

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760842
 研究課題名(和文) マテリアルフローを考慮に入れた物質・エネルギー統合モデルの構築に関する研究
 研究課題名(英文) Development of integrated multi-sectoral economic model considering material and energy flow
 研究代表者
 小宮山 涼一 (KOMIYAMA RYOICHI)
 東京大学・大学院工学系研究科・助教
 研究者番号：60537819

研究成果の概要(和文)：従来トップダウン的視点から構築されてきた応用一般均衡モデルに、エネルギー多消費産業である鉄鋼業などの工学プロセスを詳細に整合的に考慮し、経済の均衡条件のみならず、産業プロセス技術の制約の考慮を可能とした新しい多部門経済モデルを構築した。分析結果から、日本の過度な CO₂ 制約は国内鉄鋼生産の大幅な減少と、海外からの鉄鋼輸入量の増加を促し、日本の経済成長を大幅に低下させる可能性があり、日本の気候変動対策を考える上で、示唆のある結果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：This research develops an innovative computable general equilibrium model which is capable of considering the details of engineering process factors as well as economic behaviors in various economic sectors in a consistent way. According to calculated results, extreme CO₂ emissions regulation causes the serious decline of steel production and enormous increasing import of steel products from other country in Japan, which eventually provides negative impact on Japanese economic growth. Thus, the modeling analysis in this study yields meaningful implication for formulating effective energy and environmental policy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,200,000	360,000	1,560,000

研究分野：エネルギー学

科研費の分科・細目：

キーワード：多部門経済モデル、鉄鋼、エネルギー政策、一般均衡モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 新興国の急激な経済成長により、国際的にエネルギー・鉱物資源の不足が顕著になっている。ほとんどの資源を海外に依存する日本にとって、環境面のみならず資源効率、資源制約等を考慮した資源の合理的な使い方や循環型社会システムを提案、実施することは、日本の資源確保、経済社会の発展からみて大変重要である。

(2) 近年の原油価格高騰に連動して他のエネルギーや素材価格が急騰した。今後も新興国

の経済発展に伴い、エネルギーや鉱物資源需給のひっ迫化が予想されており、資源が希少な日本は、エネルギーと鉱物資源の双方を視野に入れた総合的なエネルギー・資源戦略の構築が求められる。そのため、世界のエネルギー、鉱物、最終製品等の資源、物質全体を総合的に分析可能な物質・エネルギー統合モデルの構築が必要である。

2. 研究の目的

(1) 世界のエネルギー資源、鉱物資源、最終製品等の物質全体を視野に入れ、それらの相互関係を総合的に考慮した分析モデルに関する

る研究は国際的に見ても少ない。

(2) 途上国を中心に工業製品やインフラ需要の増大に伴い、鉄鋼などの物質需要やそれらを製造するために必要なエネルギー消費が今後増加すると考えられるが、それらの要因が国際エネルギー市場、国際鉱物・物質市場に与える影響を、整合的に分析することが重要となる。世界のエネルギー、鉱物、最終製品等の資源、物質全体を総合的に分析可能な多部門経済モデルの構築が必要である。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、従来トップダウン的視点から構築されてきた応用一般均衡モデルに、エネルギー多消費産業である鉄鋼業などの工学プロセスを詳細に整合的に考慮し、経済の均衡条件のみならず、産業プロセス技術の制約の考慮を可能とした新しい多部門経済モデルを構築した。世界を3地域(日本、先進地域、途上地域)に分割した世界モデルを構築した。

(2) 本研究では、単年度を対象とした複数地域多部門経済モデルとしての定式化を行う。各アクティビティは自身の行動による市場価格の反応を考慮しつつ、付加価値を最大化するように行動する。通常のCGEモデルに適用される投入財の代替を表現した生産関数は使用せず、考慮する技術ごとにアクティビティを分割し、投入係数を推計することで具体的な技術や工学的プロセスを明示的にモデル化していく。加えて、工学的要素を1次不等式で記述することを前提として定式化を行う。貿易は従来のアーミントン仮定を用いず、財・輸入ルートごとにアクティビティを定義することで定式化を行う。輸入アクティビティは国内のアクティビティ同様に自身の付加価値最大化行動をとることとし、彼らの生産量として貿易量が決定するものとする。

