

# 豊橋市における電気自動車普及の環境・経済影響評価

豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻  
藤井友章, 宮田 謙, 洪澤博幸

## 1. 目的

18世紀後半から始まった産業革命以来、石炭や石油を利用して人間の活動が飛躍的に拡大した。その結果、地球温暖化を促進する温室効果ガスが著しく増加し、近年の地球の平均気温は上昇傾向にある。代表的な温室効果ガスは二酸化炭素、メタン、一酸化炭素などが挙げられる。それらの中でも二酸化炭素は全体の94%を占める。さらに二酸化炭素の発生源を調べると、約20%が自動車の排気ガスとなっている。そこで本研究では、自動車に着目し地球温暖化の緩和のため、現在注目されている電気自動車(EV)を普及させた際の環境と経済影響を分析することを目的とする。そのため本研究では愛知県豊橋市を事例として、応用一般均衡モデル(CGE)によって豊橋市でEVの生産や利用促進が補助金政策でどのように変化するかを分析する。

## 2. 豊橋市の産業連関表

豊橋市には産業連関表がないため、公表されている愛知県産業連関表をブレイクダウンし、豊橋市の産業連関表をフレータ法により推計した。基本となる愛知県の40部門表を、電気自動車社会に合わせる形で表1産業分類のように38部門表に分類する。

この産業分類では愛知県40部門表の「自動車」製造部門を「ガソリン自動車」、「電気自動車」に分類する。さらに「電力・ガス・熱供給」部門を「電力」、「都市ガス」、「熱供給」のそれぞれ3部門に分類し、さらに「太陽光」と「コジェネレーション」の部門を追加した。

この38部門表については、国勢調査、工業調査、商業統計、事業統計などを用いて豊橋市の産業連関表を推計した。

表1 産業分類

部門番号	部門名	部門番号	部門名
1	農林漁業	2	鉱業
3	食料品	4	繊維製品
5	パルプ・紙・木製品	6	化学製品
7	石油・石炭製品	8	プラスチック製品
9	陶磁器	10	その他の窯業・土石製品
11	鉄鋼	12	非鉄金属
13	金属製品	14	一般機械
15	電気機械	16	情報・通信機器
17	電子部品	18	ガソリン自動車
19	電気自動車	20	航空機
21	その他の輸送機械	22	精密機械
23	その他の製造工業製品	24	建設
25	電力	26	太陽光
27	都市ガス	28	熱供給
29	コジェネレーション	30	水道・廃棄物処理
31	商業	32	金融・保険
33	不動産	34	ガソリン車輸送
35	電気自動車輸送	36	その他輸送
37	情報通信	38	サービス

## 3. 電気自動車導入の応用一般均衡分析

### 3.1 モデルの主要前提条件

本モデルの主要前提条件は以下のものであるが、このほかにもモデルの細部について様々な仮定を設定する。それらについてはモデルの説明の中で適宜言及する。

- (1) 豊橋市の2005年の経済を対象とし、経済主体は豊橋市の家計、38産業、政府、市外部門とする。
- (2) 市場は38生産物市場、労働市場、資本市場の40市場とし、これらの市場は競争的で、均衡状態にあるとする。

### 3.2 モデルの構造

#### (1) 企業

企業は産業別に集計化されたものを考える(以下、産業とよぶ)。産業は中間財、労働、資本を投入し、財を生産する。産業の技術は中間投入に関してLeontief型技術、資本と労働についてはCobb-Douglas

型技術とし、規模に関する収穫一定を仮定する。産業の行動は技術の一次同次性から、与えられた産出量に対し、費用最小化行動として定式化される。

$$\min \sum_{i=1}^{38} p_i x_{ij} + (1 + tp_j)(wL_j + rK_j) \quad (1)$$

with respect to  $x_{ij}, L_j, K_j$

subject to

$$X_j = \min\left[\frac{1}{a_{10j}} f_j(L_j, K_j), \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x_{ij}}{a_{ij}}, \dots, \frac{x_{38j}}{a_{38j}}\right] \quad (2)$$

$$f_j(L_j, K_j) = A_{1j} L_j^{\alpha_j} K_j^{(1-\alpha_j)} \quad (3)$$

ここで  $p_i$ : 産業  $i$  の生産物価格,  $x_{ij}$ : 産業  $j$  の中間投入量,  $tp_j$ : 産業  $j$  の純間接税率,  $w$ : 賃金率,  $r$ : 資本収益率,  $L_j$ : 産業  $j$  の労働投入量,  $K_j$ : 産業  $j$  の資本投入量,  $a_{0j}$ : 産業  $j$  の付加価値率,  $a_{ij}$ : 産業  $j$  の中間投入係数,  $A_{1j}, \alpha_j$ : 産業  $j$  の技術パラメータ

