

東アジアの大気汚染、酸性雨、気候変動問題とその解決策

Towards a Solution to Air Pollution and Acid Deposition in East Asia

プロジェクト代表者: 外岡豊 (経済学部・教授)

Yutaka TONOOKA (Professor, Faculty of Economics)

1. 概要

東アジア各国のエネルギー統計をもとにエアロゾル成因物質、大気汚染物質と温室効果ガスの排出量を推計した。オゾン層破壊物質とその代替物については同様に重要ではあるが推計していない。エアロゾル成因関連物質として Black Carbon (BC)、Organic Carbon (OC) の排出量を推計し、PM10、NO_x、SO₂、NMVOCs、CO、CH₄、CO₂ についても推計した。東アジアの中でとくに中国での排出量が突出して大きく、発生源として住宅におけるバイオマス燃料と石炭消費量に伴う排出が大きいので、中国の住宅でのエネルギー消費実態に焦点をあてた。中国の農村住宅で厨房暖房用に使う農業廃棄物、薪のバイオマス燃料から BC、OC が排出されるが、その気候変動への影響はバイオマス燃料のため CO₂ はゼロ評価されるが、BC が正、OC が負の温室効果を持ち、PM、CH₄、NMVOCs、CO も同時に排出されるので、その総合的気候変動影響については議論的になっている。同時に厨房家事労働時の室内空気汚染暴露の健康影響も大きいものと考えられ、PMfine (または PM1.0 と呼ぶ)、小粒径粒子状汚染物質の健康影響がとくに懸念されている。一方で厨房用燃料として LPG の普及が始まっており、バイオマス燃料自給に依存したエネルギー使用は経済開発に取り残された望ましからざる姿として自覚され農村部には脱バイオマス志向が強いとも言われる。しかし LPG の購入は家計支出の負担となる恐れがあり、石油資源が不足している中国では国家エネルギー政策上、貿易収支上、エネルギー輸送問題としても、気候変動対策としても農村部 LPG 需要増は歓迎すべきものではない。都市部でも利用が多い石炭からも BC、OC 他多様な汚染物質ともちろん CO₂ も排出されるが経年的には減少傾向にある。東アジアのエネルギー需給とそれに伴う各種物質の排出は気候変動、大気汚染の両面がからみあっており、またエネルギー供給問題として、またとくに中国でのエネルギー輸送は物流問題として影響が大きく、一方でその交通輸送体系が石油製品を中心に大きなエネルギー需要をもたらす面もあり、それらの総合的な分析は研究上の興味とともにアジア地域の重要課題でもある。このような視点から我々は東アジアにおけるエネルギーと環境について多数の研究を行ってきた。

2004年3月付けで新しい中国エネルギー統計 2000-2002年版が出版されたので、その省別エネルギー・マトリックス表を主に用い、最新の排出係数情報と中国での実測情報を取り入れた排出係数の設定を行い 2000~2002年について推計を行った。これまでに東アジアの BC、OC 或いは各種大気汚染物質の排出量推計はいくつか研究例があるが、BC、OC は不完全燃焼によって発生することから想像できるように排出係数は不安定であり、研究例によって係数はまちまちで信頼性の高い推計は難しい。また中国のエネルギー統計は近年特に実態との乖離が疑問視され、ここで用いているエネルギー消費量と異なったデータから推計された排出量研究結果も出されており、統計データの採択と結果の解釈には慎重な検討を要する。こうした基礎条件の下でできるだけ実態に近いと考えられる排出量推計を発生源部門別、燃料種類別、地域別 (基本は省別、都市・県別地域分解を行い、広域大気汚染研究用にグリッドデータを整備) に行うことがこの研究の目的である。

2. エネルギー統計と基礎活動量

ここで主に用いたエネルギー消費量データは省別エネルギー需給マトリックス表であるが、薪、農業廃棄物、メタンガスの3種のバイオマス燃料、火力、水力発電量を別表から補足し、工業部門の業種別内訳構成を全中国・燃料種類別消費量と当該業種・省別生産額或いは生産量から推計し、とくに非金属鉱物製品業についてはセメント、ガラス、その他窯業について再区分し、交通部門についても機関別に再区分推計を行って詳細な省別エネルギー・マトリックス表を作成して排出量推計の基礎活動量データとして用いた。なお寧夏自治区、

