

Evaluating the Economic Impacts of Technological Innovation and the Development of Environmentally Friendly Vehicles

**Hiroyuki Shibusawa, Takafumi Sugawara,
and Makoto Yamaguchi**

Abstract

In this paper, the economic impacts of technological innovation, such as electric and hybrid vehicles, on the automobile industry in Japan are examined. The automobile industry has developed environmentally friendly vehicles in the face of the global warming issue and the problem of declining petroleum resources. Conventional automobiles that use gasoline and diesel oil don't meet the demands of the future society. The new generation of automobiles will become popular for the coming several decades, and the industrial structure will be affected by the appearance of this new generation of automobiles. Since the Japanese economy strongly depends on the automobile industry, the appearance of technological innovation in the automobile industry has an influence not only within the industry, but also on other industries. In this study, we explore the economic impacts of shifting the production system in the automobile industry from conventional automobile technology to an electric and hybrid vehicle technology using the input-output model.

技術革新を伴う次世代型自動車出現の経済波及効果

渋 澤 博 幸
菅 原 喬 史
山 口 誠

1. はじめに

百年の自動車産業の歴史で最大の技術革新が起ころうとしている。1908年のT型フォード発売をきっかけにモータリゼーションが始まって以来、内燃機関の時代が続いている。ここにきて内燃機関に変わる新しい動力機関を持つ次世代型自動車を本格的に普及させる取り組みが自動車産業に求められるようになってきた。

世界的に石油の需要が増え続ける一方で、石油の埋蔵量には限りがあり、様々な用途に用いられる石油を自動車燃料以外の用途にできるだけ割り当てられるようにする必要が出てきている。また、地球温暖化は二酸化炭素が原因とされ、我が国の二酸化炭素排出量のうち、運輸部門が約20%を占めており、さらなる削減努力が求められている。一方、これから本格的なモータリゼーションを迎えようとしている発展途上国も多く、現状の技術のままでは二酸化炭素排出量が増加し続けることは間違いない。先進国では、ガソリンステーションを電気ステーションや水素ステーションに置き換える脱石油化の必要があり、長期的な視点でインフラを再整備してゆかなければならない。一方、発展途上国では、次世代型自動車を計画的に導入すれば、二酸化炭素排出量増加の緩和に貢献することになる。

このように省エネ・低炭素化社会に向けて、自動車メーカーから、ハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）、燃料電池自動車、バイオエタノール自動車といった様々な方式の次世代型自動車が提案されている。将来、次世代型自動車が本格的に生産されると、自動車産業の産業構造は大きく変化し、日本経済に大きな影響をもたらすことは必須である。将来の自動車産業の構造を予測し、その影響を分析することが重要な課題となっている。

自動車産業の技術革新は、日本経済全体への影響はもちろんであるが、愛知県や静岡県といった自動車産業に強く依存している地域へのインパクトは非常に強いと考えられる。自動車産業の

構造変化が他産業や地域経済に与える影響を明らかにすることで、各地域の特性や状況に合わせた自動車産業振興の政策立案の作成といった取り組みが可能になってくる。

本研究では、産業連関モデルを用いて、1) 日本の自動車産業の現状を分析し、2) 次世代型自動車が本格的に生産される場合の経済波及効果を推計する。3) ハイブリッド自動車や電気自動車の生産が、我が国の経済や各産業に与える影響を明らかにすることを目的とする。

技術変化と産業構造の変化については、国際科学振興財団（1986）が、産業連関モデルを用いて、先端科学技術がもたらす経済効果を計測する方法を示している。ここでは、産業連関モデルを用いて、日本経済のハイテク化がもたらす国際的波及効果を明らかにしている。丸谷（1992）では、ドイツの産業連関表に、所与の最終需要を産出する費用を最小化するという LP モデルを適用し、最適な技術選択の分析を行っている。Jacoby, Reilly, McFarland, and Paltsev (2006) では、応用一般均衡モデルである EPPA (MIT Emission Prediction and Policy Analysis) モデルを用いて、低炭素型新技術のポテンシャルを評価する方法を検討している。三好・谷下（2008）では、自動車企業における技術革新の成果を、いかにして経済厚生水準の向上や交通事故・地球環境問題の解決に結びつけるかを総合的な方法で分析している。

