

Policy Note

2020.03 vol. 06



JICA研究所 / タイ事務所*

アジアにおける都市大気環境の改善に向けて —バンコク首都圏における微小粒子状物質（PM2.5）に 関するケーススタディーとその政策的含意—

概要

近年健康影響の観点から、微小粒子状物質(PM2.5)への関心が高まっている。特にアジアでは、著しい経済成長や都市化の進展により、大都市圏のPM2.5による大気汚染が大きな問題となっており、改善に向けた取り組みが喫緊の課題となっている。

しかし、PM2.5の発生要因は国によって大きく異なり、例えばタイの調査研究からは、自動車交通とバイオマス燃焼(稲わらの野焼き等)が、主要な要因となっている状況が明らかとなった。こうした各国毎の状況を踏まえ、PM2.5を含む大気環境汚染の改善に向けて、①エネルギー政策、農業政策、都市・国土利用政策等を含む総合的な対策が必要であること、②その対策には、「インセンティブ(Incentives)」と「イノベーション(Innovation)」の2つの「I」が不可欠であること。そして、③PM2.5を含む大気汚染の状況を踏まえた上で、現場の実情にあわせた政策検討を行うこと、以上3点が重要である。

*本ポリシーノートは、成田大樹(東京大学大学院総合文化研究科国際環境学教育機構准教授、JICA研究所招聘研究員)が主に執筆を行い、佐藤啓市(アジア大気汚染研究センター総括研究員)、JICAタイ事務所、JICA地球環境部環境管理G、国際協力専門員の協力を得て作成された。

1. はじめに

大気汚染は、世界の人々の主要な死因の一つともなっている重要な環境問題であり、健康や農作物への影響を通じて経済開発にも大きな影響を及ぼしている。例えば、世界銀行(World Bank, 2016)の推計では、大気汚染による経済厚生への損失は、南アジアと東アジアにおいて地域GDPのそれぞれ7.4%と7.5%に達するとされている。問題の深刻さを反映し、国連の持続可能な開発目標(SDGs)でも大気汚染問題に関するターゲットが定められている¹。

主要な大気汚染物質には、ばいじん、粒子状物質(PM)、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、オゾン(O₃)などがあるが、近年、世界的な関心が高まってきた物質にPM2.5がある。PM2.5は大気中に浮遊している粒径が2.5 μm以下の微小粒子の総称であり、主に燃料等の燃焼(ディーゼル自動車のエンジン燃焼など)によって発生する一次生成のものと、SO_xを始めとする様々な化学物質が大気中で光化学反応等を起こすことにより発生する二次生成のものがある。なお、PM2.5の二次生成の科学的なメカニズムは、現在も完全には解明されていない²。また、PM2.5は必ずしも人為起源であるとは限らず、海塩や砂など自然起源のPM2.5も存在する。PM2.5の吸入は、呼吸器、循環器及び肺がんの疾患に関して総体として人々の健康に一定の影響を与えるとされており、日本を始め多くの国でPM2.5は大気環境基準の対象物質となっている。さらに、PM2.5のうち黒色炭素成分(ブラックカーボン)は、正の放射強制力(可視光を吸収し大気を加熱する性質)を持ち、大気中での寿命が比較的小さい気候変動の原因物質(Short-Lived Climate Pollutants, SLCPs)の一つと考えられている。

JICA研究所は、2014年より「アジアの都市大気環境改善の方策に関する研究」を実施し、アジアのPM2.5に関して総合的な研究を行ってきた。本研究の一環とし

て、タイ(バンコク首都圏)での大気観測調査と並行して、日本(Akimoto, 2017)、韓国(Shim, 2017)、及びメキシコ(Wakamatsu et al., 2017)におけるPM2.5問題の現状と政策に関するケーススタディーを行なった。ケーススタディーでは、各国に固有の課題が浮き彫りになった。日本では、導入可能な汚染対策手段は既に実施しているが、更なる大気汚染低減(特にオゾンに関して)が課題となっている。また、韓国では越境汚染(特に中国からの大気汚染物質の飛来)が大気汚染の大きな要因となっており、アジア地域内連携の醸成が問題解決の鍵となる。メキシコでは、自動車エンジンの燃焼条件が悪い高地に大都市が位置していることや、揮発性有機化合物の規制の遅れにより大気汚染が深刻化している。本ポリシーノートでは、特にタイで行った調査研究を中心に、得られた知見の政策的含意を議論する。

