、窯の管理者が専門家チームと協力して合理的なコスト

(平均約 10 万米ドル)で窯のデザインを変更しながら、ジグザグ窯に移行した。その結果、粒子状物質は 60%削減、石炭消費量は 40~50%削減され、高品質 A グレードレンガの生産量が 90%まで増加した。バングラデシュ、インド、ネパール及びパキスタン等のレンガ窯起業家は、同様のアプローチを採用することを視野に入れてこのネパールの窯を視察した。

海運に伴う排出

海運に伴う排出を管理することは、沿岸の港湾都市及び海上交通量の多い地域における大気質管理と公衆衛生の改善にとって重要である。港湾と貿易の競争力を懸念して、アジアの港湾都市では海洋燃料に関する規制の導入に時間がかかっている。海運に伴う汚染源の情報が欠如していたことで、大気汚染政策、公衆衛生の負担評価、さらに気候変動戦略に十分反映されてこなかった。海運排出量の増加は、東アジア地域における健康と気候への悪影響につながることを示唆する研究もあり、懸念されている。

香港(中華人民共和国特別行政区)は、世界のトップ 10 の国際コンテナ港の一つであり、過去 10 年間にわたって海運排出量の削減に積極的に取り組んできた。2015 年 7 月以来香港で実施されている外航船バースでの使用燃料規則は、アジアにおける外航船に対する初の海上燃料規制である。中国本土においても、沿岸水域における国内大気汚染物質放出規制海域(DECAs)の設置(3カ所)が採用され、2019 年には全国でこの規制が発効する。最新の予測では、管理措置が無い場合、2013 年から 2020 年の間に、この 3 つの DECAs で二酸化硫黄と粒子状物質の排出はともに 15~61%の増加が見込まれる。

産業及び精製所における溶剤

産業及び家庭における、塗料、化粧品、ゴム及び化学薬品の製造と使用から排出される大気汚染排出物について懸念が高まっている。これらの物質の使用が急増していることから、溶剤を大気汚染対策の対象にする一層の努力が求められている。2013 年の中国の大気汚染防止と管理に関する行動計画には近年の取り組みが含まれている。異なる規制様式を持つ日本政府は、業界団体と協力して自主的プログラムを設計し、その結果、漏洩検知、修理及び/または溶媒回収が行われた主要産業において揮発性有機化合物の排出量が減少した。インドでは、デリー政府が揮発性有機化合物の排出量を削減するため、ガソリンポンプへの蒸気回収システムの設置を積極的に推進している。2017 年には、デリーのガソリンスタンドの約 60%が、排出量を削減するだけでなく燃料をも節約するこれらのシステムを装備している。

優先的開発課題に資する対策

優先的開発課題に資する対策は通常、大気質の改善だけでなく他の開発課題の解決を目指している

大気汚染防止に関する従来型対策や次世代型対策を実施すると、健康に良い効果がもたらされるが、優先的開発課題に資する対策を追加的に実施することで、2015年比で2030年までにPM_{2.5}への曝露人口を最大60%減らすことができる。2015年にはアジアのわずか8%の人口しかWHOガイドラインの範囲内の大気質を享受できなかったのに比べ、約22%を占める10億人がWHOガイドライン範囲内の大気質を享受できることになる。また、WHOの暫定目標1、すなわち最も高いレベル以上の汚染にさらされる人口は2015年の23億人から80%減少し、2030年には4億3,000万人になるだろう。優先的開発課題に資する対策は、多くの場合、エネルギー、農業、運輸部門など、さまざまな部局の管轄下にあり、たとえそれらが大気汚染を主対象としていなくても、大気質改善に資する追加的な手段となる。

固形燃料ストーブ、灯油ランプやストーブの排出低減措置の導入は多くの国の優先的開発課題である

クリーンな調理と暖房

エネルギーが不足している地域では、暖房や調理目的に家庭用ストーブで薪、動物の糞その他のバイオマスを燃やし、非効率な灯油ランプを使用している。燃料の燃焼の不均一さに加え、換気不足が室内の空気汚染につながっている。これは、調理器具のそばで長時間を過ごし、調理ストーブへの曝露が多い女性と子どもに特に悪影響をもたらす。

国家による調理ストーブのプログラムが最も注目を集めたのは中国である。1970年代後半から1990年代初めにかけて、省庁が協力し「国家改良型調理器プログラム(National Improved Stove Program: NISP)」を導入し、中国の人口の65%にあたる1.29億戸によりクリーンなストーブを配布した。当プログラムは、農業省による継続的な努力や他省庁の支援を得て、地方ごとに適切な対策を実施した。柔軟な対応することで各省庁は小規模プロジェクトを徐々に拡大していくことができ、また地方のエネルギー会社は製品を改良できた。例として、2007年に中国政府は「一つの太陽熱調理器・一つのバイオマスストーブプログラム」をチベットに導入し、4年間で8万台近くのバイオマスストーブと約25万台の太陽熱調理器を支給した。しかし、多くの場合、台所では従来の調理器も同時に使用していたため、このプログラムは室内空気にあまり改善をもたらさなかった。中国の調理器プログラムは近年、さらに新しい技術やプログラム管理、上位政策との関係強化などにより改善が図られた。

インドもまた、全 2.4 億戸のうち近代的な調理方法を持たない 1 億戸に対し調理器のプログラムを導入した。効率的（換気扇付きを含む）で安価であり、丈夫で使用が簡易な調理器の開発と推進を行うプログラムの先駆けとして改良式チュラ（調理用のかまど）国家プログラムが実施され、最近国家バイオマス調理器イニシアチブに発展した。近年良く知られるイニシアチブには、他にも「Pradhan Mantri Ujjwala Yojana」という野心的な政策がある。インドの石油天然ガス省により 2016 年に発表され、エネルギー不足の家庭 1 億戸に対し、液化石油ガス（LPG）への接続ポイント 3,500 万カ所を提供したほか、LPG 使用や安全性への懸念、情報を利用者が共有する会合（Ujjwala Panchayats）の開催も行われている。また、インドでの小規模の活動においては、伝統的知識の活用やニーズに合わせた調理器の調整などが行われてきた。

家庭内の空気汚染源改善のためのプログラムは、大抵の場合、調理器具や燃料の交換に集中してきた。しかし実際は、木材、石炭やほかのバイオマスは暖房にも使われている。それらの機器には規制や設計基準が課せられているため、排出量は比較的低い。一方、中国やモンゴルなど、大きな空間を暖める必要がありかつ石炭が入手しやすい地域では、石炭燃焼の暖房用ストーブがよく使われている。家庭用暖房における固形燃料の使用が禁止されている一部の都市域を除き、これらの地域の石炭ストーブは通常古く、燃焼効率が悪いが規制が無いことが多い。

特に冬季、高緯度、高高度地域など空間暖房の需要が大きい場合、多くのストーブが調理と暖房両方の用途に使われている。一晩中暖房に使い、また毎日 2～3 食の調理にも使用するなど、日常的に長時間使用される可能性が高いことから、調理・暖房両用ストーブは特に重要である。両用ストーブに対しては以下のような対策がある。排出基準の策定・分析と認証・エコ認証・先端的な低排出ストーブの技術開発・燃料転換・区域暖房・バイオ燃料のアップグレード、ペレットストーブへの移行・家庭エネルギー効率の改善・調理用と暖房用の機器と燃料の分離・ストーブ交換プログラム・関連する政策や制度の導入・資金調達活動などである。

