

# 東アジアの経済発展に伴う福井における酸性降下物性質の変化

井上 頼輝\*

## Future Acid Deposition at Fukui with Economical Development of Eastern Asia

Yoriteru Inoue

**Abstract :** First, trajectories of air arriving at Fukui were estimated. From amount of Sulfur Dioxide(SO<sub>2</sub>) and Nitrogen Oxide(NO<sub>x</sub>) generated at Japan, China, Korea Peninsula and Taiwan, concentration of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in air at Fukui was estimated and compared with observed data. Observed SO<sub>2</sub> concentration in air was about 3.6 times higher than that of estimated, and for NO<sub>x</sub>, observed values were about one order higher than that of estimated. AIM project team of National Institute for Environmental Studies, Japan, estimates SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> generation at Countries in Eastern Asia up to the year of 2032. From these data and the observed and estimated values of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, amount of Sulfuric Acid(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and Nitric Acid (HNO<sub>3</sub>) produced in air in the future were estimated.

### 1. はじめに

酸性降下物による自然の被害はまず欧州、そしてカナダに森林の枯死や河川水、湖沼水、地下水の酸性化となって現れ、中南米、中国へと広がって行った。福井では欧米と同程度の強度の酸性降下物が見られるにもかかわらず、幸いにまだはっきりとした被害は認められていない。いつまで福井の自然は酸性降下物に耐えられるのかを知るために、1993年のデータをもとにして、1996年より研究を続けている。まず福井に到達する空気の由来を逆 Trajectory 解析により推定した<sup>1)</sup>。結果を要約すると10月から翌年5月までの8ヶ月間は中国大陸から福井に気団が到達する。この間は大陸高気圧が優勢で、大陸では高気圧のため風は弱く、沿岸に近づくにつれて次第に速度を増し、日本海上は等圧線が混むために風速は大となる。夏の7、8月は太平洋高気圧が発達し、空気は太平洋上より到達する。5、9月は夏と冬の季節の変わり目で、空気はほぼ全方位からやってくる。夏は台風が多く、このときは trajectory がその影響を受けて複雑な動きをするなどである。酸性降下物原因物質の一つである硫黄酸化物(SO<sub>2</sub>)の福井における大気中濃度を、天然発生源である火山の影響も含めて検討した<sup>2)</sup>。その結果、中国の寄与は大きい。が、気団が朝鮮半島を通って来るときは半島の影響も無視できない。夏期は気団が南海上から来るために国内発生源の寄与が100%を占める日が多い。天然のSO<sub>2</sub>発生源である火山、ことに九州に位置する桜島・阿蘇・諏訪之瀬島などの影響は、最大で全負荷の1/3を占めることがある。しかし火山の影響は風向きに大きく左右されるので、福井がその影響を受けるのは年間数日に過ぎないことを知った。酸性降下物のあと一つの主要原因物質は窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)である。前々

\* 建設工学科 地球環境工学専攻

表一1 消費部門、燃料種別 NO<sub>x</sub> 発生原単位

単位は kg/108Kcal に換算

	石炭	原油	重油	ガソリン	ディーゼル	天然ガス
電力	147.2	58.4	79.6	272.2	350.4	85.5
化学工業	50	48.4	65.7	272.2	350.4	21.8
製鉄	124.9	58.7	79.6	272.2	350.4	85.5
建設	50	48.4	65.7	272.2	350.4	21.8
乗用車				91.1		
バス (ディーゼル)					231.9	
トラック(ディーゼル)					154.5	
鉄道	50				506.2	
家庭 (暖房)	39.4		65.7	272.2	350.4	18.9

