

わが国の公害克服体験を海外の環境対策にどう活かすか

— 四日市公害の経済学と四日市／天津姉妹都市への適用 —

鬼頭 浩文

1. はじめに

日本においては、大気汚染問題のうち SO_x (硫黄酸化物) についてはほぼ完全に対策がとられているとあってよい。これにより、全国の一般環境大気観測局のほとんどすべてにおいて SO_2 濃度については、「1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下であること」という環境基準が満たされている。これは、 SO_x の発生が、硫黄分を含有する燃料である重油や石炭を燃焼させる場合にほぼ限定され、その重油や石炭を多量に使用する火力発電所や工場に対して規制と監視を十分に行うことにより、 SO_x 濃度を低水準に安定させることが可能となっているからである。

日本のこの状況と比べると、発展途上国の多くは、 SO_x についての対策はほとんどとられていないか、とられたとしてもまだ実験的な段階にあるとあってよい。その主な原因は、 SO_x 対策に必要なとるべく大なコストと考えられる。しかし、日本の経験は、そのコストを投じてでも SO_x 対策をすべきであることを示している。四日市大学の研究グループは、四日市地域が過去に経験した SO_x に関する政策を評価する研究を行った。この論文では、その研究の成果を概観するとともに、いま四日市大学の研究グループがとりくんでいる、「日本の公害克服の経験を海外の環境対策にどのように活かすことができるか」というテーマについて検討してみたい。

2. 四日市地域の SO_x 対策

筆者が属する四日市大学の研究グループは、三重県、四日市市、ICETT ((財)国際環境技術移転センター)

きとう ひろふみ 四日市大学経済学部
〒512-8512 四日市市萱生町1200
kito@yokkaichi-u.ac.jp

と協力して、1994年4月から3年間にわたって四日市公害の実態を調査し、経済学的な視点からの分析を行った。ここでは、そこで得た結果と、その後に展開されたいくつかの研究成果をもとに、行政と企業が SO_x による大気汚染問題を克服していった経緯について、科学的な視点から概観する。

2.1 四日市地域のコンビナート開発と公害発生

四日市地域は、日本有数の石油化学コンビナートをその臨海部にもっている。コンビナートは1960年頃から操業をはじめ、1970年代初頭まで規模を拡大し、現在では3つのコンビナート企業群が存在している。このコンビナートが本格的に稼動した初期の段階では、ばい塵、悪臭、 SO_x による大気汚染、含油排水などによる悪臭魚の発生など、多面的な環境問題が発生し、「四日市公害」とよばれる社会的な問題にまでなった。しかし、その後の行政による規制や企業の努力により、1970年代の後半には、環境は急激に改善した。

2.2 大気拡散シミュレーションによる SO_x 濃度予想

鬼頭ほか[3]では、四日市地域における1975年の煙源位置と SO_x の排出量に関するデータを使用し、四日市地域の SO_x 濃度を推計している。これにより、いくつかの観測ポイントの濃度しかわからない状態にあったデータを、時間的にも空間的にもより詳細に推計できるようになった。具体的には、実測データが存在しない時期から現在に至るまで、四日市地域のすべてのポイント(500mメッシュごと)における濃度をかなり正確に推測できる。

図1は、四日市地域において20万トンの SO_x が大気中に排出されていたころの、この地域の SO_x 濃度の分布を推計したものである。これは、断片的な実測データと比較しても実態を極めて忠実に推計していることが確認されている。