再生可能エネルギー

再生可能エネルギーや高効率エネルギー技術の利用促進政策は、エネルギー需要を下げ大気環境を改善する

再生可能エネルギーや高効率エネルギー技術の利用促進政策は、エネルギー消費を減らしかつ大気汚染を低減させる。再生可能エネルギーに関する基準から固定価格買取制度（FIT）まで、太陽光・風力のコスト削減・発電量増大につながる政策をアジア太平洋の多くの国が導入してきた（図 3.4 参照）。最も顕著な例が中国であり、2016 年には太陽光発電量は 28 テラワット時（TWh）、風力発電量は 55 テラワット時（TWh）に及んだ。これは、世界の太陽光と風力の発電量それぞれの 36%と 42%に相当する。コスト削減や発電量増大はインド・インドネシア・日本・フィリピン・タイな

どの国において継続する見込みである。クリーンエネルギーの消費拡大やエネルギー効率改善は、中央政府の積極的関与以外でも生じうる。韓国のソウル市は、「原子力発電所を一つ減らそう」プロジェクトを推進し、併せて、都市の大気質も改善する需要主導型の省エネ対策を数多く導入した。

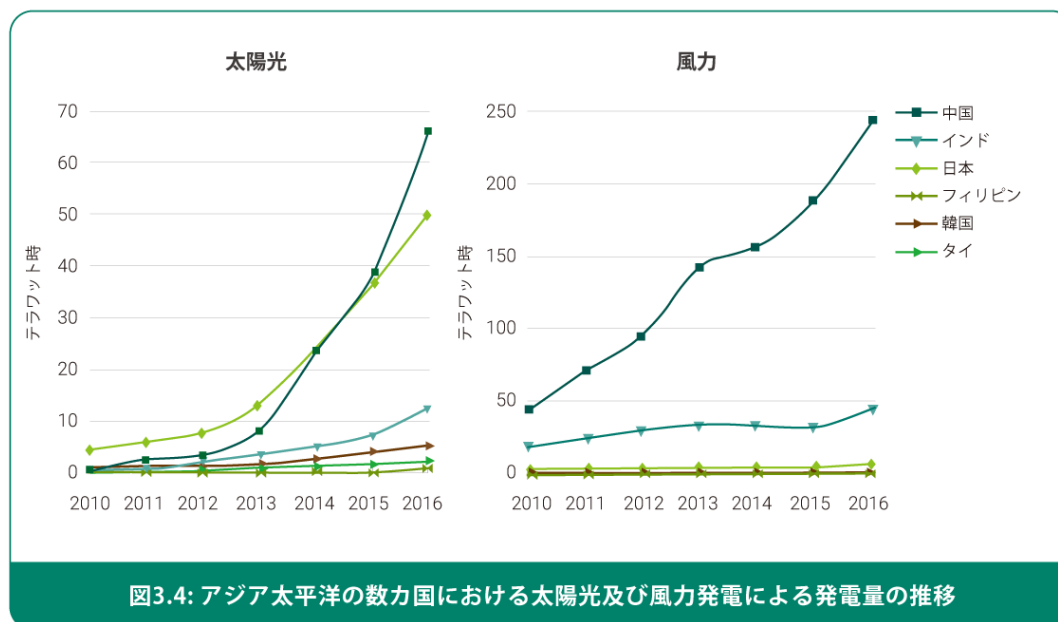


図3.4: アジア太平洋の数カ国における太陽光及び風力発電による発電量の推移

エネルギー効率基準—家庭と産業

家庭と産業におけるエネルギー効率の改善は、多くの場合、投資期間の間にコストが回収できる。この可能性は中国政府によって認識されており、第11次・第12次・第13次5カ年計画において野心的なエネルギー効率目標を設定した。中国はまた、国内で最もエネルギー消費の多い1,000の企業に対して、エネルギー効率向上のための研修・監査・報告から成るプログラムを導入した。このプログラムは後に、エネルギー使用量の多いトップ10,000社まで拡大された。その際、多くの権限が地方自治体へ委任された。インドもまた、エネルギー効率の改善に積極的に取り組んできた。2001年の省エネ法のもとエネルギー効率局(Bureau of Energy Efficiency: BEE)を設立し、様々なメカニズムを通じ省エネと効率向上を図った。BEEは、家庭向けの製品に対し認証制度を導入し、消費者へ省エネに関する情報提供を行った。BEEはエアコンなどの製品について、エネルギー関連の認証ラベルを義務化し、それがなければ販売できないようにした。また、アジア太平洋全域で、家庭における電力消費に関する意識を高め、電力の高効率製品の購入を促進するため、電力のプリペイドカードを導入する試みも行われている。

公共交通の改善

先進国には比較的発展した公共交通システムがあり、これが個人交通の需要を減らしている。これらのシステムは、自動車の購買意欲を低下させる対策と組み合わせると最も効果的である。この観点で、シンガポールの交通需要管理戦略―市内の要所に入る車への課金導入―が多くの注目を集めた。小規模な都市でも公共交通と都市計画に政策的な介入を同時に行い、成果を上げている。一例として、日本の富山市の事例があげられる。富山市では住民が郊外へ移住する傾向があった。人口を都市部に戻すため、都市をよりコンパクトにし、路面電車システムを導入するなど様々な政策が行われた。

電気自動車

中国は電気自動車の供給や需要を世界的に牽引している。中国政府は、電気自動車の購入に対し補助金を供給し、そして数都市において電気自動車への制限を排除する政府の戦略を取っている。インド政府もまた、電気自動車を積極的に推進している。シムラ市とムンバイ市の一部は業務用に電動バスを導入した。民間企業による取り組みとしては、ナグプール市のタクシー会社が行った電気自動車の複合輸送のパイロットプロジェクトなどがある。

固形廃棄物管理

アジア太平洋地域には様々な廃棄物の管理技術や手法があり、最善の解決策をひとつ選ぶことは実質的に不可能である。地域の先進国では、おおむね、廃棄物からエネルギーを得るエネルギー回収を伴う焼却や、リサイクルなど先端技術を取り入れていることが多い。一方、途上国では直接埋め立てに頼ることが多い。それは場合によっては違法なオープンダンピングや焼却、非公式なリサイクルや中間処理などを伴う。大洋州の島嶼国では廃棄物の燃焼が大気汚染の最も大きな原因の一つとなっている。

廃棄物管理における国ごとの違いは、その運搬を起点とする経路の分岐点で明確に現れる。オーストラリア・日本・韓国・シンガポールなど発展した経済国では、廃棄物の収集や運搬に技術的な手法を用いている。具体的には、(収集運搬のために)自動車や動力付き圧縮機、廃棄物中継施設を有し、発生源での分別やリサイクルを実施する。インドネシア・マレーシア・タイなどの新興経済国も少なくとも大都市では秩序だった廃棄物の収集と運搬を行っているが、リサイクル品の回収は非公式であったり、廃棄物バンクなどコミュニティベースで取り組まれている。発展途上地域におけるリサイクルは非公式セクターと関連している場合が多い。政府の政策としてリサイクルを推進している国もあるが、市場ベースの、多くの場合非公式なリサイクルはバングラデシュ・カンボジア・中国・インド・インドネシア・フィリピン・タイなどで一般的である。したがって、リサイクルをアジア地域で体系的に推進するには、政府が非公式セクターと協力する必要がある。