最適化問題から、生産量  $X_j$  に伴う産業  $j$  の中間投入、労働、資本の条件付き需要関数を得る。

$$x_{ij} = a_{ij} X_j \quad (4), \quad LD_j = \left[\frac{(1-\alpha_j)r}{\alpha_j w}\right]^{\alpha_j} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (5), \quad KD_j = \left[\frac{\alpha_j w}{(1-\alpha_j)r}\right]^{(1-\alpha_j)} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (6)$$

ここで、 $LD_j$ : 産業  $j$  の労働需要,  $KD_j$ : 産業  $j$  の資本需要

さらに完全競争下における長期均衡の仮定から、以下のゼロ利潤条件を得る。

$$\text{利潤} = p_j X_j - \sum_{i=1}^{38} p_i x_{ij} - (1 + tp_j)[w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] = 0 \quad (7)$$

## (2)家計

家計は豊橋市における集計化された家計を考える。家計は現在消費と余暇との消費合成財である現在財と、貯蓄による将来財に関して CES 型効用関数を持つとし、予算制約のもとで効用を最大化するような現在財と将来財を選択する。

$$\max_{G,H} u(G,H) \equiv \{\alpha^{1/v_1} G^{(v_1-1)/v_1} + (1-\alpha)^{1/v_1} H^{(v_1-1)/v_1}\}^{v_1/(v_1-1)} \quad (8)$$

subject to

$$p_G \cdot G + p_H \cdot H = (1-ty)FI - TrHO \quad (9)$$

$$FI \equiv (1-l_o)w \cdot E + LI + (1-k_o)(1-k_r)r \cdot KS + KI + TrGH + TrOH \quad (10)$$

ここで、 $v_1$ : 現在財と将来財との代替弾力性,  $G$ : 現在財消費量,  $H$ : 将来財消費量,  $p_G$ : 現在財価格,  $p_H$ : 将来財価格,  $FI$ : 完全所得,  $TrHO$ : 家計から市外への経常移転,  $l_o$ : 市外への雇用者所得率,  $E$ : 家計の労働時間初期賦存量(=家計の初期働供給量の2倍と設定。これは豊橋市における労働時間と余暇時間との実績値に基づく。),  $LI$ : 市外からの雇用者所得,  $KS$ : 家計の資本ストック初期賦存量,  $KI$ : 市外からの財産所得(外生値),  $TrGH$ : 政府から家計への経常移転,  $TrOH$ : 市外から家計への経常移転

この効用最大化問題を解くことにより、現在財需要関数、将来財需要関数、家計貯蓄を得る。

$$G = \frac{\alpha[(1-ty)FI - TrHO]}{p_G^{v_1} \cdot \Delta} \quad (11), \quad H = \frac{(1-\alpha)[(1-ty)FI - TrHO]}{p_H^{v_1} \cdot \Delta} \quad (12)$$

$$S = p_H H / p_s \quad (13), \quad \Delta \equiv \alpha p_G^{1-v_1} + (1-\alpha) p_H^{1-v_1} \quad (14)$$

次に式(11)の現在財需要から消費合成財需要と余暇需要を導出する方法について述べる。現在財需要  $G$  は消費合成財需要と余暇需要の合成財であり、以下の最適化問題から得られるものとする。

$$\max_{C,F} G \equiv \{ \beta^{1/v_2} C^{(v_2-1)/v_2} + (1-\beta)^{1/v_2} F^{(v_2-1)/v_2} \}^{v_2/(v_2-1)} \quad (15)$$

subject to

$$p \cdot C + (1-ty)(1-l_o)w \cdot F = (1-ty)FI - TrHO - SH \quad (16)$$

ここで  $\beta$ : 分配パラメータ,  $v_2$ : 消費合成財と余暇との代替弾力性,  $C$ : 消費合成財消費量,  $F$ : 余暇需要量,  $p$ : 消費合成財価格,  $SH$ : 名目貯蓄額 ( $=p_s \cdot S$ )

この効用最大化問題を解くことにより、消費合成財需要関数、余暇需要関数、労働供給関数を得る。

$$C = \frac{\beta[(1-ty)FI - TrHO - SH]}{p^{v_2} \cdot \Omega} \quad (17), \quad F = \frac{(1-\beta)[(1-ty)FI - TrHO - SH]}{[(1-ty)(1-l_o)w]^{v_2} \cdot \Omega} \quad (18)$$

$$LS = E - F \quad (19), \quad \Omega = \beta p^{(1-v_2)} + (1-\beta)[(1-ty)(1-l_o)w]^{(1-v_2)} \quad (20)$$

