

■ 研究論文 ■

日本の酸性化対策としての国際協力の費用効果性 — 中国・韓国の脱硫への出資は安価なオプションか? —

Cost-effectiveness of International Cooperation in Order to Protect Japan from Acidification
— Is Investment in Chinese and Korean Desulfurization a Low-cost Option? —

杉山大志*・中田実****

Taishi Sugiyama Mimoru Nakata

本藤祐樹**・明日香寿川****・市川陽一***

Hiroki Hondo

Yusen Asuka

Yoichi Ichikawa

(原稿受付日1998年7月6日, 受理日1998年12月14日)

Abstract

Is it cost-effective for Japan to invest in SO_x emission reductions of Asian countries in order to protect her own territory from acidification? This paper aims to answer the question.

First, data were collected and integrated. They include : a recently released source-receptor matrix with detailed regional breakdown of Northeast Asia, as well as costs of alternative SO_x reduction technologies.

Secondly, the costs of reducing unit SO_x deposition in Japan were compared for alternative source location(e. g. Japan/Kyushu, China/Shenyang, Korea/Pusan)and alternative reduction technologies. It was found to be cost-effective, compared to costly Japan's additional domestic reduction options, to invest in reduction options of both China's low-cost ones and the ones of Southern Korea which is geometrically close to Japan.

Needless to say, the most important stakeholders of Asian continental emission reduction are those who live in the continent – not Japanese. Still, Japan has her own reason to help neighbors to reduce the emissions.

1. はじめに

日本への硫黄酸化物沈着量のうち、アジア大陸からの越境汚染の寄与は、国内の排出源によるものと同程度に上り、かなり大きい割合を占めていると考えられている^{4) 8) 11)}。(酸性化全般に関する解説としては、文献を参照されたい⁹⁾)。今後、アジア諸国では、更なる経済発展とそれに伴うエネルギー需要増大に伴い、酸性化物質排出も増加することが懸念されている⁷⁾。IIASAによるRAINSアジアプロジェクト⁴⁾では、このまま排出が増え続けた場合には21世紀初頭にアジア地域で深刻な酸性化被害が生じる可能性を示し、それ

を抑制するための総費用を対策の程度に応じてGDPの0.5%から2%程度と見積もっている。

日本にとって、アジア大陸における排出削減に対して費用負担をすることには、以下の3つの意味がある。第1は、それが大陸の環境を改善することから、国際協力として行うことに意義がある、というものである。第2は、越境して沈着する酸性物質が絶対量として多いために、生態系保全の観点から放置するべきではない、というものである。第3は、外国での安価な排出削減オプションを利用するほうが、日本で今以上に削減するよりも安あがりかもしれない、というものである。

本報告では、このうち第3点についての評価を主にを行う。これによって、「日本の酸性化防止のために大陸への国際協力が必要である」という、よく見られる議論について、その費用効果性の定量的評価を行う。第1点については後で若干の考察をする。第2点については文献⁴⁾および今後の検討に委ねたい。

