

3. 豊橋市における炭素税導入と電気自動車普及の環境・経済影響評価

建築・都市システム学系 教授 宮田 譲, 准教授 渋澤 博幸, 博士前期課程 藤井 友章

3-1 はじめに

地球環境やエネルギー資源に対する意識の高まりから、近年電気自動車が注目されている。電気自動車は「グリーンな自動車」と表現されるように、環境面でのメリットが多く見られ、窒素酸化物などの排出ガスが少ないことから、内燃機関自動車が従来抱えてきた大気汚染問題の緩和に大きく役立つと期待されている。しかし、電気自動車は電池交換が必要となるため、ライフサイクルアセスメントの観点からは、ガソリン車よりも環境負荷が大きくなる可能性も指摘されている。昨年度の研究においては、電気自動車社会に寄与する産業に対し補助金を支出するシミュレーションを行ったが、産業産出量は増加したものの、リバウンド効果により二酸化炭素排出量（CO₂）は逆に増加する傾向を見せた。そこで本研究では補助金政策に加え、炭素税を導入するケースも想定し、豊橋市の環境および経済への影響を分析する。

炭素税は地球温暖化を引き起こす CO₂ の排出量に応じ、税を課す経済的手法の一つである。炭素税を導入することにより「環境配慮型商品」が「環境に配慮しない商品」より価格面で不利な状況を改めることが期待できる。昨年度の CO₂ 排出量のシミュレーションでは、電気自動車社会を想定した際に代替産業となる産業以外の排出量には大きな減少が見られなかった。そのため本研究では CO₂ 排出量の大きい産業の排出量も減少させることを想定している。

環境共生型都市を目指す豊橋市としては、電気自動車の大きな普及により、家庭からの排出量の 4 分の 1 以上を占める自動車からの CO₂ を大幅に減らすことが極めて重要なポイントとなる。

3-2 豊橋市の経済会計行列

経済会計行列は通常、社会会計行列(Social Accounting Matrix : SAM)と呼ばれ、経済体系を支払いと受取りという概念により記述するものである。

応用一般均衡モデルでは経済会計行列をベンチマークデータセットとして用いることが多い。本研究では愛知県産業連関表や愛知県県民経済計算などを用いて、豊橋市の経済会計行列を推計した。経済主体は 38 産業部門（表 3-2-1 に示す）、2 制度部門（家計、政府）、2 生産要素（資本、労働）、資本勘定（資本調達、資本蓄積）、市外部門の 5 区分から構成されている。

豊橋市の経済会計行列推計結果は表 3-2-2 のようである。この表で縦方向は各経済主体の金銭的支払いを表し、横方向は逆に金銭受取りを表している。行列の縦方向、横方向には同じ経済主体が並べられ、ある行とある列とが交わる部分が、それぞれの経済主体間の金銭的取引を表している。表 3-2-2 から豊橋市では 1 兆 3,119 億円の財貨、4,973 億円の資本サービス、9,126 億円の労働サービスを投入し、3 兆 5,100 億円の生産をしていることが読み取れる。

表 3-2-1 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	コージェネレーション	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

表 3-2-2 豊橋市の経済会計行列

		生産活動	制度部門		生産要素		資本蓄積	市外部門	合計
		1～38産業	政府	家計	資本	労働			
生産活動	1～38産業	1,311,897	230,576	934,725	0	0	437,666	235,133	3,149,997
制度部門	政府	114,152	0	352,756	0	0	0	99,526	566,434
	家計	0	162,866	0	446,247	920,522	0	87,165	1,616,800
生産要素	資本	497,253	0	0	0	0	0	0	497,253
	労働	912,568	0	0	0	0	0	48,129	960,697
資本調達		314,127	4,302	296,854	0	0	0	0	615,283
市外部門		0	168,690	32,465	51,006	40,175	177,617	0	469,953
合計		3,149,997	566,434	1,616,800	497,253	960,697	615,283	469,953	

3-3 電気自動車導入の応用一般均衡分析

(1) モデルの主前提条件

本研究の主要な前提条件は以下のようなものであるが、この他にもモデルの細部について様々な仮定を設定している。それらについては平成 24 年度の報告書の中で言及されている。

- ①豊橋市の経済を対象とし、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、これらの市場は完全競争的で、均衡状態にあるとする。