チベット、香港について補足推計を行った。全国表値に比べ省別表はより実態に近い消費実績を示していると考えられる。NMVOCs、SO₂、CO₂、CH₄についてはエネルギー起源以外の生産工程等からの排出もあるので、できるかぎり基礎活動量データを収集し実態に近い推計となるよう作業したが未推計発生源も残されている。

3. BC、OC排出の算出

BC、OCについてはPMの粒径重量構成がその基礎になる。下式でPM_{fine}とあるのはPM_{1.0}、粒径1μ以下の小粒子を指す。BC推計手法は下式による。OCについても同様である。集塵機等排出抑制技術による排出削減率を与えて実排出水準を想定する。係数の単位は投入燃料重量当たり排出量g/kgfuelを用いている。

$$EF_{BC} = EF_{PM} \cdot F_{fine} \cdot F_{BC}$$

EF_{BC} : BC-Emission Factor

EF_{PM} : PM-Emission Factor

F_{fine} : PM_{fine}/Total PM Ratio

F_{BC} : PM_{BC}/PM_{fine}Ratio

$$NetEF_{BC} = EF_{BC} \cdot (1 - Rr)$$

$NetEF_{BC}$: NetBC-Emission Factor After Control System g/kgfuel

Rr : Removal Ratio by Control system

$$BCemission = FuelInput \cdot NetEF_{BC}$$

4. SO₂発生量、処理除去量、排出量の算出

SO₂については燃料中S分%想定が基礎になるが石炭だけ省別(消費地として)に設定し、灰分中残存率はボイラ規模別に設定した。排煙脱硫処理もある程度普及しており、排煙脱硫処理は石炭焚・大規模ボイラに設置されているものと想定し、S分%想定値から推計した発生量と環境年鑑に報告されている除去量を組み合わせて排出量を求めた。硫化鉄鉱石、銅精錬工程は発生量も大きいが脱硫処理量も大きく、その排出量は環境年鑑に報告値が集計されている。環境年鑑では省別と業種別の除去量、排出量が集計されているが報告があった大工場だけの集計値と考えられその排出量は実態よりかなり小さいものと受け止めている。

5. 排出量推計結果

その前にエネルギー消費動向を見ておく。ここで用いたバイオマスを含む省別燃料消費量は2002年に54.6EJで2000年比16.4%の伸びであった。燃焼系+セメント生産のCO₂排出量は2002年にバイオ燃料を除き4.25Egで2000年比15.6%増、バイオ燃料含5.30Egで2000年比17.3%増であった。(なおこれらのCO₂排出量は完全燃焼仮定。)CH₄については燃焼起源だけについて推計したが、2002年に5.8Tgであり、2000年比22.4%もの増大であった。この推計は排出係数の年次変化は与えていないので、燃焼管理水準の向上に伴ってCH₄排出係数が低下したとすれば実態はこれほど伸びていない。COの排出量は大きく2002年に132Tgの排出があり、2000年比18.6%の増大であった。この増大の一因は自動車燃料消費の増大である。

中国のPM排出量は2002年に19.5Tgと推計されたが、うちOCは3.4Tg、BCは1.4Tgで、2000年比伸びはそれぞれ、16.6%、20.9%、2.5%であり、物質により異なった伸び動向を示した。SO₂排出量は鉱石起源を含み脱硫処理後の排出量として2002年において28.5Tgであり、2000年比13.5%の伸びであった。NO_x排出量は2002年に13.7Tgであったが、2000年比15.6%の伸びであった。多くの物質において農村部家庭でのバイオマス燃料起源の排出が極めて大きい。今後の伸び要因としては交通需要とくに自動車交通の伸びに伴う排出増が対策車の普及による排出係数の低下傾向以上に大きいことが懸念される。

