

課題名	E-0809 中国における気候変動対策シナリオ分析と国際比較による政策立案研究
課題代表者名	外岡 豊（埼玉大学経済学部社会環境設計学科 教授）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	73,934千円（うち22年度 20,164千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 中国エネルギー需給現況分析と温室効果ガス将来排出量シナリオ分析に関する研究（埼玉大学）</p> <p>(2) エアロゾル排出係数実測に関する研究（埼玉大学）</p> <p>(3) 建築分野施策と住宅省エネルギーに関する研究（北九州市立大学）</p> <p>(4) 中国の気候変動対策に関する研究（東北大学）</p> <p>(5) 国際比較による対策総合評価に関する研究（埼玉大学）</p>
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. はじめに（研究背景等）</p> <p>気候変動に関する最新の科学的認識によれば2050年までに世界合計で温室効果ガスの排出を半減、日本では2050年までに8割もの大幅削減が求められている。人口が減少に転じ、成熟社会化している日本に対し、中国の社会経済的基礎状況は全く異なり、そこでの排出削減は日本とは全く異なった諸条件下での対策推進が求められている。人口規模が大きく広大な国土に大きな地域格差が存在する、その経済社会の発展段階の特殊性と地球全体への影響の大きさは、それだけでも重要な研究対象である条件を備えている。日本の研究者が隣国の政策に直接関与するには限界があるとしても、そこにある様々な大きな排出削減機会に着目し早めに削減を実現することに向けて官民学ともに日本が関与し貢献することの可能性は極めて大きいと考えられる。また我が国の政府予算から途上国向けの多額の対策資金提供が予定されているが、その有効な用途を探るためにも途上国地域の気候変動対策可能性について分析を行っておくことは重要である。そこで本研究では中国を対象を絞って低炭素社会へ向けての気候変動防止対策の可能性を、詳細な実態分析を基礎に、きわめて広範囲な学際的な視点から総合検討することにした。</p> <p>研究の概要は、省別・エネルギー需給詳細部門別・エネルギー種類別のエネルギー需給データを基礎に、人口、経済社会、各種技術、社会資本形成、世界経済との関係、都市と農村の住居等、諸影響要因をつぶさに解析して、2030年の将来温室効果ガス排出量と各種対策効果を定量評価し、対策を実現する施策のあり方について検討し、中国における低炭素社会化への可能性を客観分析するものである。その際、現行の関連政策状況を調べ、また国際比較を行い、その上で有効な政策について考察した。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究の成果にもとづく政策実践を通じて東アジアの温室効果ガス排出削減が実現されることが究極の目的であるが、本研究の直接の目的は、それに至る経路として日本の地球環境行政に活用できる学術的基礎知見を提供することである。また本研究の成果は世界規模気候変動詳細地域分解モデル分析、大陸規模大気汚染解析にも応用できる。また、この研究作業における中国研究機関、留学生等との共同作業を通じて、相互の理解と共通の科学的認識を深めるとともに研究者間の盤石な協力関係を構築することは、アジアの環境リーダー育成にも資するものである。それは長期的には国境を越えたアジアの広域環境行政確立への布石ともなるであろう。</p> <p>3. 研究の方法</p> <p>(1) 中国エネルギー需給現況分析と温室効果ガス将来排出量シナリオ分析に関する研究</p> <p>省別・エネルギー需給詳細部門別・エネルギー種類別のエネルギー需給データを経年的に分析し、その動向を多面的な影響諸要因との関係から分析した。対策技術を含め影響要因の動向を想定し、一部の発生源部門については2030年の将来温室効果ガス排出量をシナリオ推計分析した。</p>

(2) エアロゾル排出係数に関する研究

大きな温室効果を持つEC(エレメンタリーカーボン、未燃炭素小粒子)と冷却効果を持つOC(有機炭素)の排出実態を明らかにするため家庭用厨房暖房機器の排出についての実測をおこなった。