2.3 健康被害のデータ

SO_x を原因とする健康被害に関するデータは、非常に限定されたものしか整理・公表されていない。これ

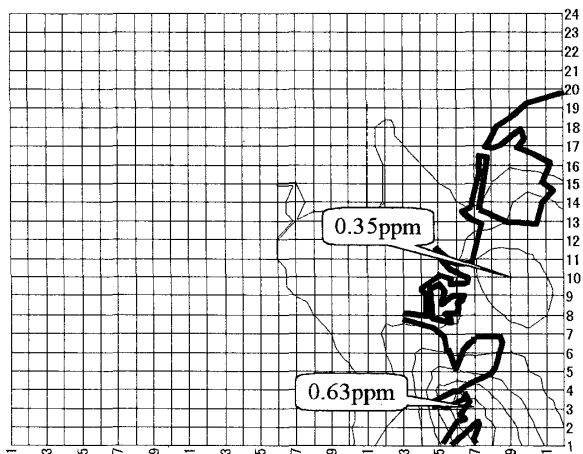


図1 20万トンの硫黄酸化物が排出された場合の四日市地域におけるSO_x年平均濃度分布

は、公害が社会問題となった初期段階においては、科学的な調査が十分になされなかったことが主な原因と考えられる。疫学的な調査が十分になされるようになった段階においても、患者のプライバシーを守るといふ行政の対応が障害となって、定量的な分析を可能にするのに十分なデータは公表されていない。

鬼頭ほか[3]では、SO_xを原因とする患者についての資料を、計量的な手法で長期的な健康被害を分析できるように整理している。そこではまず、四日市市が独自に行った患者救済制度のもとでの患者認定制度と、これを国が引き継ぐかたちとなった「公害に係わる健康被害の救済に関する特別措置法」のもとでの患者認定制度、これに続いた「公害健康被害補償法」のもとでの患者認定制度を接続し、四日市地域における認定患者数について、SO_x公害が最悪であった1965年までさかのぼってその推移をひとつの表にまとめている。そこでは、患者認定のフローである、新規認定患者数、死亡数、認定取消数と、年度末の認定患者数が示されている。さらに、これらの患者の重症度について、公害健康被害補償法のもとでの等級別年度末認定患者数についてのデータや、入手可能な断片的な状況証拠をもとに、1974年までさかのぼって、年度末の等級別認定患者数の推移が推計されている。

2.4 SO_x濃度と長期的な健康被害の関係

SO_x濃度と健康被害の長期的な関係を明らかにするためには、以上のような患者数に関するデータと、大気拡散シミュレーションによるSO_x濃度の推計データをもとに、巨大な連立方程式を解く作業が必要となる。鬼頭[1]では、状況証拠から推測される条件を設定し、できる限り事実を忠実に再現できるパラメータを探索した。その結果、SO_xによる患者発生メカニズ

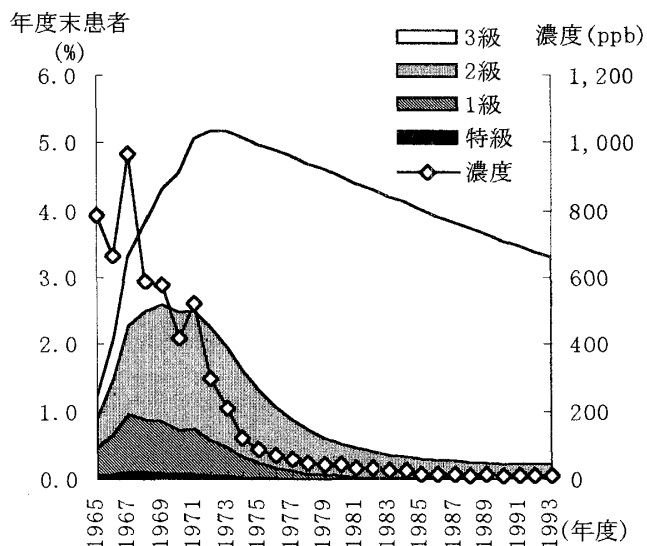


図2 四日市地域のコンビナート隣接地域における人口あたり認定患者数

ムについて、SO_x濃度、患者発生数、患者の症状の変化を結び付けるパラメータのかたちで明らかにすることができた。これにより、SO_x濃度を低減させる政策の効果について、より明確に、より幅広い想定のもとでシミュレートすることが可能となる。

