

学位の種類 博士(経済学)

学位記番号 経 第 94 号

学位授与年月日 平成17年1月13日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

最終学歴 平成9年3月  
東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了

博士論文題目 クリーン開発メカニズム(CDM)による地球温暖化抑制と  
中国山西省の環境改善

論文審査委員 (主査)  
教授 大村 泉 助教授 川 端 望  
教授 明日香 壽 川

## 論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、1998年以後、中国山西省を6度訪問し、大気環境汚染の現地調査を行う一方、現地省政府、自治体関係者から多数の関連する内部資料を入手した。本論文では、日本国内ではとうてい入手不可能なこれらの諸資料をも含め、多数の諸資料や調査結果に立脚して、地球規模の温暖化問題から中国山西省の大気環境汚染問題、更には一企業レベルのコークス乾式消火設備導入による温室効果ガス削減、大気環境改善の方策を検討する。以下、本論文の骨子を示す。

### 第1章 地球温暖化とその原因

最近約100年間の石油や石炭等、化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素の多量排出により、大気中の温室効果ガスの濃度が高まり、地表面付近の気温が急上昇してきていることが明らかになりつつある。

現在、化石燃料の使用による二酸化炭素の年間排出量は全世界で約240億トンに達する。先進国と途上国の間には明らかな格差がある。米国の一人当たりの二酸化炭素年間排出量は20トンで世界平均の5倍であるのに対し、途上国は世界平均値を大きく下回っている。

消費エネルギーのCO<sub>2</sub>排出率、エネルギー集約度、一人当たりGDP、及び人口という4要因の

二酸化炭素排出量への寄与度を解析すると、世界の二酸化炭素排出量は、CO<sub>2</sub>排出率の改善、特にエネルギー集約度の低減により削減されたが、人口の増加、特に一人当たりGDPの上昇により大幅に増加し、結果としてわずか35年間で倍増した。

二酸化炭素の排出を削減するためには、消費エネルギーのCO<sub>2</sub>排出率、エネルギー集約度の改善、一人当たりGDP及び人口の増加の抑制が有効であると考えられる。しかし、二酸化炭素排出率の低い化石燃料や二酸化炭素を排出しない非化石エネルギーの使用によるCO<sub>2</sub>排出率の削減には、化石燃料資源の有限性及び非化石エネルギー開発上の技術や経済性の問題から、大きな期待はできない。それに対してエネルギー利用効率の向上は、途上国には勿論、一部の先進国にも大きな潜在力があり、当面は最も現実的で有効な二酸化炭素排出削減策と言える。他方、批判や反発はあるが、途上国における人口増加について、中国が実施してきたような人口制御政策は、二酸化炭素排出削減策の一つだけでなく、その国の持続可能な発展という観点からも考慮に値する。

## 第2章 京都議定書とクリーン開発メカニズム

地球温暖化防止のために、1997年のCOP3で温室効果ガス削減目標を数値化した京都議定書が採択された。京都議定書では、クリーン開発メカニズム(CDM)と呼ばれる制度が補完手段として導入された。これによって、一定の条件が満たされるならば、先進国の途上国での温暖化効果ガス排出削減努力は、当該先進国自身の削減目標実現の一環としてカウントされることになり、例えば、日中間の温室効果ガス削減の協力を日本の京都議定書遵守の一方策として位置付けることが可能となった。

1965-2000年の過去35年間に、日本の二酸化炭素排出量は約2倍増加した。この期間における二酸化炭素の排出要因を解析すると、人口増加(プラス要因)及びエネルギーのCO<sub>2</sub>排出率の改善(マイナス要因)よりも、一人当たりGDPの上昇(プラス要因)及びエネルギー集約度の低減(マイナス要因)による寄与度の方が大きかった。これに対して中国では、同一期間内に、二酸化炭素排出量は約3.5倍に増加した。この間中国でも、エネルギー集約度は低減したが、この低減による影響は日本ほど大きくなかった。人口の増加と一人当たりGDPが大きく上昇し、こうした増大を招いた。