自動車需要の変化がもたらす効果については、溝口・森本・森（2006）が、GTAP をベースとした国際産業連関表に、動学多地域最適化モデルを適用し、自動車産業の成長が国際産業構造に及ぼす影響を評価している。電力中央研究所経済社会研究所（1999）では、自動車産業の国内の買替需要の変動要因を分析し、マクロ経済モデルと産業連関モデルを用いて、買替サイクルの長期化による買替需要の減少が国内産業に及ぼす影響を明らかにしている。Wolf, Rigby, and Cenzatti (1995) では、自動車産業発展がロサンゼルス経済にもたらす影響を分析している。自動車の環境政策については、徳永・武藤・黄・孫・沖山（2008）が、日本・中国を代表例として動学的 CGE モデルを用いて、トップランナー方式による燃費規制と二酸化炭素を基準にした新たな自動車グリーン税制とを同時に実施すべきことを示している。このように自動車産業の成長とその需要に関連した既存研究は多くみられるが、本研究のように、自動車産業の技術革新による生産構造の変化がもたらす効果については、あまり研究がおこなわれていない。

2. 研究方法

2.1 産業連関分析

産業連関分析は、ロシア出身の米国の経済学者 W.W.Leontief により創始され、産業連関表を用いて行われる分析手法である。産業連関表は、産業間の相互依存関係や、家計消費、政府支出、輸出入など、経済取引の総体をひとつの表に表したものである。産業連関表は、経済の将来予測や経済政策の効果の測定・分析に用いられる。本稿では、全国産業連関表を用いて分析を試みる。

2.2 産業連関モデル

競争移入型均衡産出モデルは、

$$X = [I - (I - \bar{M})A]^{-1}[(I - \bar{M})Fd + E]$$

である（Leontief 1966）。ここで、 X ：生産額列ベクトル、 A ：投入係数行列、 Fd ：国内最終需要ベクトル、 E ：輸出列ベクトル、 \bar{M} ：輸入係数行列、及び I ：単位行列である。

2.3 技術革新の評価

本稿では、次世代型自動車出現を、乗用車部門における生産構造の変化としてとらえる（国際科学振興財団、1986）。次世代型自動車の生産技術の変化により乗用車部門の構造が変化する。これを投入係数の変化 $A \rightarrow A_{case}$ として解釈する。国内需要と輸出の変化（ ΔFd 、 ΔE ）による経済波及効果（ ΔX ）は次式を用いて求めることができる。

$$\Delta X = [I - (I - \bar{M})A_{case}]^{-1}[(I - \bar{M})\Delta Fd + \Delta E]$$

2.4 産業連関表

本稿では、総務省統計局作成の「全国産業連関表基本表」（生産者価格表、行 517 × 列 405、2000 年）を 108 部門に統合したものを分析対象として用いる。

この産業連関表は、総務省統計局が Web 上で公開している 104 部門表（中分類表、Excel 形式）と基本的に同じ分類である。今回の分析では、自動車産業に焦点を当てるため、104 部門表では 2 部門（「乗用車」、「その他自動車」）に統合されている自動車産業を、基本表と同じ 6 部門（「乗用車」、「トラック・バス・その他自動車」、「二輪自動車」、「自動車車体」、「自動車用内燃機関・同部分品」、「自動車部品」）に分割している。

3. 自動車産業の現状

3.1 自動車産業と部門

自動車産業及び自動車関連産業の国内全産業における位置づけを、産業連関表から分析する。ここでは「中間需要比率と中間投入比率による分類」「影響力係数と感応度係数による分類」を行った。表 1 に次世代自動車産業に関連する部門を示す。乗用車、トラック・バス・その他自動車、二輪自動車は、主に自動車組み立てを行う部門である。「自動車車体」、「自動車用内燃機関・同部分品」、「自動車部品」は、主に自動車の部品を製造する部門である。これらの部門は、従来の自動車産業である。次世代型自動車の生産においては、「重電機器」と「その他電気機器」が重要になると考えられる。重電機器部門は、ハイブリット自動車（HEV）・電気自動車（EV）用の電気モータを製造する部門として、またその他電気機器部門は、二次電池を製造する部門として