(3) 本稿で使用したボトムアップ型多部門経済モデルは単年度を対象として複数の地域を取り扱う静学国際モデルであり、凸二次計画問題として定式化が行われる。モデルは一般均衡モデルをベースとして定式化が行われているが、通常一般均衡モデルがアクティビティの利潤最大化を仮定するのに対し、本モデルでは付加価値最大化行動を基に定式化が行われる。また、各アクティビティは自身の行動による市場価格の反応を考慮するようにモデル化を行う。各企業は価格弾性値を私的戦略として予測していると仮定する。ここでの価格弾性値は通常用いられる弾性値と異なり、市場価格 p_j 、および $d_i = -b_{ij} \cdot x_j$ とすると、 j 企業の価格に対する

i 財の価格弾性値を、

$$\epsilon_{ij} = \frac{\delta \ln d_i}{\delta \ln p_j} = \left(\frac{\delta d_i}{d_i} \right) / \left(\frac{\delta p_j}{p_j} \right) \quad (1)$$

と定義する。ここで b_{ij} は j アクティビティの生産に投入される i 財 a_{ij} を対応する単位行列の成分から引いたものを、 x_j は j アクティビティの生産量を表す。すべての財についての価格弾性値を予測していると仮定すると、予測に基づく p に対する d の変動は次のように表現される。

$$\begin{pmatrix} \delta d_1 \\ \delta d_2 \\ \vdots \\ \delta d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{d_1}{p_1} \epsilon_{11} & \frac{d_1}{p_2} \epsilon_{12} & \cdots & \frac{d_1}{p_n} \epsilon_{1n} \\ \frac{d_2}{p_1} \epsilon_{21} & \frac{d_2}{p_2} \epsilon_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ \frac{d_n}{p_1} \epsilon_{n1} & \cdots & & \frac{d_n}{p_n} \epsilon_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta p_1 \\ \delta p_2 \\ \vdots \\ \delta p_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

このとき、

$$F_j = \begin{pmatrix} \frac{d_1}{p_1} \epsilon_{11} & \frac{d_1}{p_2} \epsilon_{11} & \cdots & \frac{d_1}{p_n} \epsilon_{1n} \\ \frac{d_2}{p_1} \epsilon_{21} & \frac{d_2}{p_2} \epsilon_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ \frac{d_n}{p_1} \epsilon_{n1} & \cdots & & \frac{d_n}{p_n} \epsilon_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \quad (3)$$

なる行列 F_j が存在すれば、以下が成立する。

$$\delta p = F_j \delta d \quad (4)$$

以上の議論より、企業が δx_j だけ増産したとき、企業の私的戦略に基づく付加価値は λ を価格ベクトルとして

$$\begin{aligned} v_{A_j} &= (\lambda + \delta p)^t b_j (x_j + \delta x_j) \\ &= \lambda^t b_j (x_j + \delta x_j) - \delta x_j b_j^t F_j b_j (x_j + \delta x_j) \end{aligned} \quad (5)$$

と計算される。本モデルにおいて、各企業は F_j で与えられる私的戦略のもと、(5)式で表される付加価値を最大化するような最適行動をとる。

通常一般均衡モデルに適用される投入財の代替を表現した生産関数は使用しない。生産関数は多数の部門を一律に取り扱う際には有用な概念であるが、特定の技術を考慮する際には必ずしも適切な手法ではない。そ

ここで本モデルにおいては、考慮する技術ごとにアクティビティを分割し、投入係数を推計することで、具体的な技術や工学的プロセスを明示的にモデル化していく。加えて、工学的要素を1次不等式で記述することを前提として定式化を行うことで、より細密な表現が可能となる。

貿易は国内財と輸入財の不完全代替を仮定するアーミントン構造を適用せず、輸入活動を行うアクティビティを財・輸入ルートごとに定義することで定式化を行なう。輸入アクティビティは国内で生産活動を行うアクティビティと同様に付加価値最大化行動をとると想定し、貿易量は各輸入アクティビティの最適行動の結果として得られる。以上の仮定のもと、モデルは次の(6)式の目的関数の最大化問題として与えられる。

$$\begin{aligned}
 Obj = & \sum_r U_r(h_r) - \frac{1}{2} \sum_r \sum_j U_{j,r} \cdot (x_{j,r})^2 \\
 & - \frac{1}{2} \sum_r \sum_j \sum_s U_{j,r,s} \cdot (x_{j,r,s})^2 \\
 & - \sum_r \sum_j U_{j,r} \cdot x_{j,r}
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \quad Cx \leq k \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \sum_r (h_r + g_r + i_r) = & \sum_j \sum_r b_{j,r} \cdot x_{j,r} \\
 & + \sum_j \sum_r \sum_s b_{j,r,s} \cdot x_{j,r,s}
 \end{aligned} \quad (8)$$