2. バンコク首都圏におけるPM2.5に関する調査研究の概要

JICA研究所は、バンコク郊外のアジア工科大学院(Asian Institute of Technology)及び日本のアジア大気汚染研究センターの参画のもと、バンコクの都心部(Pollution Control Department(タイ国公害規制局)建物の屋上)と郊外(アジア工科大学院構内)の二地点で、2015年9月から2017年3月までPM2.5の連続観測を行なった。なお、以下の詳細はNarita et al. (2019)を参照されたい。

この観測では、週ごとの大気サンプリングで得られたPM2.5試料を成分分析(試料中のイオン成分、元素状炭素、有機炭素等に関する分析)し、発生源を推定するための基礎データを得た。バンコク首都圏における成分分析を含むPM2.5の通年観測は、これまで実施されたことがなく、本研究が学術的にも初の事例である。また、空気中の粒子成分の分析と共に、粒子の除去過程に重要

¹ 具体的にはターゲット3.9(「2030年までに、有害化学物質、ならびに大気、水質および土壌の汚染による死亡および病気の件数を大幅に減少させる。」)とターゲット11.6(「2030年までに、大気質、自治体などによる廃棄物管理への特別な配慮などを通じて、都市部の一人当たり環境影響を軽減する。」)

² 例えば、中国のPM_{2.5}スモッグの発生に関しては、今まで考えられていなかった霧や雲などの水滴内での化学反応が重要な役割を果たすことが最近の研究で明らかになってきている(この点に関する文献としては、Fu and Chen, 2017がある)。

な降雨試料も採取し分析を行った。そしてPM2.5成分の測定データを用いてレセプターモデル分析(観測されたPM2.5成分濃度と代表的な汚染源の排出量データを用い、主要な発生源の排出量を統計的に推定する方法)を行い、発生源及び排出量を推定した。さらに、バンコク首都圏におけるPM2.5及びその前駆物質の発生及び排出に関し、経済活動セクター毎に燃料使用量等のデータを収集し、排出量を推定した(排出インベントリの作成及び改良)。

観測で得られたPM2.5濃度は、人為的汚染を示唆する水準であったが、タイの大気環境規制基準を超える平均濃度は観測されなかった。2016年の観測二地点でのPM2.5濃度の年平均値は、20.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (公害規制局観測点)あるいは22.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (アジア工科大学院観測点)であり、タイの環境基準(年平均で25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)を下回っている。しかし、これらの値はWHOガイドラインの水準(年平均で10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過している。また、観測された乾季のPM2.5濃度水準は全体的に高く、乾季での24時間値が規制値である50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過している日があることも十分に考えられる(今回の研究では、週ごとに

サンプリングを行っているため、24時間値は得られていない。図1参照)。なお、バンコクでは雨季には降水による除去によって、PM2.5濃度が大きく低下する特徴があり、年平均濃度が中国北部などの温帯域に比べて全体的に低くなる傾向がある。

レセプターモデル分析と排出インベントリから、バンコク首都圏のPM2.5の発生源として、自動車交通とバイオマス燃焼(稲わらの野焼き等)が重要であることが明らかになった。自動車からのPM2.5の排出は、バンコク首都圏での自動車台数の近年の急増を反映している。タイでは自動車生産が主要産業の一つと位置付けられ、需要創出のため自家用車保有の促進が図られてきた³。また、バイオマス燃焼からのPM2.5の排出は、自動車交通と同程度に問題であり、バンコク周辺の熱帯気象下での農業と大きく関係している。例えば、バンコク周辺ではコメの多期作を行うため、稲わらを速やかに除去する必要があり、野焼きが一般的な方法として実施され、PM2.5の発生要因と考えられている。

