

三大学論文発表会

日中間における越境汚染問題と技術移転協力⁶³

京都大学 岩本武和ゼミナール

佐藤 友香

谷口 善嗣⁶⁴

安本 奈央

石田 篤史

⁶³ 本論文を投稿するにあたり、岩本武和教授（京都大学）をはじめ、多くの方からコメントをいただいた。ここに感謝の意を表したい。しかしながら、本論文にある誤り、主張の一切の責任は言うまでもなく筆者個人に帰するものである。

⁶⁴ 京都大学経済学部3年生 t.yoshitsugu@at5.ecs.kyoto-u.ac.jp

目次

はじめに

Chapter 1 越境汚染とは何か

Chapter 2 越境汚染に関する日中間協力

Chapter 3 日中間の環境技術移転について

Chapter 4 先行研究

Chapter 5 モデル分析

おわりに

Chapter 1 越境汚染とは何か

始めに述べたように、私たちは越境汚染をテーマとするが、そもそも越境汚染とは何かについて説明する。越境汚染とは、汚染物質が国境を越えて移動し、排出国以外の地域でも環境被害が出ることである。具体的には、特にヨーロッパや五大湖周辺で顕著な酸性雨、中国から韓国や日本にやってくる黄砂、大気汚染などがある。

酸性雨は pH 値が 5.6 以下の雨を言い、二酸化硫黄などの酸化物が酸性雨の原因となっている。(図 0 参照) まず中国以外の国を見てみると、ヨーロッパでは特にノルウェーやベネルクス 3 国などの国で被害が深刻で、枯れ果てた樹木の写真はあまりにも有名である。(表 1、図 1、2 参照) また五大湖周辺での酸性雨は、アメリカとカナダの間で国際問題としても顕在化した。(図 3 参照)

そこで、汚染物質排出国の中国本土では、どのような環境破壊が起こっているのかについて触れたい。中国国内では酸性雨や二酸化硫黄汚染が日増しに深刻になっている。具体的には、石炭消費量の増加に伴って、石炭燃焼により排出される二酸化硫黄の量が増えており、多年に渡って 2,000 万トンを超える状態が続いている。2005 年度の二酸化硫黄排出量は、1980 年比の約 2 倍になっている⁶⁵。(図 4 参照)

国家環境保護総局によると、2005 年の中国の二酸化硫黄排出量は 2549 万 t であり、二酸化硫黄排出量で世界一となった。⁶⁶ 中国の酸性雨は、80 年代には西南部のわずかの地区に見られただけであったが、現在では揚子江以南、青蔵高原以東、四川盆地の大部分の地区にまで拡大し、降水の pH 値が 5.6 未満(酸性雨判定の国際基準)未満にまで悪化している地区の面積は、既に国土面積の 30% を占めている⁶⁷。(図 5 参照)

次にいくつか具体的に越境汚染の現状を見てみる。黄砂は東アジアの砂漠地帯から強風により大気中に舞い上がった黄砂粒子が浮遊・降下する現象を指す⁶⁸(図 6 参照)。図 7 は年別黄砂観測の延べ日数を示したものである。延べ日数とは、例えば一日で 3 地点において黄砂が観測されれば、延べ日数は 3 日になる。この延べ日数は 2000 年以降、ほぼ毎年 300 日を越えている。また図 8 は大気汚染の原因の一つとなっている硫黄酸化物が、中国から日本や韓国にどれだけやってくるかを示している。図から明らかなように、中国大陸で発生量が大きく、日本でも日本海側では沈着量が大きい。また図 9 は日本海上の二酸化硫黄の濃度分布を示したものである。調査グループが出雲から長崎を飛行中、二酸化硫黄の高濃度ピークを検出した。これは大陸からの越境汚染が存在することの証拠であると言える。

ここで、中国からの越境汚染により日本が負の外部性を被っていることに着目する。日

⁶⁵ <http://seminar.econ.keio.ac.jp/onuma/inter/2006/kuuki.pdf>

⁶⁶ http://news.searchina.ne.jp/disp.cgi?y=2006&d=0803&f=national_0803_002.shtml

⁶⁷ 中国の環境問題と日本の技術移転 ～石炭燃焼炉の転換と脱硫技術を中心として～ 文部科学省(2002)

⁶⁸ <http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/4-4kosa.html>

本の環境技術を中国に移転することで、日本の効用が上昇し、ひいては中国の環境汚染も抑制するため、両国にとってプラスになる、と考える。さて、ここからは日中両国はこれまで環境技術分野でいかなる協力をしてきたのかについて述べる。

Chapter2 越境汚染に関する日中間協力

次に、日中の越境汚染への具体的な取り組みについて述べたい。

日中環境協力の具体的な事例としては、ODA（政府開発援助）を財源とした技術協力や、無償資金協力、円借款をベースとした日中環境開発モデル都市構想（貴陽、重慶、大連の三都市）などが行われていました。しかし、中国へのODAの円借款が2008年で終了し、技術移転における民間企業の役割が重視されるようになってきた。また、多国間協力においても、日中韓3カ国環境大臣会合（TEMM）や、環日本海環境協力会議（NEAC）など環境協力の強化に向けた動きが見られる。

まず、日中間における代表的な越境汚染問題である黄砂問題への対応について説明する。従来、黄砂は自然現象と理解されていたが、近年の黄砂の大規模化は、過放牧や農地転換による耕地の拡大等の人為的要因との関連性も指摘されている。日本国内には黄砂発生源地域はないため、発生源情報の収集や対策の実施に関しては、国際連携による共同作業が不可欠となっている。対応策として、黄砂モニタリングネットワーク構築（データ共有）が挙げられる。これは、国内外17ヶ所の黄砂観測データをリアルタイムで提供する黄砂飛来情報ページを環境省ホームページ上で運用するものである。中国国内の発源地域からの広範囲な地域にわたって連続的な観測データが得て、黄砂の動きをリアルタイムで捉えられることにより、予報モデルの開発が促進され、黄砂対策の進展につながると考えられる。

次に、酸性雨の問題への対応について述べる。日本では、酸性雨が近年明確になってきた。日本海側地域で大陸からの汚染物質の流入が示唆されている。モデルによるシュミレーションによれば、日本に飛来する硫黄酸化物の約10～30%程度が中国由来と見積もられている。（出展：2006年中国環境状況公報）。さらに、図1-2、図1-3が示す通り、非海塩性硫酸イオン及び硝酸イオン（硫黄酸化物や窒素酸化物が、空気中で電離したもの）の沈着量の季節変動が、太平洋側や瀬戸内海沿岸では夏季に最大値を示すのに対し、山陰地方や本州中北部日本海側では冬季に最大を示しており、その原因として大陸由来の汚染物質の流入が考えられる。現在、東アジア地域のめざましい経済発展に起因して、酸性雨の原因となる大気汚染物質の排出量が増加しており、今後も増加が予想されることから、近い将来、影響の深刻化が懸念される。これに伴い、東アジア地域における酸性雨問題に関する地域協力体制の確立を目的として、EANET（東アジア酸性雨モニタリングネットワーク）は日本のイニシアチブにより組織され、1998年4月から約2年半にわたり試行稼働が実施

された。この思考稼働が成功したと評価され、2001年1月から EANET が本格稼働を開始した。主な活動としては、以下の7つが挙げられる。

① 酸性雨モニタリングの実施

ナショナルモニタリングプランの作成及び必要に応じた見直し・共通の手法を用いた酸性雨モニタリングの実施など。

② データの収集、評価、保管及び提供

定期的状況評価報告書の作成及び発行・モニタリングデータのネットワークセンターへの提出など

③ 精度保証・精度管理 (QA/QC) 活動の推進

④ 技術支援と研修プログラムの実施

技術ミッションの派遣・既存の研修プログラムの活用など。

⑤ 酸性雨に関連した調査研究活動の推進

⑥ 普及啓発活動の推進

⑦ 関連活動の実施

関係国際機関との情報交換など。

EANET には東アジア地域 13 カ国が参加している。参加国は、カンボジア、中国、インドネシア、日本、ラオス、ミャンマー、韓国、マレーシア、モンゴル、フィリピン、ロシア、タイ、ベトナムである。EANET はこれまで、財政面、技術面ともに日本が主体となって進めてきた取り組みであり、日本としては、その発展・拡大により、大気環境管理に向けた地域の国際協力が推進されることを期待している。

また、漂流・漂着ゴミ問題の現状としては、近年、日本海側を中心として、医療系廃棄物を含む大量のゴミが海岸に漂着し、地域によっては、外国から漂着したと思われるゴミが多く含まれている場合がある。環日本海環境センターの調査によると、日本に漂着するゴミの量は年間約 10 万トンと推定されている。平成 18 年度に漂着した医療系廃棄物は計 26000 点以上にのぼり、うち約 900 点には中国語の表記が見受けられているという現状もあります。この問題に対する国際的な取組として、NOWPAP（日中韓露による北西太平洋地域毎行動計画）においては、2006 年から海洋ゴミに関するワークショップ等の開催、ガイドラインの作成、モニタリング計画の作成、クリーンアップキャンペーンの実施等を行っている。