(7)、(8)式は制約式であり、それぞれ技術制約、需給バランスを表現している。添字 i は財、 j はアクティビティ、 r および s は地域を表現するものとし、 h_r は家計消費ベクトル、 $U_r(h_r)$ は家計の効用関数、 $x_{j,r}$ は j アクティビティの生産量、 $x_{j,r,s}$ は i 財を r から s へと輸入を行うアクティビティの生産量である。また $w_{j,r}$ および $v_{j,r,s}$ はアクティビティごとに推計される定数である。 $\tau_{j,r}$ は j アクティビティの生産に課される税率を表す。 C は制約式の係数行列を、 k は制約式の定数ベクトルである。 g_r は政府消費、 i_r は投資を表している。 $b_{j,r}$ 、 $b_{j,r,s}$ はそれぞれ j アクティビティの投入係数ベクトルを対応する単位ベクトルから引いたもの、輸入アクティビティの投入係数ベクトルを対応する単位ベクトルから引いたものを表す。投資および政府消費は消費量を固定して扱い、価格は効用関数の家計消費による微分値として与える。効用関数にコブダグラス型を仮定すると、(6)式で与えられる目的関数は上に凸な非線形関数となる。本研究においては、逐次二次近似法を適用し、

凸二次計画問題を繰り返し解くことで解を得る。

(4) 本研究では特に鉄鋼部門を詳細にモデル化した。鉄鋼業の製鋼法には鉄鉱石を原料とする高炉・転炉法と、スクラップを原料とする電気炉法があり、鉄鉱石の還元剤として石炭を用いる高炉・転炉法に比べて電気炉法の所要エネルギーははるかに少ない。また、圧延や鋳造の工程においても鉄鋼業は多量のエネルギーを消費するため、エネルギーの回収・再利用や工程の省略・連続化のための努力が続けられてきた。

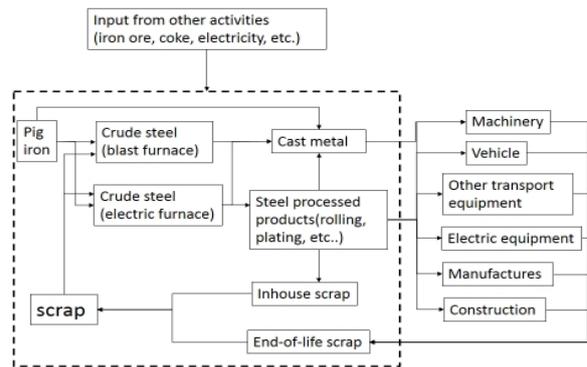


図1 鉄鋼産業のモデル化

表1 日本の平成17年産業連関表における鉄鋼部門区分

財	アクティビティ
銑鉄	銑鉄
フェロアロイ	フェロアロイ
粗鋼(転炉)	粗鋼(転炉)
粗鋼(電気炉)	粗鋼(電気炉)
鉄屑	熱間圧延鋼材
普通鋼形鋼	鋼管
普通鋼鋼板	冷間仕上鋼材
普通鋼鋼帯	めっき鋼材
普通鋼小棒	鋳鍛鋼
その他の普通鋼熱間圧延鋼材	鋳鉄管
特殊鋼熱間圧延鋼材	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)
普通鋼鋼管	鉄鋼シャースリット業
特殊鋼鋼管	その他の鉄鋼製品
普通鋼冷間仕上鋼材	
特殊鋼冷間仕上鋼材	
めっき鋼材	
鍛鋼	
鋳鋼	
鋳鉄管	
鋳鉄品	
鍛工品(鉄)	
鉄鋼シャースリット業	
その他の鉄鋼製品	

