

日本のエネルギー資源輸入におけるリスク分析

新領域創成科学研究科 環境システム学専攻(2011年3月修了予定)

氏名：三浦浩幸 学生証番号：47-096684

指導教員：松橋隆治（教授）

Keywords; Energy Security, Portfolio Theory, Single Index Model

1.はじめに

エネルギーの大半を海外に依存する我が国においてエネルギーの安定供給は重要課題であり、2010年6月18日に閣議決定したエネルギー基本計画の中でもエネルギーセキュリティの確保は基本項目の1つとして挙げられている。日本は過去の経験からエネルギー源の多角化によってエネルギー安全保障の強化を行ってきたが、現状としては依然として化石燃料に依存する割合が高く、その供給国シェアの分布状況を見れば安全な供給構造をしているとは言い難い。

本研究では輸入地域と輸入燃料のベストミックスによるエネルギーセキュリティ強化への効果を定量化し、評価・分析を行うことで、望ましいエネルギー供給地域と燃料構成を考察することを目的とする。また、地球温暖化問題の解決に向け、化石燃料輸入量制約を設けた上でのエネルギーセキュリティ強化のためのエネルギーの需給構造の分析も行う。リスクを持つ選択肢下での選択論として投資分野で広く応用されている「ポートフォリオ（資源組み合わせ）選択理論」を用い、現状に対するこの理論下での効率的なシェア配分を求める。更に「単一指標（Single Index）モデル」を用いてそのリスクの要因内訳についても定量化し分析を行う。

2.ポートフォリオ選択理論とは

ポートフォリオ選択理論を用いて輸入燃

料多角化、輸入地域多角化によるリスク低減効果を定量化し、現状との比較分析を行う。いま N 個の選択肢とある期間におけるその時系列変量がある。供給国 i におけるその期間の時系列変量の期待値 \bar{E}_i とするとき、構成されるポートフォリオ全体の期待値 E_p とポートフォリオのリスク V_p はそれぞれ、

$$E_p = \sum_{i=1}^N X_i \bar{E}_i \quad (1)$$

$$V_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_p - \bar{E}_p)^2 \\ = \sum_{i=1}^N X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N X_i X_j \sigma_{ij} \quad (2)$$

で表される。ただし、

σ_i^2 ;供給国 i の価格の分散

σ_{ij} ;供給国 i, j 価格の共分散

X_i ;供給国 i からの輸入比率

E_p ;ポートフォリオ全体の期待値

である。 E_p をある一定の値に設定し、その制約を満たすもとで V_p の最小化を行う。これを任意の期待値について行くと、 V_p - E_p 平面上に解の実現可能領域を描くことが出来る。この解の実現可能領域のうち最適解の集合を「効率的フロンティア」と呼ぶ。

3.時系列ポートフォリオの推移

対象燃料を原油・LNG・石炭とし、分析期間を1988年1月から2010年10月と設定して、各供給国期待平均価格を用いて期間を3年間とした時系列ポートフォリオを作成し、リスク指標値の時系列推移を算出

する。本研究ではリスク指標値をポートフォリオの変動係数 (C.V.) と分散化指標値 (エントロピー関数) Q と設定する。

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{E_p} \quad (3) \quad Q = \left| \sum_{i=1}^N X_i \log X_i \right| \quad (4)$$

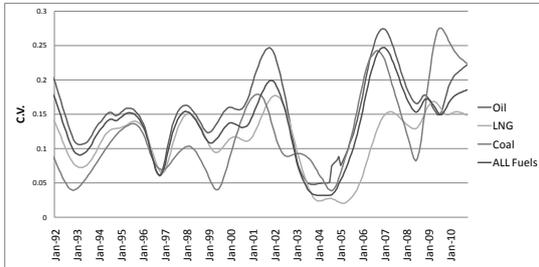


図 1.各ケースにおける C.V.の推移

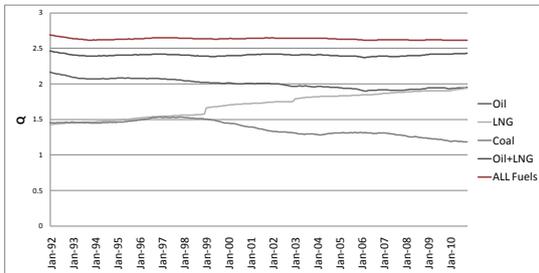


図 2.各ケースにおける分散化指標値の推移

4.時系列ポートフォリオ最適化

当時のポートフォリオ C.V.の最小化を行う非線形計画問題を解くことにより、実際の選択と最適ポートフォリオとの C.V.の差がリスク低減ポテンシャルとして定量化される。また、特定の国に特化した選択が許容されることを防ぐために分散化指標値を制約条件として設けたケースも設定し、燃料組み合わせによるリスク低減ポテンシャルと最適輸入地域の時系列推移を算出した。