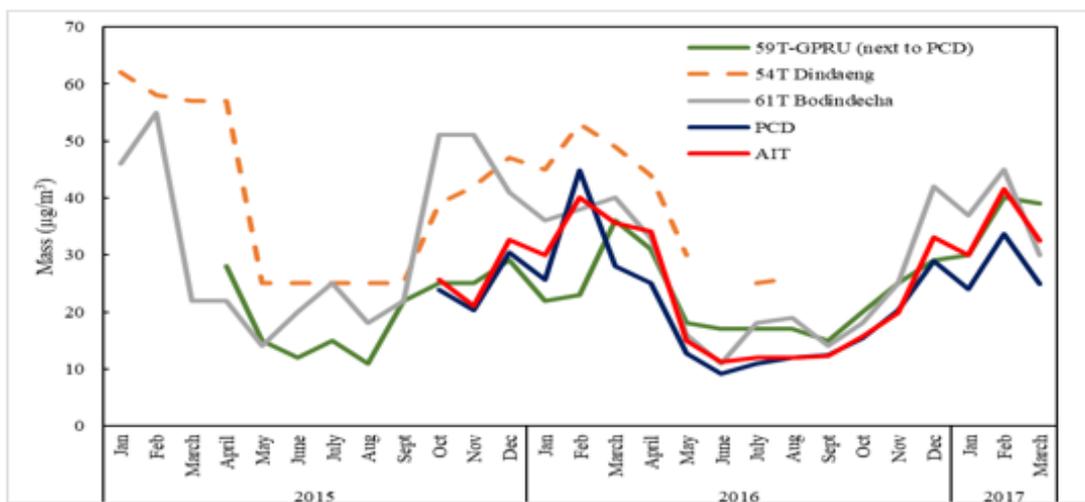


図1. バンコク首都圏におけるPM2.5月平均濃度の推移:赤線と青線がJICA研究所プロジェクトデータ(アジア工科大学院及(AIT)及び公害規制局(PCD)観測点における観測値)、その他データはPCDがPM計測計を用いて測定した参考値

出所) Narita et. al, 2019

³ 近年のタイの自家用車保有優遇制度については、例えば、みずほフィナンシャルグループ(2017, IV章1節)を参照。

排出規制基準の引き上げなど、政策の具体的な変化がバンコク都市圏のPM2.5水準にどのように影響するかを定量的に評価するためには、今回のような分析に加え、PM2.5の一次発生及び排出、二次生成および輸送・除去過程を考慮した、時空間分布を再現するシミュレーション(化学輸送モデルによるシミュレーション)を行う必要がある。但し、既述の通り、PM2.5の二次生成過程は科学的にも未解明の部分があり、現在のところシミュレーションで正確に再現することは困難である。今後、タイの行政機関や研究機関が今回の観測データを活用し、追加的かつ継続的なモニタリングを行うなどにより、排出インベントリを定期的にアップデートし、シミュレーションを発展的に実施することが期待される。

3. 研究結果の政策的含意: アジアにおける大気環境の改善に向けて

バンコク首都圏での調査研究の結果は、タイの大気汚染抑制のための政策に関して、重要な科学的見地からのデータを与えている。また、大気汚染問題に関してタイが直面している課題は他の多くのアジア新興国にも共通する部分があると考えられる。

タイは、産業基盤や行政システムが既に確立している

中進国であり、環境規制等も先進国とほぼ同様の制度が存在している。例えば、大気環境基準は日本を含めた先進国と同様の基準が設定され、自動車排出基準はEUの排出基準(ユーロ排出基準)に準拠している。さらに、大気環境に関する全国観測ネットワークもすでに整備されている。従って、規制基準の見直し検討の前に、これらの規制遵守の徹底を図ることが求められる。また、上述の日本のケースに見られるように、PM2.5といった新たな大気汚染物質への対策は、発生源での高度なコントロール技術を導入できる先進国でも困難であることを考慮する必要がある。このような状況の中で、タイにおいて更なる大気汚染の低減のため、以下を提言する。

① 狭義の環境政策にとどまらず、エネルギー政策、農業政策、都市・国土利用政策等を総合的に活用して大気汚染対策を進めていくこと

今後、大気汚染を低減するためには、発生源のコントロールといった狭義の環境政策にとどまらず、エネルギー政策、農業政策、都市・国土利用政策等を総合的に活用することが有効と考えられる。PM2.5の主要発生源の一つである稲わらの野焼きは、タイ政府もすでに禁止策を策定しているが、農家の行動改善にはほとんど結び付