本報告に先立つ事例としては、明日香³⁾、Pearce・

* 電力中央研究所 経済社会研究所主任研究員

** “ “ “

*** “ “ “ 大気科学部 上席研究員

〒100-8216 東京都千代田区大手町1-6-1

**** (財)地球環境戦略研究機関 気候変動プロジェクト

〒240-0918 神奈川県三浦郡葉山町上山口1560-39

***** 東北大学東北アジア研究センター

〒980-0862 仙台市青葉区川内

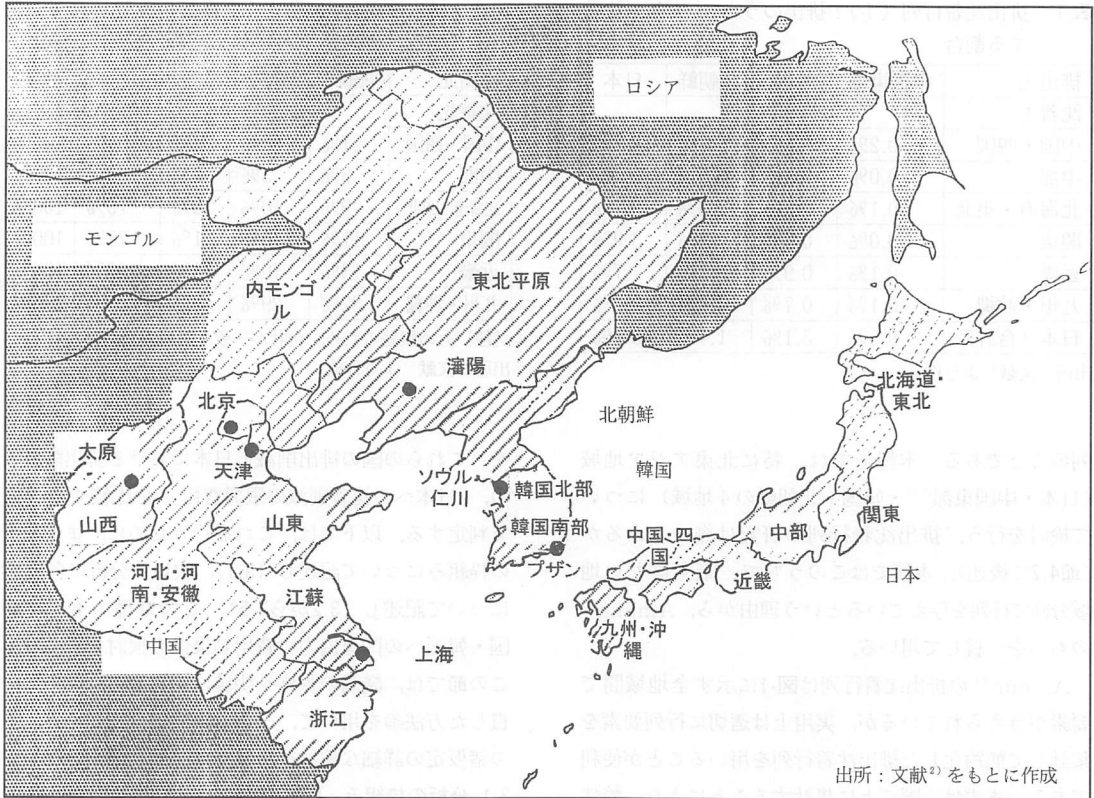


図-1 本稿で用いる排出沈着行列が対象とする地域分割

中田³⁾らの研究があり、中国での脱硫投資の日本にとっての費用便益を分析している。しかし、これらの研究では対象地域を東北中国全体あるいは中国全体として扱っているため、越境汚染の地域的性質の把握が不十分であり^{注1)}、また酸性物質の越境輸送に関する大気科学的知見、排出削減費用、損害費用についてのデータが十分であるとはいえなかった。

本報告でも、これら先行研究と同様な費用便益分析を行う。その重要な特徴の一つは、地方（中国ではおおむね省）レベルを分析対象とすることである。これによって、越境汚染の性質に関してより詳細な理解がなされる。もう一つの特徴は、方法論上の問題から、ここでは酸性化による損害評価は行わずに明日香³⁾の方法論を概ね踏襲し、中国および韓国における硫黄排出削減が日本にもたらす便益を、「日本における排

注1) 例えば、同じ中国でも日本に近い沿海地方（例えば大連）の排出と、日本に遠い内陸地方（例えば成都）における排出では、日本へ飛来する程度が異なる。

注2) 沈着削減限界費用とは、その沈着を1単位追加的に削減するのに必要な費用のことである。

出削減費用の軽減」という形で評価することである。

以下では、日本への酸性沈着を1単位減らすのに必要な費用について、日本と大陸の排出源について比較評価する。より正確に言えば、日本への「沈着削減限界費用」^{注2)}を、大陸の排出源と日本の排出源について比較する。このために、まず節2と節3において、沈着削減限界費用を、「排出沈着行列」^{注3)}と「排出削減限界費用」^{注4)}によって計算する。この経済性評価は、硫黄排出に伴う被害の全体を捉えるものではなく、また様々な不確実性を内包しているが、これについては節4で議論する。最後に節5で、結論を与える。

2. 北東アジアの排出沈着行列

排出沈着行列 (Source-Receptor Matrix) とは、ある地域からの排出（この場合は硫黄排出）が、どの程度だけ他の地域に沈着するかを、定量的に表した行

注3) ある地点における排出が、他のある地点に沈着する程度を表現する行列。

注4) 排出削減限界費用とは、その排出を1単位追加的に削減するのに必要な費用のことである。

表1 排出沈着行列(1): 排出のうち、日本へ沈着する割合

排出元	中国東部	韓国	北朝鮮	日本
沈着先				
中国・四国	0.2%	0.6%	0.6%	4.8%
中部	0.0%	0.1%	0.0%	6.2%
北海道・東北	0.1%	0.6%	0.3%	10.7%
関東	0.0%	0.2%	0.1%	3.9%
近畿	0.1%	0.9%	0.3%	7.7%
九州・沖縄	0.1%	0.7%	0.0%	2.0%
日本(合計)	0.5%	3.1%	1.4%	35.4%