図2は、四日市コンビナートに隣接する地域のSO_x濃度と等級別認定患者数の実際の変化を推計したものである。環境対策によって濃度が急激に低下するスピードと比較して、認定患者数の減少が非常にゆっくりであることが観察できる。図3は、SO_x濃度の高い状況が継続した地域における対策の遅れが長期的な患者数の推移に与える影響を示したものである。左の図は、SO_x濃度0.42ppmの状態に5年間さらされた地域（四日市コンビナートで10万トンのSO_xが排出された場合の居住地域での最高濃度の予想値が0.42ppmである）において、6年目から対策に着手した場合を示し、右の図は、その対策のタイミングが5年遅れた場合を示している。数年の対策の遅れによって、健康被害が累積的に拡大し、その健康被害を縮小させるために非常に長い年月が必要になることが予想できる。

2.5 日本におけるSO_x排出規制

日本においては、1962年に成立した『ばい煙の排出の規制等に関する法律』や、そのあとを受けるかたちとなった『大気汚染防止法』などによって、SO_xの排出が規制されてきた。ただし、初期の段階においては、一律に排出濃度を規制することにとどまり、四日市地域などのように、工場が集積立地する場合や居住地域が隣接する場合に、十分な対策がとられないケースが

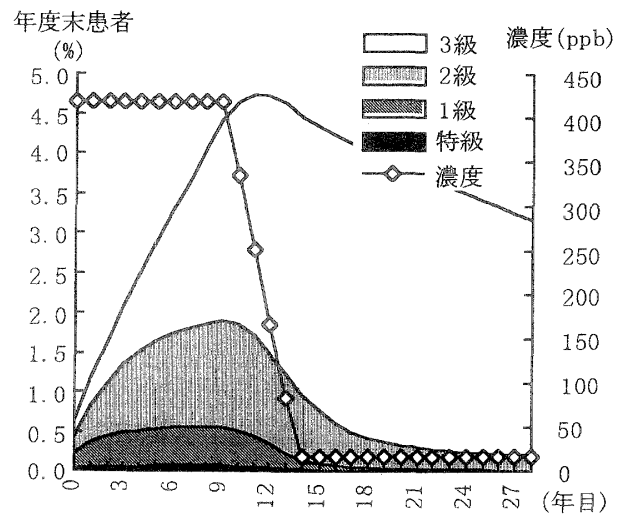
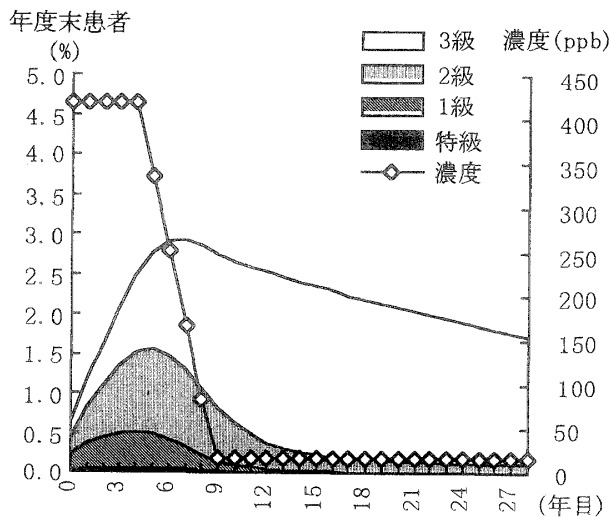


図3 SO_x濃度の低減対策のタイミングと健康被害の関係

あった。四日市地域では、コンビナートにSO_xの排出源が集中したため、三重県は『三重県公害防止条例』により、年平均値0.017ppmを達成するために、各工場にSO_xの最大排出量を割り当てる、「総量規制」を実施した。そこでの考え方の基本は、慢性気管支炎が発生しないSO_x濃度の最大値である閾濃度を達成するための対策を企業に求めるというものであった。現在では、全国的にこの考え方が実際の政策に反映されており、ほとんどすべての一般環境大気測定局におけるSO₂濃度が環境基準を満たしているのである。