(2) モデルの構造

本研究のモデルは静的応用一般均衡 (CGE) モデルであり、経済主体は豊橋市の家計、産業 (38 産業分類)、政府、市場部門とする。市場は 38 生産物市場、労働市場、資本市場の 40 市場とする。なおモデルの詳細は平成 24 年度未来ビークルシティリサーチセンター報告書で詳述されているため、本研究ではその解説を省略する。

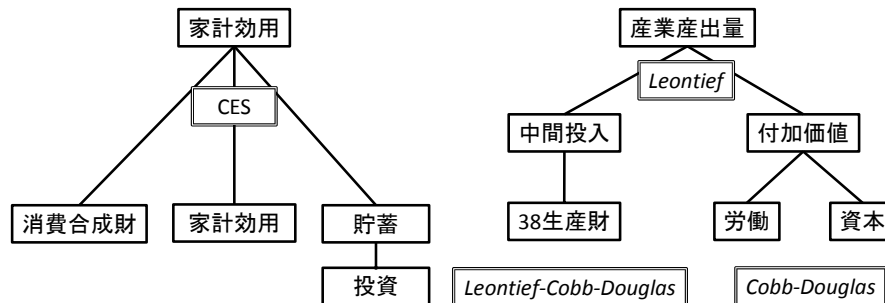


図 3-3-1 モデルの構造

(3) パラメータの設定

本モデルにおいて、Cobb-Douglas 型生産関数、CES 型効用関数を始めとするいくつかの関数については、パラメータを設定する必要がある。CGE モデルでは、基準年次のデータセットが均衡状態を反映したものという前提条件に立っている。従って CGE モデルでのパラメータ設定は基準年次のデータセットを正確に再現するようなパラメータを連立方程式や収束計算によって求めるというキャリブレーションの方法を用いることが特徴である。本モデルでは 2005 年豊橋市の実績データを用いることによりパラメータ設定を行った。

3-4 シミュレーション分析

(1) シミュレーション分析の考え方

本研究のシミュレーションは上記の CGE 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、豊橋市産業にどのような影響を与えるのかを分析するものである。

本研究では新たな産業として EV 製造、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ている。投入係数については以下のように推計した。

①EV 製造

全国表で公表されているハイブリッド車の投入係数からエンジン部分を取り除いて推計した。

②太陽光発電

全国表で公表されている自家発電部門において、石油・石炭製品の投入をゼロとして推計した。

③コジェネレーション

愛知県表で公表されている熱供給業の投入係数について、石油・石炭製品の投入をゼロとして推計した。

④EV 輸送

愛知県表で公表されている道路輸送において、石油・石炭製品の投入をゼロとし、それと等価な電力の投入を推計し、投入係数を推計した。

(2) シミュレーションケースの設定

本研究では、電気自動車社会の普及を想定し EV 製造、太陽光発電、コジェネレーション、EV 輸送、その他輸送（主として海運を想定）に対し補助金を支出する。また補助金対象とならない産業に対し炭素税（1,000 円/t-CO₂）を課し、生産物価格差別化のケースも検討する。

補助金率（純間接税率）の変化と炭素税の導入による影響を分析するため、シミュレーションケースを表 3-4-1 のように設定した。

表 3-4-1 シミュレーションケース

	純間接税率		炭素税	純間接税率
Base Case	補助金なし	Base Case	なし	補助金なし
Case 1	95%	Case I	1,000円/t-CO ₂	補助金なし
Case 2	90%	Case II	1,000円/t-CO ₂	95%
Case 3	85%	Case III	1,000円/t-CO ₂	90%
Case 4	80%	Case IV	1,000円/t-CO ₂	85%
Case 5	75%	Case V	1,000円/t-CO ₂	80%
		Case VI	1,000円/t-CO ₂	75%

Case 1 から Case 5 は補助金の導入による変化を分析し、Case I から Case VI は補助金と炭素税の導入による変化を分析するものである。本研究では以上の 11 ケースを想定し分析している。

3-5 シミュレーション結果

上記の 11 ケースについての計算結果は、図 3-5-1 から図 3-5-16 に示されている。

(1) 産業産出量

産業産出量の変化を比較するためのシミュレーション結果を図 3-5-1 から図 3-5-4 に示す。図 3-5-1 と図 3-5-3 は各部門それぞれのケースの産出量を示している。図 3-5-2 と図 3-5-4 は Base Case から、それぞれのケースへの変化率を示している。

産出量が多い産業はサービス、商業、ガソリン自動車製造業となっている。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ことが分かる。