ここで、 $LS$ : 家計の労働供給

### (3)財価格

産業のゼロ利潤条件から以下の費用構成が導かれる。

$$p_j X_j = \sum_{i=1}^{38} p_i x_{ij} + (1+tp_j)[w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] \quad (21)$$

これより賃金率、資本収益率が与えられる時、財価格は以下のように求まる。

$$P = [I - A']^{-1} [(1+tp_j)(w \cdot ld_j + r \cdot kd_j)] \quad (22)$$

ここで、 $P$ : 財価格ベクトル,  $A'$ : 投入係数転置行列,  $[\cdot]$ : カッコ内を要素とした列ベクトル,  $ld_j \equiv LD_j / X_j$ ,  $kd_j \equiv KD_j / X_j$

### (4)市場均衡条件

本研究の市場は 38 財市場、労働市場、資本市場の 40 市場であり、それらの均衡条件は以下のよう表される。

財市場

$$X = AX + C + CG + I + EX - EM \quad (23)$$

労働市場

資本市場

$$LS = \sum_{j=1}^{38} LD_j \quad (24), \quad KS = \sum_{j=1}^{38} KD_j \quad (25)$$

ここで、 $X$ : 産業産出量ベクトル,  $EM$ : 移輸入ベクトル,  $A$ : 投入係数行列,  $C$ : 家計消費ベクトル,

CG : 政府消費ベクトル, I : 投資ベクトル, EX : 移輸出ベクトル, KS : 資本ストックの賦存量

## 4. シミュレーション分析

### 4.1 シミュレーションの考え方

シミュレーションは前節の応用一般均衡モデルを用いて、電気自動車（EV）の生産や太陽光発電の導入が与える豊橋市産業に対する波及効果を分析するものである。

本研究では新たな産業として第2節で述べたようにEV生産、太陽光発電、太陽光発電とセットになったコジェネレーション、EV輸送の導入を想定した。

### 4.2 シミュレーションケースの設定

ベースケースとして、EV生産が自動車生産の15%、太陽光発電が電力供給の10%、太陽光発電とセットになったコジェネレーションがガス・熱供給の10%、EV輸送が道路輸送の15%を想定する。ケース1~5には補助金を設定する。補助金の対象とする産業はEV生産、太陽光発電、コジェネレーション、EV輸送、その他輸送とし、それぞれ純間接税率を95%、90%、85%、80%、75%の5ケースを設定した。

## 5. シミュレーション結果

産業産出量、労働需要、CO<sub>2</sub>排出量、財価格、その他の変数についてのシミュレーション結果を図1~図4に示す。

### 5.1 産業産出量

まず産業産出量の変化を見てみる。産業産出量が多い産業はサービス、商業、ガソリン車製造、建設の順で、トヨタの関係で豊橋でも自動車関連産業が大きいことが分かる。今回その成長が期待される新産業については、経済に占めるシェアとしては小さい。

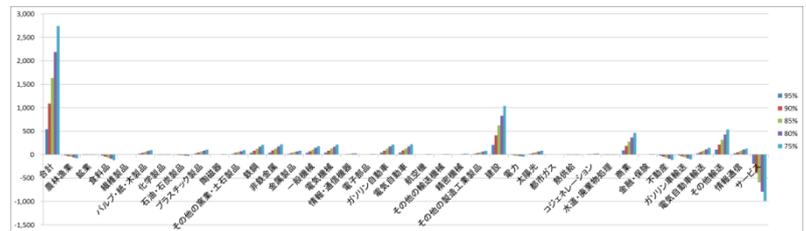


図1 産業産出量 ケース別偏差

補助金政策により産業間の成長バランスが分かる。増加の大きい産業としては太陽光発電が（純間接税率95%~75%に対応して）0.345%~1.788%）、コジェネレーション（0.209%~1.071%）、電気自動車輸送（0.198%~0.999%）、その他輸送（0.179%~0.914%）、非鉄金属（0.135%~0.683%）、電気自動車製造（0.114%~0.575%）などが挙げられる。これらは補助金による産出量増加であるが、非鉄金属については電気自動車のバッテリーに関する非鉄金属需要の高まりが影響しているものと考えられる。また、シミュレーション結果を見ると、補助金の割合を大きくすればするほど増加率も大きくなっている。