6. 農村エネルギー消費実態調査

このように農村部家庭用燃料消費に伴う排出が突出して大きいことから、実態把握、削減対策両面において農村部が重要な発生源であり、その燃料消費実態を調査した。試みに西安市近郊農村において約200世帯の訪問調査を西安建築技術科学大の協力を得て実施した。典型的な農村部の燃料消費形態は伝統的な竈(かまど)で調理しその余熱を居室の寝床の下の煙道を通して暖房に兼用する炕(カン)と呼ばれる方式であった。燃料は農業廃棄物で主としてトウモロコシの茎、葉が使われており、小麦わらも併用されている。薪は見学した地域では大きな塊は使われておらず葉のついた小枝であった。それらの自給バイオマス燃料が不足する場合には石炭が使われ、とくに夏に石炭消費が多い。農村部でもその中心となる小市街地においては石炭、LPGが普及している。農業廃棄物を購入して使うところもある。家屋の密閉性が低いため暖房効率が悪く室内気温は低い。冬季だけの調査で年間の燃料消費量を直接聞いていないので正確な値が得られていないが仮定の元に試算した年間値は 59.1GJ/世帯であった。これは陝西省農村部住宅エネルギー消費マトリクスの1999 年値、30.6GJ/世帯と比較してかなり大きい、その差の理由はつきとめられていない。定量的な分析は不十分ながら中国農村住宅でのエネルギー消費実態を把握した。

7. 排出削減対策

かつて比較的良好に行われていた農業廃棄物をメタン発酵させてガスを自給する手法は衰退化し、都市近郊からLPG化が浸透している実態がある。燃焼効率のよい改良かまどを普及させる政策が中国政府によって進められてきたが、気候変動対策としてより抜本的な対策の必要性も考慮してか改良かまど普及を今後も積極的に推進する気運はないようである。LPG化は効率向上になり家事労働の軽減にもなるがバイオマス燃料から化石燃料への転換はCO₂排出増につながり、LPG購入費用は家計支出上も負担増となるし、内陸部あるいは山村への輸送も物流効率を損ねる要素がある。家屋の熱性能を向上させた省エネ快適住宅(既存住宅における開口部の密閉化改修を含む)と同時に高効率燃焼機器、例えばバイオマス・ペレット・ストーブ(厨房用、暖房用あるいは兼用)を開発普及させることが、10年以内の対策として有効であろう。燃焼管理制御の向上は熱効率の向上と各種物質、BC、OC、PM、NMVOC、CO の排出を大幅に削減し、室内空気汚染暴露による健康被害も大きく抑制できる多面的な同時効果が期待される。とうもろこし等の農業廃棄物は供給資源が豊富であり中長期にはバイオマス・ガス化を促進普及させるべきである。多重に Win-Win な対策対象がここにあることは明らかである。※なお本研究は2004年度地球環境研究推進費及科研費特定領域14048213による。

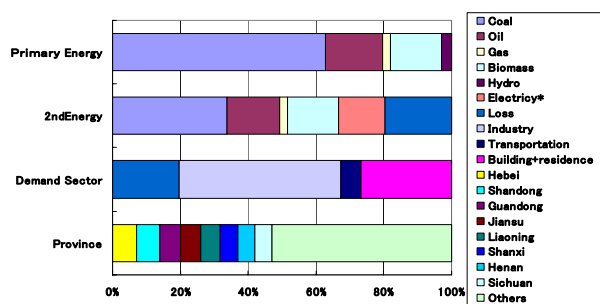


図1 中国のエネルギー構成 2002年

表1 中国各種物質排出量 2002年

| GHGs 汚染物質 | 住宅 都市部* | 住宅 農村部 | 住宅 計* | 全発生源計 (1次エネ供給) | 住宅 % |
|-----------------------|---------|--------|--------|----------------|-------|
| エネルギー(2次) | 3.19 | 9.98 | 13.18 | 53.85 EJ | 24.5% |
| CO ₂ バイオ含 | 0.37 | 1.18 | 1.56 | 4.94 Eg | 31.5% |
| CO ₂ バイオ除 | 0.37 | 0.13 | 0.51 | 3.89 Eg | 13.0% |
| CH ₄ 燃焼系 | 0.04 | 5.34 | 5.39 | 5.84 Tg | 92.2% |
| SO ₂ | 2.20 | 1.72 | 3.92 | 30.81 Tg | 12.7% |
| NO _x | 0.77 | 0.88 | 1.66 | 13.71 Tg | 12.1% |
| CO | 6.70 | 97.59 | 104.29 | 131.75 Tg | 79.2% |
| NMVOCs | 0.76 | 15.90 | 16.65 | 25.34 Tg | 65.7% |
| PM | 0.96 | 6.51 | 7.47 | 19.54 Tg | 38.2% |
| BC | 0.13 | 0.81 | 0.95 | 1.35 Tg | 69.8% |
| OC | 0.20 | 2.93 | 3.13 | 3.42 Tg | 91.6% |
| Hg | 4.47 | 7.49 | 11.96 | 185 Mg | 6.5% |
| NH ₃ 2000年 | | | | 12.17 Tg | - |