アジア太平洋地域の多くの国において、焼却は廃棄物や排泄物を処分するための比較的簡易で安価な方法である。焼却は特に廃棄物処理場へのアクセスが限られている家庭において習慣となっている。また、初歩的な埋め立て場のあるコミュニティでは、自然発火による火災が発生することがある。多くの国や地方では、罰金や罰則など廃棄物焼却を禁止する法律を導入している。たとえば、フィリピンの環境個体廃棄物法は焼却を禁じ罰則を規定している。しかし、法的措置の認知度は低く、また、その執行は限定的か、全く無いケースもある。最も効果的な解決策は技術的な手法と情報キャンペーンを組み合わせることである。例えばフィジーでは、リデュース・リユース・リサイクル広報プログラムを導入し、廃棄物の発生量や焼却の習慣を減らすことに成功した。太平洋島嶼国は協力して、廃棄物管理を向上させ、焼却のニーズを削減するための地域戦略の策定に着手した。

水田

水田では、嫌気的な条件下、有機物が腐敗しメタンが発生する。田植え時期に水抜きや時折曝気を行えば、この嫌気発酵を中断し、メタンの排出量を減らすことができる。多くの農家は節水や収穫量の増加を目的に水抜きの習慣を取り入れ、その副次的効果としてメタンの発生が削減された。効果的な方法は多いため、水抜きに関する成功事例を周知する必要がある。日本の農家は、収穫量を増加させる目的で田植え時期の最中に 10 日間水抜きを行う習慣を取り入れている。最近、中国はより徹底して水抜きを行うようになった。1980 年から 2000 年の間、水抜きを行う農家は約 25% から 80% へ増加した。

廃水処理

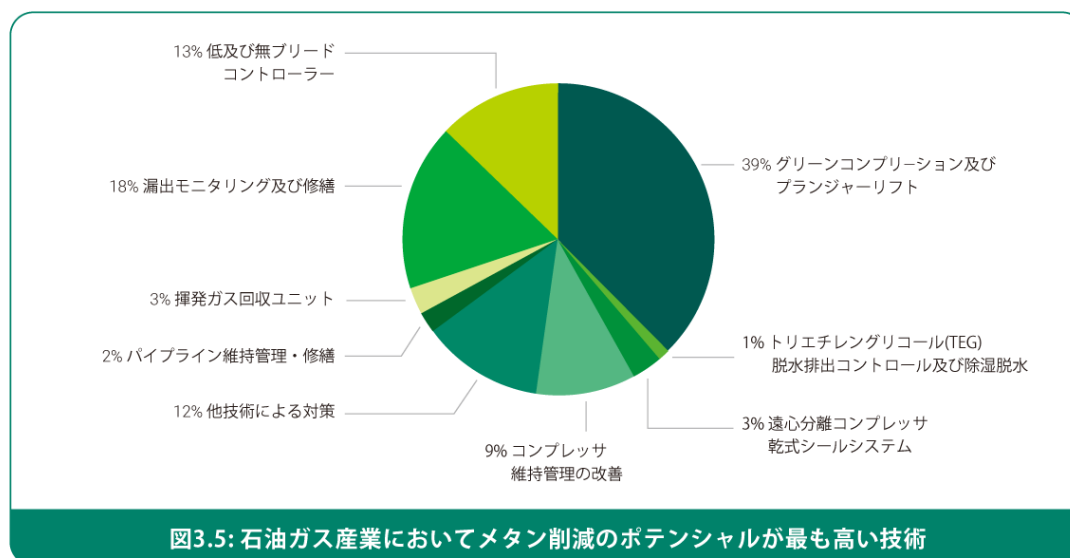
アジア太平洋において、不十分な排水処理システムはメタンの大きな排出源である。ほとんどの先進国では、メタン発生量が少ない集中型の好気的下水処理施設が、都市下水処理として一般的に導入されている。主に途上国においては、下水処理施設の欠如や技術的・組織・経済的な能力不足により、家庭排水の 89% が近隣の水域に未処理のまま排出され、表流水や地下水に深刻な汚染を引き起こしている。途上国における設備は、有機物の嫌気性消化を利用して、安価かつエネルギー消費の少ないものが好まれる傾向がある。

一般的な設備としては、バイオガス消化槽・ラグーン・中～大規模な嫌気消化槽・腐敗槽（セプティックタンク）その他のタイプのトイレなどがある。アジア太平洋において、嫌気消化によるバイオガスの生産は家畜糞尿や下水汚泥の処理にも広く使われている。下水由来のメタン発生の削減やその回収に有用な実証済みの技術的手法は複数ある。この中には、嫌気性汚泥消化の導入・既存の屋外嫌気ラグーンにおけるバイオガス回収装置の導入・集中型好気性処理設備や被覆ラグーンの導入・都市下水の嫌気反応槽の排水出口における簡易なガス抜き装置の追加・適切な運

転・維持管理の確保と適切に運転されていない既存施設や設備の最適化などが含まれる。

石油・ガス

石油ガス産業では、生産から精製、輸送、供給にかけて全ての部門でメタンが排出される。メタンの排出は、主に通常運転、所定の保守、漏れや施設不備から生じる。これらの工程で発生するメタン排出を低減させる技術は数多く存在する(図 3.5 参照)。シェールガスを含む石油ガス生産からくる、想定外、また不要なメタンを回収する「対策(オポチュニティ)トップ 10」の分析を行ったところ、対策を導入するとメタン排出を約 88%削減できることが示された。石油ガス産業はメタン削減の必要を理解している。2017 年、世界最大の石油ガス企業 8 社によりメタン削減に努めることが合意された。BP、トタル、エクソンモービル、ロイヤル・ダッチ・シェルとその他 4 つの企業は、エネルギーインフラからの漏出を最小化するための行動規範の導入に合意をした。アジア太平洋地域の数カ国では、排出防止技術の有効性を実証した。例としてインドでは、ムンバイハイ油田から輸送されるフレアガスのリサイクルと回収促進システムが導入された。インドネシアでは気候変動対策の一環としてゼロフレア政策が講じられた。



採炭

採炭の過程でも大気中にメタンが排出されることがある。アジア太平洋では採鉱技術の生産性向上や、ガス量が多く深い鉱脈からの採鉱量増加に伴い、採炭時のメタン排出量が増加する見込みである。メタンを回収しエネルギーを生み出し、産業用ボイラーを運転するなど、生産的な目的に使うことができる。これは(地下水から)メタンを取り出し、脱気設備の設置によって可能となる。場合によっては、ガス突出や爆発を防ぐため、空気によって薄められたメタン(通称炭坑通気メタン: Ventilated Air Methane)を回収するため改良されたガス抜き設備が必要となる。先進国の炭鉱

においては回収設備を設けることが一般的となっているが、高額な投資が必要であるため途上国では一般的ではない。この課題を克服するため、約 10 年前、中国はクリーン開発メカニズム (CDM) から資金を得て回収技術の移転を図った。それ以降も、メタン回収プロジェクトへの投資家に対し、規制の軽減や免税など経済的なインセンティブを設けるなどの政策を推進してきた。