2.6 SO_x対策に必要となる費用

SO_xの大気中への排出を抑制するためには、燃料を低硫黄分のものに切り替えるか、あるいは排煙からSO_xを除去するか、どちらかを選択することになる。日本においては、ほとんどの燃料を海外から購入しているため、硫黄分を低減した重油やLNGを利用するなどの燃料対策と、排煙から脱硫する排煙脱硫の両方がとりいれられている。発展途上国など、今後SO_x対策を考えていかなければならない場合には、その国がおかれている状況によってどのような対策をとるべきか考えていく必要がある。たとえば、中国のように石炭が豊富に存在する場合には、排煙脱硫がその対策として効果的となろう。

日本における排煙脱硫のコストに関するデータは、投資費用・経常経費とも、文献でみる限り非常に限定された大雑把なものしか存在しないようである。それは、ひとつには排煙脱硫にはさまざまな方式があり、これらの方式の違いや、排ガス量、SO_x入口濃度、SO_x出口濃度などの運転状況の違いによってSO_xを除去するための費用の構造が複雑となり、簡単には費用

の比較ができないことが理由となっている。文献と企業からのヒアリングで得た情報(脱硫に関する文献のサーベイとしては新田・鬼頭[4]を、小規模な排煙脱硫装置についてのヒアリング調査については鬼頭・岡[2]を参照)からは、発電能力あたりでみた場合には、設備投資に1kWあたり1万円から5万円、経常経費として1kWあたり年間2000円から5000円程度を必要とするようである。また、SO_xの吸着量あたりでみた場合には、SO_xを1kg吸着するための設備費用(減価償却費として計算)が15円から60円、SO_xを1kg吸着するための経常経費として50円から100円を必要とするようである。

3. 中国天津市のSO_x対策の現状

四日市大学の研究グループは、2章で紹介した四日市地域をフィールドとする研究の成果を受けるかたちで、1997年4月から、ふたたび三重県、四日市市、ICETTと協力し、その成果を天津市に適用する研究を行っている。中国の天津市は、北京の南東に位置し、人口が約1000万人の経済的にも発展した都市である。ここでは、公表されている統計データや現地調査で得た情報などをもとに、天津市のSO_xによる大気汚染の現状を紹介したい。

3.1 天津市の燃料使用状況とSO_xの排出量

天津市統計年鑑などによれば、現在、天津市内で発電用に年間500万トン以上の石炭が、工業用に年間500万トン以上の石炭が使用されている。これらの燃料使用量は、急速な経済成長とともに、確実に増加しつづけている。このほかに、暖房・炊事に家庭で消費される石炭があるが、これは生活様式の変化とともに減

少しているようである。

現在、発電所・各種工場などの燃料を多量に使用する施設においても、排煙脱硫は全くされていないようである。一部石灰を含有する豆炭（石灰によってSO_x発生を抑制できる）が使用されはじめたようであるが、その使用量に関する統計は作成されていない。SO_x発生施設として最も対策が望まれる発電所であるが、SO_x濃度を下げる対策としては高煙突による拡散対策と低硫黄（1%程度の硫黄含有率）の石炭を使用する対策がとられているだけである。

3.2 天津市市街地に立地する発電所の場合

天津市にはいくつかの大規模な発電所が存在するが、市街地にも約30万kWの発電能力をもった石炭火力発電所がある。市の中心部から数kmしか離れておらず、まわりには商店街や集合住宅が密集している。稼動状況は、年間発電量の実績が約10億kWh程度、石炭は約40万トン使用している。大気汚染対策としては、集じん機と200mの高煙突が設置されているのみである。硫黄含有率1%程度の良質な石炭を使用したとしても、少なくとも5000トン以上はSO_xが排出されていると推測できる。

3.3 天津市の郊外に立地する発電所

天津市の北部に立地する100万kWの発電能力を持つ石炭火力発電所は、1990年代半ばに完成し、年間50億kWhを超える発電実績をもつ。石炭の使用量は年間約200万トンであるが、排煙脱硫はされていない。大気汚染対策としては、硫黄分1%程度の良質な石炭を使用すること、静電気集じん機による99%以上のばいじん除去、240mの高煙突による拡散対策がとられている。