(3) 建築分野施策と住宅省エネルギーに関する研究

中国における非住宅建築のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の経年動向を分析、床面積当のエネルギー消費原単位について最新の研究情報を収集した。

都市部住宅について経年動向と省別分布を分析、農村部住宅についても同様の分析を行うとともに、大連近郊他で実態調査を行った。バイオマス燃料利用について農村部住宅での利用を中心に最新研究知見を収集した。

(4) 中国の気候変動対策と関連政策に関する研究

世界全体の温室効果ガス排出と削減における中国の位置づけ、中国社会の現状を踏まえ京都後の国際的な取り組みにおける可能性などについて検討した。また関連する中国国内環境行政の最新情報について収集した。

(5) 国際比較による対策総合評価に関する研究

環境クズネット曲線分析による国際比較と中国の地域間比較を同時に実施し、その応用による政策分析の可能性を検討した。あわせてEU、UKにおける気候変動政策の最新動向を調査した(初年度のみ)。

4. 結果及び考察

(1) 中国エネルギー需給現況分析と温室効果ガス将来排出量シナリオ分析に関する研究

中国における産業部門のエネルギー需要現況と温室効果ガス排出実態の経年動向を業種別省別に分析し将来エネルギー需要と温室効果ガス排出シナリオ分析を行った。とくに鉄鋼、セメントについては生産技術動向と素材転換を考慮した詳細解析を行った。現況動向が継続した場合(BAUシナリオ)には非常に大きなエネルギー需要と排出が見込まれるが省エネルギー他の対策を行えばかなりの抑制は可能であることが明らかになった。

同様に交通部門についても旅客貨物別・交通手段別に都市内交通を含めて経年動向を省別に解析し、将来シナリオ分析を行った。近年の交通需要の急激な伸びを考慮すると、全国土の地域構造を交通需要抑制型に変革し、特に貨物輸送距離を短縮する地域自給生産消費型経済社会にしなれば、交通需要の増大が道路等の社会基盤施設投資による社会的な負担増と交通エネルギー需要、特に石油系燃料需要の増大による世界的な燃料市場に大きな負荷を与える恐れがあることが予想された。

発生源別・省別エネルギー消費量とCO₂等温室効果ガス排出量の現況分析と将来シナリオ推計を行った。急激な経済成長を反映してエネルギー需要は当面増大傾向にあるが省エネルギー化等の排出削減対策の進展も期待されるので、排出伸びは長期的には緩和されることが確認された。

(2) エアロゾル排出係数に関する研究

地球温暖化の進展とともに、カーボンニュートラルなバイオマス利用による温暖化ガスの排出抑制が注目されている。しかし、バイオマス燃焼であっても、排出される燃焼排ガス組成により、地球温暖化への影響の仕方は大きく異なる。例えば、燃焼時に大量のブラックカーボン(BC、炭素として考えた場合は元素状炭素、EC)が排出されれば、太陽光を吸収し対流圏大気を暖めるため、温暖化を助長することになる。一方、吸湿性の極性有機粒子(炭素として考えた場合は有機炭素、OC)が排出されれば、それらは雲粒の核ともなり、太陽光の散乱により地球冷却化に寄与する恐れがある。

中国農村部では、寒冷な大陸性気候に対応したカン(炕、kang)と呼ばれる特有の暖房方式が依然として用いられており、この際に用いられる燃料として稲わら、トウモロコシの芯といったバイオマス成分が用いられている。このカンは暖房用の用途以外にも、その熱を利用して調理用としても用いられており、農村部における生活にとってなくてはならないものとして位置づけられている。このように、中国農村部でまだ多くのバイオマス(農業廃棄物等)が民生用燃料として利用されており、それらの燃焼時に排出される粒子状物質の特性把握は、今後の地球環境変化の予測に不可欠となっている。

そこで、中国におけるトウモロコシの茎、芯や稲わらなどの農業廃棄物であるバイオマス燃焼のカーボンニュートラル性に関する基礎情報を収集するため、大同市近郊の農村地帯の一般農家でカンを用いて、それらの農業廃棄物を湿潤状態、乾燥状態で燃焼させ、排出される微小粒子(2.5