想定される。

表 1 次世代自動車産業に関連する部門

部門番号	部門名	業務内容
58	乗用車	組立
59	トラック・バス・その他自動車	組立
60	二輪自動車	組立
61	自動車車体	部品製造
62	自動車用内燃機関・同部分品	部品製造
63	自動車部品	部品製造
56	重電機器	電気モータ製造（想定）
57	その他電気機器	二次電池製造（想定）

3.2 中間需要比率と中間投入比率

中間需要比率は、各産業の生産物が原材料などの中間財として需要される割合のことであって、この比率の高い産業は中間財産業に、反対にこの比率の低い産業は最終財産業に分類される。

$$\text{第 } i \text{ 部門の中間需要比率 } RZ_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} / X_i$$

中間投入比率は、各産業部門の投入構成に占める原材料投入の比率を示す指標であって、これが高いことは、付加価値が低いことを、また反対にこれが低いことは付加価値率が高いことを示す。

$$\text{第 } j \text{ 部門の中間投入比率 } RU_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} / X_j$$

以上の計算式によって、産業連関表から各部門の中間需要比率と中間投入比率を計算し、図 1 に示すように、これらの平均値 RZ 、 RU を用いて各産業を 4 つの領域（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）に分類する。

(a) 自動車組立部門（乗用車、トラック・バス・その他自動車、二輪自動車）

この 3 部門は、いずれも第Ⅳ象限の最終財製造産業に分類される。完成車は、原材料(部品等)が多く投入され、最終消費としてそのまま消費されるという、業務の性質通りの結果となった。「乗用車」及び「二輪車」は中間需要比率がゼロとなっている。一方、「トラック・バス・その他自動車」は、ほんのわずかながら中間需要比率が存在している。これは、商用車は業務に合わせて改造されるため、このような結果になっていると考えられる。

(b) 自動車部品部門（自動車車体、自動車用内燃機関・同部分品、自動車部品）

この 3 部門は、いずれも第Ⅰ象限の中間財製造産業に分類される。自動車部品は、原材料が多く投入され、完成車部門へ投入されるという、業務の性質通りの結果となった。自動車車体は、他の 2 部門と比べて最終需要比率が低くなっている。

(c) ハイブリット・電気自動車関連部門（重電機器、その他電気機器）

「重電機器」は第Ⅳ象限の最終財製造産業に、「その他電気機器」は第Ⅰ象限の中間財製造産

業に分類された。これらは、「HEV・EV 用モータ」「二次電池（ニッケル水素電池・リチウムイオン電池）」のような HEV・EV 向け部品を将来供給するとされる産業であり、中間財産業としての特性が強まっていくと考えられる。

3.3 影響力係数と感応度係数

逆行列係数表の列和は、第 j 部門に 1 単位の需要があった場合、それが全ての産業に与える総効果を示す。この係数は影響力係数と呼ぶ。逆行列の行和は、各部門に最終需要が 1 単位ずつあった場合に第 j 部門が影響を受ける単位を示す。この平均値からの離れの程度を感応度係数と呼ぶ。この係数が 1 より大きい部門は、感応度が平均より高いことになる。

$$\text{第 } j \text{ 部門の影響力係数} = \sum_{i=1}^n b_{ij} / \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{ij} / n \right)$$

この係数が 1 より大きい部門は、影響力が平均より大きいことになる。

逆行列の行和（行方向の合計）は、各部門に最終需要が 1 単位ずつあった場合に第 i 部門が影響を受ける単位を表している。この平均値からの離れの程度を感応度係数と呼ぶ。

$$\text{第 } i \text{ 部門の感応度係数} = \sum_{j=1}^n b_{ij} / \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{ij} / n \right)$$