オイルショック以来、日本での省エネルギーの取り組みは世界の水準を大きく超え、日本は、世界最高水準のエネルギー効率を達している。日本の省エネルギーは既に限界に近く、人間生活の快適さに影響を及ぼすことなく、日本国内のみでの京都議定書で日本が国際公約した温暖化効果ガス排出量6%削減を実現しようとした場合、コストの高騰は必至である。中国では、最近10年間に於けるエネルギー効率の向上は著しかったが、日本と比較した場合、まだ非常に低い水準にある。加えて、中国はエネルギー源の66%を石炭に依存しているため、省エネルギーによる二酸化炭素排出削減の潜在力が極めて高い。こうした中国に存在する二酸化炭素削減の潜在力と、日中間のエネルギー効率にみられる技術格差は、日中間のCDM実施に、十分な前提条件を形成している。

### 第3章 山西省の大気環境汚染

中国の中部地区に位置し、中国の、ひいては世界のエネルギー基地の役割を果たす山西省では、1998年に省都の太原市が世界大気汚染都市ワースト1になった。申請者が同年以来ほぼ毎年実施している山西省への現地調査によれば、止目すべきことには、太原市から離れたコークスや銑鉄製造が集中している小規模都市の大気環境汚染の方が更に深刻であった。

山西省の工業構成を見ると、軽工業は工業産出額の17%であり、全国平均40%の半分以下に止まる。これに対して重工業は全国平均の2倍ほどで、中でも採掘工業と原材料工業に偏っている。山西省では中国全体の約40%のコークスを製造する。その過半が非機械式コークス炉で造られている。他方、山西省は全国の約12%の銑鉄を製造しており、そのため約1,000基の高炉が稼動しているが、その大半は内容積100 $\text{m}^3$ 未満と小さい。これらの数え切れない非機械式コークス炉及び1,000基近い小型製銑高炉はエネルギー消費が大きい上に煤塵や二酸化硫黄などの大気環境汚染物質を多量に排出している。更に、山西省は全国の約25%の石炭を採掘する。膨大な小規模炭鉱による採掘やトラックによる輸送、及びそれを燃料とした石炭火力発電所も同様に大気環境汚染の源となっている。

山西省は中国における一大エネルギー基地として位置付けられるが、経済状況は極めて悪い。改革開放政策の実施以来、主要工業製品である石炭、コークス、銑鉄などの生産量が急速に増加し、逆に山西省の経済成長は平均以下であって、2000年時点での一人当たりのGDPは既に全国平均より30%も下回る。山西省の豊かな資源が山西省にもたらしたのは豊かさではなく環境汚染だけであった。このような環境汚染を回復するために多量の資金や技術が必要であるが、現在山西省にはそれを補うだけの経済力がない。

### 第4章 山西省の省エネルギー潜在力

山西省のエネルギー集約度（エネルギー消費量とGDPとの比）を中国平均、世界平均及び日本と比較した場合、同量のGDPを獲得するために山西省が消費したエネルギー量は中国平均の約3倍、世界平均の約8倍、更には日本の約20倍となっていることが判明する。製品やエネルギー構成の違いにより直接の比較は出来ないが、山西省のエネルギー効率が極めて低いことが推測できる。この低いエネルギー効率の下での膨大な石炭消費は、山西省の経済成長の遅れと共に大気環境汚染深刻化の有力な原因である。エネルギー効率が低いことは省エネルギーの潜在力が大きいことを示しており、エネルギー効率を向上させることにより、石炭消費量を削減すると同時に石炭の消費に伴う二酸化炭素や大気汚染物質の排出も削減することが可能である。

山西省では年間約1.3億トンの石炭が消費されるが、そのうちの96%は工業生産用である。更に工業生産用の内訳を調べてみると、コークス製造が49%、石炭火力発電が25%の石炭消費量を占めている。つまり、山西省での石炭消費量のうちの約75%はコークス製造と石炭火力発電に集中している。この両者のエネルギー利用効率を向上させることが出来れば、山西省の石炭消費量の削減と、それに伴う環境汚染の改善と二酸化炭素排出の削減に極めて大きな効果が得られることが予想される。

試算によれば、2000年現在の年間約3,000万トンの非機械式コークスを機械式コークス炉で製造するようにした場合、年間二酸化炭素排出削減量は約2,700万トンとなる。他方、山西省の石炭火力発電所の発電端熱効率は32.5%と低い。それを日本平均水準の40.6%に改善すれば、二酸化炭素排出を年間約1,200万トン削減することが可能である。