図 3-5-1 と図 3-5-3 から補助金政策により、追加的補助金対象となる産業の産出量は大幅に増加していることが分かる。太陽光発電は（Case 1～Case 5 に対応して）0.35%～1.79%、コジェネレーションは 0.21%～1.07%、EV 輸送は 0.20%～1.00%、その他輸送は 0.18%～0.91%、非鉄金属は 0.14%～0.68%、EV 製造は 0.11%～0.58% の増加となっている。非鉄金属の産業産出量の増加については電気自動車のバッテリーへの需要の高まりが影響していると解釈される。また、補助金の割合を大きくすればするほど、産業産出量の増加率も大きくなっている。

以上の結果から産業産出量の総額は追加的補助金なしで 3 兆 2,442 億円であり、追加的補助金を支

出することにより 3 兆 2,469 億円まで増加することが分かった。これは 27 億円の増加であり、その増加率は 0.08%である。

また図 3-5-3 と図 3-5-4 から、炭素税導入により産業産出量の総額が減少していることが分かる。追加的補助金を考慮しない Case I では、炭素税を課さない産業（EV 製造、EV 輸送、その他輸送）に関しても、一般均衡効果により産出量が減少していることが分かる。しかし追加的補助金を導入することにより産出量は増加を示している。それぞれの変化率は、太陽光発電で（Case I ～CaseVIに対応して）1.50%～3.31%、コジェネレーションで 0.18%～1.25%、EV 輸送で 0.08%～1.08%、その他輸送で-0.28%～-0.62%、EV 製造で-0.21%～-0.36%となっている。その影響もあり、Base Case と比べ産業産出量総額の減少は CaseVIでは-0.16%（3 兆 2,389 億円）となっており、炭素税のみを導入した Case I の-0.25%（3 兆 2,361 億円）より減少額が少なくなっている。

（2）市内 GDP

図 3-5-5 から図 3-5-8 は市内 GDP の変化を比較したシミュレーション結果である。図 3-5-5 と図 3-5-7 は各部門それぞれのケースの市内 GDP 値である。図 3-5-6 と図 3-5-8 は Base Case からそれぞれのケースへの変化率を示している。

市内 GDP は産業生産に伴う粗付加価値を表す。市内 GDP の増減率は、追加的補助金の対象産業であるかどうか大きく依存している。一般的に追加的補助金により純間接税が減ることは GDP の減少につながる。このことを念頭に置くと、減少率の高い産業は、Case 1 から Case 5 において、太陽光発電（（Case 1～Case 5 に対応して）-0.43%～-2.24%）、その他輸送（-0.25%～-1.27%）、EV 製造（-0.23%～-1.14%）、EV 輸送（-0.25%～-1.10%）、コジェネレーション（-0.12%～-0.62%）、熱供給（-0.07%～-0.38%）となる。炭素税を導入した Case I から CaseVIにおいては、太陽光発電（（Case I ～CaseVIに対応して）1.49%～-0.78%）、その他輸送（-0.28%～-1.56%）、EV 製造（-0.21%～-1.35%）、EV 輸送（-0.08%～-1.02%）となり、どちらのケースも純間接税率が下がる産業で GDP が減少している。

逆に Case 1 から Case 5 において GDP が増加するのは、非鉄金属（0.14～0.68%）や建設業（0.08～0.39%）である。市内 GDP 総額は追加的補助金なしで 1 兆 8,769 億 1,600 万円であるのが、補助金を加えると純間接税率 75%で 1 兆 8,769 億 3,200 万円となり、約 1,600 万円の増加となった。変化率で見ると、追加的補助金なしのケースから 0.001%の増加であり、大きな変化はないと言えよう。また、Case I から CaseVIにおいて GDP が増加するのは不動産業（（Case I から CaseVIに対応して）0.39%～0.32%）、サービス産業（0.45%～0.31%）などとなっている。補助金と炭素税を導入した場合の市内 GDP 総額は、CaseVIで 1 兆 8,739 億 1,000 万円となり、30 億 200 万円の減少（-0.16%）になった。炭素税を導入したケースの減少幅は、減少率としては小さいものの、ケース 5 に比べ金額的には大きくなっている。

（3）CO₂排出量

図 3-5-9 から図 3-5-12 は CO₂排出量変化の比較を示したものである。図 3-5-9 と図 3-5-11 は各部門それぞれのケースの CO₂排出量を示している。図 3-5-10 と図 3-5-12 は Base Case からそれぞれのケースへの変化率を示している。

