

論文の内容の要旨

論文題目 世界エネルギーモデルを用いた地球温暖化緩和策の評価とリアル・オプション法による電源投資分析

氏名 小田 潤一郎

本論文は、費用効果的な地球温暖化緩和策を世界エネルギーシステムモデル DNE21+にて分析し、そこで重要な緩和策の一つと示された CO₂回収貯留 (carbon capture and storage、以下 CCS) 技術の投資リスクをリアル・オプション法により分析したものである。各章の構成は次の通りである。

第1章では、本論文の全体背景、既往研究を示し、続いてエネルギー・温暖化政策に関する定性的議論を整理し、その中で特にエネルギーセキュリティについて詳述した。エネルギー・温暖化政策は、相反する視座が常に存在すること、かなりの程度を価値判断に依存せざるをえないこと、などを示した。これは第3章にてエネルギーセキュリティ指標を導入する際の、また第3章、第4章の結果から政策的含意を抽出し考察する際の基礎となる。以上を背景としつつ本論文の目的、実施内容を示した。

第2章では、リアル・オプション法の理論、定式化、解法 (解析解、数値解)、及びこれら一連の流れを整理した。第4章にてリアル・オプション法を発電部門の実問題に適用し投資分析などを行うが、その適用に際して事実上必須となる数値解法について第2章にて詳述した。

第3章では、世界エネルギーシステムモデル DNE21+の一部拡張、及び分析を行った。産業部門の中でも代表的なエネルギー集約産業である鉄鋼部門、セメント部門について調査、モデル化したことを示す。鉄鋼部門は鉄スクラップが世界全体で見てもどの程度利用可能であるかが今後の CO₂ 排出規模、及び緩和策の余地を規定する要因の一つであるため、過去 140 年に渡るマテリアルフロー分析を実施し将来の鉄スクラップ入手可能性についても分析を行い、その結果を DNE21+の前提条件に組み入れた。

DNE21+の分析により、世界全体で大幅な CO₂ 排出削減を進めるためには省エネ、再エネ、燃料転換に加え CCS が重要な技術方策の一つであることを示した。450 ppm CO₂ eq 安定化のみならず、550 ppm CO₂ eq 安定化、650 ppm CO₂ eq 安定化であっても CCS は重要な方策である。ただし、実際に CCS 普及を進めるためにはいくつ

かの障壁があり、その障壁を乗り越えることが必要である。エネルギーセキュリティはそのような障壁の一つである。そこで DNE21+の結果をエネルギーセキュリティ指標に当てはめた。日本については CO₂ 排出削減、及び CCS 普及が（省エネ、再エネ、燃料転換などとあいまって）エネルギーセキュリティ指標値をそれほど悪化させないことを示した。即ち、日本にとって CCS はエネルギーセキュリティ上の懸念に逆行することなく大幅な CO₂ 排出削減を進めるための重要な方策の一つであると言える。

第 4 章では、日本の電気事業者が直面している諸課題及び実問題に対しリアル・オプション法を適用した。最初に経年石油火力の維持・廃棄にリアル・オプション法を適用し、電気事業者が行ってきた経年石油火力の維持・廃棄に関する過去の行動を定量的に説明できることを示した。次に、簡素な投資評価分析、即ち一つの資本集約的電源投資オプションを所与とした上で、不確実な卸電力価格の下、投資を直ちに行うか、もしくはしばらく待機するかという投資評価分析を行った。本分析では複数の感度解析を実施し、卸電力価格のボラティリティが上昇することで、新規電源への投資が敬遠されること、特に固定費比率が大きい電源ほど投資が敬遠されることを定量的に示した。これは即ち自由化（規制緩和、規制変化）に伴い不確実性が増大した場合、資本集約的な電源への投資はより敬遠される可能性があることを意味している。

第 4 章の後半部分では、より本格的に日本の電気事業者が新規の発電設備及び CCS へ投資する場合についてリアル・オプション法を適用し分析を行った。CCS に関して CO₂ 回収のみならず、CO₂ 輸送、CO₂ 貯留に至るまでの一貫したシステムを明示的に考慮した。電気事業者が保有するオプションは、微粉炭火力、微粉炭火力+CCS、コンバインドサイクル、コンバインドサイクル+CCS の 4 つとした。不確実性項目は炭素価格及び天然ガス価格とし、これらが幾何ブラウン運動に従うとした。リアル・オプション分析の結果、日本の電気事業者が CCS 投資に踏み切る閾値は、仮に投資リスクがなくてもある一定の炭素価格（150 US₂₀₀₇\$/tCO₂ 程度）が必要と見られることを示した。リアル・オプション法を適用し投資リスクを考慮すると CCS 投資の閾値がより高くなり 200 US₂₀₀₇\$/tCO₂ 強といった水準となることを示した。なおこれら閾値はグランドファザリングに基づき排出枠の無償割り当てがなされることを事業者が見越している場合の結果である（グランドファザリングとしない場合、CCS 投資の閾値が 200 US₂₀₀₇\$/tCO₂ 強から 150 US₂₀₀₇\$/tCO₂ 強へ低下することを確認した）。

以上から CCS の投資リスクが相当大きく早期の CCS 普及が容易でないことを示唆している。政策的含意として、予見性があり安定的な炭素価格及び天然ガス価格が望ましいことが示唆される。予見性があり安定的な炭素価格といった面からは、炭素税、規制、R&D 補助、自主的取組、税額控除などの政策が有効である可能性がある。またグランドファザリングによる無償割り当ては CCS への投資閾値を上昇させるため、電力の CO₂ 原単位（絶対値）を参照するような政策が相対的に望ましいと言える。天然ガス価格自体はそもそも政策誘導の対象とはならないものの、方向性として天然ガス先物市場の整備、LNG 備蓄が挙げられ、これらはエネルギーセキュリティの観点からも有効と考えられる。

第 5 章において本論文の結論を述べた。450 ppm CO₂ eq 安定化のみならず、550 ppm CO₂ eq 安定化、650 ppm CO₂ eq 安定化であっても世界全体で大幅な CO₂ 排出削減が必要であり、省エネ、再エネ、燃料転換に加え CCS が重要な技術方策の一つである。日本については炭素制約、CCS 普及は（省エネ、再エネ、燃料転換などの進展とあいまって）エネルギーセキュリティをそれほど悪化させない。日本の発電部門において早期の CCS 投資を促すには、予見性があり安定的な炭素価格及び天然ガス価格が望ましい。陰伏的な炭素価格付けとして、規制、R&D 補助、自主的取組、税額控除などの政策は、予見性があり安定的な炭素価格に資するものであり有効と考えられる。