この係数が 1 より大きい部門は、感応度が平均より高いことになる。図 2 は、自動車産業分析用産業連関表（108 部門）から、影響力係数、感応度係数、それぞれの平均値を求め、プロットした図である。

(a) 自動車組立部門（乗用車、トラック・バス・その他自動車、二輪自動車）

これらの部門は他産業に与える影響力は大きいが他産業から受ける影響は小さい産業である第 IV 象限にいずれも分類されている。また、我が国の基幹産業であるという産業特性の通り、影響力係数が全部門の中で高い部門（最も高い部門が「トラック・バス・その他自動車」であり、以下「乗用車」「二輪自動車」の順）となっている。一方感応度係数は、0.25 ～ 0.3 あたりと最も小さい値のグループに属しており、他産業の動きに付随することが少ないと言える。

(b) 自動車部品部門（自動車車体、自動車用内燃機関・同部分品、自動車部品）

「自動車車体」及び「自動車用内燃機関・同部分品」は第 IV 象限に、「自動車部品」は他産業に与える影響、他産業から受ける影響が共に大きい産業に分類された。「自動車車体」は感応度が最も小さい部門となっており、「自動車用内燃機関・同部分品」、「自動車部品」と自動車産業の末端部門になるほど感応度が大きくなっている。

(c) 電気自動車関連部門（重電機器、その他電気機器）

第 IV 象限にいずれも分類されている。また、これまで取り上げてきた自動車産業関連部門と比べると影響力係数が小さい部門となっている。将来的には、自動車産業との関わりが増え、影響力係数が次第に大きくなると考えられる。