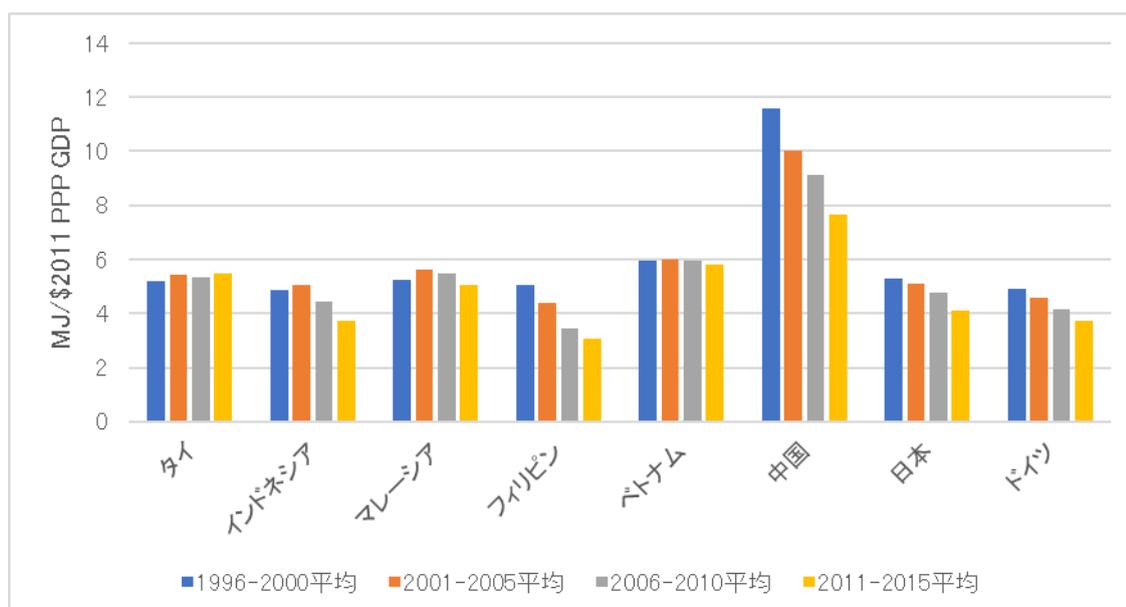


図2. 世界銀行World Development Indicatorsデータベース各国における一次エネルギー供給量ベースのエネルギー強度(単位GDP当たりのエネルギー消費量)

出所)世界銀行World Development Indicatorsデータベースより作成

いていない(UNEP,2019)。その要因として、タイの農業従事者の高齢化により、手間のかかる稲わらの再利用方法(例えばバイオ燃料への転換)が忌避されるという問題が指摘されている。農地所有権の明確化などにより農業の収益性を高める政策を行うと、農業が活性化されて新たな営農方法が導入され、間接的に大気汚染を低減する効果をもたらすことが考えられる。また、バイオマス燃焼に関しては、現存するASEAN地域全体での取り組み(ASEAN Agreement on Trans-boundary Haze Pollutionに基づく取り組み)を進展させる必要がある。

また、バンコク首都圏の大気汚染の問題の一つが、バンコクへの経済的活動の一極集中にあることも否定できない。大気汚染低減に向けては国土利用政策も検討される必要があるだろう。「スマートシティー(smart city)」といった新しい政策も有効と考えられ、国レベルでの政策誘導も重要である(Yarime, 2018)。

更に、タイでは、エネルギー強度(Energy Intensity、単位GDP当たりの最終エネルギー消費量)の改善が進んでおらず、対策の余地があることが示唆される。日本やドイツの先進諸国、中国や東南アジアの近隣国の多くでは、過去約20年間で経済全体のエネルギー効率が向上してきたのと対照的である(図2)。

② エネルギー使用に関する対策などの広義の大気汚染政策を実施していく上では、「インセンティブ(Incentives)」と「イノベーション(Innovation)」という二つの「I」がキーワード

タイでは交通混雑税(congestion charge)などの経済「インセンティブ」を活用した排出削減手法は余り活用されておらず、他国における成功例を見ながら活用を検討する余地がある。また、「イノベーション」ということでは、再生可能エネルギー使用の拡大や電気自動車等の排ガスゼロ自動車の普及など、エネルギーシステムにおける新技術の導入が一つの鍵になると考えられる。更に、汚染源からの排出量削減効果を継続的にかつ持続的に実施するために、人工衛星を活用した大気汚染モニタリ