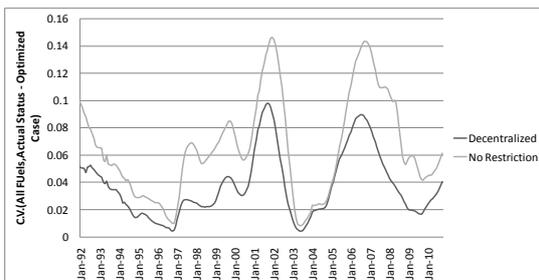


図 3.C.V.低減ポテンシャルの時系列推移

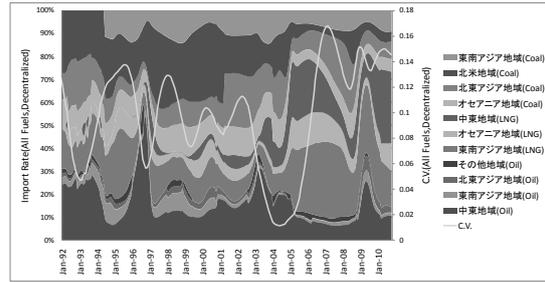


図 4.最適輸入地域と C.V.の時系列推移

5.C.V.効率的フロンティアの算出

近年においてリスク低減ポテンシャルが高まってきていることに注目し、各供給国の2000年1月から2010年10月までの130カ月における日本に対する資源供給価格を用いて任意のポートフォリオ期待値についてリスク最小化を行い、効率的な C.V.フロンティアを求めた。実際には化石燃料間の代替は困難であるため、「資源制約ケース」として現状の各燃料の合計輸入量を制約として与えるケースも設定した。

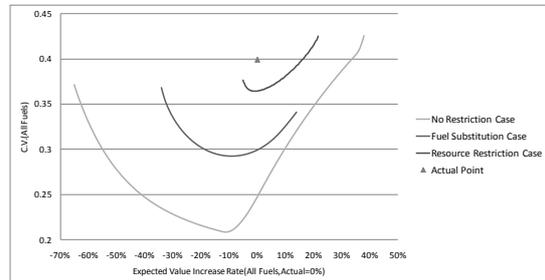


図 5.C.V.効率的フロンティア

表 1.各最適化条件における C.V.最小点

Case		C.V.	Ep Increase Rate
C.V. Minimum Point	Actual Point	0.399	0.0%
	Resource Restriction	0.364	-0.8%
	Fuel Substitution Case	0.293	-9.0%
	No Restriction	0.208	-11.0%

ポートフォリオ C.V.は1単位あたりの輸入量に対するポートフォリオのリスクであると考えることが出来る。ポートフォリオ C.V. にポートフォリオ全体での原油換算輸入量を乗じることで、エネルギー輸入全体でのリスクを定量化することが出来る。2020年度における1次エネルギー供給の見通しの「エネルギー起源 CO2 排出量見通し

シナリオ」における「現状固定シナリオ」、「努力継続シナリオ」、「最大導入シナリオ」の3つのシナリオに、「現状の供給国シェアで移行した場合」、「資源制約最適ポートフォリオで移行した場合」、「燃料代替最適ポートフォリオで移行した場合」の3通りを考える。各ケースについて、ポートフォリオ C.V.に各化石燃料の原油換算輸入量の実数を乗じることでエネルギー輸入全体のリスクを算出し、比較分析を行った。

その結果、現状固定シナリオに資源制約最適ポートフォリオに移行する場合と、努力継続シナリオに現状ポートフォリオで移行する場合の輸入リスクの差は少ないことがわかった。これは、資源制約最適ポートフォリオを構成することによるポートフォリオ C.V.の低下よりも、原油換算総輸入量の変化の方が輸入リスクにインパクトを与えることを意味する。

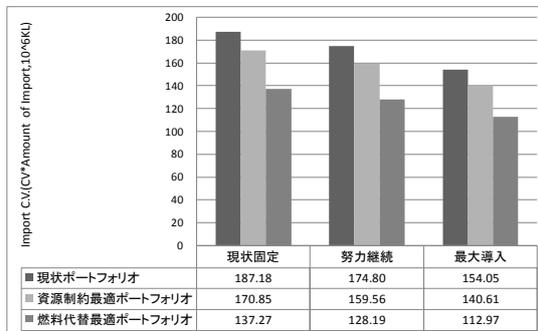


図 6.各シナリオにおける輸入リスクの比較

6.単一指標モデル

2.では全ての選択肢間の相関によって有効なポートフォリオを選択していく「完全相関型」の選択理論であるが、実際は各供給国の提示する資源価格には平準性があり、価格決定に関しては完全な競争下（完全相関型）ではなく、代表的な市場価格によって各供給国の価格が決まっている部分が存在する。単一指標モデルでは、各供給国の