## 第5章 CDM 導入による安泰集団 CDQ の増設

ここでは、具体的案件として、山西省介休市に立地する安泰集団という一企業を取り上げ、CDM プロジェクトの制度設計を試みた。すなわち、同企業が新設コークス炉にコークス乾式消火 (CDQ) 設備を増設する場合 CDM プロジェクトとして成立するかどうかを検討し、その温室効果ガス削減効果、大気環境改善効果シミュレーションして経済収益性を評価した。

CDQ はコークス顕熱回収と共にコークス品質向上及び大気環境改善の利点を持つ。しかし現状の CWQ (コークス湿式消火) より巨大な投資が必要であるため、山西省ではまだ前例が無く、安泰集団も経済性の問題から CDQ を計画から外し、廉価な CWQ を採用しようとしていた。

CDM 導入により安泰集団の新設コークス製造工場に CDQ を増設させる場合、CDM の実効性と有効性を確保するためのベースラインを設定しなければならない。経済性が低い CDQ 採用を CDM プロジェクト、経済的に魅力的な CWQ 採用をベースラインとした。なお、本プロジェクトによる温室効果ガス (GHG) 削減量は主として CDQ でのコークス顕熱回収発電による電力代替に由来するため、この予測には山西省消費電力 GHG 排出係数を必要とする。ここでは山西省の既設石炭火力発電所と新設石炭火力発電所の石炭原単位の平均値を用いて求めた。

試算によれば、コークス年間生産量 112.7万トンのコークス炉に CDQ を採用することにより、年間発電量 1.62億 kWh、二酸化炭素排出削減量 16万トン、煤塵と二酸化硫黄の削減量はそれぞれ 1,300, 1,700トン、更に節水量 43万トンの効果が得られると予測される。また、CDM 導入なしの場合の内部収益率は 10.1%、投資回収年数が 8.1年に対して、CDM によって生まれる二酸化炭素クレジット (5 \$/t-CO<sub>2</sub>と仮定) により、内部収益率は 12.1%に上昇し、投資回収年数は 7.1年に短縮されると試算された。

中国、特に山西省では極めて大きな省エネルギー潜在力が存在する。山西省での CDM プロジェクトの実施により、比較的低いコストでの温室効果ガス排出削減を実現すると共に石炭使用起因の山西省の大気環境汚染を改善することが期待される。

## 論文審査結果の要旨

張興和氏が提出した標記の博士 (経済学) 学位請求論文は、中国山西省で、大気汚染の改善と地球温暖化抑制を目的に、クリーン開発メカニズム (CDM・「京都議定書」第12条) 制度設計の具体化に貢献しようとするものである。本研究は、東北大学学際科学国際高等研究センターの研究者チー

ムを中心に組み込まれているもので、中国山西省における CDM 案件としては最初の試みであった。

本論文で氏は、1998年夏以来、数次にわたる現地での環境調査、工場調査で蒐集した膨大な諸資料を踏まえ、上記制度設計具体化の意義を子細に解明している。

本論文は、冒頭に、本論文の課題を簡潔に記した「前書き」及び「目次」「図表一覧」を置き、末尾には考察全体を要約した「おわりに」と「付録」「参考文献」を配する。本論を構成する5章の主要な論点は次の通りである。

第1章「地球温暖化とその原因」では、世界的規模の経済発展とそれを支えるエネルギー消費の不均等な現状を示した後、地球温暖化の原因とされる化石燃料使用による二酸化炭素排出状況、排出量の影響諸要因（GDP、人口、エネルギー利用効率及び消費エネルギー等）を分析し、温室効果ガス（GHG）排出削減策を検討する。

第2章「京都議定書とクリーン開発メカニズム」では、温暖化防止のために COP3で採用された京都議定書の補完手段として導入されたクリーン開発メカニズム（CDM）の仕組みと性質を確認した後、中国の経済発展、エネルギー構成、エネルギー利用効率を分析し、中国に GHG 排出量及びその削減潜在量が共に大きいことを示唆し、日中両国間での CDM プロジェクト実施の可能性を示す。