ハイドロフルオロカーボン

フロン(ハイドロフルオロカーボン:HFC)の排出削減措置は、エネルギー消費量や汚染物質の排出削減にもつながる。このような措置の一例として、大・中規模の施設を改修し、地球温暖化係数(GWP)の低い冷凍、空調その他の製造プロセスを導入するが挙げられる。この試みはインドネシアで行われており、アルファミディというコンビニエンスストア 1,000 店舗近くで省エネタイプの冷蔵設備が導入された。他にも良い事例として、インドの Godrej & Boyce 社という装置の製造会社による取り組みが挙げられる。ドイツの GIZ とインドの環境省の支援のもと、高い GWP 技術からリープフロッグし、直接低い GWP のオプションを取り入れた。これにより、プロパン(HC-290)を冷媒とした室内冷房器を 10 万基以上販売した。アジアの大半がフロン製品の輸入国であるため、政策立案者や基準設定機関は、フロン製品の蓄積と投棄を避けるための明確な市場シグナルを必要としている。2015 年に施行された日本の改正フロン回収・破壊法は、製造業者にガスの処理及びフロン使用製品の規制を要求する措置を明示している。

準地域的優先事項

アジア太平洋地域では最優先事項ではないが、準地域レベルで重要な対策は、準地域または特定国における排出量の大幅な削減につながる可能性がある。例えば、バングラデシュで、政府は米の湯通し設備を重要な大気汚染物質排出源として特定し、排出量抑制のための改善策を導入した。

大気汚染エピソード

人々の注目を集める高濃度の大気汚染エピソードに対し、アジア太平洋地域の政府は、想定される汚染の深刻度を軽減し、人々の大気汚染への曝露を最小限に抑える短期的な対策を求めている。

大部分の汚染エピソードは、都市の風上の広い範囲における大量の汚染物質排出によって引き起こされ、例えば風速が低い場合や大気攪拌が限定される好ましくない気象条件によって拡大される。

汚染の原因となる排出物(PM_{2.5}、二酸化硫黄及び窒素酸化物などを含む)は約 1 週間大気中にとどまる。その間、風上の排出源は対象地域の汚染を悪化させる。短期的な行動計画を効果的にするためには、排出規制は予測されるエピソードの約 1 週間前に開始する必要がある。また汚染エピソードで典型的な低風速を考慮し、最大 1,000 キロメートルほどの風上地域の規制を検討するべきである。さらに、エピソードが予測される期間の天気予報の不確実性を考慮し、検討領域を広げる必要もある。

これらのエピソードの影響を管理し軽減するために多くの技術的手法が採用されてきている。大気汚染の深刻さに対する意識を高め、特に脆弱な人々が屋外に出ないよう奨励することに焦点を当てるものもある。これには警報システムの設置と市民とのコミュニケーション計画の確立などがある。自動車の一時的な利用制限や建設事業の停止などを行う手法もある。これらのアプローチの多くは、中国で実施された。2013 年、政策立案者の注目を集めた激甚な汚染エピソードが中国で発生し、それを受けて導入されたものである。(モデル化した)東南アジアでは国境を越えた排出を伴うことが多く、これは「ASEAN 越境煙霧(ヘイズ)汚染協定」の強化につながった。

特に中国では、短期的な政策介入が成功した例がある。これは、大変広い地域にわたって大幅な排出削減を実現するため、それを実施できる強い権限を必要としている。広範囲の経済活動を一時的に停止するなどの政府権限が十分でない場合には、このような介入はあまり成功していない。

このような破壊的な介入の経済効果には疑問が持たれている。一方で、最も大きな汚染源からの排出量を計画的に削減する長期戦略は、生産プロセス全体の停止要求、人や物の移動制限、労働生産性低下などといった(短期的)政策よりも、費用対効果が高いものと考えられている。

「クリーンエア対策トップ 25」を国のコンテキストに合わせる

「クリーンエア対策トップ 25」の対策は、各政府が各国の状況を鑑み検討するための選択肢を提供している。すべての国で一律に適用できる解決策はない。優先順位は国によって、また国内でも異なる。したがって、意思決定者は、選択肢をそれぞれの国の状況に合わせて調整する必要がある。さらに、一律に定まった順序もない。意思決定者は、産業界に目を向ける前に、農業に重点を置くことを望むこともあり得る。また、運輸関連でディーゼルから天然ガスなど異なる化石燃料への移行にフォーカスするかもしれない。このようにプライオリティは国によって異なるが、本報告書の主なメッセージのひとつは、意思決定者は解決策の科学的根拠の強化を目指すべきということである(図 3.1)。その際、トップ 25 の措置のすべてが、この地域である程度の成功を収めたことを理解する必要がある。これらの解決策は、科学と経験に基づいたものである。

次の論理的な質問は、成功事例の根底にある成功要因は何かというものである。表 3.1 は、成功

事例を要約し、その背後にある主な要因を説明している。モデルとなる要因は、大気汚染の規模と深刻さに対する意識の高まりを含むことが多く、健全な意思決定に必要な科学的根拠を築く重要性を強調している。また、他の成功要因は、規制基準から税制優遇措置まで、対策の導入のための条件を揃える政策の重要な役割を強調している。最後に、成功した対策のリストは、実施のための政策、経済的インセンティブ、その他の資源を導入する上で、政府内外の様々なステークホルダーの有する重要な役割を示している。

次のセクションでは、様々な選択肢のポートフォリオを実装し、「クリーンエア対策トップ 25」を推進する政策の遵守を向上させる「ガバナンスとファイナンス」に焦点を当てる。

表 3.1: クリーンエア対策を成功に導く要因

「従来型対策」のアジア地域への適用		該当の事例/ケーススタディ	成功要因
燃焼後制御	最先端のエンド・オブ・パイプ技術の導入による、発電所や大規模産業からの、二酸化硫黄、窒素酸化物、粒子状物質の排出の削減	タイの排煙脱硫技術の導入	汚染防止／クリーン技術への投資を促進する基準の強化。基準の強化は、健康影響調査(WHO ガイドライン)に基づいて実施
工業プロセス排出基準	鉄鋼プラント、セメント工場、ガラス製造、化学工業など、特定の産業に対する高度な排出基準の導入	中国の廃熱回収技術の採用	汚染防止／よりクリーンな技術への投資を促進する生産・性能・排出基準の強化
自動車の排ガス基準	すべての排ガス基準を強化；小型及び大型ディーゼル車の規制に特別の重点	自動車の排ガス基準のアジアにおける強化と更新	環境当局、運輸当局、石油会社、自動車メーカーの間の協働
自動車の保守と検査	自動車の車両点検と修理の義務化	東京のディーゼル車規制戦略	複数の機関の協働による中央集権型保守・点検システム；検査センターでの定期検査を支える自己資金メカニズム

粉塵対策	建設・道路粉塵の抑制;緑地の拡大	バングラデシュ(ラジャシ)の植樹計画	将来を見据えた政治家と一般市民の支持
------	------------------	--------------------	--------------------