また、2007 年には「日中環境保護協力の一層の強化に関する共同声明」が発表されている。これにおいては、以下の分野における協力の強化について一致した。

- ・ 飲料水源地保護の強化、河川・湖沼・海洋・地下水の汚染防止
- ・ 循環経済実験区モデルの建設・拡充、廃棄物の減量化・再利用・資源化、廃棄物回収・再生利用基準の研究協力

- ・ 大気汚染物質の排出抑制、酸性雨・黄砂モニタリングネットワーク整備計画の実施、石炭火力発電の脱硫・脱硝等の技術移転
- ・ 気候変動に関する 2013 年以降の実効的な枠組み構築に関する過程への積極的な参加
- ・ 有害化学物質のモニタリング・管理政策に関する交流と協力、有害廃棄物の輸出入管理と検査検疫、海洋漂流ゴミの越境汚染防止
- ・ 地域環境協力メカニズムの推進
- ・ 持続可能な開発と環境保護に関する普及啓発・教育の展開などが挙げられる。

Chapter3 日中間環境技術移転について

次に日中環境技術移転の具体例と、その問題点について述べる。まず背景として中国のエネルギー消費状況と環境対策について説明する。中国ではエネルギー資源として石炭を多く使っており、その消費量は世界一である。中国は未だ発展段階にあるため、これまで十分な環境対策はあまり採られてこなかった。1979 年に環境保護法が制定され(公布は 1989 年)、80 年代に入って水質汚濁防止法や汚染防止法が出来た。環境保護法公布後、90 年代にかけて環境法の体系が出来上がっていった。(表 2 参照) 大気汚染に関しては、「第十次五カ年計画」により、主要汚染物質の、2000 年比 10%削減という目標を打ち立てた。最近の動向としては、2009 年 11 月に、中国は 2020 年の単位 GDP 当たり CO2 排出を 2005 年比で 40~45%削減すると表明した。「国務院常務会議が決定したものであり、この目標値は、第 12 次 5 年規画及びそれ以降の長期計画に義務的目標として盛り込まれる。これに関連する統計、監視計測、審査などの細則も制定、実施される。⁶⁹⁾」というものである。

さて、ここから環境技術移転について説明する。石炭は中国の主要なエネルギー資源であるが、石炭を燃やすことによる汚染物質排出が問題となっている。そこで中国で現在需要が高まっているのが、二酸化硫黄を除去する脱硫装置である。脱硫装置の普及を進めることで二酸化硫黄の排出量を減らすことが出来るので、その結果日本への越境汚染も減らせると考えられる。日本は積極的に中国に対し、環境技術移転を試みてきた。実際、日本から移転した技術により、中国で稼働している装置もある(表3、4参照)。下の例は三菱重工工業株式会社が、中国の重慶市に脱硫装置を設置した例である。

「脱硫装置導入事例の紹介

- ・ 中国華能国際電力開発公司珞茫発電所(重慶市) #3、#4ユニット
- ・ 燃料：石炭(S=4.02%)、設備容量：360Mw×2
- ・ 排ガス量：1,087,200Nm³/h/w

⁶⁹⁾ http://www.asiam.co.jp/news_env.php?topic=012934

- ・ 入口SO₂ 濃度：3,500ppm(d)、入口ガス温度：142°C
- ・ 脱硫率：95%（吸収塔内）、システム全体80%）
- ・ 運行開始：June 1999⁷⁰」

しかし欧米のプロジェクトに比べると、日本のそれは高い評価を得ているかどうかを疑問視する声がある。欧米は技術移転に際して、技術資料、マニュアル、契約条件等の整備を十分に行い、実際の移転作業は、現地法人の中国人もしくは欧米在住の中国人に任せるといった方法で技術移転を行う。これに対し日本は、現在日本で技術を開発し、製造作業に従事している人々が技術移転を行うため、言語の問題も相まって、技術が現地の中国人に伝わりにくい、という現状がある。

ここで、環境技術移転に関する問題点をまとめる。

日本が提供する技術と中国の要求とのミスマッチが存在している。日本には厳しい環境法があるため、環境技術もその基準に合ったものでなければならないが、そうすると中国にとってはハイスペックで高価なものとなってしまう。故にスペックダウンして安価にする必要がある。中国への技術移転を進めるためには、中国の現状に適合した比較的簡易型の技術をまず移転し、そこからその技術を発展させることが必要である。

しかし、技術を発展させるために重要な、その技術の管理の仕方などの知識を中国側が十分に学べないという現状が存在する。日本は装置を中国に設置するだけであり、現地技術者とのコミュニケーション不足も否めない。このことに対し中国側は技術者レベルの交流だけでなく、政策・経営レベルでの協力ができる人材の長期交流を求めている。

また、中国側の資金不足や、装置の建設や管理を行うエンジニアリング会社がないことも、技術移転の進展を妨げる要因である。

さらに、中国の法体制が十分整っているとは言えないので、日本としては技術移転により技術の流出が危惧される。その結果日本の国際競争力が低下するので、移転に対し躊躇してしまうということもある。

中国側と日本側とで、越境汚染に対する認識の違いがあることを最後に述べておきたい。

表5は、日中の4つの組織が日本に沈着する硫酸化物の発生源寄与度を調べた結果である。一般的に中国の寄与度は10～30%と言われているが、一番下の中国科学院の調査結果を見ると、中国の寄与度は3%と極端に低い。少なくとも日中間で認識のズレがあることが見て取れる。

さて次章では、私たちの論文を展開していく上で参照した先行論文について発表する。

⁷⁰ <http://www.env.go.jp/earth/coop/jcec/2002/cjecieg2002.pdf>

Chapter 4 先行研究

まず、越境汚染を考慮に入れたモデルとして Siebert / 大沼 訳『環境経済学』が挙げられる。このモデルでは、汚染物質を流出する上流国と流入する下流国、二国のプレイヤーが存在し、それぞれの国が環境被害額と環境汚染物質削減にかかる費用を最小化する最適削減水準に基づいて行動する。二国がそれぞれに行動する非協力解と、下流国が上流国に削減を依頼する代わりに上流国が下流国に対してサイドペイメントを支払う協力解を導き、非協力解よりも協力解の方が二国の効用が高いことを示している。

その他、越境汚染と技術移転を考慮に入れ、二国の厚生を分析したものとして服部 (2007) が挙げられる。ここでは、国家間の環境政策における非対称性に注目し、民間企業における技術移転、政府による技術移転政策が各国の厚生にどのような影響を及ぼすかを示している。

しかしいずれのモデルにおいても技術移転に関して、二国の越境汚染に対する認識の違いや、下流国の移転した技術が上流国のニーズに対応し、有効な手段となり得るのかという観点で考慮に入れられていない。

そこで、我々は前者のモデルを基本とし、さらに技術移転を実施した時に両国の間で受け渡しがなされる対価に越境汚染を認識するのかどうか、定着率が高いのかどうかを表す指標を追加し、それらの変数によって、二カ国の削減量に違いが出るのかを調べた。結果は、上流国が越境汚染を認識することは下流国にとってプラスの効果が働き、下流国は上流国に対して越境汚染を認識させる取り組みを行うインセンティブがあるということがわかった。定着率のいかんによって、二カ国の削減量は変化しなかったため、下流国は定着率をあげるインセンティブを持ち得ないが、技術移転という取り組みを長期的に見たときに、定着率をあげることは重要であると考えている。

Chapter 5 モデル分析

<非協力解>

初期の排出・削減総量を S_0 、汚染物質削減量を S_r 、上流国から下流国への越境汚染関数を $T(\cdot)$ 、被害関数を $D(\cdot)$ 、削減費用関数を $C(\cdot)$ と置き、これらは S_0 、 S_r で表されるものとする。なお、被害は被害額という形で表示できるため、削減費用関数と足し合わせることができる。

上流国 2 上流国は初期総量から越境汚染分と自国の削減量を差し引いた被害額と、自国の削減コストを最小化するように行動する。

$$\text{Min } D^2(S_0^2 - T(S_r^2) - S_r^2) + C^2(S_r^2)$$

この時、最適汚染削減量 S_r^{2*} は、

$$\frac{\partial D^2(\cdot)}{\partial S_r^{2*}} \{T'(S_r^{2*}) + 1\} = C'(S_r^{2*}) \text{ を満たしている。}$$

下流国 1 下流国は初期総量に上流国からの越境汚染分を足し合わせ、自国の削減量を差し引いた被害額と、自国の削減コストを最小化するように行動する。

$$\text{Min } D^1(S_0^1 + T(S_r^1) - S_r^1) + C^1(S_r^1)$$

この時、最適汚染削減量 S_r^{1*} は

$$\frac{\partial D^1(\cdot)}{\partial S_r^{1*}} = C^1(S_r^{1*}) \text{ を満たしている。}$$

<技術移転協力解>

非協力解の状態から、下流国が上流国に対して技術移転を行う。下流国の技術移転により、上流国では削減量が p だけ増加し、その分、下流国では p の越境汚染分 $T(p)$ だけ減少する。ただし、越境汚染関数 $T(\cdot)$ は線形であるとする。技術移転後の削減量を S_p と表すと、