ングなど、環境管理に関係する新技術の導入も大気汚染対策には有効である。

一般に科学技術の普及は、新興国が先進国と同じ経路をたどるとは限らず、後進の状況の国々でむしろ最新技術が容易に導入されるという、リープフロッギング(Leapfrogging)現象がしばしば起きると言われている。アジアでも、例えば電気自動車や再生可能エネルギーの普及に関して、新興国が日本などの先進国の後塵を拝する必然性はなく、むしろ先進国に先駆けた技術普及は十分可能と考えられる。実際、新興国では新しい技術に対するシステムや制度が確立していない場合もあり、先進国よりも制度的障壁が小さいとも考えられる。新しい技術の導入を伴うシステム構築には、「インセンティブ」と「イノベーション」をうまく活用し、新しくかつ柔軟な発想が求められる。

③ 大気汚染のメカニズムの不確実性を踏まえつつ、現場の実情に配慮したPM2.5削減に向けた政策の検討が必要

PM2.5の排出・生成過程は、科学的に完全に解明されているわけではない。そのため、バンコク首都圏のように、アジアの各大都市の大気汚染における主要な汚染要因は、国の生産活動や、運輸交通システムといった都市活動の状況等により大きな影響を受けることが想定され、様々であると考えられる。そのような不確実性の制約のもとで大気汚染対策を進めるには、政策内容や実施に柔軟性をもたせ、定期的に政策実施の効果を評価し、その結果をもとに政策を修正するサイクルの確立が望ましい(図2参照)。開発協力では、図3のように、「科学調査・原因究明」、「対策推進のための技術支援」、「対策実施・排出抑制」のフェーズだけでなく、「評価」のフェーズについても技術的支援を実施することが考えられる(【BOX】参照)。

現状のデータ分析を地道に進め、各セクターの政策の実情をよく把握したうえで、PM2.5含む大気汚染対策を総合的に検討していくことが求められる。

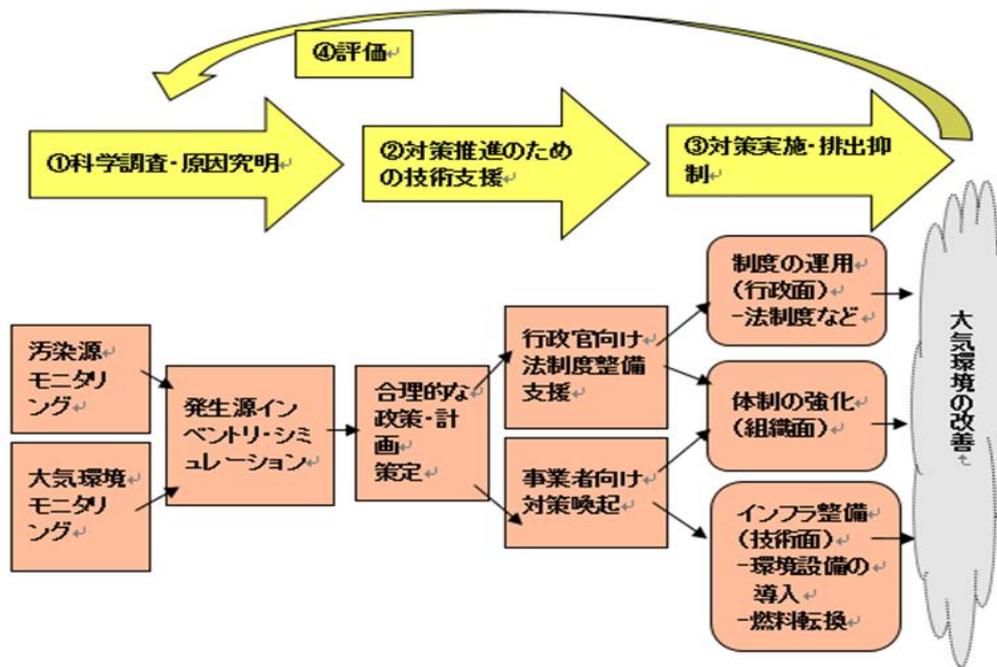


図3. 大気汚染対策に関する4つのフェーズ (出所) 前島、2017

【BOX】

総合的な取り組みに向けてーモンゴル国ウランバートル市の事例ー

モンゴル国の首都ウランバートル市では、電力供給と厳しい冬期の暖房のために年間 700 万トンを超える石炭が消費され、PM2.5 等の激甚な大気汚染による市民への健康被害が社会問題となっている。2008 年に開始した一連の JICA の技術協力では、火力発電所や石炭炊きボイラ等の固定発生源と自動車の排ガス測定技術の移転を行い、ウランバートル市の実態を反映した排出インベントリと拡散シミュレーションモデルの構築、大気環境モニタリング支援、PM2.5 成分分析とリセプターモデルによる発生源寄与解析を実施した。