東野等<sup>8)</sup>より

報<sup>3)</sup>において東アジア各国が排出する NO<sub>x</sub> が福井の酸性降下物に占める割合を求めた。NO<sub>x</sub> については SO<sub>2</sub> の火山のように自然の大きな発生源はない。SO<sub>2</sub> の場合と比較しやすいように、計算方法はなるべく SO<sub>2</sub> の場合に使用した方法を用いた。その結果、各日における福井の降下物に占める各国の酸性降下物原因物質の割合は SO<sub>2</sub> の場合と似たパターンを示すことを知った。秋元等<sup>4)</sup> は東アジア各国の酸性降下物原因物質である SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷発生量を東経 1 度、北緯 1 度の mesh 毎に求めている。前報<sup>5)</sup> では福井に到達する気団の通る流跡上で発生する SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷から Box Model を用いて福井における大気中の SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の濃度を求め、福井県や周辺各県の測定している実測値と比較した。その結果、SO<sub>2</sub> については実測値が推定値の約 3.6 倍、NO<sub>x</sub> は推定値より約一桁高い結果が得られた。その原因として、実測点が都会に片寄っていること、推定値は高度 1000m までの濃度の平均であるのに比し、実測は地上でなされていることなどが挙げられる。しかし全体として酸性降下物原因物質の長距離輸送を捉えているものと考えられ、今後中国を始め東アジアの諸国が経済発展を遂げ、それに伴って酸性降下物の原因物質である SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷発生量が増加したとき、どのような被害が福井にもたらされるかを推定するには十分な精度を持っていると考える<sup>6)</sup>。本年度は東アジア各国の SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷発生量の将来推定値より福井における酸性降下物量の将来を推定する。

## 2. 酸性降下物原因物質負荷発生量の推定

酸性降下物原因物質である SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の将来量は、まず国内総生産 (GDP) を推定し、それより一次エネルギー消費量の伸びを求めて単位一次エネルギー消費量あたりの SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷発生量原単位を掛け、除去技術の進歩を勘案して負荷発生量を推定する。このような推定を行うにはかなりの困難が伴う。たとえば GDP は通常は経済モデルや先進国の経済発展の足跡を適用して推定するが、福井の酸性降下物由来に大きな部分を占める中国は、その社会体制から経済モデルでは到底予測不可能な政策の変化による経済の急変があり、欧米やわが国の過去の経済