イメージ図

トータル削減量

$$\begin{array}{ccc}
 S_r^{1*} + S_r^{2*} & & S_r^{2*} & & S_r^{1*} \\
 \downarrow & & p \downarrow & & \downarrow T(p) \\
 S_p^1 + S_p^2 & & S_p^2 & & S_p^1 \\
 \\
 & & S_p^2 = S_r^{2*} + p & & S_p^1 = S_r^{1*} - T(p)
 \end{array}$$

上流国 2 上流国は初期総量から技術移転後の越境汚染分と自国での削減量を差し引く被害額と、自国の削減コストを最小化する。ただし、 S_r^2 から S_p^2 への削減努力は下流国が負担していることに注意されたい。

$$\text{Min } D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_r^2) + C^2(S_r^{2*})$$

技術移転の効果により、 $S_p^2 > S_r^{2*}$ を満たしているので、

$$D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) > D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2) \text{ となる。}$$

ただし、 $S_p^2 > T(S_p^2)$ である。

よ っ て 、

$$D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) + C^2(S_r^{2*}) > D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2) + C^2(S_r^{2*})$$

下流国 1 下流国は初期総量から上流国からの越境汚染分を足し、自国の技術移転後の削減量を差し引いた被害額、及び、自国での削減コスト、上流国での削減コストを最小化する。

$$\text{Min } D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_r^1) + C^1(S_p^1) + C^1(p)$$

同様に技術移転の効果により、下流国では、上流国からの越境汚染分が減少し、また、越境汚染分の削減を逃れたのであるから、

$$D^1(S_0^1 + T(S_r^{2*}) - S_r^{1*}) = D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_p^1) \text{ となる。}$$

ここで、技術移転のコストがかなり大きいと考えて、

$$C^1(S_p^1) + C^1(p) > C^1(S_r^{1*}) \text{ とする。}$$

よって、

$$D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_p^1) + C^1(S_p^1) + C^1(p) > D^1(S_0^1 + T(S_r^{2*}) - S_r^{1*}) + C^1(S_r^{1*})$$

ここで、上流国は非協力解均衡に比べて、費用をより最小化できるため技術移転に応ずるが、下流国では、非協力解のときには想定されなかった $C^1(p)$ が費用に加わっており、必ずしも技術移転に応じるとは限らない。特に、技術移転の規模が大きいとき、2国が技術移転協力を行うとすれば、対価の支払い・受け取りが必要になる。

双方の受け取り・支払いの対価を α とおくと、上流国に関しては、技術移転前の被害額から技術移転後の被害額を差し引いたものより、対価が小さければ技術移転に応じる。

つまり、

$$\alpha \leq D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)$$

であれば、対価を考慮してもなお技術移転を受け入れる。

下流国に関しては、技術移転後の削減コストから、技術移転前の削減コストを差し引いたものよりも大きければ技術移転に応じる。

つまり、

$$\{C^1(S_p^1) + C^1(p)\} - C^1(S_r^{1*}) \leq \alpha$$

であれば、技術移転に協力しようとする。左項を変形して、 $C^1(p) - \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\}$ と表す。

しかし、現実には、上流国・下流国間での技術移転において、対価としての費用と移転される技術との間に双方の合意が得られず、技術移転が進展しないことが多い。

まず上流国側の問題として、自国からの越境汚染の存在を認めておらず、また、技術移転に対して、同じ技術レベルであれば、できるだけ安価で手に入れようとする。下流国は下流国で、インフラ設備や、人材育成などのソフト面での技術移転を行わないため、技術移転が正しく上流国に定着せず、自国のコストに対応するだけの上流国の削減量の実現できていない。

上流国が越境汚染を認めないとはつまり、 $C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)$ の前に変数 λ がついて、

$\lambda \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\}$ となる。(ただし、 λ は $0 \leq \lambda \leq 1$ である。) また、下流国の技術

が定着しないとは、 $D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)$ の前に変数 γ がついて、 $\gamma \{D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)\}$ と表せる。(ただし、 γ は $0 \leq \gamma \leq 1$ である。) 以上のような変数を導入した際に、上流国・下流国に及ぼす影響を以下で検証する。

①対価が $C^1(p) - \lambda \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\}$ である場合

上流国のかかる被害額、削減コスト、対価の総額は、

$$D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2) + C^2(S_r^{2*}) + C^1(p) - \lambda \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\}$$

と表せる。ここで $S_p^2 = S_r^{2*} + p$ より、

これを最小化する最適削減水準 S_p^{2*} は、

$$\frac{\partial D^2(\cdot)}{\partial S_p^{2*}} \{T'(S_p^{2*}) + 1\} = C'^2(S_p^{2*} - p)$$

を満たしている。よって、上流国においては、 λ がいずれの値であっても技術移転による削減量 S_p^{2*} は変わらないことがわかる。ただ、注意したいのは、技術移転はもっぱら下流国の努力によるものなので、あくまで、上流国自身の削減量は S_r^{2*} である。よって、ここからわかるのは、下流国自身による削減努力 p は上流国が越境汚染を認識しようがしまいが変化していないということである。

同様に下流国の総額は、

$$\begin{aligned} D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_p^1) + C^1(S_p^1) + C^1(p) - C^1(p) + \lambda \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\} \\ = D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_p^1) + C^1(S_p^1) + \lambda \{C^1(S_r^{1*}) - C^1(S_p^1)\} \end{aligned}$$

と表せる

ここで、 $S_p^1 = S_r^{1*} - T(p)$ より、

$$D^1(S_0^1 + T(S_p^2) - S_p^1) + C^1(S_p^1) + \lambda \{C^1(S_p^1 + T(p)) - C^1(S_p^1)\}$$

これを満たす最適削減水準 S_p^{1*} は、

$$\frac{\partial D^1(\cdot)}{\partial S_p^{1*}}(-1) + C'^1(S_p^{1*}) + \lambda C'^1(S_p^{1*} + T(p)) - \lambda C'^1(S_p^{1*})$$

を満たしている。

$$\lambda = 0 \text{ のとき、} \frac{\partial D^1(\cdot)}{\partial S_p^{1*}} = C'^1(S_p^{1*})$$

$$\lambda = 1 \text{ のとき、} \frac{\partial D^1(\cdot)}{\partial S_p^{1*}} = C'^1(S_p^{1*} + T(p))$$

$\lambda = 0$ のときの削減量と $\lambda = 1$ のときの削減量は比較することができる。

微分式より、(λ が 0 のときの S_p^{1*}) $>$ (λ が 1 のときの S_p^{1*}) である。

ここからわかることは、下流国は λ の値に関わらず削減努力 p を行っている。本来技術移転により、下流国は自国の削減量を下げることができるはずだが、 λ が 1 よりも小さいことでその削減量を落とせないということである。

② 対価が $\gamma \{D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)\}$ の場合

上流国の総額は

$$D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2) + C^2(S_r^{2*}) \\ + \gamma \{D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)\}$$

と表せる。

ここで、 $S_p^2 = S_r^{2*} + p$ より、

$$\gamma = 0 \text{ のとき、} D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2) + C^2(S_p^2 - p)$$

同様に、これを満たす最適削減水準 S_p^{2*} は、

$$\frac{\partial D^2(\cdot)}{\partial S_p^{2*}} \{T'(S_p^{2*}) + 1\} = C'^2(S_p^{2*} - p)$$

をみたしている。

$\gamma = 1$ のとき、

$$D^2(S_0^2 - T(S_r^{2*}) - S_r^{2*}) + C^2(S_r^{2*}) = D^2(S_0^2 - T(S_p^2 - p) - S_p^2 + p) + C^2(S_p^2 - p)$$

同様に、これを満たす最適削減水準 S_p^{2*} は、

$$\frac{\partial D^2(\cdot)}{\partial S_p^{2*}} \{T'(S_p^{2*} - p) + 1\} = C'(S_p^{2*} - p)$$

を満たしている。

下流国では、総量は、

$$D^1(S_0^1 + T(S_p^1) - S_p^1) + C^1(S_p^1) + C^1(p) - \gamma \{D^2(S_0^2 - T(S_r^2) - S_r^2) - D^2(S_0^2 - T(S_p^2) - S_p^2)\}$$

と表せる。

$$S_p^1 = S_r^1 - T(p) \text{ より、}$$

これをみたす最適削減水準 S_p^{1*} は、

$$\frac{\partial D^1(\cdot)}{\partial S_p^{1*}} = C'^1(S_p^{1*})$$

ここから言えるのは、 γ が0から1のどの範囲にあろうとも、上流国、下流国の削減量には変化を及ぼさないということである。結果として、定着率を上げるということは、もっぱら下流国の国際貢献によるものでしかなく、ソフト面での技術移転が下流国にとって、インセンティブを持ち得るものではないということになる。

おわりに

越境汚染に関して、上流国の認識を上げるといことは、下流国にとっては重要な要素たりえる。ただ、上流国の認識は上流国にしか変えられないもので、下流国としては上流国に対して政策として訴えかけていかなければならない。そういう意味で、共同モニタリングネットワークなどの取り組みは非常に重要なものと言える。