第3章「山西省の大気環境汚染」では、1998年の WHO（世界保健機構）報告で大気汚染度ナンバーワンの烙印を押された太原市を省都とする中国山西省に焦点を定め、現地で蒐集した膨大な関連統計データを駆使し、経済成長、産業構造、大気環境汚染の分析を行い、石炭の非効率的な大量消費が山西省大気汚染の最も大きな要因であること、山西省で CDM プロジェクトを実施することの決定的な重要性を明確にする。

第4章「山西省の省エネルギー潜在力」では、石炭に特化した同省の産業構造を分析し、同省のエネルギー浪費の実態を明確にする。単位 GDP 当たりのエネルギー消費量を比較すると、実に山西省は世界の約8倍であり、対日本とでは約20倍に達し、同省には省エネルギーと GHG 排出削減の潜在量が極めて大きい。止目すべきことには、同省では石炭消費量が最も大きなコークス製造業を機械式化するだけでも、年間約2,700万トンの二酸化炭素排出削減が可能であり、同時に大量の浮遊粒子状物質や SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 等、大気汚染物質の排出抑制が可能となるという。

第5章「CDM 導入による安泰集団 CDQ の増設」では、山西省への（CDM 導入の実際の試みとして、山西省安泰集団の新設コークス炉に省エネ設備のコークス乾式消火設備（CDQ）を増設させるプロジェクトを検討する。プロジェクトの実施により省エネ、GHG と大気汚染物質排出削減などの効果が大きく、また CDM 導入（5 \$/t-CO<sub>2</sub> と仮定）により、企業内部収益率が2%上昇し、投資回収年数が1年間短縮されると試算する。

以上が張興和氏の博士（経済学）学位請求論文の骨子である。研究史上、ここでは次の3点が注目される。

1) CDM は、京都議定書において、日本など GHG 排出削減コストが高い国では、自国内のみの削減で数値目標を達成するのは困難であることから議定書に盛り込まれた補完的的制度だが、ロシア

の議定書批准によって2005年2月には議定書の発効が確実に成り、関係諸国から本制度の活用に大きな関心が向けられている。しかし、米国の議定書からの離脱やロシアの議定書批准が遅れたことなどから、CDMの制度設計は必ずしも順調に進んでおらず、張氏の論文が扱ったような製造業、特にCO<sub>2</sub>大量排出産業であるコークス製造業の事例研究は、国際的にも殆どない。山西省のコークス製造業については、張氏が研究過程で自ら関与したNEDOの調査報告はあるが、学術研究としてはこれが国内外で文字通り最初の試みである。氏は、ここでこの制度設計を背景説明からはじめ、詳細に経緯を明らかにしている。NEDO調査報告の枠組みを用いながら、これに独自の改良を加え、かつ最新のデータを盛り込み、ベースラインの設定や代替電力の試算、CERを組み込んだ損益・収支計算を行って、該案件をCDMとして国連専門委員会で審査可能なものとしている。本論文によって裨益する研究者、政府、諸企業、事業関係者は多数に達するものと思われる。

2) 張氏は既に本学で工学博士の学位を授与された研究者であって、冶金工学、システム工学のエキスパートであるが、本論文では、こうした張氏のこれまでの専門分野の最良の成果が随所に盛り込まれており、コークス製造工程や小型高炉における溶銑製造での技術的問題が簡明平易に解説されている。CDM案件そのものを取り上げた箇所では、CWQ(湿式消火法)とCDQ(乾式消火法)の技術的特性が経済性との関連で子細かつ明快に解明され、CDQ導入がCDM案件として成立する展望が人文社会科学プロパーに対しても極めて説得的に解明されている。

3) 1978年の改革開放以来、特に1990年代半ば以降、中国国内の各種統計データの入手は長足の進展を遂げているが、それでも内陸部諸省の経済データ、環境データの入手には様々な制約がある。張氏は1998年以来の6度にわたる現地調査によって、現地の省政府高官やトップクラスの民間企業代表者と面識を得ることで、中国現地でも一般には殆どアクセス不可能な環境データや企業操業データを本論文の随所で活用し、本論文の説得力を向上させている。本論文には、環境を切り口にした中国山西省の最新かつ最良のデータが盛り込まれ、その提示方法でも類書には見られない工夫がなされていると言って良い。

以上から、本論文は博士(経済学)の学位を授与するに値する構成と内容を有する作品と判断できる。