μm 以下)をミニポンプ(MP- Σ 500N (SHIBATA) と個人用サンプラー (NWPS-35HS、対応吸引流量: 2.5 L/min、PM2.5以下(2.5 μm 以下)、35 mm ϕ 石英フィルター)を用いて、屋外では煙突近くで、希釈捕集した。

炭素成分の分析は、フィルターの一部を8 mm ϕ のポンチを用いてくり抜き、Carbon analyzer (DRI Model 2001 OC/EC Carbon Analyzer)を用い、Improve法に基づいて行った。

これまでの炭素分析では、分析中にOCの一部が炭化して、POC(Pyrolytic Organic Carbon)となるが、その補正(光学的に反射率(Laser Reflection)や透過率(Laser Transmission)の変化から補正)がなされていないと、POC + ECがBC(Black Carbon)として見積もられていた可能性がある。約800 $^{\circ}\text{C}$ を超えないバイオマス燃焼では、排出されるECは未燃の物質としてのchar-ECであり、高温燃焼では気化したものから粒子化したsoot-ECも排出される。後者は高温燃焼により発生するものであり、バイオマスの燃焼を制御しつつ高温燃焼を維持した場合に発生する。さらに、バイオマス燃焼から排出されるBCとしては、これまでは燃焼中に炭化したPOCに加えて、char-ECとsoot-ECを分けずに全体をBCとして見積もっていた可能性がある。

乾燥状態の異なるトウモロコシの芯、茎、稲藁を家庭暖房用のカンにより燃焼させ、希釈捕集した微小粒子の炭素成分分析結果からは、BCとして排出されるものはほとんどchar-ECであることが分かった。従来の炭化を補正していない場合(BC = POC + char-EC)はおおよそOC:

BC比は3:1から9:1であったが、補正した場合はおおよそ7:1から50:1となり、これまでのBC排出量はかなりの過剰見積もりと推定される。

今回の測定結果は次のように要約できる。

- ・POC + ECをBCとすれば、バイオマス燃焼からのOC/EC排出比は3:1~9:1となり、さらに燃焼中の炭化を補正すれば、OC/EC排出比は7:1~50:1となる。
- ・これまでBCとして扱われていたものは、低温燃焼ではchar-EC、高温燃焼ではsoot-ECと考えるべきである。野焼きやカンなどの比較的低温の状態での燃焼では主にchar-ECが排出される。
- ・従来のOC/EC排出比3:1~4:1は、今回の測定結果からは7:1~50:1となり、バイオマス燃焼における排出係数においてOC/EC排出比を大きく見直す必要があり、バイオマス燃焼からのBC排出による温暖化への寄与も見直すべきである。

(3) 建築分野施策と住宅省エネルギーに関する研究

中国の建築エネルギー消費について都市部住宅、都市部非住宅(公共建築)、農村部住宅の3つに分けて省別、経年別に推計解析した。2008年の推計結果は都市部住宅6.2EJ、農村部住宅6.6EJ、公共建築6.5EJ、合計19.2EJであった。都市部住宅について家計調査を用いた独自推計を行ったが、この推計では1991年から継続した著しい伸びが見られ、2008年は5.1EJであった。農村部のエネルギー消費は中国のエネルギー統計によると農業廃棄物、柴、バイオガスのバイオマス自給燃料が多く使われており、2003年の10.2EJが最大であったが近年、農村人口減少をうけて減少している。

非住宅については省別・建物用途別・エネルギー種類別・エネルギー用途別に詳細推計した。この推計は、まず建物用途別床面積を独自に推計し、中国で実測された各種建物用途別のエネルギー消費実績から求めた床面積当エネルギー消費原単位を設定して、両者から詳細な推計を行った。暖房、冷房デGREEデイや各都市の経済発展状況などに基づき、データが得られない部分は日本の設定例を参考に、エネルギー用途別構成について省別に地域差を付けて設定しエネルギー消費原単位の設定を行った。