減少する産業としては熱供給業（-0.074%~ -0.379%）、石油・石炭製品（-0.031%~ -0.158%）ガソリン車輸送（-0.024%~ -0.123%）、鋳業（-0.014%~ -0.073%）などが挙げられる。石油・石炭製品の減少は、電気自動車の普及、太陽光発電、コジェネレーションの増加によることが大きいと考えられる。鋳業の減少は石油・石炭製品の減少に伴うものである。熱供給業の減少もコジェネレーションの増加に伴うものと解釈される。

以上の結果から産業産出量の総額は補助金なしで3兆2,242億円であり、補助金をかけることにより3兆2,469億円まで増加することが分かった。これは227億円の増加であり、0.085%の増加である。

## 5.2 労働需要

産業別労働需要の変化を見ると、補助金の支出とほぼ対応している。すなわち追加的な補助金が支出される産業の労働需要が高まっている。労働需要の増加が大きいのは太陽光発電（純間接税率 95%～75%に対応して）1.452%～7.307%）、コジェネレーション（1.119%～5.631%）、その他輸送（0.608%～3.053%）、電気自動車製造（0.435%～2.178%）、電気自動車輸送（0.268%～1.350%）、非鉄金属製造（0.133%～0.672%）などである。若干のマイナスを示す産業もあるが、総労働需要は増加（0.021%～0.105%）している。これは市内の雇用情勢をみればプラスとも読み取れるが、余暇需要を減らすことにもなっており、家計効用にはマイナスに働く場合もある。

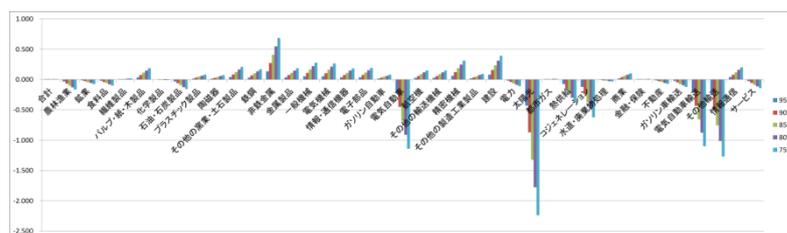


図2 労働需要 ケース別偏差

## 5.3 CO<sub>2</sub> 排出量

減少率の大きい産業は熱供給（純間接税率 95%～75%に対応して）-0.074%～-0.379%）、石油・石炭製品（-0.031%～-0.158%）、ガソリン車輸送（-0.024%～-0.123%）などが挙げられる。これらは補助金によりコジェネレーション、太陽光発電、電気自動車輸送の産出量の増加に伴うものと考えられる。逆に増加するのは、その他輸送（0.179%～0.914%）、非鉄金属（0.033%～0.683%）、電気自動車製造（0.114%～0.575%）、建設産業（0.077%～0.390%）などが挙げられる。これらは産業産出量が大きく増加した産業と対応している。

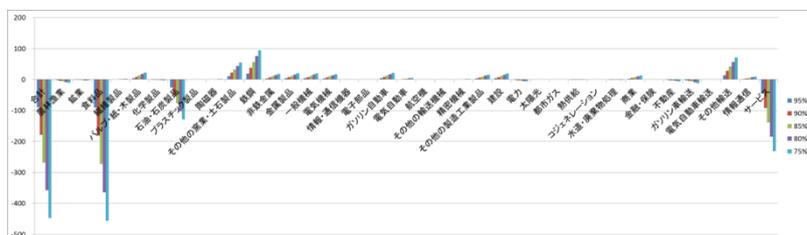


図3 CO<sub>2</sub> 排出量 ケース別偏差

結果的に純間接税率を75%とした際のCO<sub>2</sub>排出量は3,191t-CO<sub>2</sub>の増加となった。電気自動車の普及により熱供給や石油・石炭製品のCO<sub>2</sub>排出量は大きく減らすことができたが、その他の多くのCO<sub>2</sub>を排出する産業の産出量が増えたためにCO<sub>2</sub>排出量も同時に増加してしまったと考えられる。

## 5.4 財価格

本モデルでは労働をニューメール財としているため、変化するのは資本収益率である。資本収益率は総資本供給量と総資本需要量が均衡することによって決定されるが、本モデルではベンチマークデータセットが均衡していないため、補助金なしのケースにおいてもすべての価格は1とはなっていない。

補助金を追加するケースにおいては、追加補助金がある産業の価格は減少している。すなわち大きく減少しているのは太陽光発電（純間接税率 95%～75%に対応して）-0.376%～-1.9916%）、その他輸送（-0.271%～-1.364%）、電気自動車輸送（-0.250%～-1.251%）、電気自動車製造（-0.106%～-0.535%）となっている。ガソリン車輸送の価格もやや減少（-0.030%～-0.149%）であるが、これはその他輸送