下流国の技術移転の定着率を上げることが直接2国の削減量に影響を及ぼすものではないという結果がでたが、国際貢献という中で、下流国の技術移転は上流国にとって有効たりえるためにも、下流国の定着率を上げるといことは重要な要素であると思っている。

本論文では、認識、定着率、といった、現状で挙がっていた問題意識をいかに数学的表現にすべきか苦勞した。先行研究では、関数の形状に踏み込んだ議論がなされていなかったため、本論文では、ゼロから定義せざるを得ず、計算をどのように展開していけばいいのか非常に苦心した。今回は越境汚染関数を線形という前提でモデルを展開したが、越境汚染関数の形状いかによっては結果が変わり得る可能性が高いと思われる。越境汚染関数が線形ではない場合、どのように2カ国に影響を及ぼすのかについては今後の課題としたい。また、筆者に十分な数学的知識が不足していたことに関しても非常に反省しており、今後一層の努力をしていこうと思う。

資料、データ

< Chapter1 >



酸性雨発生の仕組み

< 図 0 > <http://www.pref.tottori.lg.jp/dd.aspx?menuid=76800>

表1 ヨーロッパと中国各地の酸性降下物のpH値

| 国名 | 地点名 | pH値 | | | | | | | |
|--------|----------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|------|--|
| | | 1985 | 1990 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | |
| アイスランド | イラフォス | 5.41 | 5.38 | 5.55 | 5.46 | 5.55 | 5.88 | 5.73 | |
| アイルランド | バレンシア | 5.38 | 5.20 | 5.04 | 5.00 | 4.96 | — | — | |
| イギリス | ヤーナーウッド | — | 4.87 | 4.84 | 4.72 | 4.81 | 5.01 | 5.30 | |
| イタリア | アラッパ | 6.46 | 4.59 | — | — | — | — | — | |
| オーストリア | イルミッツ | 4.38 | 4.50 | 5.06 | 4.92 | 5.23 | 4.96 | 4.85 | |
| オランダ | コルムルワード | — | — | 5.14 | 5.34 | 5.23 | 5.08 | 5.42 | |
| スイス | バイエルヌ | 4.77 | — | 5.10 | 5.06 | 5.19 | 5.22 | 5.16 | |
| スウェーデン | ロルビック | 4.25 | 4.28 | 4.39 | 4.40 | 4.48 | 4.57 | 4.55 | |
| | ブレッドケーレン | 4.47 | 4.60 | 4.81 | 4.77 | 4.97 | 4.92 | 4.88 | |
| スペイン | ログローニョ | — | 5.72 | 6.72 | 5.98 | 6.15 | 6.44 | 6.03 | |
| スロバキア | チョボク | — | — | 4.67 | 4.30 | 4.43 | 4.47 | 4.42 | |
| チェコ | スプラトウフ | 4.46 | 4.34 | 4.54 | 4.53 | 4.64 | 4.70 | 4.74 | |
| | コセヂツェ | — | 4.37 | 4.47 | 4.43 | 4.46 | 4.66 | 4.65 | |
| デンマーク | タンゲ | 4.53 | 4.48 | 4.68 | 4.69 | 4.70 | 4.82 | 4.75 | |
| ドイツ | ドイゼルバッハ | 4.37 | 4.64 | 4.75 | 4.68 | 4.81 | 4.75 | 4.84 | |
| | ツィンクスト | — | — | 4.59 | 4.83 | 4.77 | 4.82 | 4.89 | |
| ノルウェー | ビルケネス | 4.24 | 4.37 | 4.48 | 4.42 | 4.50 | 4.50 | 4.59 | |
| | スクレアダレン | 4.48 | 4.61 | 4.75 | 4.78 | 4.92 | 4.83 | 4.93 | |
| ハンガリー | ケチュケメート | 5.09 | 4.99 | 4.83 | 5.69 | 5.94 | 5.83 | 5.73 | |
| フィンランド | アータリ | 4.55 | 4.57 | 4.61 | 4.66 | 4.72 | 4.77 | 4.68 | |
| フランス | ラ・ハーグ | 4.41 | 4.68 | 4.97 | 4.65 | 4.96 | 4.96 | 5.08 | |
| ベルギー | オファーニュ | 5.26 | 5.31 | — | — | — | — | — | |
| ポーランド | スパウキ | 4.53 | 4.27 | — | — | — | — | — | |
| ポルトガル | ブラガンサ | 5.12 | 5.41 | 5.92 | 5.45 | 5.33 | 5.33 | 5.14 | |
| 中国 | 青島 | — | — | 4.08—7.20 | 3.72—7.83 | 3.46—8.00 | — | — | |
| | 南京 | — | — | 3.90—8.14 | 3.80—7.98 | 3.90—8.26 | — | — | |
| | 広州 | — | — | 3.83—7.73 | 3.62—6.88 | 3.78—7.35 | — | — | |
| | 重慶 | — | — | 3.08—8.06 | 3.30—7.66 | 3.28—8.70 | — | — | |
| | 長沙 | — | — | 2.92—5.25 | 3.00—5.60 | 3.01—3.74 | — | — | |

(注)上記データについては、測定方式や対象分野等が国ごとに異なっている場合がある。
 資料:EMEP(Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe:欧州監視評価計画)・EMEP Measurement Network、<http://www.nilu.no/projects/ccc/network.html>
 中国環境年鑑編集委員会・中国環境年鑑1998

[出所]環境省:環境統計集、8章地球環境、表8.11、<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/data/es162130.xls>

< 表 1 > http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-08-03-02

◎酸性雨の状況(pH年平均値) 出典：欧州. EMEP Data Report 1989, Part 1
欧州(1989年)