これらを総合的に組み合わせて、PM2.5 の大気汚染構造の把握と汚染源対策の評価を行った結果、課題も明らかとなった。例えば、PM2.5 の大気環境濃度の最小化が市民の健康のためには必要だが、短期的に PM2.5 の汚染構造の解明や PM2.5 汚染源対策の特定を科学的に検証可能なレベルで行うことは難しく、PM2.5 の大気環境濃度の低減につながる具体的な政策の策定は技術的には難しい。そのため、現状では、PM2.5 の大気環境濃度に寄与する、汚染源から直接排出される PM2.5 を含む粒子、SO₂, NO_x 等の PM2.5 生成前駆物質の排出量削減に政府が責任を持ち、検証可能な排出量削減対策を実施することで、PM2.5 の大気環境濃度の低減に結び付けるアプローチがより現実的である。PM2.5 の発生メカニズムの科学的検証を継続的に行うことに加えて、汚染源対策を実施し、その効果を検証し必要に応じて、対策の修正を行うという柔軟な姿勢が重要である。

<参考文献>

- 前島幸司, 2017. 中国における大気汚染対策の現状と国際協力機構(JICA)による国際貢献,
第56回 大気環境学会年会 発表資料.
- みずほフィナンシャルグループ, 2017. 成長市場 ASEAN をいかに攻略するか — 多様性と変化かもたらす事業機会を探る —, MIZUHO Research & Analysis 12.
- Akimoto, H., 2017. Overview of Policy Actions and Observational Data for PM_{2.5} and O₃ in Japan: A Study of Urban Air Quality Improvement in Asia, JICA-RI Working Paper No. 137.
- Fu, H., and J. Chen, 2017. Formation, features and controlling strategies of severe haze-fog pollutions in China, Science of The Total Environment 578: 121-138.
- Narita, D., N.T. Kim Oanh, K. Sato, M. Huo, D.A. Permadi, N.N. Ha Chi, T. Ratanajaratroj and I. Pawarmart, 2019. Pollution Characteristics and Policy Actions on Fine Particulate Matter in a Growing Asian Economy: The Case of Bangkok Metropolitan Region, Atmosphere 10 (5): 227.
- OECD, 2016. The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution, Paris: OECD.
- Shim, C., 2017. Policy Measures for Mitigating Fine Particle Pollution in Korea and Suggestions for Expediting International Dialogue in East Asia, JICA-RI Working Paper No. 150.
- UNEP, 2011. Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers, Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP, 2018. Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions. UNEP, Paris. (サマリー日本語訳タイトル「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」)
- UNEP, 2019. Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions(Full-Paper). UNEP, Paris.
- UNICEF, 2016. Clear the Air for Children, New York: UNICEF. Wakamatsu, S., I. Kanda, Y. Okazaki, M. Saito, M. Yamamoto, T. Watanabe, T. Maeda and A. Mizohata, 2017. A Comparative Study of Urban Air Quality in Megacities in Mexico and Japan: Based on Japan-Mexico Joint Research Project on Formation Mechanism of Ozone, VOCs and PM_{2.5}, and Proposal of Countermeasure Scenario, JICA-RI Working Paper No. 145.
- World Bank. The Cost of Air Pollution; World Bank: Washington, DC, USA, 2016.
- Yarime, M., 2018. Japan's Experience of Creating Innovation for Smart Cities: Implications for Public Policy for Urban Sustainability, JICA-RI Working Paper No. 170.

関連出版物、その他情報については、以下のウェブサイトをご覧ください。

JICA研究所「アジアの都市大気汚染環境改善の方策に関する研究」研究案件サイト

https://www.jica.go.jp/jica-ri/ja/research/environment/environment_20140704-20180331.html

発行:

独立行政法人国際協力機構研究所

〒162-8433東京都新宿区市谷本村町10-5 TEL: 03-3269-2357 FAX: 03-3269-2054

URL: <https://www.jica.go.jp/jica-ri/ja/index.html>