出所: 文献⁵⁾より作成。

列のことである。本報告では、特に北東アジア地域(日本・中国東部⁵⁾・韓国・北朝鮮の4地域)について検討を行う。排出沈着行列の研究は幾つかあるが(節4.2で後述)、本稿ではこのうちで、最も詳しい地域分割で行列を与えているという理由から、Amann²⁾のものを一貫して用いる。

Amann²⁾の排出沈着行列は図-1に示す全地域間で要素が与えられているが、実用上は適切に行列要素を集計して簡約化した排出沈着行列を用いることが便利である。まずは、国ごとに集計することにより、酸性物質の国際輸送の概略を理解しよう。表1は、北東アジアのある地域から、日本の各地域へ沈着する割合を示したものである。1990年現在、年間5950kt-Sの硫黄が中国東部から排出されており、表1によれば、そのうち0.5%の32kt-Sが日本に沈着している。また、年間825kt-Sの硫黄が韓国から排出され、表1によれば、そのうち3.1%の26kt-Sが日本に沈着している。中国から日本へと沈着する割合は0.5%と小さいものの、中国における排出の絶対量が巨大であることから、その日本への沈着量が無視できない規模になっていることが注目される。

また、表2によれば、日本各地域において、人間活動に由来する硫黄沈着のうち、外国由来の硫黄沈着割合が大きいのは、九州・沖縄地域で、32%を中国東部由来、29%を韓国由来が占めている。一方日本由来の沈着分は37%である。

3. 中国・韓国への国際協力の費用効果性

本報告では、中国・韓国への国際協力の費用効果性

注5) 本報告での中国東部とは、東北平原、瀋陽、河北、河南、安徽、北京、天津、山東、山西、太原、内モンゴル、江蘇、上海、浙江の各地域を指す。

表2 排出沈着行列(2): 沈着先の硫黄沈着量に対する、排出源の寄与率(人間活動由来のみ)

排出元	中国東部	韓国	北朝鮮	日本	合計
沈着先					
中国・四国	27%	16%	3%	56%	100%
中部	3%	3%	0%	90%	100%
北海道・東北	9%	10%	10%	79%	100%
関東	11%	10%	1%	78%	100%
近畿	13%	19%	1%	66%	100%
九州・沖縄	32%	29%	0%	37%	100%

[注] 丸め誤差のため、合計が一致しない場合がある。

出所: 文献²⁾より作成。

を、これらの国の排出削減と日本における排出削減との、「日本への沈着削減の限界費用」を比較することで判定する。以下では、これを行うために、まず分析の枠組みについて記述し(3.1)、次いで分析の各要素について記述し(3.2から3.5)、この準備のもとに中国・韓国への国際協力の費用効果性を検討する(3.6)。この節では、議論の骨格を明確にすることに努め、一貫した方法論を用いて、一通りの評価作業を行う。その諸仮定の詳細な検討は、改めて次節(節4)で行う。

3.1 分析の枠組み: 「協力費用」と「回避される費用」

日本にとっての国際協力の費用効果性は、「日本への沈着削減の限界費用」を比較することによって分かる。「日本への沈着削減の限界費用」は、「排出削減限界費用」を、「日本への沈着割合」で除して計算する。各用語の正確な定義は、以下に続く各節で与える。

「日本への沈着削減限界費用」は、さらに以下のように細分化して再定義することが便利である。以下では、必要に応じて、ここで定義される2つの用語—「協力費用」と「回避される費用(avoided costs)」を使って議論する。

A) 「中国・韓国での排出削減を通じた、日本への沈着削減限界費用」を、「協力費用」と定義する。

これはすなわち、追加的な1トンの日本への沈着削減を行うために、日本が国際協力によって費用を支払うと考えた場合の、日本が負担する費用のことである。

B) 「日本での排出削減を通じた、日本への沈着削減限界費用」を、「回避される費用(avoided costs)」と定義する。これはすなわち、日本で排出削減を行うことによって、追加的な1トンの沈着削減を行うための費用のことである。この費用が、A)の国際協力によって「回避される」と考

表3 想定した排出削減対策技術

技術名称	脱硫効率	対策費用 ⁴⁾ [円/t-SO ₂]	見積対象国	文献
簡易脱硫 ^{*1}	70%	20,000	中国	6)
湿式排煙脱硫 ^{*2}	90%	280,000	日本	1)
Wellman-Lord法 ^{*3}	98%	560,000	日本	1), 4)