*: 熱供給含

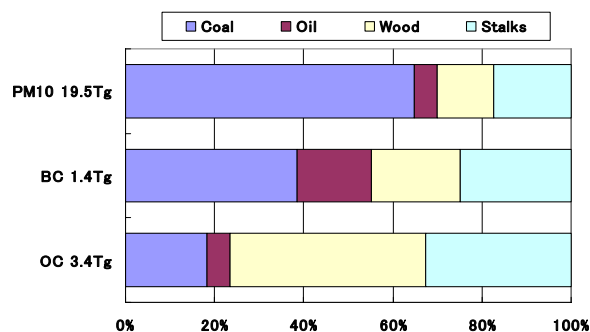


図2 中国のPM、BC、OC 燃料別排出構成 2002年

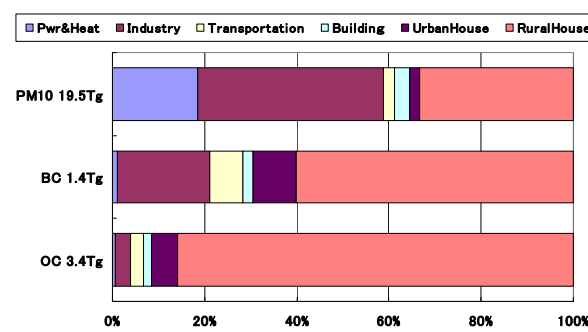


図3 中国のPM、BC、OC 発生源別排出構成 2002年

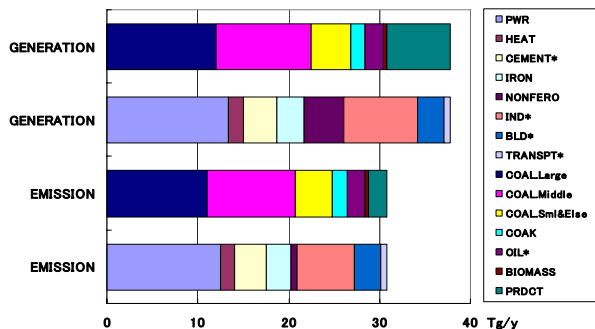


図4 中国の発生源別・燃料別 SO₂ 排出量と発生量

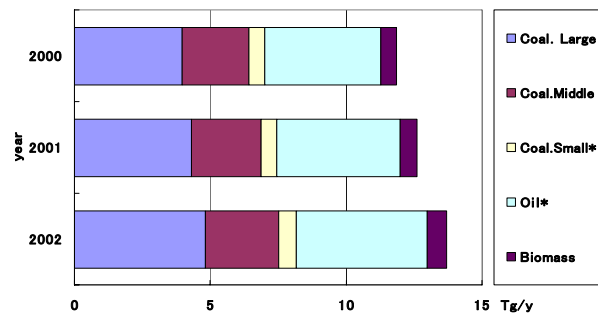


図5 中国の燃料種類別 NO_x 排出動向 2000-2002年

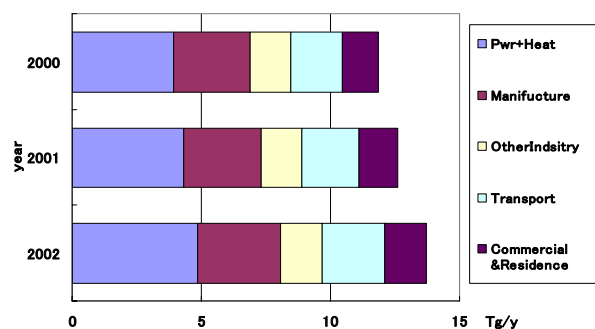


図6 中国の発生源別 NO_x 排出動向 2000-2002年

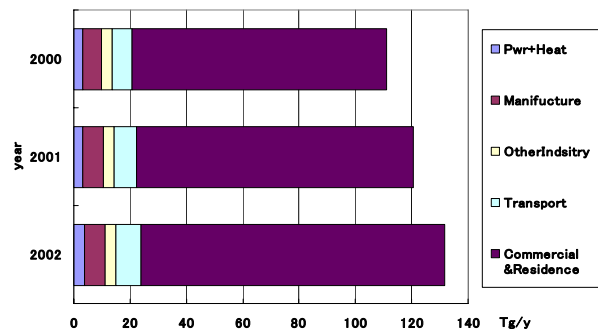


図7 中国の燃料種類別 CO 排出動向 2000-2002年

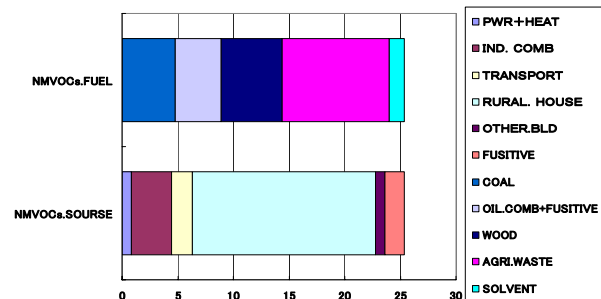


図8 中国の NMVOCs 排出量 2002年

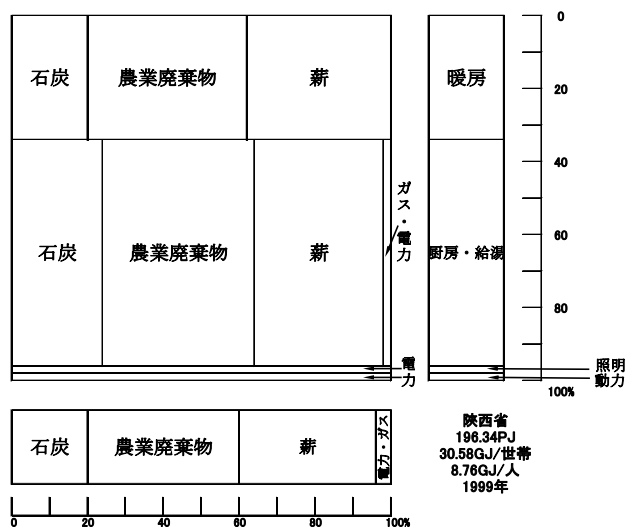


図9 1999年陝西省農村部家庭部門 エネルギー消費マトリクス

表2 西安市近郊農村家庭エネルギー消費実態調査 対象地区 (有効218世帯)

| 地域 | サンプル数 | 地名 | 地域特徴 |