資源価格が各国固有要因によって決まる部分と市場要因によって決まる部分に分かれているとする。すなわち、

$$P_i = \alpha_i + \beta_i P_M \quad (5)$$

と2つの要因内訳に分解される。ただし、

P_i ; i 国の期待資源価格

α_i ; i 国の固有要因による価格分

β_i ; i 国の市場への感応度

P_M ;市場における市場価格

である。なお、計算の便宜上 α には残差 e が含まれるものとする。各供給国の資源価格の期待値 \bar{P}_i と価格変動リスク σ_i^2 は次のようになる。

$$\bar{P}_i = \alpha_i + \beta_i \bar{P}_M \quad (6)$$

$$\sigma_i^2 = \text{Var}(\alpha_i + \beta_i \bar{P}_M + \bar{e}_i)$$

$$= \beta_i^2 \sigma_i^2 + \sigma_{e_i}^2 \quad (7)$$

また、このような選択肢群から構成されるポートフォリオ全体の期待平均価格は、

$$\begin{aligned} \bar{P}_P &= \sum_{i=1}^N X_i \bar{P}_i \\ &= \sum_{i=1}^N X_i \alpha_i + \left(\sum_{i=1}^N X_i \beta_i \right) \bar{P}_M \end{aligned} \quad (8)$$

更にポートフォリオのリスクは、

$$\begin{aligned} \sigma_P^2 &= \sum_{i=1}^N X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N X_i X_j \sigma_{ij} \\ &= \left(\sum_{i=1}^N X_i \beta_i \right)^2 \sigma_M^2 + \sum_{i=1}^N X_i^2 \sigma_{e_i}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

となって、2つの要因によるリスクに分けることができる。

7.各供給国 β とリスク要因内訳

原油+LNG ポートフォリオにおいて、各供給国の2000年1月から2010年10月までの130カ月間における日本に対する資源供給価格を用いて、WTI 価格を市場指標値とした場合の各供給国とポートフォリオの市場感応度とリスク要因内訳を行った。

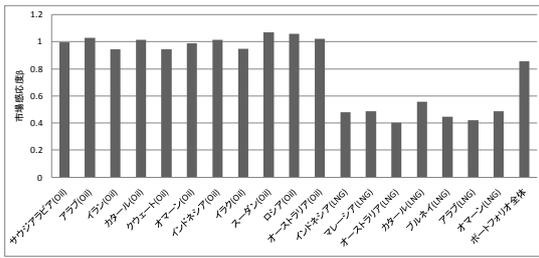


図 7.市場感応度 β の推移

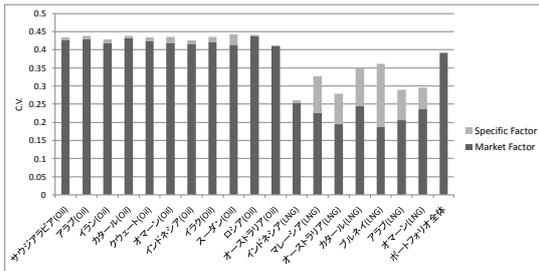


図 8.C.V.要因内訳

次に、現状のポートフォリオの各供給国シェアを変化させて C.V.を最小化する 2 次計画問題を各制約条件のもとで解くことにより、各ケースにおけるポートフォリオ C.V. 最小点と各供給国輸入比率を求めた。

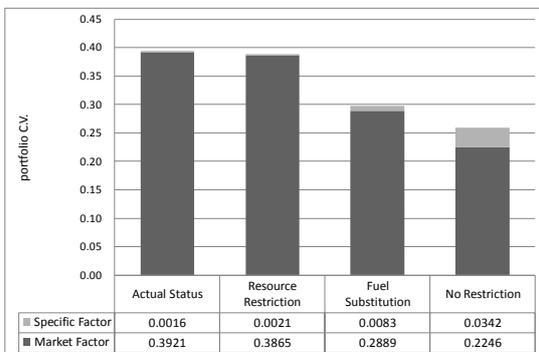


図 9.各ケースの C.V.最小点の要因内訳

資源制約ケースでは、現状の C.V.合計値から約 1.3%の低下を示すだけで、市場要因、固有要因ともにほとんど変化は見られない。これは、燃料間の代替を行わずに各燃料のシェアのみを変化させるだけでは、リスク低減はほぼ望めないという結果を示している。一方で燃料代替ケースでは、原油供給

国を LNG 供給国で代替することで、ポートフォリオ C.V.の要因内訳が変化し、C.V.合計値は現状から約 24.5%の低下を示す。原油供給国を LNG 供給国で代替することで除去できないリスクである市場要因が減少し、分散化可能な固有要因の若干の増加が見られ、全体としてリスク低減ポテンシャルが生まれることがわかった。

8.結論

ポートフォリオ選択理論と単一指標モデルによる分析により、現状の市場要因リスクが支配的である資源供給構造においては、輸入地域の多角化を最大限進めたとしてもそのリスク低減効果には限界があり、輸入リスクを減らすためには化石燃料の輸入量自体の減少、あるいは原油・石炭から LNG への燃料代替を促進させることがエネルギー供給を安定させ、エネルギーセキュリティの強化に資する対策であるということが定量的に示された。

本研究で提示したように、資源ポートフォリオの C.V.と分散化指標値、更に C.V.に総エネルギー輸入量を乗じた輸入リスクをエネルギーセキュリティとして管理し、資源供給構造の変化に応じて輸入地域・燃料のベストミックスについて適宜対策を講じることが日本のエネルギー安全保障に資すると考える。

参考文献

1. 小沼昌(1998)「日本のエネルギー資源におけるリスク分析」東京大学修士論文
2. 財務省「財務省貿易統計」
<<http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>> (2010/11/13 アクセス)