アジア太平洋の多くの地域で、未だクリーンエア政策の主要な要素ではない「次世代型大気環境対策」		該当の事例/ケーススタディ	成功要因
農作物残渣	農業残渣の管理、野焼き禁止の厳格な執行	タイの屋外焼却規制	政策立案者と公衆による汚染源やその影響に関する意識向上;農民の参加のもとで、作物残渣のオフサイトでの利用や畑に残渣を鋤き込む技術の採用等の代替手段による焼却禁止の補完
家庭ごみの焼却	家庭ごみの野焼き厳禁	韓国の廃棄物管理政策	埋立地と焼却に関する技術的規制;リサイクルのための非公式部門との協力
森林・泥炭地火災の防止	森林・土地・水管理の改善と防火対策による森林・泥炭地火災の防止	インドネシアによるマレーシア/シンガポールとの協力	ASEAN 越境煙霧(ヘイズ)汚染に関する協定
家畜の糞尿管理	糞尿の屋根付き貯蔵、効率的活用;嫌気性消化の促進	中国の農業政策	堆肥を被覆するための規制、政策及びプログラムの組み合わせ;糞便の土壌との混合
窒素肥料の施用	効率的な施肥方法の確立;尿素肥料施肥方法の検討(ウレアーゼ阻害剤使用や硝酸アンモニウムなどによる代用)	バングラデシュのスーパー尿素顆粒の使用	改質硝酸アンモニウム肥料への変更;窒素肥料の効率的施肥の費用便益分析
レンガ窯	効率の改善、排出基	ネパール・カトマンズ	改修の便益の明確

	準の導入	における窯のブルトレ ンチ (bull trench) 型からジグザグ (zig zag) 型への移行	な説明; 窯の再設計 における窯の所有者 技術専門家との協力
国際海運	低硫黄燃料の使用と 粒子状物質の排出 規制の義務付け	香港の港湾における 排出規制	国際海事機関 (IMO)からの支援
溶剤の使用と精製所	工業用及び家庭用 の低溶剤塗料の導 入; 漏出検知; 焼却 及び回収	中国の揮発性有機 化合物の規制政策	粒子状物質による公 害への公衆の関心 の高まり; 包括的な 削減目標

大気とのコベネフィットを有する「優先的開発 目標に資する対策」		該当の事例/ケース スタディ	成功要因
クリーンな調理と暖 房	クリーンな燃料の使用—都市部における 電力、天然ガス、液 化石油ガス(LPG)の 使用。農村地域にお ける LPG、先進バイ オマスによる調理・ 暖房ストーブの使 用; ブリケットによる 石炭の代替	中国とインドの調理・ 暖房プログラム	調理が健康に与える 影響についての政策 立案者の意識の高 まり; 以前のプログラ ムの設計から学んだ 教訓
再生可能エネルギー 発電	風力、太陽光、水力 発電の利用拡大の ためのインセンティ ブの導入、非効率な 発電プラントの段階 的廃止	中国、インド、インド ネシア、日本、タイ、 フィリピンの再生可 能エネルギープログ ラム。韓国・ソウルの 原子力発電所を一つ 減らすプロジェクト	再生可能エネルギー をエネルギー及び気 候政策に含める; 化 石燃料や原子力から 再生可能エネルギー への転換を求める市 民の圧力
家庭の省エネ	家電・建物・照明・暖 房・冷房の省エネ推 進のためのインセン ティブの導入; 屋上	インドの家庭エネル ギープログラム。オ ーストラリアの屋根 上ソーラーインセン	省エネ部局の創設

	の太陽光の設置推進	タイプ	
産業向けの省エネ基準	産業向けの野心的な省エネ基準の導入	中国の5カ年開発計画	5カ年計画にエネルギー効率目標を含める
電気自動車	電気自動車の利用促進	電気自動車やハイブリッド自動車を支援するモンゴルの物品税	電気自動車の使用を支援し促進する政策
公共交通機関の改善	一般車両から公共交通への転換の奨励	富山市のコンパクトシティ計画	コンパクトシティ計画による統合
固形廃棄物管理	発生源での分別、ガス利用を含む(適切な)処理などによる集中的な廃棄物収集の促進	太平洋諸島及び小島途上国の廃棄物管理	地域廃棄物管理の方針と戦略
水田	継続的に湛水された水田における間欠的な曝気の奨励	ベトナムの農業慣行	水田の灌漑・水抜き政策の慣行の確立
廃水処理	バイオガス回収を伴う二段階処理の導入	日本の処理技術	分散型排水処理装置の推進
石炭鉱業	採掘前の炭鉱ガス回収の奨励	中国のメタン回収計画	既存の経済的インセンティブや税金の活用; インセンティブ; 明確に定義されたガス資産の権利; 補助金のない自由なガス市場; 教育及び情報発信
石油・ガス生産	随伴ガスの回収奨励; ルーティン・フレアリングの停止; 漏出抑制の改善	インドのフレアガス回収システム	民間企業による集团的行動
ハイドロフルオロカーボン(HFC)冷媒の交換	大気環境改善のための開発優先目標に貢献する(モニタ	インドネシアのHFC削減政策	政府による低GWP冷媒への移行の義務付け; 技術変更に

	オール議定書)のキ ガリ改正の完全遵守		よるコスト削減の明 確な提示
--	------------------------	--	-------------------

ガバナンスとファイナンス

マルチステークホルダーのパートナーシップは、(様々な取り決めへの)コンプライアンス(遵守)を向上させ、より清浄な大気とその他の便益を生み出す

環境政策で常に問題となるのが、(法律のように)紙に書かれていることが実際には実施されないケースが多いことである。残念なことに、コンプライアンスの欠如は、この地域において、大気汚染の防止と管理を進展させる上での大きな障害となっている。このセクションでは、そのハードルを克服し、長期にわたる実施のギャップを埋めるのに役立つガバナンスとファイナンス(資金調達)の取り決めについて説明する。

ガバナンスという用語は、公に望ましい目標を追求するために権限を行使することを指す。ガバナンスがどのようにして政策のコンプライアンスを向上させることができるかを検討するとき、最初に考慮すべき重要な点は、関連機関が大気汚染を管理する権限を持っているか否かである。環境政策の執行は異なる法律やガバナンスの枠組みによって複雑になる可能性があるため、大気汚染規制の明確な権限を持つ政府機関を設置することは、「クリーンエア対策トップ 25」の多くを成功裏に導入したい場合には必要不可欠である。アジア太平洋地域の大部分の国では、大気環境管理庁または環境庁(または省)内に専門の部署を設けている。実際にそこでは、近年人員と予算が増加している場合が多い。たとえば、中国の環境保護局に勤務する職員数は 1998 年から 2014 年の間に 2 倍になった。本報告書に示された目標を達成するためには、多くの国において、この傾向は今後も継続され、大幅に強化される必要がある。

もう一つの問題は、環境機関が排出源を規制する事実上の権限を持っているかである。この地域で環境機関の地位は向上しているものの、他のより強力な機関が相反する目的を持っている場合には、計画の推進は困難となるであろう。政府機関間または機関内での調整は不可欠である。たとえば、より統合された大気汚染・気候変動の政策やそれに関する政府機関間の調整は、同時に大気質を改善し、気候変動も緩和し、そして他の一連の便益も生み出しうるからである。幸いなことに、関係の政府機関の間の権力関係の変化やより良い(省庁間)調整のきざしがある。たとえば、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)で誓約されている国別約束(NDC)に大気汚染が含まれていることが挙げられる。