図-1 SO<sub>2</sub> 負荷発生量

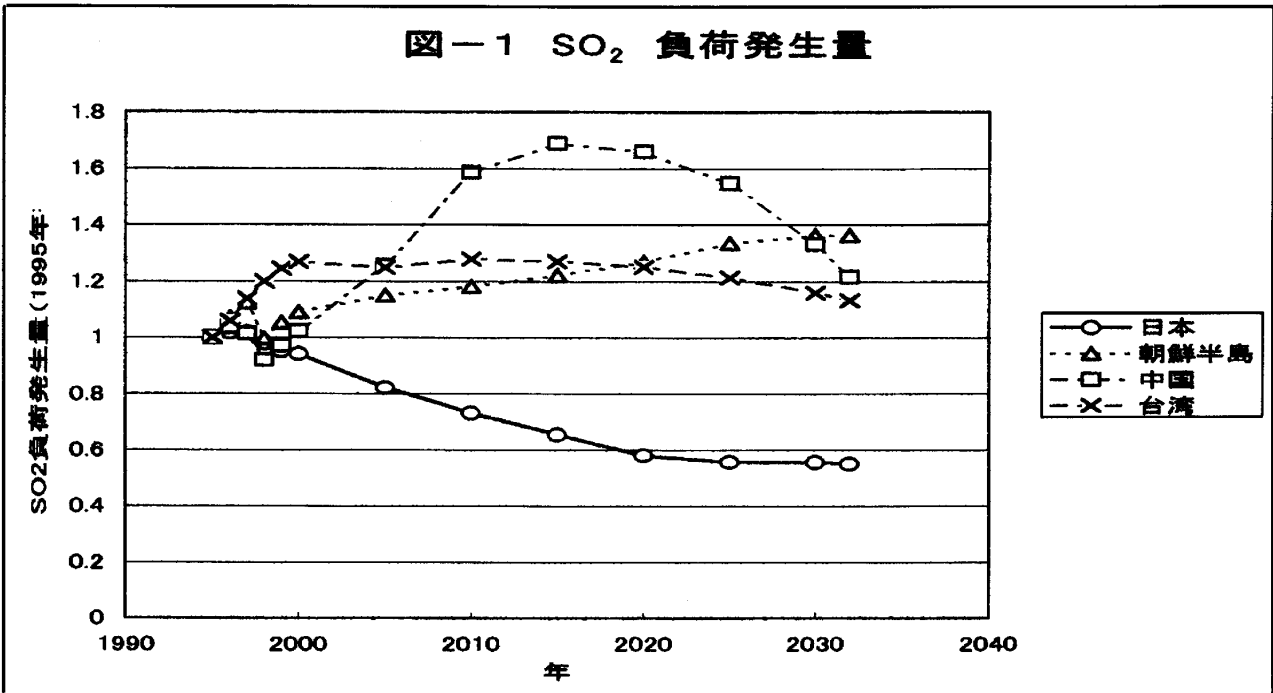