農村部のエネルギー消費実態について訪問調査を実施し伝統かまどとカンにおけるバイオマス燃料の消費実態を中心に解析した。西安近郊、黒竜江省、吉林省、大連市近郊の調査結果によれば農業廃棄物(主にとうもろし芯、茎、葉)、柴の自給バイオマス燃料の使用が多く、不足する分は石炭が使われている場合が多かったが、一部に液化石油ガス(LPG)も使われていた。農村部における電力消費は(調査時点では)まだ低水準にある。

農村部の住宅からは(2)で実測したエアロゾルOC/ECが大量に排出されていると推計されるが、バイオマス自給燃料の活用はこれからの中国気候変動対策の中でも重要なものである。室温快適性要求水準の上昇、伝統かまどでのバイオマス燃料からLPGへの代替が進むとOC冷却効果が減少する上、LPGからのCO₂排出もあるので、住宅熱性能の向上による暖房エネルギーの省エネルギー化と燃焼管理向上による機器の高効率化を図らないと温室効果を増大させる恐れがある。自給バイオマス燃料の高効率燃焼と熱性能が高く機能性もよい新しい農村住宅を開発普及させることは、大きな効果が期待されとくに推進すべき対策である。このような対策により大幅な排出削減を実現する排出削減シナリオを提示した。

都市部の対策として寒冷地域の地域暖房の管理経営計量改善による省エネルギーと空調機器廃棄時の冷媒漏洩防止も重要であることを指摘した。

(4) 中国の気候変動対策と関連政策に関する研究

本研究では、中国における温室効果ガス排出および対策の現状を明らかにすると同時に、2013年以降の温暖化対策国際枠組みへの具体的な「参加のかたち」や日本を含めた国際社会の関わり方について考えることを目的とする。そのために、まず中国政府が公表した具体的な温室効果ガス排出削減数値目標について分析した。中国では、2009年9月中国の政府系シンクタンクがCO₂原単位目標などに関する具体的な数値を伴った詳細なシナリオ分析報告書を公表し、2009年11月26日には、中国国家発展改革委員会解振華副主任が、「2020年までに2005年比でCO₂原単位を40～45%削減」という目標を発表している。そして、これが2009年のコペンハーゲン会議で中国が誓約した数値目標となっている。

本研究では、なるべく中国側の視点を考慮しながら、削減目標や対策の中身について現実的かつ具体的に検討した。その結果、中国の数値目標コミットメントの評価は、GDP増加率の推定結果に大きく依存することが明らかになった。一方、現在、中国ではエネルギー関連の税賦課が急速に進められており、2006年時点の発電用石炭末端価格や工業用電力末端価格は、先進国なみ、あるいは先進国よりも高い。また、鉄鋼製品およびセメント製品に関しては、欧州排出量取引制度（EU ETS）と同レベルの炭素価格付けや国境税調整に相当する輸出税賦課などの自主的な輸出規制も実施されている。すなわち、中国には、先進国と同じレベルの炭素制約が既に導入されているとも言える。いずれにしろ、今後、中国において低炭素化をより一層進めるためには、現在行われている規制および経済的インセンティブ付与の更なる強化と国際社会からの協力の両方が必要不可欠になる。同時に、中国と国際社会との間のコミュニケーションの深化も求められる。

(5) 国際比較による対策総合評価に関する研究

環境クズネツ曲線について中国と発展段階が異なる他諸国と比較し、ならびに各省別に同様の比較を行い、経済社会の発展動向と環境負荷および政策動向、その環境改善効果動向について考察した。また中国の国内環境問題への環境クズネツ曲線の応用について試行した。CO₂の動向を分析する参考としてSO₂、NO_xについても国際比較と中国の省別比較を行い経済的社会的発展段階に応じた排出実態の変化を環境クズネツ曲線として分析した。