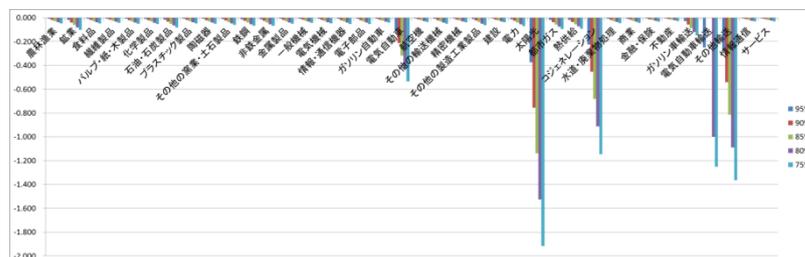


図4 財価格 ケース別偏差

の投入部分が大きい。これらの価格下落を受けて、財価格は全て減少しており、消費者物価指数も0.05%の下落となっている。

## 5.5 主要変数

増加率が高いのは家計電気自動車購入（純間接税率95%～75%に対応して）0.083%～0.417%）、投資総額（0.072%～0.365%）、労働供給量（0.021%～0.105%）などである。その他のものは減少したのが多い。特に家計所得の減少は資本収益率の減少

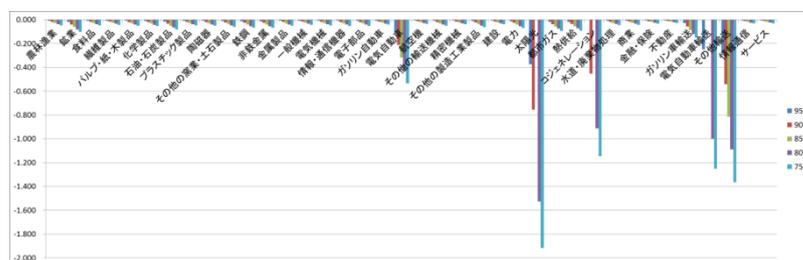


図5 主要変数 ケース別偏差

からきており、生産段階における省資源化が生産要素への需要を減らしていると言えよう。

また政府部門における純間接税収入の減少は政府所得、政府消費、政府貯蓄のすべてを減らしている。補助金なしのケースを基準とすると、等価的偏差は純間接税率75%では10億290万円となる。消費者物価が減少し、プラスの所得効果があるものの、家計所得や余暇時間の減少がそれ以上であるためにこのような結果となった。豊橋市経済は確実に1次エネルギー消費を減らす方向になるものの、現在のライフスタイルとはかなり異なるものとなるため、どのようにして家計効用をプラスにしていかが課題である。

## 6. 考察

以上に述べたように、豊橋市における補助金による電気自動車社会への転換は電気自動車、太陽光発電、コジェネレーション、電気自動車輸送、その他輸送の産出量を増加させる結果となった。それと代替する形で鉱業、石油・石炭製品などの産出量は減少している。また家計部門においては電気自動車の購入が増加する結果となった。しかし多くのCO<sub>2</sub>を排出する産業産出量の増加に伴い、CO<sub>2</sub>の総排出量は増加してしまった。これはリバウンド効果とも呼ばれている。

本研究では、補助金率を5%ずつ上げて変化率を比較したが、どの部門でもほぼ比例的に変化していることが分かった。中でも補助金の対象とした産業の変化率の変動の大きさは、ほかの産業と比べ大きかった。また、本研究では補助金制度に焦点を当てているが、その新たな財源には触れられていない。電気自動車社会に相応しくない部門に税金をかけることも1つの方法であろう。

さらに、市民の豊かさを表す等価的偏差が若干減少してしまうことが課題である。炭素税導入により二酸化炭素の減少した場合、二酸化炭素の減少を金銭評価すれば、豊橋市民の豊かさは増加しているかもしれない。これらを詳細に検討していくことが今後の課題である。

## 参考文献

- 1)宮沢健一 編：日本経済新聞社「日経文庫 産業連関分析」, 1980年
- 2)辻村江太郎, 黒田昌裕 著：筑摩書房「日本経済の一般均衡分析」, 1982年
- 3)John Shoven and John Whalley 著・小平 裕 訳：東洋経済新報社「応用一般均衡分析 理論と実際」, 1993年
- 3)南齋規介, 森口祐一, 東野達 著：独立行政法人 国立環境研究所 地球環境研究センター「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) -LCAのイベントリデータとして-」, 2004年
- 4)愛知県公式HP：http://www.pref.aichi.jp/ , 2013年9月15日