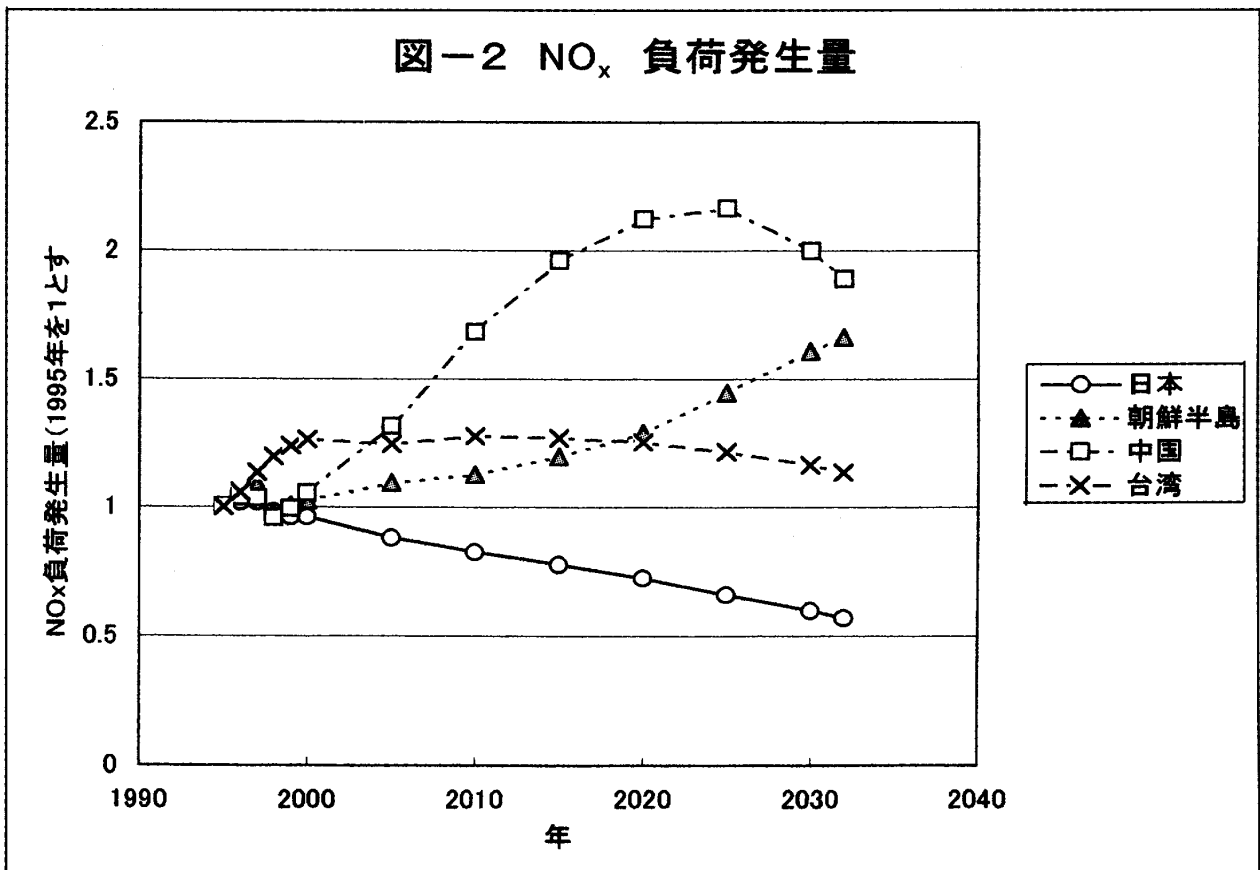
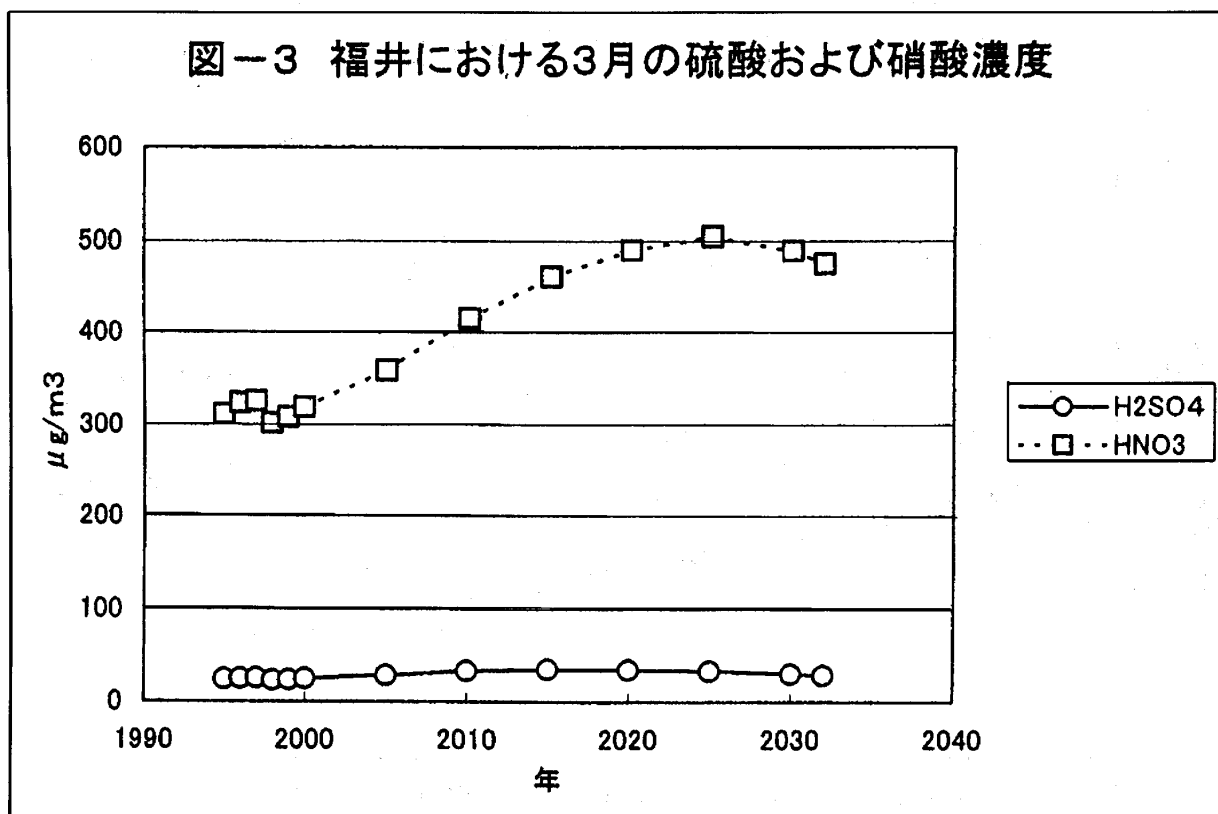