また、申請当初の研究計画では独立したサブテーマとして扱っていた欧州の気候変動政策研究とエネルギー市場との相互影響について、研究協力者に原稿執筆依頼し研究会を開催した（初年度）。最後に各発生源への対策とそれを推進する政策について提言を付記した。とくに対策行政の進展手法として沿海部先進巨大都市地域から先行して対策行政を実施し、その経験を活かして内陸部中核都市、郊外、農村部へと徐々に対策行政を進展させることで環境行政担当者の能力開発を行いながら中国全土で対策行政を実施できるようにする手法を提案した。

5. 本研究により得られた科学的成果

(1) 科学的意義

中国の統計データについては、とかくデータの信頼性について議論がなされてきたが、本研究において時間をかけて精査し、異常値を除外するなどして分析に耐える経年動向データが整備された。

排出寄与が大きい鉄鋼、セメント、交通、建築（建物用途別・非住宅、都市部、農村部住宅別）部門について、省別データを経年的に整備し、他にない詳細な分析を行った。

産業部門における省別、詳細業種別の分析は、めまぐるしく発展し情勢が変化する中国の実情を即刻追跡し、それにもとづく将来シナリオ分析を行うことになり、研究期間中にますます分析が難しい状況になったが、その実態とその背景の分析を通じて得られたより深い実態の理解は今後の政策分析において活かされるべき意義深い研究成果である。建築に関しても省別・建物用途別に極めて詳細な分析を行ったが、なかなか実態を特定できない困難さは残されているものの中国の研究者でも誰もなしていない詳細な実態分析とそれにもとづく将来シナリオ分析を行うことができたことは特筆すべき成果と言える。交通部門に関しても同様であるが、交通需要の伸びがあまりに急激であったため自動車燃費の改善や大量輸送機関整備と公共交通機関へのモーダルシフト（機関分担率移転）などの通常の対策だけでは追いつかず、交通需要そのものの大幅抑制につながる都市構造変革、生活行動様式変革、ひいては物流トンkmを抑制するべく世界市場自由貿易から地産地消・地域自給経済への経済構造転換も交通需要抑制策として求められるものと予想される。

中国の特殊性に鑑みその気候変動政策について多面的な側面から考察した。CO₂以外の大きな温室効果が指摘されているエアロゾル（微小粒子）についてBC（ブラックカーボン）よりEC（エレメンタリーカーボン）としてとらえることがより正確であるが、EC/OC（有機炭素）に分けて、中国

農村の家庭厨房暖房伝統かまどにおけるそれぞれの排出実態を実測し、OCがECより多く排出されていることを示唆する結果を得た。このことは複雑な気候変動のメカニズムを解明する手がかりとして非常に価値の高い研究成果と言える。

環境クズネツ曲線を応用した国策比較と地域比較による政策検討手法について試行し、環境クズネツ曲線分析が単に過去の動向をなぞるだけの意義が低い分析と見られていた面もあったが、将来動向についてその手法を応用することで政策評価に活かし対策の実践につながる有意義な分析として活用できる可能性を示した。あわせて中国政府の気候変動政策について世界的にも影響が大きい巨大な政策主体であることにも鑑み、最新の施策情勢を追跡分析した。技術的な対策面を詳細なデータで定量分析することと並行して中国政府の政策面を合わせて分析し、これを環境クズネツ曲線解析で統合する学際的な研究手法の可能性を提示できた。その統合に関しては時間切れで十分な成果を示すことができなかつたが、手法の可能性を十分確認することができた。

(2) 環境政策への貢献

上記の環境クズネツ曲線分析を国際比較により政策の客観評価を実際に行うことができ、それを政策決定に応用できれば気候変動政策への実践的貢献が可能になる。

京都議定書後の国際的な取り組みにおいて非常に重要である中国の温室効果ガス排出について詳細に検討し、その削減可能性についての客観的な基礎分析結果を提供することは、中国政府の政策決定において有用な参考資料となるであろう。これまで中国の学術的な研究者との交流が多かったが、様々な経路を通じてこの研究成果を中国政府や政策決定関係研究者にも活用いただけるよう働きかけて行く予定である。