その他、考慮すべきことは、中央政府からの権限委譲である。過去 20 年間で、ガバナンスは多層

的または多面的になり、中央政府以外にもさまざまなステークホルダーの間で権限が共有されるようになった。この権限の再分配を反映し、都市は大気汚染に関する多くの新しい責任を負うこととなった。地方自治体が十分に厳密ではなく、能力が欠如している場合、権限移譲や垂直統合は問題となる可能性がある。一方で、地方自治体が重要なイノベーションの場となる可能性もある。これは、地域全体で見られる公共交通機関や都市計画の改革に明確に現れている。場合によっては、地方自治体が大気汚染への新たな解決策を導入するために必要な財源や助成金を、中央政府の財政政策を通じて確保し、技術革新を促進できるのである。

一部の国、たとえば大洋州の島嶼国では、伝統的な指導者たちが政府当局よりも地域社会に大きな影響を与える可能性がある。フィジーでは、家庭廃棄物・農業廃棄物・森林の焼却を禁止する指令を執行する権限を伝統的指導者に与えた方が、政府の指令に比べより効果的であった。

正式にはガバナンスシステムの一部ではないものの、信頼性があり正確かつタイムリーなモニタリングデータの提供も、ガバナンスを改善するためには不可欠である。大部分の大気環境モニタリングステーションは、PM₁₀、PM_{2.5}及び全浮遊粒子状物質を測定している。一般的に先進国と途上国の首都でより広範囲において測定が行われている。日本、韓国、シンガポール、タイなどのほとんどの大都市では厳格なモニタリング手順が遵守されているが、他の多くの都市では器材の確保・モニタリング手順・モニタリング箇所の決定手順、データの質の保証・データの管理手順など多くの問題に直面している。

環境政策や環境大気モニタリングを支援する上で、市民社会の役割はますます重要になった。各国は、市民社会組織や一般市民が汚染についての懸念を通報する窓口を設置している。公的機関と市民社会組織の両者が、規制当局に法令遵守の欠如を通報することにより、大気汚染モニタリングにおいて重要な役割を果たすことができる。モニタリング機器の価格が手頃になってきていることも、市民自らが政策に関連するデータを作成することを可能にしている。

コンプライアンスのギャップの背後にある主な原因の一つは、汚染防止・管理に必要な財源の不足である。ほとんどのアジア諸国は、国の年間予算の一部として、環境管理のための財源を割り当てている。この種の支出増加を助ける一つの方法は、都市の開発計画における大気汚染防止対策の優先順位の確保である。それにより、対策実施のための資金は地方レベルで割り当てられるからである。官民パートナーシップは、よりクリーンなインフラを支えるのに役立つ。政府は、大気汚染防止プロジェクトに資金を供給するために特別な予算を設定することもできる。フィリピンは、運輸部門におけるシードマネーによる排出削減イニシアチブとして、「自動車公害防止特別基金」を設立した。これに必要な資金は、所有者が支払う自動車への課徴金から確保している。

民間部門、特に金融機関は、大気汚染物質を減らす投資を支援することで政府の努力を補完で

きる。「クリーンエア対策トップ 25」のいくつかは、国家の開発優先事項と一致しており、国の年間予算から捻出できる可能性がある。同時に、実現に向け好ましい環境が整っていれば、民間部門や企業はよりクリーンな技術に投資することができる。現在、環境プロジェクトへ資金提供するための革新的な手段がいくつもある(ボックス 3.1 参照)。特にグリーンボンドは、2018 年には 1,000 億米ドルまで増加すると推定されており、主要な資金源となる可能性がある。この戦略はフィジーで成功裏に実施され、(集める資金の)目標値も超えた。

アジア太平洋地域で活動している開発銀行が、このような手段を用いて「クリーンエア対策トップ 25」のいくつかに対する資金調達の障壁(たとえば、事業当初の費用が高額であるなど)を克服するよう支援することが可能かもしれない。同様に、開発銀行は、自らの戦略をいくつかの(大気汚染)対策と整合するよう検討できるだろう。また、温室効果ガスを削減し大気汚染を防ぐ事業に、緑の気候基金(GCF)などの気候資金メカニズムを活用できる機会が増えている。

ボックス 3.1: 熱帯地域金融ファシリティ – グリーン成長を支えるための公的資金の活用

SDGs とパリ協定に沿って、インドネシア政府は、国連環境計画、国際アグロフォレストリー研究センター(International Centre for Research in Agroforestry: ICRAF)、BNP パリバ及び ADM キャピタルと共同で、2016 年 10 月に熱帯地域金融ファシリティ(Tropical Landscapes Finance Facility: TLFF)を正式に立ち上げた。TLFF は、民間部門初の規模の大きな(土地の)保全資金調達ファシリティとして、持続可能な農業や土地管理・再生可能エネルギー・農村地域の生計全般を支援するための財源を、共同で集めることを目的としている。TLFF は、その資金を活用して、融資及び助成金を提供する。TLF の融資は、森林劣化ゼロ基準や環境・社会・ガバナンス(ESG)基準に準拠するプロジェクトに、少なくとも 10 年の長期ローンを提供することを目指している。一方、TLFF の助成金は、農民や農村コミュニティの能力構築・土地の修復・農村地域における再生可能エネルギーの利用可能性の拡大などに焦点を当てている。

国レベルで最後に挙げられるステークホルダーはビジネス界と産業界である。産業界は、大気汚染に関する規制の設計や実施の変更を、支援することも阻止することもできる。汚染集約型の開発パターンを変えるために産業界が規制当局と協力している場合、特にその傾向が強い。しかし、企業は環境の重要性を理解し、新しいエネルギーやよりクリーンな生産技術に投資することの便益を認識し始めている。これは上場企業に特に顕著である。環境汚染に関わるメディア報道が投資家や顧客のネガティブな反応を引き起こす恐れがあることが、その要因となっている。産業による汚染排出改善は、政府と一般市民がそれを求め、金融市場がそれと同じ方向に反応する場合最も容易に達成される。このようなケースにおいて、特にグローバルに市場展開を狙っている企業や、新興市場での先駆者利益を目指す企業には、環境保全に舵を切る強い動機となる。

政府内外の協力が促進するにつれて、政府機関による意思決定という形式は減り、相互合意による解決策を生み出す協働型のパートナーシップが拡大する。このようなパートナーシップモデルは、国または地方レベルのみの活動に限定されない。大気汚染は、国を超えた地域や国際的なレベルでも注目を集めている。これは部分的には、大気汚染と気候変動との関連を認識するためでもある。また、有益な知見を提供できる国際的・地域的ネットワークとイニシアチブの成長のためでもある。知識の提供は、技術支援と適切に設計された能力強化によって達成できる。クリーンエアアジア(CAA)やイクレイ(ICLEI: 持続可能な都市と地域をめざす自治体協議会)は、国と都市の間での知識共有に適している。政府間での取り決めと比べ柔軟性が高いためである。