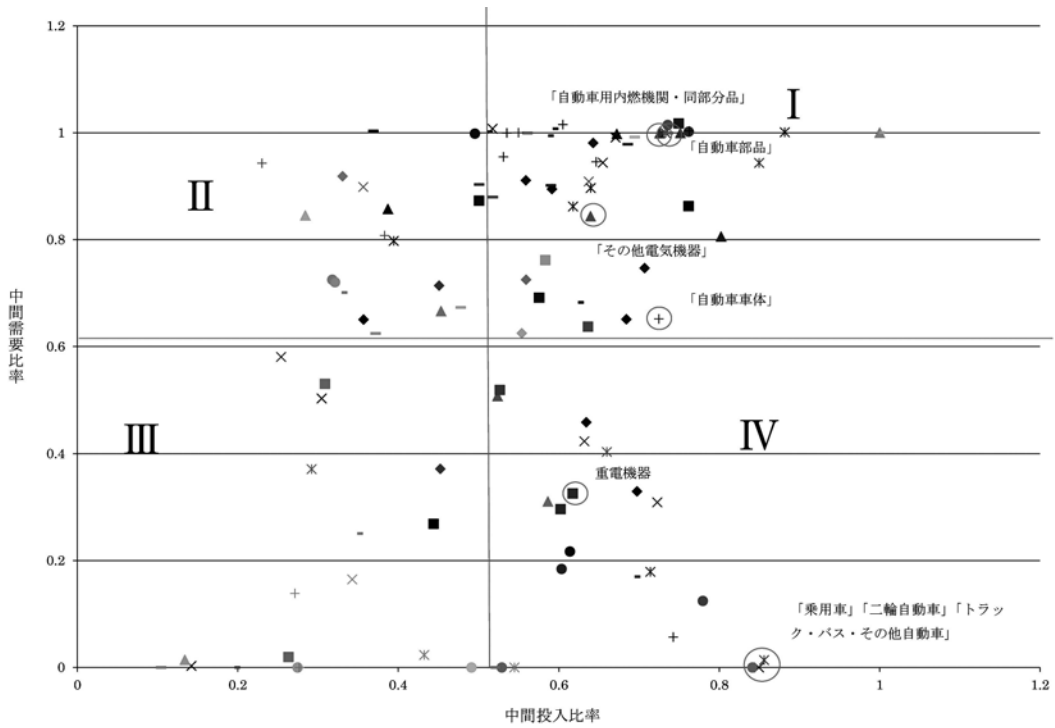


図1 中間需要比率と中間投入比率

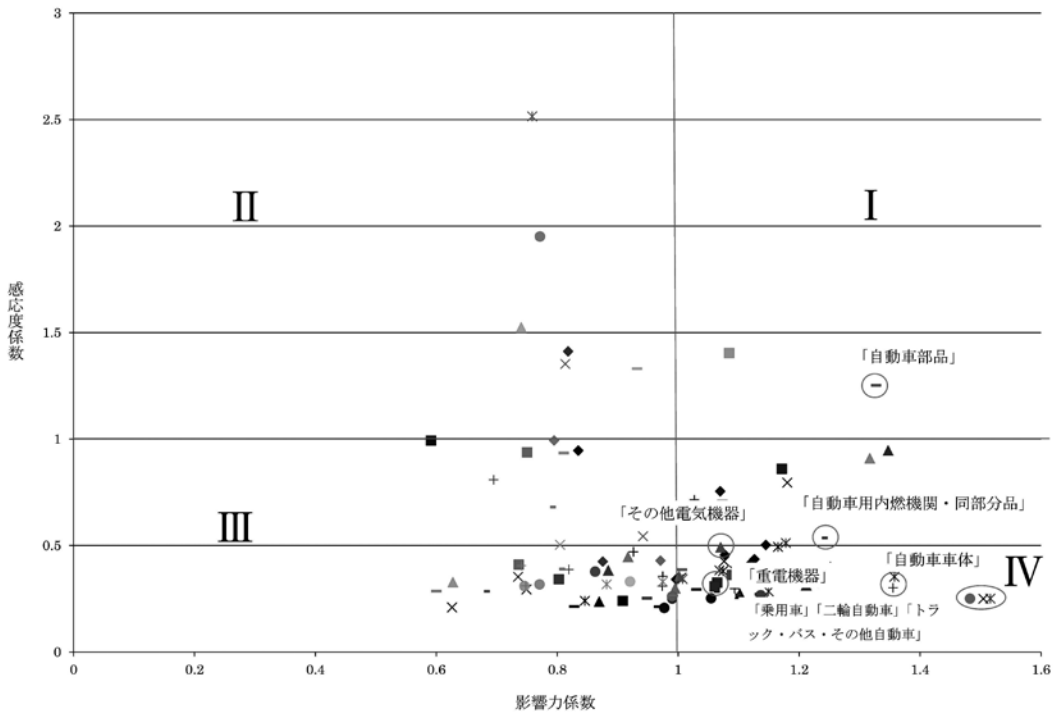


図2 影響力係数と感応度係数

4. 全国産業連関表による経済波及効果の分析

4.1 シナリオ設定

ここでは、乗用車の需要（家計消費、輸出等）が10%（約1.3兆円、2000年の乗用車需要12.97兆円）増加し、新たに乗用車生産を行う場合の経済波及効果を示す。

本稿では、乗用車の新規需要が「全てガソリン車（Base）である場合」、「全てハイブリッド車（HEV）である場合」、「全て電気自動車（EV）である場合」の3つのケースを想定している（表2）。Excelにおいて経済波及効果導出システムを作成し、経済波及効果の計測を行った。

Baseケースについては、産業連関表から導出された産業構造を表す投入係数表 A_{Base} をそのまま用いた。日本エネルギー経済研究所（2006）では、ハイブリッド自動車と電気自動車の投入係数の推定を行っている。HEVとEVケースについては、日本エネルギー経済研究所（2006）を参考にしながら、各ケースにおける自動車産業の投入係数（ A_{HEV} 、 A_{EV} ）を作成した。これらの投入係数の推計では、電気モータと二次電池を製造するとされる「重電機器」と「その他電気機器」からの投入が増大し、逆に従来自動車部品を製造してきた「自動車車体」「自動車用内燃機関・同部分品」「自動車部品」からの投入が減少すると想定している。