現在この発電所に、60万kWの発電能力をもった新しい設備を2基建設している。当初、これには排煙脱硫装置が設置される計画が存在したようであるが、低硫黄石炭を使用する対策のみに変更されたようである。この施設が稼動をはじめるのは2003年と予定されているが、これらの施設を既設部分とあわせると、年間500万トン程度の石炭が使用されると予想される。これによって、硫黄含有比率1%程度の石炭を使用したとしても、このひとつの発電所から10万トン近いSO_xが排出されると推測できる。

4. 四日市市をフィールドとする研究成果の天津市への適用

ここでは、四日市大学の研究グループが行っている

研究を紹介し、それが天津市の環境を改善する可能性について検討したい。

4.1 脱硫装置の運転を継続させるためのアイデア

脱硫設備を将来にわたって継続的に運転するためには、何らかのインセンティブが与えられることが望ましい。脱硫には、ばく大な電力と水が必要となるが、中国にはそのどちらも不足している状況である。できれば、その貴重な資源を投下してでも積極的に脱硫すべきと考えることのできる材料がほしい。もちろん、健康被害が抑制されるという利益は存在する。四日市大学の研究グループは、それ以外に、脱硫副産物である石こうを土壌改良に使用するアイデアを考えている。これにより、脱硫装置が普及して天津市民の健康維持が可能となり、かつ経済発展にも貢献するという可能性が考えられる。

4.2 天津市のアルカリ土壌

李ほか[5] (1998) では、天津市のアルカリ土壌の分布状況が示されている。天津市には、45万haの農耕地が存在している。このうち80%以上が塩類土壌であり、この塩類土壌に斑点状にアルカリ土壌が分布している。明確な面積については、計測が困難なため、統計が存在しない。このアルカリ土壌は、乾燥すると固くなって耕すのが困難になり、また、雨が降っても水が浸透しにくくなるという性質をもつ。pHが高くなれば、植物は発芽すら不可能となり、不毛の地となる。その化学的特徴を一言で簡単に説明すると、ナトリウムイオンの濃度が高く、土壌構造が植物の生育に適さない状態になっているということである。

4.3 排煙脱硫の副産物である石こうによる土壌改良の実証実験

石灰石こう法による排煙脱硫は、燃料中の硫黄が酸化してできたSO₂と石灰を反応させ、排煙からSO_xを除去する技術である。このプロセスでは、最終的に石こう(CaSO₄)が副産物として生じる。日本では主に建築資材の原料として再利用されているが、この石こうがアルカリ土壌の改良剤として利用できる可能性が従来から指摘されてきた。アルカリ土壌中のナトリウムイオンが石こうのカルシウムイオンに置き換わることにより、土壌の構造が改良されるのである。ここ数年、特に中国においていくつかの土壌改良試験が実施されている。

四日市大学の研究グループは、脱硫によって生じた石こうが、天津市のアルカリ土壌の改良にどの程度効果があるかという点について、天津農業科学院土壌肥

料研究所と共同で、実際に天津市郊外の畑で作物を生産する実験を通して検討している。1998年の実験では、いくつかの畑において土壌改良の効果が確認できている。1999年には、さらに実験方法を改善して再度土壌改良の効果について実証するとともに、前年に行った土壌改良が継続的に次年に効果を維持できるかという点についても確認する実験を予定している。