アジア太平洋地域には、科学的理解の共有やモニタリングの強化、また場合によっては集団的行動を促進する既存の大気汚染や環境協力のネットワークがある。これらには、国際的ネットワークである「短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ(Climate and Clean Air Coalition: CCAC)」と共同で本報告書作成に取り組んだアジア太平洋クリーンエアパートナーシップ(Asia Pacific Clean Air Partnership: APCAP)が含まれる。CCACは、科学に対する理解向上を通じ、行動指向型の課題・特定分野の課題・分野横断的な課題を対象とした一連のイニシアチブ推進を支援している。APCAPとCCACはどちらも、本報告書をフォローする能力構築や行動を促すためのハブとして有用であろう。そうすることで、本報告書のきっかけとなった国連環境総会(UNEA)決議に対応する支援ができる。さらに、APCAPとCCACは、これらの解決策の実施のため各国を支援できる。SDG3「すべての人に健康と福祉を」、SDG 11「住み続けられるまちづくりを」、SDG 13「気候変動に具体的な対策を」で謳われているように、大気汚染防止が直接的に言及された開発目標と、さらにはSDG 5「ジェンダー平等を実現しよう」のような間接的に大気汚染防止に寄与する開発目標とを関連させて、さらなる進展を支援できる。その過程で、より清浄な大気をアジア太平洋地域にもたらし、世界で最も深刻な公衆衛生問題の一つを緩和する可能性がある。

結論

過去 10 年間に実施された政策措置により、アジアでは経済成長が継続する一方、二酸化硫黄や窒素酸化物等の大気汚染物質排出量は減少傾向に転じている。これは、経済成長と排出量との間に明確なデカップリングが実現したためであると考えられ、大気汚染対策は経済成長を妨げないことを裏付けている。現行の政策が実施されなければ、有害な粒子状物質 (PM_{2.5}) に対する人口加重曝露量は 2030 年までに約 50% 増加する (アジアの経済成長率を 80% と仮定した場合)。現行の政策は大気質と健康影響に関して明らかな成果を収めているといえるが、大気質のさらなる改善に向けて、人間の健康と厚生、農作物収穫量、環境に被害をもたらす PM_{2.5} と地上オゾンの生成につながる汚染物質の排出削減への一層の取り組みが求められる。

「クリーンエア対策トップ 25」(表 A) を実施することで、PM_{2.5} と地上オゾンへの曝露を 2030 年までに 60% 減少させることが可能であり、その後もさらなる減少が期待できる。この曝露削減に必要な費用は、アジアで 2030 年までに予想される GDP の年増加額 (年間 12 兆米ドル) の約 5% に過ぎない。

「クリーンエア対策トップ 25」の実施が人間の健康と幸福にもたらす便益は大きい。アジアにおいて WHO ガイドラインを満たす大気環境下で生活する人口割合は、2015 年のわずか 8% から、22% (10 億人相当) へと増加する。一方、WHO 暫定目標の最高値を超える高い汚染レベルへの曝露人口は 80% 減の 4 億 3,000 万人 (人口の 10%) まで減少する。また、屋内大気汚染に関連する早期死亡者数は 75% 減少して年間 200 万人の命を救うことができる。

食料生産への影響も大きく改善する。「クリーンエア対策トップ 25」を実施することで、トウモロコシ、コメ、大豆、小麦についてオゾン由来の推定作物損失量を 45% 減らすことが可能になる。

「クリーンエア対策トップ 25」の実施は気候変動緩和策にも有効である。対策実施により、2030 年の CO₂ 排出量をベースライン予測と比較して約 20% 削減し、2050 年までに予測されている気温上昇を摂氏 1/3 度下げる可能性がある。これは、地球の気温上昇を工業化以前に比べて 2 度未満に抑制するとしてパリ協定の目標に大きく貢献し、開発アジェンダに資するものである。

数千万人を貧困から脱却させ、健康状態を改善し、厚生を高めるために、経済成長の継続は今後も極めて重要である。しかし、経済成長だけでは汚染抑制対策の効果的な実施は難しく、政府、企業、市民社会による取り組みが求められる。

「クリーンエア対策トップ 25」の各対策はそれぞれが異なる潜在的可能性を有している。地域全体での大気質向上のみならず、社会的、経済的、技術的及び地球物理学的条件により、特定の国

でより大きな効果が期待できる。「クリーンエア対策トップ 25」は地域全体一律に効果が期待できるものではない。対策はまとめて示されているが、地域や国の多様性により、それぞれの実情に応じた対策の優先順位や実施が検討される必要がある。

略語表

APCAP	アジア太平洋クリーンエアパートナーシップ
ASEAN	東南アジア諸国連合
BC	ブラックカーボン
BEE	エネルギー効率局(インド)
°C	摂氏(°C)
CAA	クリーンエアアジア(旧アジアの都市大気環境に関するイニシアチブ)
CCAC	短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ (国連環境計画)
CFC	クロロフルオロカーボン
CH ₄	メタン
CNG	圧縮天然ガス
CO	一酸化炭素
CO ₂	二酸化炭素
DECAs	国内大気汚染物質放出規制海域(中国)
GAINS	Greenhouse gas – Air pollution Interactions and Synergies model
GDP	国内総生産
GIZ	ドイツ国際協力公社(Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
GWP	地球温暖化係数
HCFC	ハイドロクロロフルオロカーボン
HFC	ハイドロフルオロカーボン
ICLEI	イクレイ(ICLEI) – 持続可能な都市と地域をめざす自治体協議会
ICRAF	国際アグロフォレストリー研究センター
IEA	国際エネルギー機関
IGES	地球環境戦略研究機関
IIASA	国際応用システム分析研究所
LPG	液化石油ガス
NDC	国別約束
NH ₃	アンモニア
NISP	国家改良型調理器プログラム(中国)
NO _x	窒素酸化物
NRDC	天然資源保護協議会(米国)
O ₃	オゾン
OC	有機炭素

PM _{2.5}	粒子状物質 (大気中に浮遊する粒子のうち、粒子の大きさが 2.5μm 以下のもの)
PM ₁₀	粒子状物質(大気中に浮遊する粒子のうち、粒子の大きさが 10μm 以下のもの)
ppm	百万分率(10 ⁶)
SDG	持続可能な開発目標
SEI	ストックホルム環境研究所
SLCP	短寿命気候汚染物質 (ブラックカーボン、メタン、対流圏オゾン、ハイドロフルオロカーボン等)
SO ₂	二酸化硫黄
TEG	トリエチレングリコール
TLFF	熱帯地域金融ファシリティ(インドネシア)
TWh	テラワット(10 ¹² ワット)アワー
UNEP	国連環境計画
UNEA	国連環境総会
UNFCCC	国連気候変動枠組条約
VOC	揮発性有機化合物
WHO	世界保健機関
μm	マイクロメートル
μg/m ³	マイクログラム/立方メートル

謝辭

共同議長: Yun-Chul Hong from 2017-2018 (Seoul National University); Jiming Hao (Tsinghua University); Frank Murray (Murdoch University); and Kalpana Balakrishnan from 2015-2016 (WHO Collaborating Center for Occupational and Environmental Health, Sri Ramachandra University)