- * 1 : 脱硫効率70%を達成する簡易脱硫には、以下のような様々な方式がある：煙道注入方式、改良型湿式石灰-石膏法、石灰灰利用法、水酸化マグネシウム法、電子ビーム方式など、これらの技術による中国における脱硫費用は、30万kW規模の発電所に対しての試算では、多くの場合、概ね20,000 [円/t-SO₂] 前後と評価されている。これら脱硫技術の費用は、現地における資材および脱硫剤などの調達を適宜想定している。費用が低い要因の一つとしては、中国における脱硫剤価格が、日本に比べて、大幅に安いことが挙げられている⁶⁾。
- * 2 : 割引率7.2%、償却期間7年、年経費率21.6%として計算している。
- * 3 : この費用は、文献⁴⁾における湿式排煙脱硫の費用とWellman-Lord法脱硫の費用比を参考に、日本で同様なプラントを設置したと想定して湿式排煙脱硫の費用評価値¹⁾を補正したものである。
- * 4 : この対策費用は、資本費および運転維持費などの総和(=総費用)を用いて計算した平均費用である。

える。

国際協力が日本にとって費用効果的であるためには、「協力費用」の方が「回避される費用」よりも安ければ良いことになる。

3.2 脱硫技術データ

本稿で使用する脱硫技術データを、表3にまとめた。ここで言う硫黄排出削減の対策費用は、資本費および運転維持費の総和(=総費用)を用いて計算した平均費用である。

中国では、さまざまな低コスト技術オプションが存在するが、本稿では、これらのうちで最も信頼性の高い情報として、70%脱硫の簡易脱硫技術のコスト評価事例を用いた。これによって、中国の低コストオプションを代表することとした。

日本では、100万kW石炭火力発電における排煙脱硫費用は、トンSO₂あたり28万円と試算されている。この値を、中国・韓国についても想定した。また、日本で今後脱硫をさらに進めるとすれば、排煙脱硫費用はさらに高くなる。ここでは、脱硫技術を湿式の石灰石膏法から、Wellman-Lord法に変更することを想定し、そのSO_x削減費用としては、トンSO₂あたり56万円に設定した。

3.3 排出削減限界費用

排出削減の限界費用を計算するにあたっては、どのような技術選択がどの国で行われるかを想定する必要

表4 排出削減の限界費用

国名	案件	硫黄削減率の変化	限界費用[円/t-SO ₂]
中国	簡易脱硫の設置	0%→70%	20,000
	湿式排煙脱硫の設置	0%→90%	280,000
韓国	簡易脱硫の設置	0%→70%	N. A.
	湿式排煙脱硫の設置	0%→90%	280,000
日本	Wellman-Lord法設備の設置	90%→98%	3,500,000

がある。ここでは、表4に示す6つの場合を想定した。

- 中国においては、脱硫装置が全く整備されていない排出源が多く存在し、これらに簡易脱硫あるいは湿式排煙脱硫を設置することが国際協力案件になると考えられる。
- 韓国においても、脱硫装置が全く整備されていない排出源がなお多く存在するために、中国と同様に、これらに簡易脱硫あるいは湿式排煙脱硫を設置することが国際協力案件になると考えられる。ただし簡易脱硫については、韓国についてのデータは得られなかった。表3には中国についての見積もりはあるものの、中国と韓国ではコスト構造が大きく異なるために、中国なみに低いコストは韓国には想定できないと考えた。
- 日本においては、主要な排出源には排煙脱硫装置がすでに整備されている。したがって、さらなる硫黄排出削減を行うためには、現在は排煙脱硫装置が設置されていない小規模排出源にも設置をするか、あるいは、すでに排煙脱硫装置があるところを、より硫黄削減率の高いもので置き換えるしかない。このように考えて、日本では2通りの限界費用を計算した：

—小規模排出源における排煙脱硫技術は、大規模排出源に関する見積もり¹⁾よりもコスト高と考えられるが、ここでは簡単のために、大規模排出源

注6) 日本において、脱硫効率を90%から98%まで向上させる場合の限界費用は、以下のように計算される：脱硫効率を90%から98%まで向上させる場合の限界費用
=湿式簡易脱硫装置の代わりにWellman-Lord法脱硫装置を設置する場合の限界費用
=(560,000-280,000)/(0.98-0.90)
=3,500,000 [円/t-SO₂]