4.4 SO_x対策による健康被害の低減と土壌改良

ここでは、四日市大学の研究グループが設計している環境保全と経済発展をシミュレートするモデルの概要について紹介したい。

(1) 脱硫と健康被害低減のシミュレーションモデル

四日市大学の研究グループは、天津社会科学院と共同で、煙源の位置と燃料使用量、人口の分布、気象などのデータを使用して、天津市におけるSO_x濃度分布と健康被害を予測するシミュレーションモデルを開発している。このモデルによって、既存の大規模な発電所や工場に脱硫装置を設置して運転する費用と、健康被害の低減効果の関係を推定することができる(中国における疫学的な調査・研究によるパラメータの推計に基づく)。また、都市政策による人口分布の変更、産業政策による発電所・工場の立地変更、燃料の硫黄分規制、経済発展に伴う発電所の新設など、さまざまな想定の変更も可能となっている。

(2) 脱硫石膏の土壌改良シミュレーションモデル

実際の土壌改良には、排煙脱硫によって副生された石膏を土壌改良剤として利用できるかたちにして、具体的に農耕地まで搬送し、畑の土と混ぜ合わせる必要がある。そのために必要となる費用を試算し、土壌改良による収穫増効果から差し引くことによって、脱硫石膏のネットの効果が推定できる。

(3) 統合モデル

これらのモデルを統合することによって、人口分布、発電所・工場の立地、使用する燃料の配分などの変化を誘導する政策や、規制や補助金などによって排煙脱硫装置を設置・運転させる政策の効果を評価することが可能となる。たとえば、ある発電所に対して、硫黄含有率の高い石炭を使用して排煙脱硫装置を設置・稼働させ、その分で入手可能となる低硫黄石炭を小規模なボイラーで使用する政策を行ったとする。これによって、天津市のSO_x濃度がどのように改善されるか、健康被害が長期的にどれくらい低減されるか、副生物である脱硫石膏によってどのくらい土壌改良効果をもつか、などといった点について総合的で科学的な分

析が可能となり、経済的な視点から政策を評価することも可能となるのである。

5. おわりに

本論文では、四日市大学の研究グループが、三重県、四日市市、ICETT、天津農業科学院土壌肥料研究所、天津社会科学院と協力して行っている研究について紹介した。そこでは、四日市地域におけるコンビナートの開発によって発生した公害(SO_xによる大気汚染)とそれを克服した経緯についての分析によって得た成果を、天津市の環境保全と経済発展に活かす方法を探索している。

四日市地域の3年にわたる分析はいくつかの成果をあげ、現在進行中である天津市の研究も、モデルの完成に近づきつつある状態にある。しかし、その合計約5年間の研究過程では、分析手法の開発の困難さよりもデータ収集の難しさが障害となって、何回も研究がストップする危機にたたされた。四日市地域の研究においては、企業や行政から30年以上昔にさかのぼった資料の提供をお願いしなければならなかった。天津市の研究においては、統計が未整備であったり情報へのアクセスが困難であったりするなか、社会科学院の研究者と現地でも何回も議論しながら、あらゆる角度から資料の収集をこころみだ。この研究で得たものが、天津市の環境保全と経済発展の両立に役立ち、さらにそれが将来にわたって発展途上国の環境政策の立案に活かされることを望むものである。

参考文献

- [1] 鬼頭浩文(1998),「環境政策の長期的効果に関するシミュレーション—硫黄酸化物を原因とする健康被害の長期予想—」,日本経済学会1998年度秋季大会報告論文。
- [2] 鬼頭浩文,岡良浩(1998),「脱硫コストに関するヒアリング調査の中間報告と問題点」,KEO DISCUSSION PAPER, No.22, 慶應義塾大学産業研究所。
- [3] 鬼頭浩文,岡良浩,朝日幸代,武本行正,西垣泰幸,飯島正樹(1998),『環境に配慮した開発政策の有効性(四日市公害の計量経済モデル分析)』,合同出版。
- [4] 新田義孝,鬼頭浩文(1998),「脱硫コストの予備調査」,KEO DISCUSSION PAPER, No.11, 慶應義塾大学産業研究所。
- [5] 李克己,新田義孝,武本行正,加納光,朝日幸代,岡良浩,鬼頭浩文(1998),「脱硫石膏を使って中国天津市のアルカリ土壌を改良する試み」,『四日市大学環境情報論集』,第2巻第1号。