部門別の詳細な排出動向と要因の分析は各国共通の産業別技術や経営実態の特色に対応した有効な対策と施策のあり方を検討する上で重要な示唆を与えるものである。部門別と地域別に個別事情を十分反映した経年動向分析結果は、仮にその実現が困難であったとしても、日本と中国との各種の省エネルギー協力、環境協力あるいはクリーン開発メカニズム(CDM)事業を検討する上で活用されるべきものである。

この研究作業を通じてすでに多数の中国国内関係研究者、日本あるいは欧米に留学中の中国人研究者、学生等と接触してきたが、この交流経験の積み重ねは研究者の育成や広くアジアの環境リーダー育成と日本の環境リーダーシップ形成にも寄与できるものと確信する。研究成果は関連研究者、政策決定者にも広く活用いただくためできるだけ公開する方針であり、本研究の終了後もこの成果を活かした国際共同研究に発展させる努力をしてゆきたい。

6. 研究者略歴

課題代表者：外岡 豊

1950年生まれ、早稲田大学理工学研究科建設工学専攻終了、工学博士、現在、埼玉大学経済学部社会環境設計学科教授、Imperial College, Centre for Environmental Policy Visiting Professor、大連理工大学客座教授、西安交通大学客座教授

主要参画研究者

(1)、(5)：外岡 豊(同上)

(2)：坂本和彦

1945年生まれ、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、理学博士、現在、埼玉大学大学院理工学研究科教授(環境制御システムコース)、大気環境学会会長

(3)：高 偉俊

1962年生まれ、早稲田大学理工学研究科終了、博士(工学)、早稲田大学理工学総合研究センター客員講師・助教授、北九州市立大学助教授、現在、北九州市立大学教授

(4)：明日香 壽川(あすか じゅせん)

1959年生まれ、農学修士、経営学修士、東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻終了、学術博士、現在、東北大学東北アジア研究センター基礎研究部門中国研究分野教授

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) 寧亜東, 外岡豊 (2009) 中国交通運輸部門におけるエネルギー消費構造に関する推計, 運輸政策研究, 12, 01, pp11-20
- 2) 寧亜東, 外岡豊 (2009) 中国交通運輸部門におけるエネルギー消費構造に関する推計, 運輸政策研究, 12, 01, pp11-20,
- 3) Huang, Z., Y. Tonooka, K. Sekiguchi, Q. Wang, K. Sakamoto (2009) Long-term Sulfur Emissions and Environmental Kuznets Curves: Comparison and Implications, Asian Journal of Atmospheric Environment, 3, 19-26.
- 4) 黄錚, 外岡豊, 王青躍, 坂本和彦 (2009). 環境クズネツ曲線からみた北京の大気汚染と制御戦略, 環境科学会誌, 22(5), 348-361.
- 5) 黄錚, 外岡豊, 関口和彦, 王青躍, 坂本和彦 (2010). 汚染産業移転仮説と環境政策選択—地域間経済格差からみた中国の環境問題—, 環境科学会誌, 23(2), 67-80.
- 6) Gao, Y. W. Gao, Y. Tonooka, J. Xuan (2010), Estimation of Non-Residential Building Energy Consumption, American J. of Engineering and Applied Sciences, 3 (3), 529-533

(2) 査読付論文に準ずる成果発表（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可）

- 1) Litifu, Z, J. Li, Y. Tonooka (2010) Analysis on the Local Environment and Renewable Energy Based on Input-output Theory, Asian Economy & Social Environment, Vol3, 72-85
- 2) 明日香寿川 (2010) 中国の意味ある参加とは?: 中国政府が掲げる温暖化対策の目標と「低炭素発展」のシナリオを読み解く, 世界2010年1月号, 岩波書店