なお、設備寿命前の設備を途中で置き換える場合にはこれよりも費用が高くなるが、ここではそのような場合は想定しない。寿命を終えた設備の置き換えおよび新設設備を対象として評価する。

他の場合は、脱硫を行わない場合からの変化であるので、排出削減の平均費用がそのまま限界費用となる。

の値で代用した。

一大規模排出源については、すでに湿式排煙脱硫が設置されていると仮定し、その排煙脱硫率をさらに引き上げるためには、Wellman-Lordプロセスに置き換えることを想定した。

以上各ケースの限界排出削減費用をまとめると、表4のようになる^{註6)}。

注目に値することは、すでに排煙脱硫の進んでいる日本において、さらなる排出削減を行おうとする場合、その限界費用が高騰することである。これは、費用が増大する割には削減率の上昇が小幅に留まるために、削減の経済効率性が低くなることを意味している。

3.4 排出沈着行列

表5の排出沈着行列を、この節3での検討に用いる。中国の排出のうちで日本へ沈着する割合は、比較的高

表5 各地点における排出に占める、日本へ沈着する割合

中国	瀋陽	0.72%
	北京	0.44%
	山東	0.68%
	内モンゴル	0.71%
	上海	0.60%
韓国	ソウル・仁川	1.55%
	韓国南部	2.27%
	プザン	10.39%
日本	中国・四国	15.75%
	中部	44.90%
	北海道・東北	55.27%
	関東	31.52%
	近畿	44.60%
	九州・沖縄	25.13%

(出所：文献⁷⁾をもとに作成)

い瀋陽で0.72% (国全体では0.5%) となっており、中国で排出された硫黄が日本に到達する割合は小さいことがわかる。一方、韓国における排出は日本へ沈着する割合が比較的高く、プザンではその排出の10.4%に上っている点が注目される。

3.5 沈着削減限界費用

以上で、日本への沈着削減限界費用 (= 協力費用または回避される費用) を計算する準備が整った。「日本への沈着削減の限界費用」は、表4の「排出削減限界費用」を、表5「日本へ沈着する割合」で除して計算する。代表的な地点に関する計算結果は、表6に示す通りである。

3.6 費用効果性の検討

この節では、表6の解釈を行う。ただし、一連の前提条件には科学的不確実性が存在し、またここでの技術想定は収集可能な範囲での代表値に過ぎない。このために、まず本節においては、表6の数値に基づいたテクニカルな解釈に議論を限定し、最終的な結論は後の節で述べることにする。

1) 「協力費用」と「回避される費用」の比較

ここでは、表6の数字に忠実に、「協力費用」と「回避される費用」の比較 (= 日本への沈着削減限界費用の比較) を一通り行ってみる。

A) 日本国内で湿式脱硫方式による排出削減を行う場合 (案件⑤) との比較

表6に従えば、日本の脱硫方式として、湿式脱硫方式を想定した場合 (⑤) には、ここで検討した国際協力において、「協力費用」 (①~④) は常に「回避される費用」を上回る。すなわち、日本の酸性化対策としての瀋陽・プザンへの国際協力は、費用効果性の面からは、正当化できない。瀋陽・プザンに関して正当化

表6 沈着削減限界費用の計算

案件	地点	案件	硫黄削減率の変化	排出削減限界費用 [円/t-SO ₂]	日本への沈着割合	日本への沈着削減限界費用 [円/t-SO ₂]
①	中国 瀋陽	簡易脱硫設置	0%→70%	20,000	0.72%	2,777,778 (協力費用)
②		湿式排煙脱硫設置	0%→90%	280,000		38,888,889 (協力費用)
③	韓国 プザン	簡易脱硫設置	0%→70%	N. A.	10.4%	N. A. (協力費用)
④		湿式排煙脱硫設置	0%→90%	280,000		2,692,308 (協力費用)
⑤	日本	湿式排煙脱硫設置	0%→90%	280,000	35.0%	800,000 (回避される費用)
⑥		Wellman-Lord法設置	90%→98%	3,500,000		10,000,000 (回避される費用)