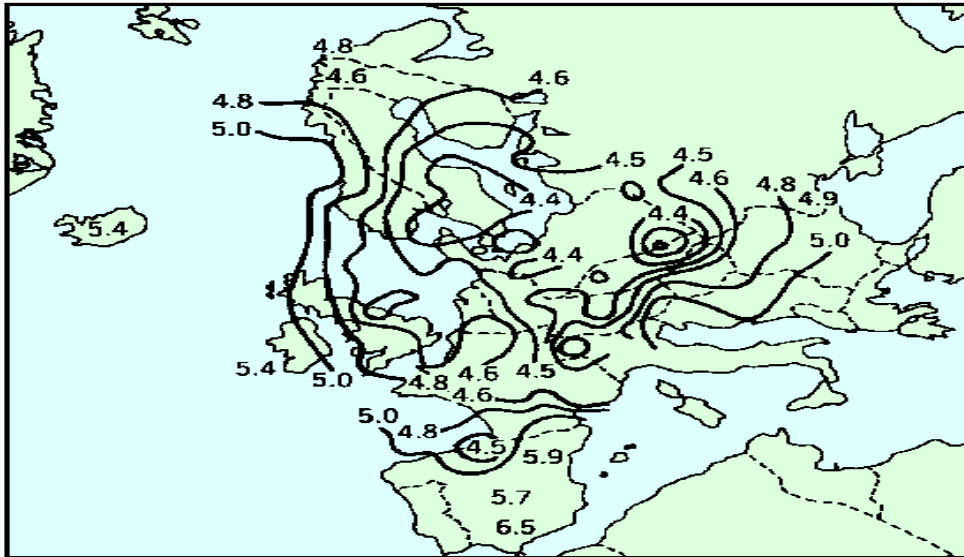


図1 ヨーロッパの酸性雨の状況

[出典]環境庁地球環境部(編):改訂地球環境キーワード事典、中央法規出版(株)(1998年2月)、p60

<図1>http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-08-03-02



<図2>http://www.crdc.gifu-u.ac.jp/edsoftol/sanseiu/sinrin_frame.html

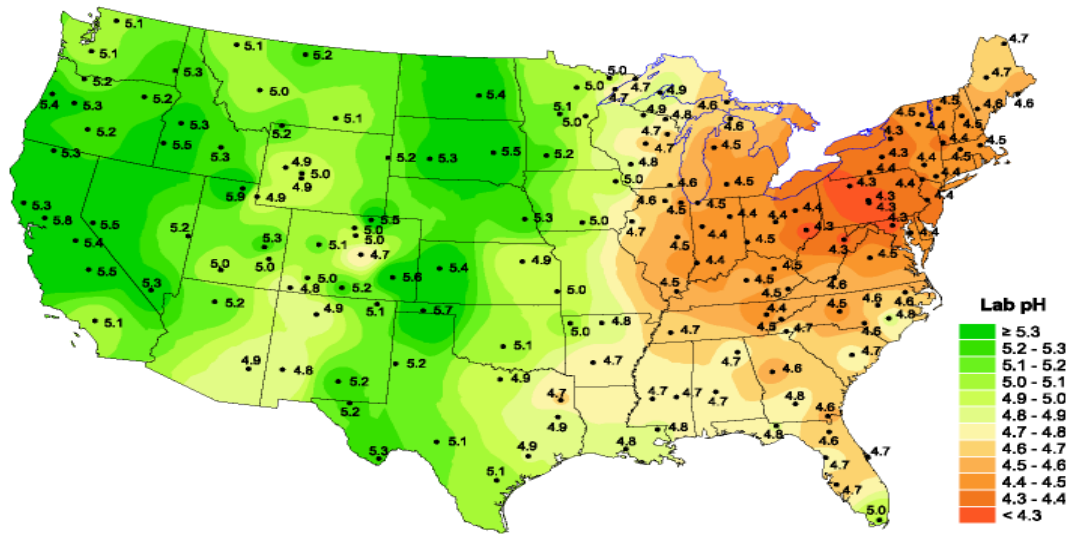
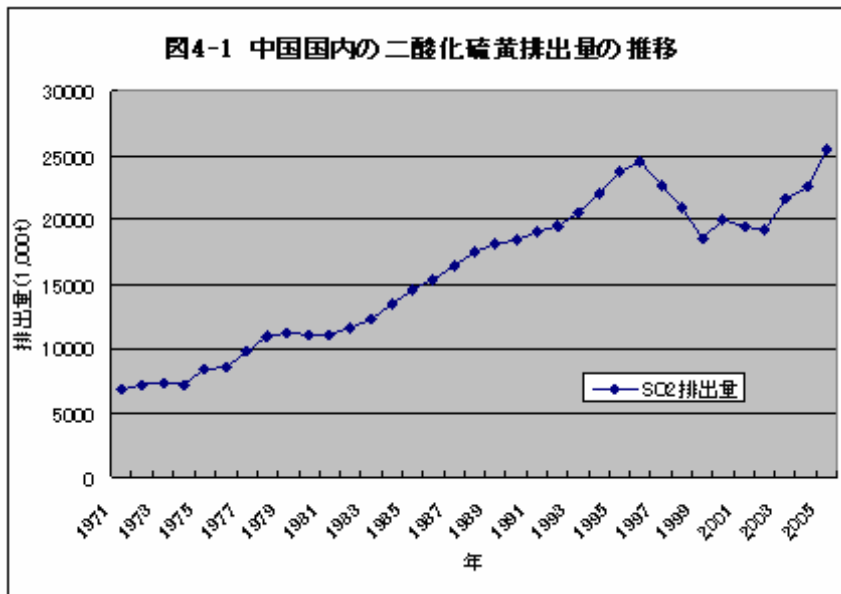


図3 北米の酸性雨の状況(1998年)

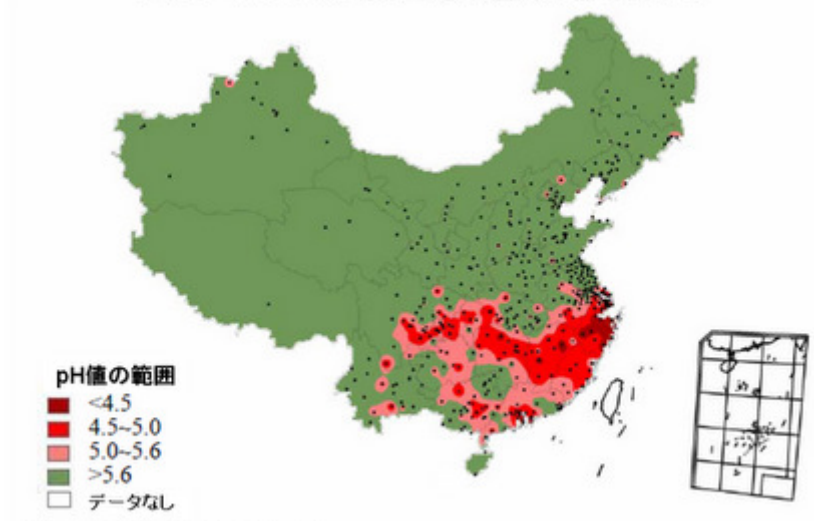
[出典] National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network
<http://nadp.sws.uiuc.edu>

<図3> http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-08-03-02



<図4> <http://seminar.econ.keio.ac.jp/onuma/inter/2006/kuuki.pdf>

図3 2008年全国酸性雨地域分布



出典: 2008年中国環境状況公報

<図5>

<http://eco.nikkei.co.jp/column/eco-china/article.aspx?id=MMECcj000002092009&page=2>

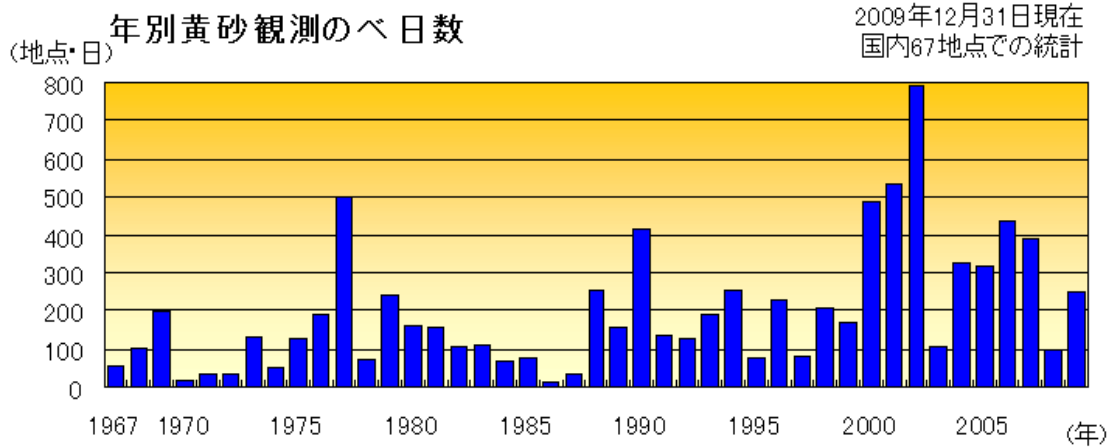
図4 砂塵嵐(黄砂)の主たる発生地域



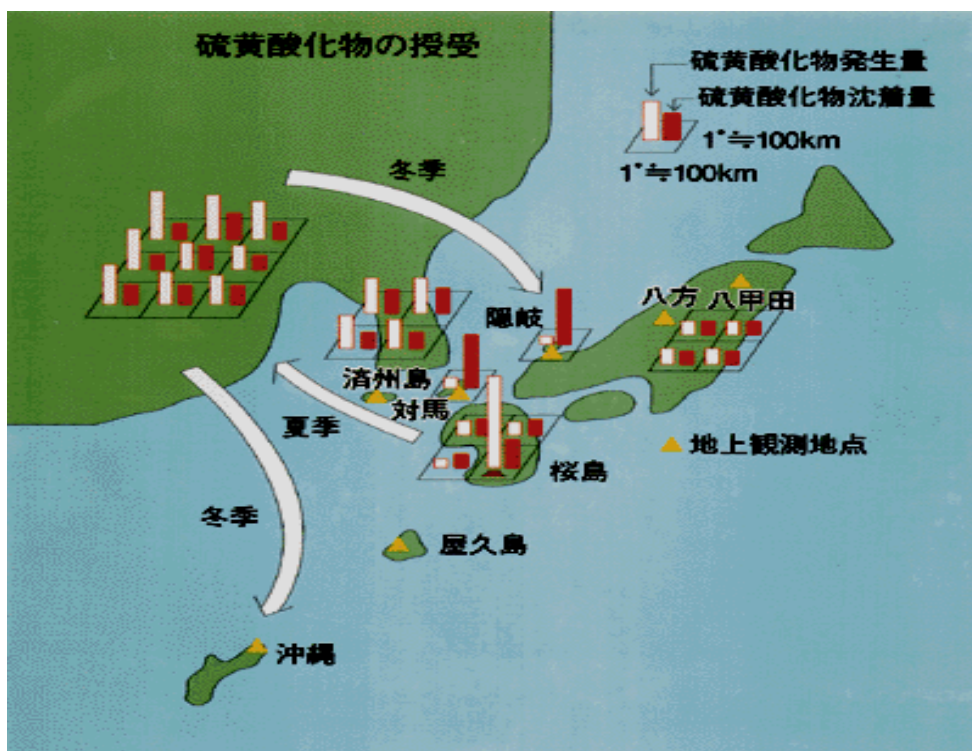
地図出典: JICA中国事務所Web

<図6>

<http://eco.nikkei.co.jp/column/eco-china/article.aspx?id=MMECcj000002092009&page=2>