著者: Yun-Chul Hong (Seoul National University); Kevin Hicks, Chris Malley and Johan Kuylenstierna, Lisa Emberson (Stockholm Environment Institute, at the University of York); Kalpana Balakrishnan (Sri Ramachandra University); Ajay Pillarisetti (University of California Berkeley); Young Sunwoo (Konkuk University); Dang Espita, Fu Lu, Alan Silayan and Kathleen Dematera (Clean Air Asia); Nguyen Thi Kim Oanh and Didin Permadi Augustian (Asian Institute of Technology); Sase Hiroyuki and Ken Yamashita (Asia Center for Air Pollution); Kathleen Mar, Maheswar Rupakheti and Charlotte Unger (Institute for Advanced Sustainability Studies); Arnico Panday, Bidya Banmali Pradhan and Chaman Gul (International Centre for Integrated Mountain Development); Katsumasa Tanaka (National Institute for Environmental Studies); Yeora Chae (Korea Environment Institute); Gregory Carmichael (Iowa University); Madhoolika Agrawal (Benares Hindu University); Allison Steiner (University of Michigan Energy Institute); Changwoo Han (Seoul National University), Hocheol Jeon (Korea Environment Institute), Miak Aw Hui Min (Ministry of Environment and Water Resources, Singapore); Khalid Yusoff (UCSI University); Feng Zhaozhong and Zifa Wang (Chinese Academy of Science); Toshihiko Takemura (Kyushu University); Markus Amann, Jens Borken-Kleefeld, Janusz Cofala, Adriana Gomez-Sanabria, Chris Heyes, Lena Höglund-Isaksson, Gregor Kiesewetter, Zbigniew Klimont, Binh Nguyen, Pallav Purohit, Peter Rafaj, Robert Sander, Fabian Wagner and Wolfgang Schöpp (International Institute for Applied Systems Analysis); Jiming Hao, Shuxiao Wang Wu Ye and Lei Duan (Tsinghua University); Drew Shindell and Karl Seltzer (Duke University); Nathan Borgford-Parnell (Climate and Clean Air Coalition); Eric Zusman, Premakumara Jagath, Dickella Gamaralalage, Matthew Hengesbaugh, Ran Yagasa, Yasuhiko Hotta, Kazunobu Onogawa, Yoshiaki Totoki, Chen Liu, So-Young Lee, Kaoru Akahoshi, Mark Elder, Xianbing Liu, Ngoc-Bao Pham and Xinling Feng (Institute for Global Environmental Strategies); Frank Murray (Murdoch University); Ibrahim Rehman and Sumit Sharma (The Energy and Resources Institute); Kaye Patdu (Asia Pacific Clean Air Partnership); Hu Tao (World Wide Fund for Nature and Beijing Normal University); Wanxin Li (City University of Hong Kong); Bulganmurun Tsevegjav (Global Green Growth Institute); Susan Anenberg (George Washington University); Eri Saikawa (Emory University); Ray Minjares (International Council on Clean Transportation); Bert Fabian (UN Environment Transport unit); Suyesh Prajapati (MinErgy); Mahendra Chitrakar and Shyam Maharjan, (Federation of Nepalese Brick Industry); Mohammad Arif (Sharda University); Seema Patel and Stevie Valdez (Global Alliance for Clean Cookstoves); Rajendra Shende (Technology, Education,

Research and Rehabilitation for the Environment Policy Centre); Mao Xianqiang and Xing Youkai (Beijing Normal University); Wei Wan (Monsoon Asia Integrated Regional Study-Peking University), Takuro Kobashi (Renewable Energy Institute of Japan); Kessinee Unapumnuk (Pollution Control Department of Thailand); Yulia Yamineva (University of Eastern Finland); Pam Pearson (International Cryosphere Climate Initiative); J.S. Kamyotra (Central Pollution Control Board of India).

テクニカルレビューアー: Banalata Sen (Public Health Foundation of India); Eri Saikawa (Emory University); Neal Fann (U.S. Environmental Protection Agency); Ho Kim (Seoul National University) Cunrui Huang (Sun Yat-sen University); Iyngararasan Mylvakanam (UN Environment- International Environmental Technology Centre); Jianxin Hu (Peking University); Jatinder Singh Kamyotra (Central Pollution Control Board of India); Khan Shahidul Huque (Department of Livestock Services of Bangladesh); Kok Sothea (Royal University of Phnom Penh); Peter Louie (Hong Kong Environmental Protection Department); Susan Anenberg (George Washington University); Takashi Yorifuji (Okayama University); Toshihiko Takemura (Kyushu University); Umesh Chandra Kulshrestha (Jawaharlal Nehru University); Young-Ran Hur, Shaofeng Hu, Jinhua Zhang, Kakuko Nagatani Yoshida (UN Environment Asia Pacific office); Bin Jalaludin (University of New South Wales); Rajasekhar Balasubramanian (National University of Singapore); Volodymyr Demkine (Independent Consultant); Eui-Chan Jeon (Sejong University); Michael Brauer (University of British Columbia Canada); Yasushi Honda (University of Tsukuba); Hiroshi Hara (Tokyo University of Agriculture and Technology); Junjie Zhang (Duke Kunshan University China); Edward Jonathan Roroia Danitofea (Ministry of Environment Climate change Disaster Management and Meteorology of Solomon Islands) Yuji Masutomi (Ibaraki University); Haidong Kan (Fudan University); Shiqiu Zhang (Peking University); Anura Dissanayake (Ministry of Mahaweli Development and Environment of Sri Lanka); Ghulam Malikyar (National Environmental Protection Agency of the Islamic Republic of Afghanistan); Wongpun Limpaseni (Navamindrathiraj University); Supat Wangwongwatana (Thammasat University); team of Pollution Control Department of Thailand; team of UN Environment China Office; team of Ministry of Ecology and Environment of China; Batbayar Jadamba (National Agency for Meteorology and Environmental Monitoring of Mongolia; Faizal Parish (Global Environment Centre); Muhammad Irfan Tariq (Ministry of Climate Change of Pakistan); Nguy Thi Khanh (Green Innovation and Development Centre); Wei Peng (Harvard University); Eny Haryati (Directorate of Forest and Land Fire Management of Indonesia); Shankar Prasad Paudel (National Pollution Control Strategy and Action Plan of Nepal); Wesam Al Madhoun (Universiti Teknologi Petronas of Malaysia); Hazri Hassan (Ministry of the Environment and Water Resources of Singapore); Nyamjav Erdenesaikhan (Swiss Cooperation Office of The Embassy of Switzerland in Mongolia); Alexander Baklanov (World Meteorological Organization); Alex Heikens (United Nations Children's Fund in Mongolia); Puput Ahmad Safrudin (KPBB of Indonesia); Vijay

Shekhar Sharma (Paytm); Nguyen Van Dan (Horiba-Vietnam); Veerachai Tanpipat (Hydro and Agro Informatics Institute) and World Health Organization (WHO) team.

エディター: Bart Ullstein and Helen de Mattos

デザイン・制作: Rywin Nitiprathananun

協力: Kaye Patdu and Suwimol Wattanawiroon (Asia Pacific Clean Air Partnership); Nathan Borgford Parnell and Helena Molin Valdes (Climate and Clean Air Coalition); Xiaoqian Zhou, Mayan Mojado, Isabelle Louis, Dechen Tsering (UN Environment Asia Pacific Office); Iyngara Mylvakanam and Kaveh Zahedi (from 2015–2016)

本版は、UNEP 発行「Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions (Summary)」の IGES/ACAP 仮訳である。

Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions (Summary) © UNEP, 2018

日本語仮訳版 © IGES and ACAP, 2019

UNEP 及び IGES、ACAP は、本版で提供した内容に関連して、ご利用される方が不利益等を被る事態が生じた場合にも一切の責任を負いかねますのでご了承下さい。

翻訳:

公益財団法人 地球環境戦略研究機関(IGES)

森秀行、赤星香、天沼伸恵、小野田真二、武田智子、中村恵里子、北村恵以子

一般財団法人 日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター(ACAP)

山下研、佐瀬裕之、佐藤二郎