表7 合理的負担額およびそれが中国・韓国の排出削減限界費用に占める割合

ケース	①想定する日本の案件	②日本の支払いの対象地点	③日本の合理的負担額 [円/t-SO ₂]	④日本の支払いの対象地点の案件	⑤対象地点の限界排出削減費用 [円/t-SO ₂]	⑥日本の合理的負担割合 [%] (=③/⑤)
A	湿式排煙脱硫設備の設置	中国 瀋陽	5,760	簡易	20,000	29%
B				湿式排煙	280,000	2%
C		韓国 プザン	83,200	簡易	N. A.	N. A.
D				湿式排煙	280,000	30%
E	Wellman-Lord法設備の設置	中国 瀋陽	72,000	簡易	20,000	360%
F				湿式排煙	280,000	26%
G		韓国 プザン	1,040,000	簡易	N. A.	N. A.
H				湿式排煙	280,000	371%

できない以上、日本への沈着割合がさらに低い中国・韓国のどの地域においても、正当化できない。

B) 日本国内でWellman-Lord法による排出削減を行う場合(案件⑥)との比較

表6に従えば、日本の脱硫方式として、Wellman-Lord方式を想定した場合(⑥)には、ここで検討した国際協力において、「協力費用」は「回避される費用」を大きく下回る場合がある。すなわち、日本の酸性化対策としての瀋陽・プザンへの国際協力(瀋陽での簡易脱硫案件(案件①)、およびプザンでの湿式排煙脱硫案件(案件④))が、費用効果性の面から、正当化される。

瀋陽・プザン以外の地点に関しては、日本への沈着割合は下がるものの、排出沈着行列(表5)の要素を見ると、中国東部のかなり広い範囲にわたって日本への沈着割合は瀋陽と大差が無いために、同地域の広い範囲での簡易脱硫は正当化されそうである。また、韓国南部での湿式排煙脱硫も正当化できそうである。

他方で、中国での湿式排煙脱硫の設置(案件②)は、費用効果的でない。

2) 中国・韓国の排出削減に対する部分的費用負担

A) 日本の合理的負担額

上述の1)では、中国・韓国の案件に対して、日本が費用を全額負担する／しないという、極端な場合のみを検討してきた。他方では、中国・韓国が、自国の環境問題への対応として、排出削減を行う場合がある。このときには、日本も沈着が減少するという便益を受けるわけなので、いくらかの負担をしても費用効果的ではなく、これによって、中国・韓国の費用負担を軽減することができる。「日本の合理的負担額」を以下のように定義すると便利である：

日本の合理的負担額：中国・韓国で排出削減を行うことで、日本の自国内排出削減の費用が軽減されるとの観点から、中国・韓国の排出削減に対して、日本が負

担しても費用効果的であると考えられる上限の額(限界費用)。単位は[円/t-SO₂]。

このようにして定義された日本の合理的負担額は、表7のように計算される。ここで、
協力費用/回避される費用＝

日本の合理的負担額/排出削減限界費用
という恒等式が、定義によって成り立つことが、表6および表7から確認できる。

B) 表7の解釈

表7の計算過程を説明し、その意味を述べるために、表7第1行目のケースAを例として取り上げる。このケースAと比較されている案件は、中国・瀋陽における簡易脱硫設備の設置と、日本における湿式脱硫設備の設置である。日本の合理的負担額は、日本の排煙脱硫による沈着削減限界費用80万円(表6を参照)に、瀋陽から日本への沈着割合0.72%(同じく表6を参照)を掛けた5760 [円/t-S] になっている。これは、瀋陽における排出削減限界費用20,000 [円/t-S] の29%に相当する。

表7において、⑥の欄の「日本の合理的負担割合」(=③を⑤で除して得られる)が100%以下であれば、その案件を全額負担することは日本にとって費用効果的でないことになる。ただし、その数値の示す割合だけでは、負担をすることに費用効果性がある。上の例で言えば、この瀋陽の案件については、5760 [円/t-SO₂]までは支払うことに合理性がある。これは簡易脱硫案件で言えば全費用の29%を日本が負担してよいという意味になる。

対照的に、⑥の欄の「日本の合理的負担割合」が100%以上であれば、その案件の全額負担が日本にとって費用効果的であることになる。また、その数値が大きければ大きいほど、日本にとっての便益が大きいことを示している。

4. 数値の取扱いに関する検討と解釈

ここでは、これまでの数値の取扱いについて必要な検討を行い、その意味する内容について考察する。特に注意を要する点は、既に述べた脱硫技術データの設定以外にも2つある。1つは損害評価に関する問題であり、もう1つは輸送モデルの精度に関する問題である。

4.1 損害の評価に関する問題

本稿では、広い地域にわたって集計された沈着量を、異なる排出源に対して比較してきた。この立場で対策費用の比較をすることは、損害の性質について、いくつかの暗黙の仮定をおいていることになる。あるいは、言い換えれば、このような分析では、硫黄排出による被害のうち、その一部分しか見ていないことになる^{注7)}。