< 図 7 > http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_shindan.html



< 図 8 >

<http://www.nies.go.jp/kanko/news/15/15-5/15-5-04.html>



< 図 9 > <http://www.nies.go.jp/kanko/news/15/15-5/15-5-04.html>

< Chapter2 >

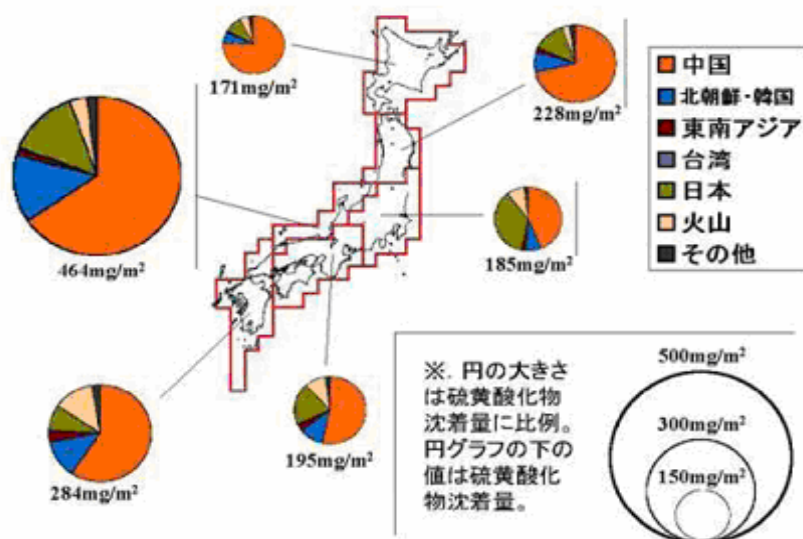
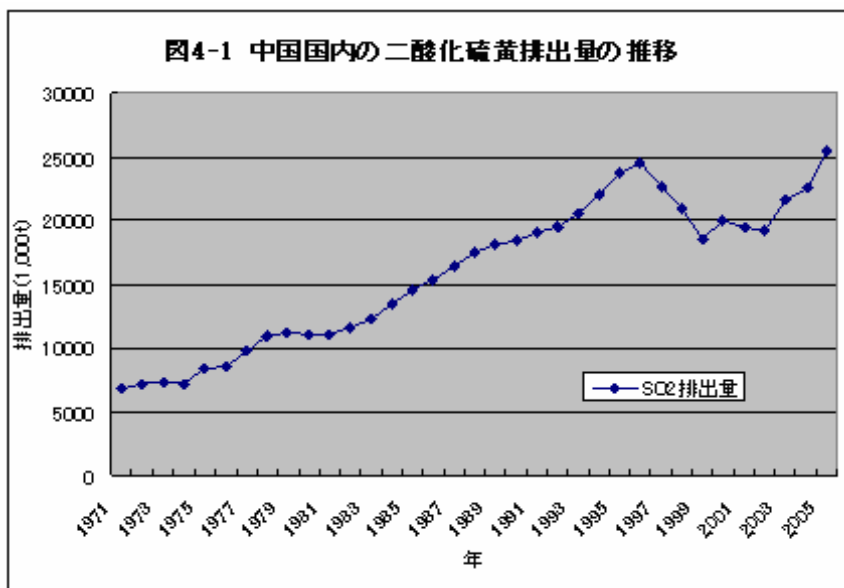
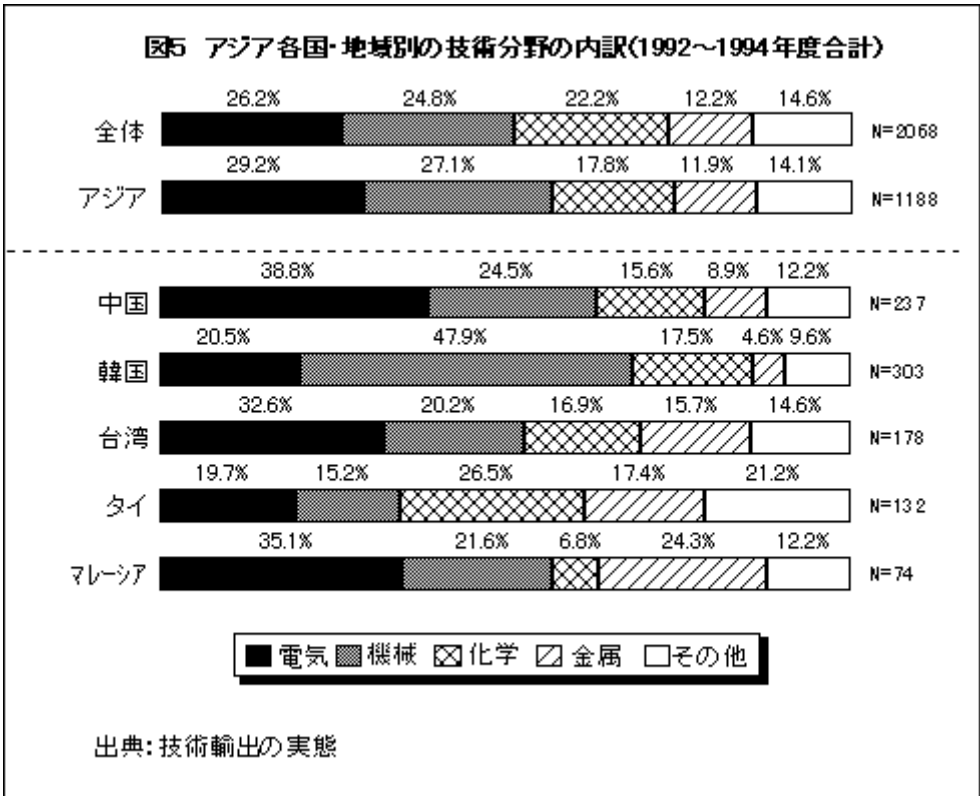
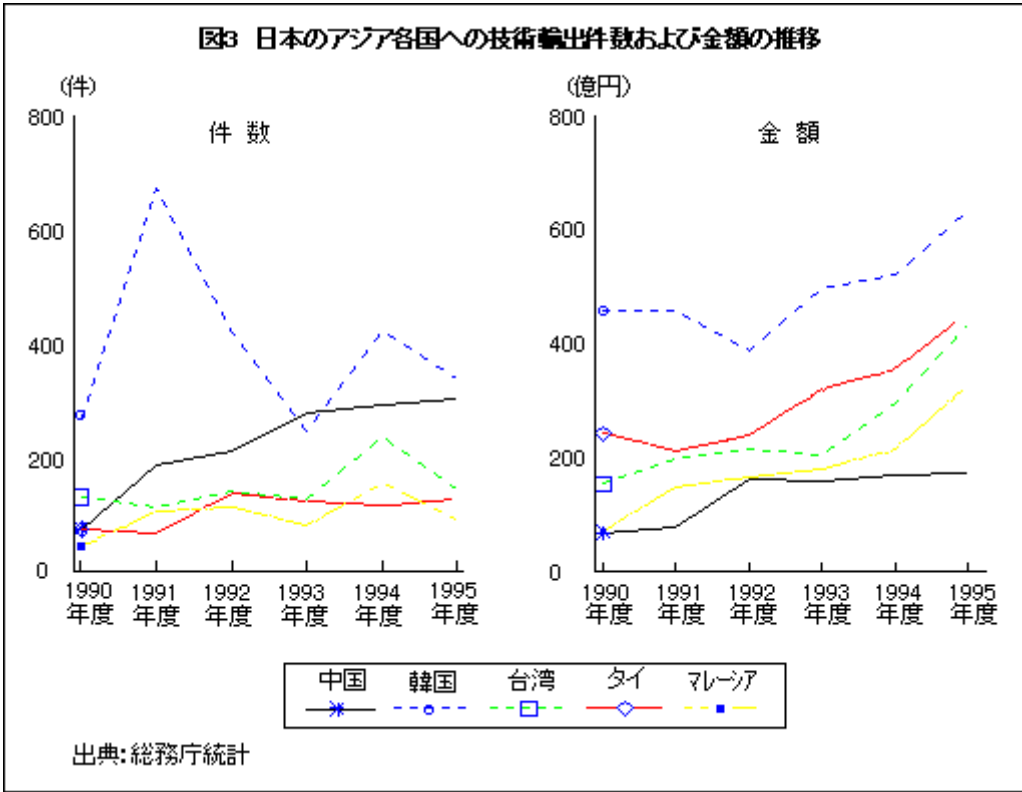


図1-4 1999年1月15日～2月15日の間の日本の硫黄酸化物沈着量とその発源地域別割合

出典：環境省地球環境研究総合推進費終了研究報告書「東アジア地域の大气汚染物質発生・沈着マトリクス作成と国際共同観測に関する研究」研究代表者：村野健太郎（(独)国立環境研究所）（平成11年度～平成13年度）



