

氏名	近藤 康彦
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 819 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	アジア諸国における長期エネルギー需給構造の評価に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 坂本 和彦 委員 教授 吉門 洋 委員 准教授 王 青躍 委員 連携准教授 三輪 誠

論文の内容の要旨

韓国や新興工業国および ASEAN 諸国は開発主義体制による工業化の促進と国民生活の向上またモータリゼーションなどによりエネルギー消費量は 1980 年頃から増加し始め、さらに 1990 年以降は中国の経済成長も加わったことで東アジア地域のエネルギー需要は急速に増加した。今後もこれら国の経済成長によるエネルギー需要は続伸すると考えられており、将来におけるエネルギー供給の不確実さが顕著になってきている。

本研究はこのアジア諸国の経済成長また人口動向により増加するエネルギー需要量の推計を行うとともに、我が国を含む東アジア 9 カ国（日本、韓国、台湾、シンガポール、中国、マレーシア、タイ、インドネシア、フィリピン）を対象とした最適化モデルによる長期エネルギー需給分析を通して、原子力発電の導入によるエネルギー供給量の向上と省エネルギーによるエネルギー需要増加に対する緩和効果について主に分析を行い、温室効果ガス排出量を考慮した長期的に持続可能なエネルギー供給構造について評価を行うものである。

エネルギー需要量の推計においては振興工業国や ASEAN 諸国などにおいて、国民 1 人あたりの国内総生産と国民 1 人あたりの最終エネルギー総需要、また産業、家庭、輸送などの各エネルギー需要部門別エネルギー需要量との間に直線的な相関関係があることを見出し、この関係を用いて将来の経済成長率と人口推計から国民 1 人あたりの国内総生産を算出することで、国民 1 人あたりの最終エネルギー総需要量また各エネルギー需要部門別エネルギー需要量を推計するモデルの構築を行った。また中国においては省または直轄市の人口の多さからみても東アジア地域の発展途上国に匹敵する規模であるため、個々の省・直轄市別にエネルギー需要の検討を行った。中国の省・直轄市別のマクロ経済指標、産業別国内総生産の将来見通し、また人口推計などの社会指標は統計や文献から得られないため、中国全体の経済成長率と人口増加率からこれら省・直轄市別の社会指標を推計するモデルの構築を行った。そしてこれらモデル式を用いることで当該国の経済成長率と人口増加率から国民 1 人あたりの国内総生産を算出することで、各国における将来のエネルギー需要量を推計することが可能となった。

またエネルギー供給分析においては上述のモデル式を用いて我が国を除く 8 カ国について 2030 年までのエネルギー需要量の推計を行い、この需要を満たすエネルギー供給について、国別の長期エネルギー需要量

と国家間のエネルギートレードを考慮したエネルギー供給最適化計算プログラムに韓国と台湾の2カ国を加えて分析対象を9ヶ国に拡張し、各国のエネルギーシステム費用およびエネルギー輸出入に掛かる費用またCO₂排出量への課金費用を考慮して、原子力発電や省エネルギー技術の導入、CO₂排出量への課金制度による効果、また特定国のエネルギー需要増大による影響について総エネルギーシステム費用を最小にする最適化分析を行った。

その結果、韓国、中国、台湾のエネルギー需要を増加させた感度解析を行ったが、エネルギー需要増加による他国への影響はほとんどみられなかった。またエネルギーを大量に消費する中国の工業部門における省エネルギーによる効果は、石炭を中心にエネルギー需要を確実に減らし、またCO₂排出量も台湾全体のCO₂排出量に相当する量を削減できるが、9ヶ国全体では5%程度の削減量にしかならなかった。さらにCO₂排出量の積極的な削減を目的としたCO₂排出量への課金制度の影響は、9カ国全体のCO₂排出量を小さくする効果はあったが、総エネルギーシステム費用が約30%も増加し持続可能な未来像は得られなかった。しかし中国に原子力発電を積極的に導入した場合、CO₂排出量に対する課金の有無に関わらず、9カ国全体の総エネルギーシステム費用およびCO₂排出量はいずれも小さくなり、かつ化石エネルギーの消費量が減少することで中国以外の国において化石エネルギー供給に余裕も生まれることがわかった。

以上のことから中国における原子力発電導入は東アジア諸国における総エネルギーシステム費用とCO₂排出量を同時に減少させ、また域内のエネルギー供給の安定に貢献することがわかった。

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 23 年 2 月 8 日に公開で開催し、約 40 分の発表の後、本論文に関する詳細な質疑を行い、論文内容を審査した。

本論文は、将来の経済成長に伴いエネルギー需要量の増加が見込まれるアジア諸国における将来の国別エネルギー需要量推定モデルの開発を行い、どのような技術導入が経済的 CO₂ 排出量削減対策となるか検討するものである。

以下に論文内容を示し、学位論文審査の結果を要約する。

第 1 章 序論

2007 年のアジア地域におけるエネルギー需要は世界の一次エネルギー供給量の約 33.9% を消費し、今後とも発展途上国を中心とした経済成長によるエネルギー需要の伸びが世界規模でのエネルギー需給に影響を与える可能性は高い。本研究では、アジア地域の経済発展によるエネルギー需要増がエネルギー供給に及ぼす影響について検討するため、韓国、台湾、シンガポール、中国、マレーシア、タイ、インドネシア、フィリピン各国の長期エネルギー需要量推計と、線形計画法による我が国を含めた 9 カ国のエネルギー供給分析から 2030 年までの長期エネルギー需給構造を明らかにし、また省エネルギー技術や原子力発電設備の導入等によるエネルギー供給システムへの影響について評価を行う。