実際には、硫黄排出の特徴として、排出源と被害発生地点の位置関係によって、損害の性質が異なる可能性がある。それは一方では、喘息のような局所的・短期的で、深刻な健康被害をもたらす場合がある。他方では、湖沼酸性化のような、広域的・長期的で、健康被害は特に生じないような場合もある。

本稿での比較は、基本的には、広域的・長期的な、いわゆる「酸性化問題」に関する分析であって、局所的・短期的な、「大気汚染公害」に関するものではない。つまり、後者についても考慮に入れるとすれば、本稿の費用比較に加えて、別途考察しなければならない。また、「酸性化」についても、かなり単純化して考えていることになる。つまり、その損害が基本的に沈着量に比例的であるとしており、例えば物理的な意味での閾値の存在は仮定していない。

もしも局所的・短期的な被害がより重要であれば、対策としては、その地域における集中的な排出削減が必要であろう。したがって、日本における排出削減が、局所的な環境影響軽減を主眼として行われる場合には、本稿の分析によって示唆されるほど、国際協力の費用効果性は高くないことになる。

他方で、局所的な健康被害問題が、日本においては解決済みであり、広域的な酸性化が主要な問題であるという立場もあろう。この場合は、国際協力による硫黄沈着削減によって、費用効果的に酸性化防止をできる

注7) 硫黄排出を含むエネルギーシステムの環境リスク分析手法についての、より包括的な記述については、文献¹⁰⁾を参照されたい。

可能性を示す本稿の試算結果は、魅力を増すだろう。

残念ながら、特に低線量の場合の被害に関する科学的知見が不足しているために、上記の損害に関する考え方のうち、何れかが正しいと科学的に結論することは、現段階ではできない。この状況において政策決定者にとって重要なことは、様々な時空的スケールにわたる被害のそれぞれに適切に対処できるように、さまざまな対策から成るパッケージを検討してゆくことだろう。

4.2 輸送モデルの精度

近年、アジア地域を対象に多くの輸送モデルが開発されている。輸送モデルの妥当性は、観測データとの比較により確認するのが一般的である。

大気中に排出された二酸化硫黄は、輸送中に拡散による希釈、硫酸への酸化、粒子化、土壌粒子による中和などを経て、地表面に除去される。地表面への除去は、雨や雲を介する場合と介さない場合の両方で起こる。こういった自然界で起こる物理、化学現象、それも気象や地理的条件に支配される複雑な現象が対象なので、輸送モデルの結果と観測結果が完全に一致することはあり得ない。このため、計算と観測がファクター2以内で一致することが、一つの目安になっている。

輸送モデルの予測結果に誤差が含まれることから、当然、そのモデルを用いて評価した排出沈着行列にも不確かさが含まれる。例えば、わが国に沈着する硫黄の大陸起源排出の寄与率は、5%~42%と予測者によって違いがある¹¹⁾。また、本報告で用いた文献²⁾の輸送モデルでは、中国の発生量の0.5%が日本に沈着すると推定しているが、電中研³⁾の輸送モデルでは、その2倍の1.0%となっている。

5. 結論

数値分析の結果は表6および表7に要約されており、また節3.6で議論されている。これらの数値的結果は、技術想定に関する不確実性や酸性物質輸送モデルに関する不確実性などが存在するために、厳密なものとして捉えるべきではなく、むしろ半定量的なものとして理解するべきである。これらのことをふまえて、本稿で検討した情報を総合すれば、以下のようにまとめることができる。

1) 中国の脱硫への日本の出資の費用効果性

本稿で採用した費用評価に基づけば、中国における簡易脱硫は、日本で追加的な排煙脱硫を行うよりもはるかに排出削減限界費用が低い。従って、中国から日

本へ沈着する割合が小さいことを考慮に入れても、簡易脱硫案件の全額あるいは何割かの費用を、日本が負担することには、費用効果性があると考えられる。他方で、中国における排煙脱硫設備の設置は、日本にとっての費用効果性は極めて低く、殆ど出資の意味が無い。但しこれは、中国における公害防止としての意味を否定するものではない。

日本における排煙脱硫設備の設置が、大排出源についてはほぼ完了していて、今後は高コストの小排出源にしか設置できなくなることを考えると、中国への出資は魅力を増す。

他方で、日本の大排出源において、その排出削減率を現状から数%高めるために費用負担を倍増させるような手段は、限界費用が極めて高くつく。従って、広域的な酸性化防止の観点からは、それを選択するよりは、国際協力に出資した方が良いだろう。