4.2 分析結果

約1.3兆円の乗用車の新規需要に対して、Baseケースでは3.43兆円、HEVケースでは3.46兆円、EVケースでは3.26兆円の経済効果が全国内の産業にもたらされるという結果になった（表2）。各ケースとも、経済波及効果に大きな差はみられない。

表2 シナリオと経済効果

ケース	内容	産業構造	経済効果	ガソリン自動車比
Base	ガソリン乗用車のみ生産	A_{base}	3.43兆円	100%
HEV	ハイブリッド乗用車のみ生産	A_{HEV}	3.46兆円	101%
EV	電気乗用車のみ生産	A_{EV}	3.26兆円	95%

次に、従来型自動車と次世代型自動車の需要増がもたらす経済波及効果の産業別影響力の相異を分析する。ここでは、BaseケースとEVケースで各産業がうける経済波及効果を比較する。次世代型自動車の生産で直接影響を受ける産業（投入係数を変更した産業）の他にどのような産業が、Baseケースに比較して相対的に規模を拡大もしくは縮小するのか見ていくことにする。図3に、Baseケースに比べて、EVの生産により規模が拡大する産業をランキング形式で示す。図3の縦軸は、誘発額の差＝EVケースの誘発額－Baseケースの誘発額、を意味する。この図から、「非鉄金属製練・精製」「プラスチック製品」が伸びていることが分かる。なお、これら2部門はHEV・EV用電気モータ、2次電池の原料に使われるとされる産業である。

図4にBaseケースに比べてEVの生産により規模が縮小する産業のランキングを示す。この

参考文献

- [1] Leontief, W., *Input-Output Economics*, New York: Oxford University Press, 1966.
- [2] Miller, R. and Blair, P.D., *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, Second Edition, Cambridge University Press, 2009.
- [3] 株式会社アイアールシー、『世界自動車メーカーのエコカープロジェクトと環境政策 2009 年版』、2009
- [4] 総務省統計局、『平成 12 年（2000 年）産業連関表』
- [5] 電力中央研究所経済社会研究所編、自動車買替サイクルの長期化が国内経済に与える影響について－マクロ経済・産業連関モデルによる評価－、『電力研究所報告書』、1999、p22
- [6] (財) 機械振興協会 経済研究所、『電気自動車の市場動向と機械関連産業の展開方策調査』、2008
- [7] (財) 機械振興協会 経済研究所、『次世代型自動車及ぼす自動車産業の構造変化とモノづくり企業の発展戦略』、2010
- [8] (財) 日本エネルギー経済研究所、3 「高効率自動車（ハイブリッド自動車）」の評価、『総合的な経済・エネルギー・環境分析に資する技術情報の整備のための研究』、2006、pp.33-49
- [9] Jacoby, H.D., Reilly, J.M., McFarland, J.R., Paltsev, S., Technology and Technical Change in the MIT EPPA Model, *Energy Economics*, Vol. 28, 2006, pp.610-631
- [10] 国際科学振興財団、先端科学技術が与える国際的波及効果の分析、『総合研究開発機構助成研究』、1986
- [11] 丸谷レイ史、技術変化の産業連関分析、『国民経済雑誌』、165（5）、1992、pp.89-109
- [12] 三好博昭、谷下雅義編、『自動車の技術革新と経済厚生』、白桃書房、2008
- [13] 溝口裕美、森本慎一郎、森俊介、動学的多部門多地域モデルを用いた自動車産業の労働供給と国際産業エネルギー構造に及ぼす影響評価、『第 22 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 講演論文集』、2006、pp.349-352
- [14] 徳永澄憲、武藤慎一、黄永和、孫林、沖山充、『自動車環境政策のモデル分析：地球温暖化対策としての環境車普及促進政策』、文眞堂、2008
- [15] Wolf, G., Rigby, D. Cenzatti, M., The Potential Impacts of an Electric Vehicle Manufacturing Complex on the Los Angeles Economy, *Environmental and Planning A*, Vol.25, 1995, pp.877-905