第 2 章 東アジア国別のエネルギー需給の現状と将来動向

本研究では我が国を除く 8 カ国において国別のエネルギー需要推計モデルの構築を行った。中国においては省・直轄市別の将来における国内総生産 (GDP) と都市と農村の人口数、またこれらの値を用いた将来の省・直轄市別産業構造を決定するモデル式を構築し、GDP と都市・農村人口数また産業のシェアを算出することで、省・直轄市別人口 1 人当たりの GDP とエネルギー需要部門別エネルギー消費量のトレンドによる回帰式を用いて 2030 年までの省・直轄市別第一、第二、第三次産業、運輸、民生家庭の各エネルギー需要部門別エネルギー需要量を推計した。また我が国と中国以外の国では、各国の経済成長見通しと人口推計から 2030 年までの国別 GDP と人口数を求め、国別の人口 1 人当たりの GDP また産業別 GDP とエネルギー需要部門別エネルギー消費量のトレンドによる回帰式を用いたモデル式からエネルギー需要部門別エネルギー需要量を推計した。なお我が国のエネルギー需要量は長期エネルギー需給見通しに記された値を引用した。

第 3 章 東アジアにおける長期エネルギー需給システムの分析と評価

実際のエネルギー供給は資源量の多寡、生産能力、各国の取引量により決定されることから、本研究では多国間のエネルギー輸出入を考慮して 9 カ国全体を包括した 2030 年までの長期エネルギー供給分析を、旧工業技術院電子技術総合研究所が開発した分析モデルに比較的エネルギー需要量が多い韓国と台湾を加えた改良モデルによって行った。また最適なエネルギー需給構造は (1) 式に示す各国 (i) におけるエネルギーシステムコスト ($E_{i,\text{sys},\text{cost}}$) と炭素換算トンあたりの CO₂ 排出 (e_{i,CO_2}) に排出コスト (k : 任意の定数) を乗じた値の総和を目的関数 (F_{cost}) として線形計画法による最小化分析で求めた。

本研究では 2030 年まで推計された各国のエネルギー需要部門別エネルギー需要量を用いて (1) 式を最小化した分析結果 (①) と、中国工業部門への省エネルギー技術導入シナリオ (②)、原子力発電保有国による大規模な設備導入シナリオ (③)、また炭素換算 CO₂ 排出量トンあたり 50 US \$ の排出コストを課す制度導入シナリオ (④) との差から各シナリオがエネルギー供給システムに与える影響について分析を行った。それに

より、下記の結果を得た。中国のエネルギー需要の約7%に相当する工業部門の省エネルギー(②-①)は総エネルギーシステム費用とCO₂排出量を同時に削減し、大規模な原子力発電設備導入(③-①)も総エネルギーシステム費用の減少と大きなCO₂排出量削減効果を有することがわかった。一方④の制度導入は②とほぼ同等のCO₂排出量削減効果が見込まれるが総エネルギーシステム費用が約30%増加した。

$$F_{cost} = \sum_i E_{i, sys, cost} + k \times \sum_i e_{i, co2} \dots (1)$$

第4章 総括

本研究では、将来の経済成長に伴いエネルギー需要量の増加が見込まれるアジア諸国において、国別における将来のエネルギー需要量を推定するためのモデルの開発を試みた。この結果将来の人口増加率および経済成長率を定めることで、将来のアジア諸国におけるエネルギー需要部門別エネルギー需要量の推定が可能となった。またエネルギー供給分析では既存のモデルに韓国と台湾を加えたモデルへの改良を行い9カ国のエネルギー需給分析を可能とした。

さらにこのモデルによる長期エネルギー需給分析の結果、原子力発電の大規模導入は9カ国内の総エネルギーシステム費用を低減させCO₂排出量の削減にも効果を発揮することがわかった。また中国工業部門における省エネルギー対策も、総エネルギーシステム費用およびCO₂排出量削減に効果を示した。一方CO₂排出量に応じた課金制度は、原子力大規模導入と同程度のCO₂排出量削減効果はあるが、安定的な長期エネルギー需給には寄与し難いことがわかった。

本論文では、将来の経済成長に伴いエネルギー需要量の増加が見込まれるアジア諸国において、国別における将来のエネルギー需要量を推定するためのモデルの開発を行い、省エネルギー技術や原子力発電技術の導入は経済面からもCO₂排出量削減対策として有力であるが、CO₂排出コストの制度導入は総エネルギーシステム費用を大幅に増加させるため費用対効果の面からCO₂排出量の削減対策として適当でないことを示している。本論文に関わる内容を5編の論文として学術誌に公表している。さらに、1編が投稿中であり、これら6編が公表することにより、本学位論文の内容はすべて学術誌に公表されることになる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文は博士(工学)の学位を授与するにふさわしい内容を備えていると判断し、合格と判定した。