(5) GTAP データベースの57財区分では、鉄鋼

業は i_s (Ferrous Metals) として 1 区分にまとめられているため、転炉や電気炉、二次加工などの技術選択を可能にするためには各技術アクティビティを分割し、各アクティビティの中間投入データを推計する必要がある。日本の平成 17 年産業連関表(表 1)には、表 1 のように 23 財 12 アクティビティの中間投入データが存在するため、各財の生産量を用いてアクティビティをさらに分割し、23 財 22 アクティビティの中間投入データを作成した。なお、鉄屑財については本稿では、財のみで物量バランス式が成り立つような仮想的な区分とした。しかし、鉄屑は物量ベースのエネルギーモデルにおいて重要な役割を果たすことが予想されるため、将来的には鉄屑の生産を行うアクティビティを導入していく必要があると考えられる。このように、鉄鋼業においてボトムアップ的に工学的プロセスを詳細化し、それぞれの環境負荷や設備制約などの要素を考慮可能にすることは、エネルギー・環境・経済を統合的に分析する上で重要であると考えられる。

4. 研究成果

(1) モデルの分析結果から、日本の単独で過度な CO2 排出制約は、国内鉄鋼生産の大幅な減少と、海外からの鉄鋼輸入量の増加を促す(図 2)。CO2 排出原単位の大きい工業プロセスである鉄鋼生産を停止し、代わりに、海外で鉄鋼を生産し輸入することにより排出量を削減するためである。

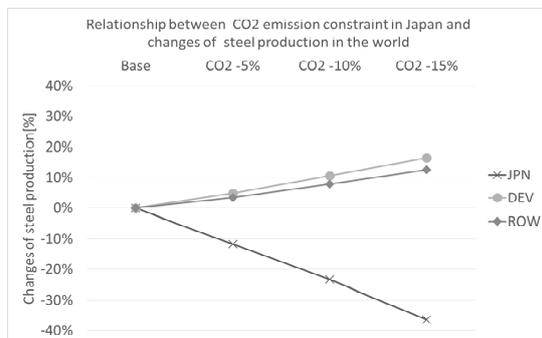


図 2 日本の CO2 制約と世界各地の粗鋼生産量の変化(JPN: Japan, DEV: Developed countries, ROW: Rest Of World)

(2) しかし、社会経済的にも生産額の比率の大きい鉄鋼生産量の国内減少は、結果的に日本の経済成長のみを大幅に低下させる可能性があることが示された(図 3、図 4)。本数値シミュレーション結果より、国際的に広範な取り組みではなく、日本単独での過度な気候変動対策の強化は、日本の経済成長を著しく阻害する可能性があるなど、日本の気候変動政策を考える上で、示唆のある結果を得ることができた。

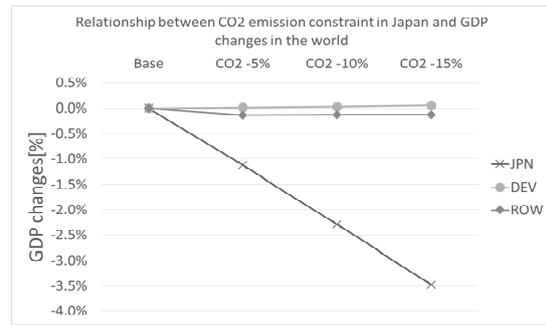


図 3 日本の CO2 制約と世界各地の GDP の変化(JPN: Japan, DEV: Developed countries, ROW: Rest Of World)

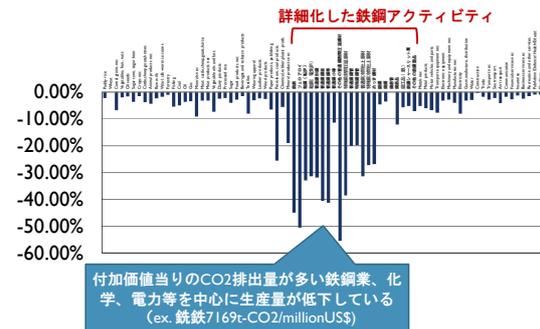


図 4 CO2 制約下での鉄鋼業の部門分割を詳細化した日本の部門別生産額の変化

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 高橋優人、小宮山涼一、藤井康正：鉄鋼業を詳細化したボトムアップ型多部門エネルギー経済モデルの開発、第 29 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンスプログラム(エネルギー・資源学会)、2013 年 1 月 29 日
- ② 高橋優人、小宮山涼一、藤井康正：鉄鋼業のエネルギー需給構造を詳細化した多部門エネルギー経済モデルの開発、平成 25 年電気学会全国大会、2013 年 3 月 22 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小宮山 涼一 (KOMIYAMA RYOICHI)
 東京大学・大学院工学系研究科・助教
 研究者番号：60537819

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：