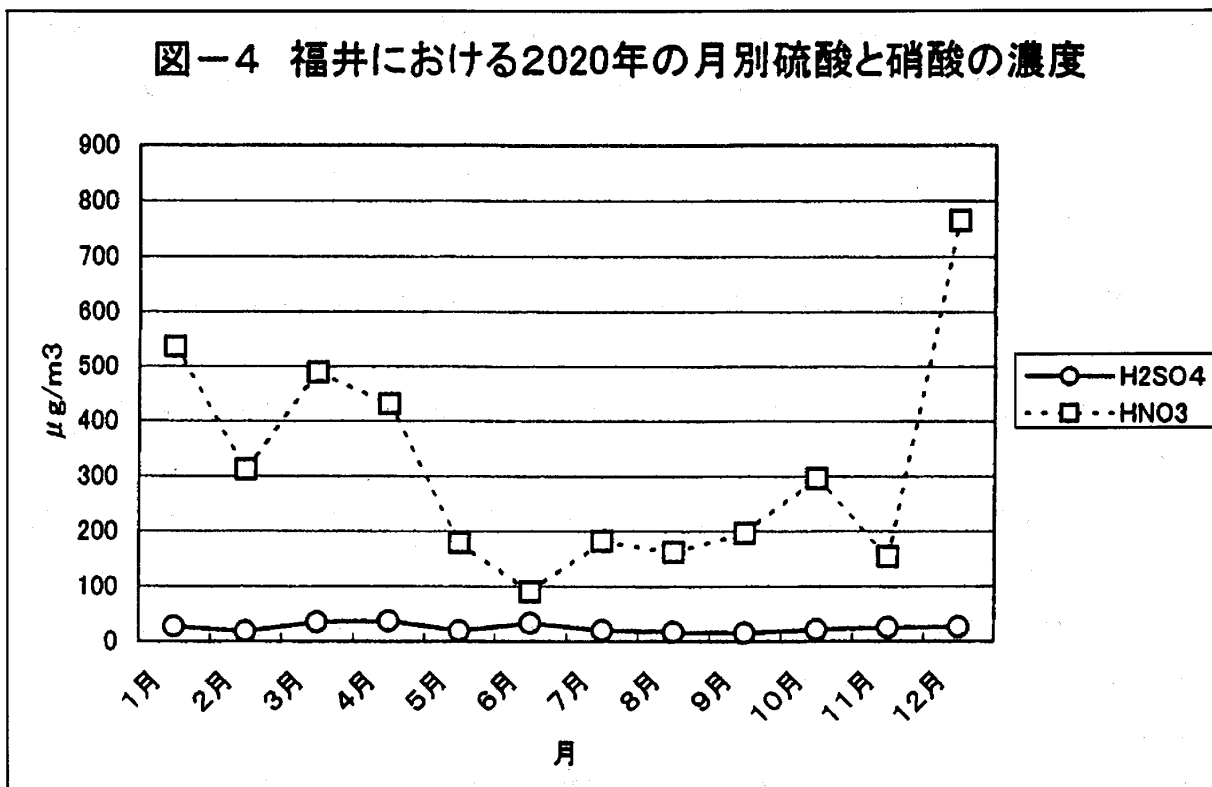
図-2 NO<sub>x</sub> 負荷発生量



発展を対象としたアプローチがそのまま適用できるとは限らない。そこで専門家の意見を聞いてそれを集約する方法<sup>7)</sup>まで取られている。単位一次エネルギー消費量あたりのSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の負荷発生量原単位はたとえば表-1のようなものがあるが<sup>8)</sup>、これらの数値が将来どのように変化するかは明らかでない。負荷除去率の将来変化は、豊かになれば環境汚染に関心が集まり浄化が進むものであり、GDPと関連しているが、社会体制の異なる中国にわが国等の例をそのまま当てはめる事はできない。このような事から関連データを集め、何とか精度良くSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の将来負荷発生量を求めようとしたが、幸いなことにこれらを考えて推定した文献<sup>9)</sup>を得た。これは地球温暖化に関連して独立法人環境研究所の研究グループであるAIM Project TeamがCO<sub>2</sub>ばかりでなくSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の将来発生量を国別に2032年まで求めたもので、SO<sub>2</sub>については図-1のように、またNO<sub>x</sub>については図-2のように推定している。数値はいずれも1995年の発生量を1としたものである。わが国について見ると、2032年までの30年余でSO<sub>2</sub>もNO<sub>x</sub>も約半分になると見られている。これは先進国の一員として今後ますます除去技術の進歩が見込めるためである。中国はSO<sub>2</sub>について2015年頃現在の約1.7倍、NO<sub>x</sub>については2020年頃に現在の約2.2倍でpeakを迎え、以後減少する。これは豊かになるにつれて除去技術の導入が進むが、NO<sub>x</sub>はMotorizationのために負荷量が急速に増加し、その除去も技術的に困難なのでSO<sub>2</sub>に比し減少が遅れるものと見積もられている。朝鮮半島は増加の一途で、2032年にはSO<sub>2</sub>は現在の約1.4倍、NO<sub>x</sub>は1.7倍になるものとみられる。これは特に北朝鮮にお