出典：中華人民共和國 國家環境保護總局（2003），「中國環境狀況廣報 2003 年版」（一部追加）

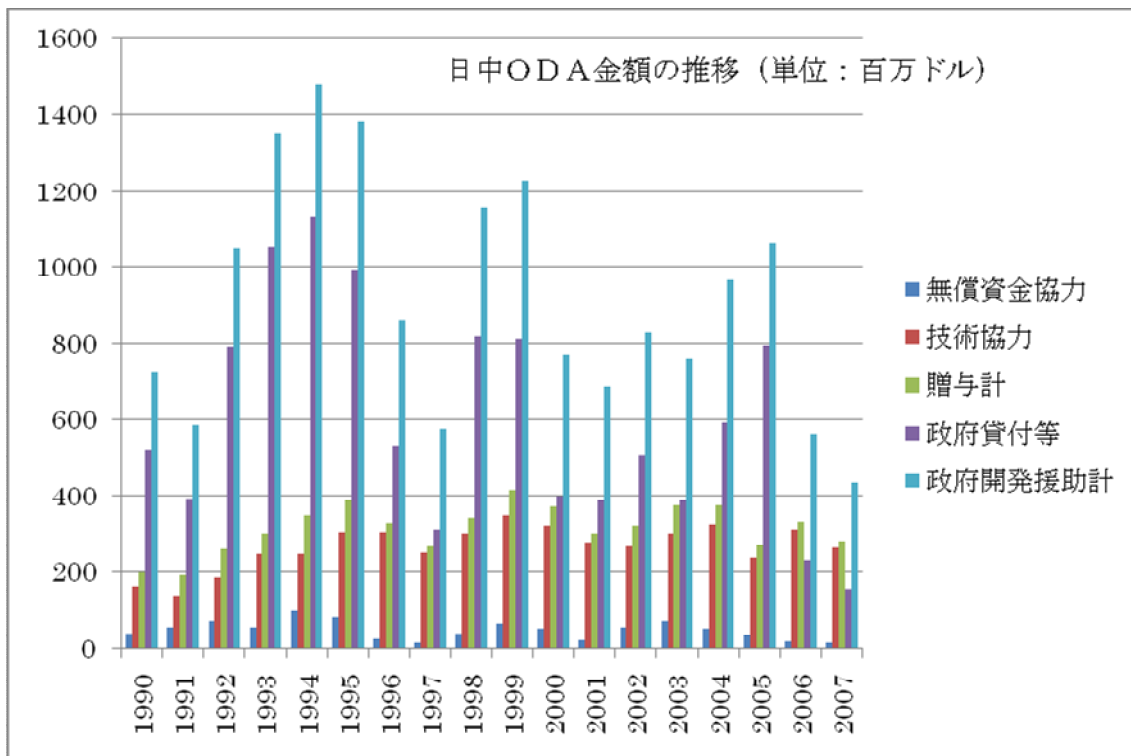


<http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/mat050j/mat050aj.html> より。

表4-2 日本に沈着する硫黄酸化物の発生源寄与度の見積もり (%)

| 実施主体 | 対象期間 | 発生源 | | | | |
|----------------------|----------------------|-----|----|----|------|-----|
| | | 日本 | 火山 | 中国 | 朝鮮半島 | その他 |
| 世界銀行 (RAINS-Asia) | 1990年 | 38 | 45 | 10 | 7 | 0 |
| 電力中央研究所 | 1988年10月～ 1989年9月 | 40 | 18 | 25 | 16 | 1 |
| 大阪府立大学 | 1990年 | 37 | 28 | 25 | 10 | 0 |
| 山梨大学 | 1988年 | 47 | 11 | 32 | 10 | 0 |
| 中国科学院 | 1989年 | 94 | | 3 | 2 | 1 |