|----|-------|------------|---------|
| 1 | 87 | 商州市郷北街村 | 典型的農業地域 |
| | | 商州市腰市上集村 | |
| | | 商州市牧護鎮泰茂村 | |
| | | 商州市牧護鎮牧護関村 | |
| 2 | 38 | 商県李寺郷解村 | 典型的農業地域 |
| 3 | 33 | 戸県蔣鎮洪庵村 | 典型的農業地域 |
| 4 | 60 | 渭南市臨渭区 | 小市街地区 |

表3 主要な炉種と燃料種 合成集計結果 (西安市近郊農村・小市街地合)

| 主要炉および燃料種 | 厨房・給湯用 | | 暖房用 | |
|-----------------------|--------|------|-----|------|
| | 数 | 割合 | 数 | 割合 |
| 1 バイオマス燃料・伝統火坑Huokang | 117 | 54% | 113 | 52% |
| 3 バイオマス燃料・改良火坑Huokang | 23 | 11% | 24 | 11% |
| 2 バイオマス燃料・伝統かまど | 9 | 4% | 5 | 2% |
| 4 バイオマス燃料・改良かまど | 4 | 2% | 0 | 0% |
| 5 石炭かまど | 35 | 16% | 72 | 33% |
| 6 LPGコンロ | 30 | 14% | 0 | 0% |
| 7 電気機器 | 0 | 0% | 4 | 2% |
| 8 合計 | 218 | 100% | 218 | 100% |