図-3 福井における3月の硫酸および硝酸濃度





おける増加が激しい。台湾の負荷発生量は横這いに近く、2032年にはSO<sub>2</sub>で現在の約1.1倍、NO<sub>x</sub>で1.2倍と見積もられている。

### 3. 福井における大気中に生成される硫酸と硝酸量の将来

SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の負荷発生量の将来予測と、福井における SO<sub>2</sub> と NO<sub>x</sub> の大気中濃度の推測値と実測値の比較から、将来において大気中に生成される硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) と硝酸(HNO<sub>3</sub>) の量を各月ごとに推定できる。一例として3月の福井における硫酸と硝酸の量を示すと図-3のようになる。空气中的 NO<sub>x</sub> 濃度が現在でも高いこと、将来の NO<sub>x</sub> 負荷量の伸びが SO<sub>2</sub> より大きいことから、硝酸の濃度が硫酸より多くなることが予想される。図-3の年度別硫酸および硝酸の変化は、影響の大きい中国のために図-1と図-2の中国における負荷量の変化に似たパターンを示している。また、各月の濃度変化を見ると、2020年の例では図-4のようになる。実測値による補正を行っているので、硫酸の濃度変化は前報<sup>5)</sup>における図-3の SO<sub>2</sub> 濃度の実測値と、また硝酸濃度は同じく図-2の NO<sub>3</sub> 濃度の実測値とよく似た変動パターンを示している

### 4. まとめ

独立法人環境研究所のAIM プロジェクトチームが行った酸性降下物原因物質であるSO<sub>2</sub> とNO<sub>x</sub>の将来における負荷発生量の予測と、福井におけるこれら物質の大気中濃度の推定値と実測値を比較することにより、2032年までの福井の空气中に生成しているであろう微量の硫酸

と硝酸の量を推定できた。今後はこの成果を酸性降下物の性質、特に酸性雨のpHと結びつけて行きたい。本研究は福井工業大学学内特別研究費を用いて行われたものであり、関係方面に謝意を表する。

参考文献

- 1) 井上 頼輝：“福井に到達する空気の逆 TRAJECTORY 解析” 福井工業大学研究紀要 第28号 191-197 頁 (1998)
- 2) 井上 頼輝：“福井の酸性降下物に占める人工硫黄酸化物の推定” 福井工業大学研究紀要 第29号 189-194 頁 (1999)
- 3) 井上 頼輝：“福井の酸性降下物に占める人工窒素酸化物の推定” 福井工業大学研究紀要 第31号 217-224 頁 (2001)
- 4) H. Akimoto and H. Narita : "Distribution of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> Emission from Fuel Combustion and Industrial Activities in Asia with 1° x1° Resolution", Atmospheric Environment, Vol. 28, pp213-225 (1994)
- 5) 井上 頼輝：“福井における酸性降下物量の推定値と実測値の比較” 福井工業大学研究紀要 第32号 227-232 頁 (2002)
- 6) 井上 頼輝：“福井における酸性降下物性質推定の信頼性について” 第10回 土木学会地球環境シンポジウム講演論文集 10巻 251-256 頁 (2002)
- 7) 金子慎治、小金丸 聡 等：“中国の環境将来予測に関する専門家調査” 第5回 土木学会地球環境シンポジウム講演論文集 5巻 291-298 頁 (1997)
- 8) 東野 晴行、外岡 豊 等：“東アジア地域を対象とした大気汚染物質の排出量推計—中国における NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 排出量推計を中心とした検討—”、大気環境学会誌 31 262-281 頁 (1996)
- 9) AIM Project Team, “AIM Trend Model” 独立法人 環境研究所 (2002)

(平成14年12月6日受理)