出典：環境省（2004）、「酸性雨対策調査総合取りまとめ報告書について」添付資料（参考5）



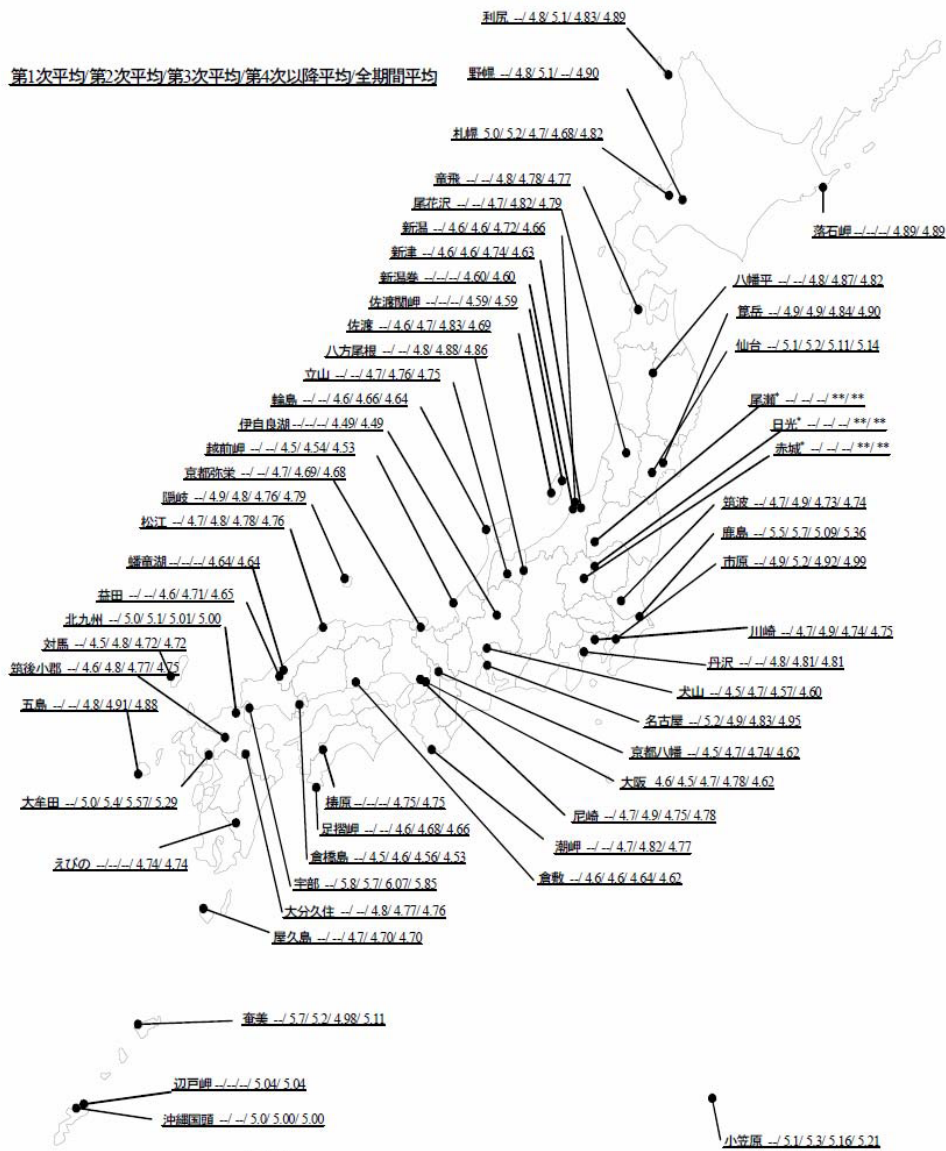


図1-1 全国の降水のpH分布図

出典：環境省（2004），「酸性雨対策調査総合取りまとめ報告書について」，添付資料（参考2）

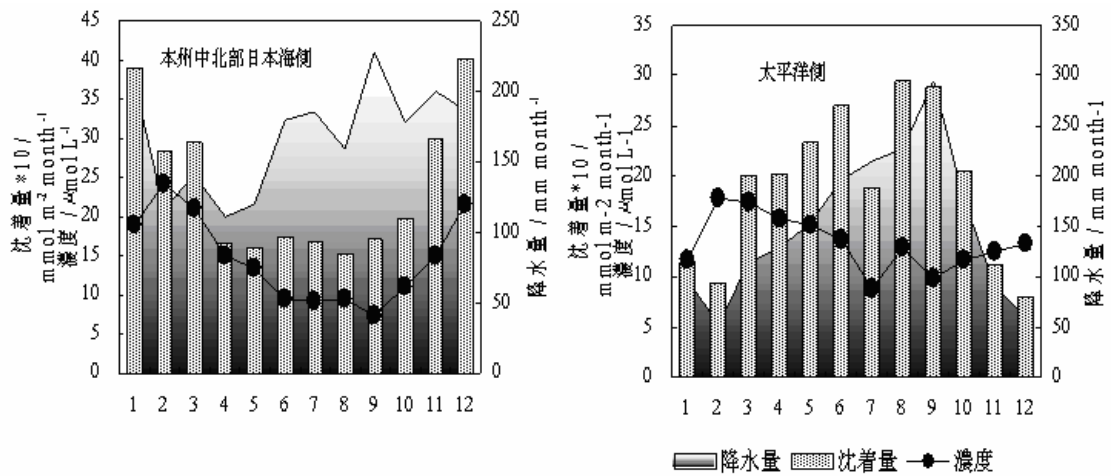


図1-2 非海塩性硫酸イオン濃度と沈着量及び降水量の地域別季節変動

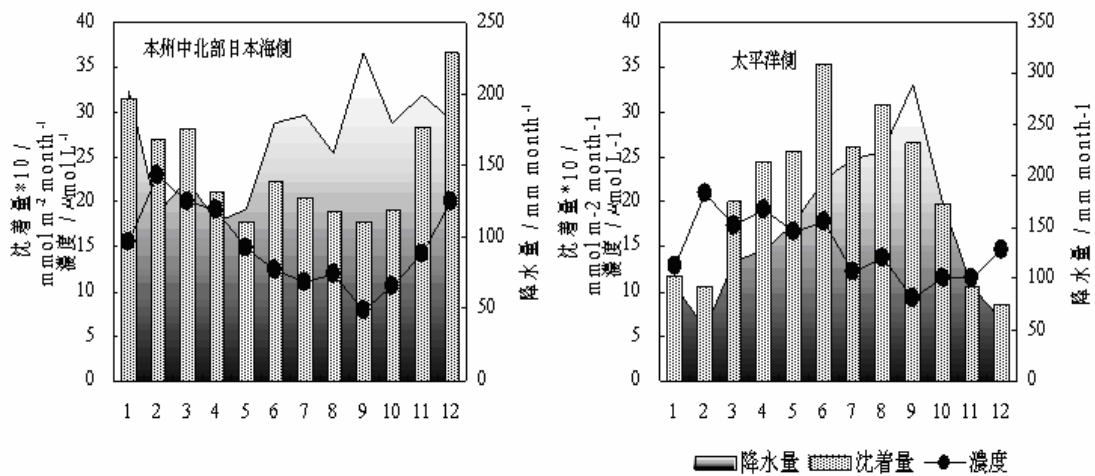


図1-3 硝酸イオン濃度と沈着量及び降水量の地域別季節変動

出典：環境省（2004），「酸性雨対策調査総合取りまとめ報告書について」，添付資料（参考3）

<Chapter3>

中国の環境対策

- 1984年5月 「水質汚染防止改善法」制定(1996年改正)
- 1987年9月 「大気汚染防止改善法」制定(1995年、2000年に改正)
- 1988年 「国家環境保護局を国務院の直属機関に昇格)
- 1989年12月 「環境保護法」を制定
- 1992年 ブラジルでの地球サミット(国連環境開発会議)に当時の李鵬首相が出席、中国が本格的に国際的な環境政策に歩調を合わせる契機に。
- 1994年3月 「中国アジェンダ 21」を作成、2000年までに国内で取り組むべき計画と行動内容を規定。中国の持続的発展は環境保全が前提になるとの認識が国の政策の中に盛り込まれた画期的指針。
- 2001年12月 「国家環境保護十五計画」発表
- 2002年6月 「クリーン生産促進法」発布。環境汚染の発生の源で汚染を制御・削減する。グリーン調達開始の契機に。
- 2004年 「清潔生産審査暫定弁法」施行。企業に環境負荷の少ない生産方法を採用することを促す。
- 同 「固体廃棄物環境汚染防止対策法」(リサイクル促進法)改定。

<表2><http://www.smrj.go.jp/keiei/kokurepo/kaigai/backnumber/005217.html>

運転中の脱硫設備と循環流動床ボイラー (電力)

| 名 称 | 設備容量 (万kW) | 採用した脱硫法 | 運転状況 | 技術導入相手 先国 |
|-----------|---------------|-------------------|---------|--------------|
| 四川白馬発電所 | 2.5相当 | ロータリースプ レー式乾燥法 | 1991年運開 | 国産技術 |
| 重慶珞璜発電所1期 | 36×2 | 湿式石灰－石膏 法 | 1993年運開 | 日本 |
| 山東黄島発電所 | 10相当 | ロータリースプ レー式乾燥法 | 1994年運開 | 日本 |
| 山西太原第一発電所 | 20相当 | 簡易湿式石灰－ 石膏法 | 1996年運開 | 日本 |
| 四川高壩発電所 | 10 | 循環流動床 | 1996年運開 | フィンランド |
| 四川成都熱電所 | 10相当 | 電子ビーム法 | 1997年運開 | 日本 |

| | | | | |
|-----------|--------|----------------|----------|--------|
| 深圳西部発電所 | 30 | 海水脱硫法 | 1999 年運開 | ノルウェー |
| 南京下関発電所 | 12.5×2 | 炉内カルシウム 噴霧法 | 1999 年運開 | フィンランド |
| 重慶珞璜発電所2期 | 36×2 | 湿式石灰－石膏 法 | 1999 年運開 | 日本 |
| 重慶発電所 | 20×2 | 湿式石灰－石膏 法 | 2000 年運開 | ドイツ |
| 浙江半山発電所 | 12.5×2 | 湿式石灰－石膏 法 | 2000 年運開 | ドイツ |
| 北京第一熱電所 | 10×2 | 湿式石灰－石膏 法 | 2000 年運開 | ドイツ |
| 貴州貴陽発電所 | 5 | 集じん脱硫一体 型法 | 2000 年運開 | 日本 |

<表 3><http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat082j/mat82j.pdf>

運転中の脱硫設備と循環流動床ボイラー（一般産業）

| 名 称 | 採用した脱硫法 | 運転状況 | 技術導入相手先国 |
|--------------|---------|----------|----------|
| 山東濰坊化工廠 | 簡易脱硫装置 | 1997 年運開 | 日本 |
| 広西南寧科学工業集团公司 | 簡易脱硫装置 | 1997 年運開 | 日本 |
| 四川長寿化工廠 | 簡易脱硫装置 | 1997 年運開 | 日本 |
| 湖南湘氮実業有限公司 | 簡易脱硫装置 | 1999 年運開 | 日本 |
| 北京房山服装集团公司 | 循環流動床 | 1999 年運開 | 日本 |
| 山東淄博鋁務局嶺子炭鋁 | 循環流動床 | 1999 年運開 | 日本 |
| 山東棗莊鋁務局紫里炭鋁 | 循環流動床 | 1999 年運開 | 日本 |
| 遼寧錦州熱電莊公司 | 循環流動床 | 1999 年運開 | 日本 |
| 吉林遼源市熱力能源公司 | 循環流動床 | 1999 年運開 | 日本 |

<表 4><http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat082j/mat82j.pdf>

表4-2 日本に沈着する硫黄酸化物の発生源寄与度の見積もり (%)

| 実施主体 | 対象期間 | 発生源 | | | | |
|----------------------|----------------------|-----|----|----|------|-----|
| | | 日本 | 火山 | 中国 | 朝鮮半島 | その他 |
| 世界銀行 (RAINS-Asia) | 1990年 | 38 | 45 | 10 | 7 | 0 |
| 電力中央研究所 | 1988年10月～ 1989年9月 | 40 | 18 | 25 | 16 | 1 |
| 大阪府立大学 | 1990年 | 37 | 28 | 25 | 10 | 0 |
| 山梨大学 | 1988年 | 47 | 11 | 32 | 10 | 0 |
| 中国科学院 | 1989年 | 94 | | 3 | 2 | 1 |

<表5> <http://seminar.econ.keio.ac.jp/onuma/inter/2006/kuuki.pdf>

参考文献

『環境経済学』 H.ジーベルト / 著 大沼あゆみ / 監訳

シュプリンガー・ジャパン (2005)

「不完全競争・越境汚染下における環境技術開発と国際技術移転」 服部圭介 (2007)

<http://www.pref.tottori.lg.jp/dd.aspx?menuid=76800>

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-08-03-02

http://www.crdc.gifu-u.ac.jp/edsoftol/sanseiu/sinrin_frame.html

<http://eco.nikkei.co.jp/column/eco-china/article.aspx?id=MMECCj000002092009&page=2>

http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_shindan.html

<http://www.nies.go.jp/kanko/news/15/15-5/15-5-04.html>

<http://www.smri.go.jp/keiei/kokurepo/kaigai/backnumber/005217.html>

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat082j/mat82j.pdf>

<http://seminar.econ.keio.ac.jp/onuma/inter/2006/kuuki.pdf>

http://news.searchchina.ne.jp/disp.cgi?y=2006&d=0803&f=national_0803_002.shtml

中国の環境問題と日本の技術移転 ～石炭燃焼炉の転換と脱硫技術を中心として～ 文部科学省(2002)

<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/4-4kosa.html>

http://www.asiam.co.jp/news_env.php?topic=012934

<http://www.env.go.jp/earth/coop/jcec/2002/cjecieg2002.pdf>

<http://www.env.go.jp/earth/dss/>

<http://www.env.go.jp/earth/dss/past/index.html>

http://www.env.go.jp/earth/dss/torikumi/adb_gef/index.html

http://www.env.go.jp/earth/coop/coop/policydialog_j.html

http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/data/gaiyou/odaproject/asia/china/contents_01.html

<http://www.eanet.cc/jpn/profile/back.html>

<http://www.eanet.cc/jpn/profile/activity.html>

http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/seisaku/pdfs/21_jyuten.pdf

<http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-34/mat04.pdf>

http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/china/visit/0704_kankyo_s.html

<http://www.env.go.jp/earth/coop/jcec/2000/datasheet/contents.htm>

<http://www.ritsumei.ac.jp/acd/cg/ir/college/bulletin/vol13-2/tyou.pdf>

<http://www.nistep.go.jp/achiev/abs/jpn/mat050j/mat050aj.html>

http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/shiryo/kuni/08_databook/pdfs/01-04.pdf

<http://seminar.econ.keio.ac.jp/onuma/inter/2006/kuuki.pdf>

<http://www.mofa.go.jp/Mofaj/Gaiko/oda/data/chiiki/china.html>