以上は、日本にとっての費用効果性という側面だけを取り出した議論であった。しかし、硫黄削減に関する対中協力を、日本にとっての費用効果性という側面だけから考えるということは、硫黄分の排出とそれがもたらす環境汚染、という問題の本質を捕らえていないと言え難い。何故なら、中国の排出のうち、その殆どである83%は中国自身に沈着し、日本への沈着はその0.5%に過ぎないからである²⁾。従って、対中協力を行うとすれば、その便益の大半は中国が受け取るものになる。この理解に立てば、中国の脱硫への出資は、中国の環境保護と人民の健康維持のために行う「援助」と考える方が素直である。中国の硫黄削減の目的としては、日本の酸性化防止は副次的であり、主目的ではないことは、心に留めておく必要がある。

2) 韓国南部への日本の出資の費用効果性：二国間協力枠組みの提案

本稿の検討結果の興味深い点の一つは、詳細な地域分割に基づく検討を行った結果として、韓国南部に対する脱硫に関する日韓国際協力の意義が示唆されたことである。表5を見れば、プザンの排出の10%強が日本に沈着する一方で、九州・沖縄の排出は25%しか日本に沈着しないことがわかる。この状況下では、日本の環境保護のためには、韓国南部の排出削減に対して、日本国内の排出削減に準ずるぐらいの注目が必要である。韓国南部には未だ排煙脱硫の設置されていない排出源があり、これらの費用負担の一部を日本が受け持つ代わりに、韓国に排出削減政策の加速を求めるといった、国際協力の形態が考えられる。このプロセスには、

ヘルシンキ議定書に代表される欧州の経験が利用できるだろう。また、今後韓・中間や韓・台間などを中心として、アジアにおける類似の国際協力が必要になっていくと考えられるために、その端緒として、まず日・韓で始めてみる意義も大きいだろう。

今後の課題としては、技術データや輸送モデルの改善があり、この作業によって本稿の枠組みで、さらに詳細な議論が可能になるだろう。他方で、損害に関する研究は、このような定量的枠組みで論じるにはまだ課題が多い。いずれにせよ、アジアの硫黄排出による環境影響は深刻化しており、適切な国際協調に支えられた一刻も早い排出削減努力が求められている。本稿でも参照させて頂いた多くの優れた研究を含め、関連する各分野の研究者諸氏に期待したい。

謝辞：本研究にあたって、貴重な議論をして頂いた埼玉大学外岡教授主催の東アジアエネルギー環境問題研究会およびIIASAの越境大気汚染プロジェクトの方々に感謝します。また2人の匿名の査読者にも、有益なコメントを頂いたことを、心より感謝致します。

参考文献

- 1) 本藤裕樹, 内山洋司, 火力発電プラントの環境対策コスト分析, 電力中央研究所報告Y92009, 平成5年8月。
- 2) Amann, Markus, et. al., A Comprehensive Assessment of large-scale Environmental Problems in East Asia, IIASA, Austria, 12 March 1998.
- 3) 明日香1996「日中協力による酸性化対策の経済評価」『環境経済政策学会1996年大会報告要旨集』, p.205-208.
- 4) Foell, Wes, et. al., RAINS-ASIA: An assessment model for air pollution in Asia, Report on the World Bank Sponsored Project "Acid Rain and Emission Reduction in Asia", IIASA, Austria, December 1995.
- 5) 電中研レビューNo.31「酸性雨の影響評価」, 電力中央研究所, 1994年11月
- 6) 酸性化関係ヒヤリングデータ集(非公開), 電力中央研究所, 1998年。
- 7) 杉山大志, 東アジア諸国のSO_x排出動態に関する考察—経年比較分析およびその中国長期見通しへの含意—, 電力中央研究所報告Y97005.
- 8) Ichikawa, Y., H. Hayami, S. Fujita: A long-range transport model for East Asia to estimate sulfur deposition in Japan, J. Applied Meteorology, 1998 (in press).
- 9) Pearce, D. W. and M. Nakada (1998), 'Acid Rain in East Asia, Side-Payments and Cost Reduction in Abatement Technology', Center for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE), Working Paper (forthcoming).
- 10) 谷口武俊, エネルギーシステムのリスク分析, シミュレーション第14巻第1号, 平成7年3月。
- 11) 市川陽一, 酸性物質の長距離輸送, 大気環境学会誌第33巻第2号, 大気環境学会, 1998年。