追加的補助金を想定した Case 1 から Case 5 において、CO₂ 減少率の大きい産業として熱供給（（Case 1～Case 5 に対応して）-0.07%～-0.38%）、石油・石炭製品（-0.03%～-0.16%）、ガソリン車輸送（-0.02%～-0.12%）などが挙げられる。これらは追加的補助金によるコジェネレーション、太陽光発電、EV 輸送への代替に伴うものと解釈される。

逆に CO₂ 排出量増加が大きい産業はその他輸送（0.18%～0.91%）、非鉄金属（0.14%～0.68%）、EV 製造（0.11%～0.58%）などが挙げられる。これらは産業産出量の拡大に伴うものと解釈される。

CO₂総排出量は Case 5（純間接税率 75%）において、2,323t・CO₂の増加（+0.06%）となった。これはリバウンド効果と言えよう。リバウンド効果とは、エネルギー効率改善に伴って副次的効果が

発生し、改善によりもたされると推計される削減量の一部または全てを相殺してしまう現象のことである。

炭素税を導入した Case I から CaseVI では、多くの産業で排出量が減少している。減少率の大きい産業は非鉄金属（(Case I ～CaseVI に対応して) -2.12%～-1.44%）、建設業（-1.41%～-1.03%）、その他窯業・土石製品（-1.07%～-0.87%）などが挙げられる。CO₂総排出量は CaseVI において、23,041 t-CO₂の減少（-0.58%）となった。これらは CO₂排出量の多い産業の産出量が減少したためであると言える。

また、EV 製造とその他輸送については、追加的補助金を導入しない Case I において CO₂排出量は減少しているが、補助金率を上げることにより CO₂排出量が増加していることが分かる。CO₂排出量の増加が大きい産業として、その他輸送（-0.28%～0.62%）、EV 製造（-0.21%～0.36%）、サービス産業（0.45%～0.31%）などが挙げられる。石油・石炭製品に関しては、補助金率を増加させることにより CO₂排出量は減少していることが分かる。

Base Case の CO₂総排出量と Case I および CaseVI の CO₂総排出量を比較すると、Case I では -25,348 t-CO₂（-0.64%）、CaseVI では 23,041 t-CO₂（-0.58%）となっている。以上のことから補助金率を増加させると、それに伴い CO₂総排出量も増加することが分かる。

（４）財価格

図 3-5-13 と図 3-5-14 は財価格の変化を比較するために、Base Case からそれぞれのケースへの変化率を示したものである。

財価格は財価格方程式より、生産要素価格によって決定される。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、追加的補助金なしのケースにおいても全ての価格は 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、追加的補助金がある産業の価格は下落している。すなわち大きく減少しているのは太陽光発電（(Case 1～Case 5 に対応して) -0.38%～-1.92%）、その他輸送（-0.27%～-1.36%）、EV 輸送（-0.25%～-1.25%）、EV 製造（-0.11%～-0.54%）となっている。ガソリン車輸送の価格もやや減少しているが（-0.03%～-0.15%）、これはその他輸送の投入によるところが大きい。また、炭素税を導入することにより電力（(Case I ～CaseVI に対応して) 2.18%～2.11%）、鉄鋼業（1.48%～1.42%）、その他窯業・土石製品（1.15%～1.09%）など、CO₂排出量の大きい産業の財価格上昇が大きくなっている。

（５）その他の主要変数

その他の主要変数の変化を比較するために、Base Case からそれぞれのケースへの変化率が図 3-5-15 と図 3-5-16 に示されている。

Case 1 から Case 5 において増加率が大きいのは家計電気自動車購入（(Case 1～Case 5 に対応して) 0.08%～0.42%）、投資総額（0.07%～0.36%）、労働供給量（0.02%～0.11%）などである。その他の変数は減少したものが多く、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、政府貯蓄の全てを減らしている。同時に政府から家計への経常移転が減少するため、家計所得が減少している。それに対し、Case I から CaseVI では炭素税収入があるため政府所得、政府消費、政府貯蓄の全てが増加している。それに伴い政府から家計への経常移転も増加したため、家計所得も増加を示している。

Base Case を基準とすると、等価的偏差は Case 5 では 12 億 5,500 万円となり、豊橋市の人口 1 人当たりでは 3,354 円のマイナスであった。CaseVI では 22 億 770 万円となり、豊橋市の人口 1 人当たりでは 5,901 円の厚生改善であった。

産業産出量

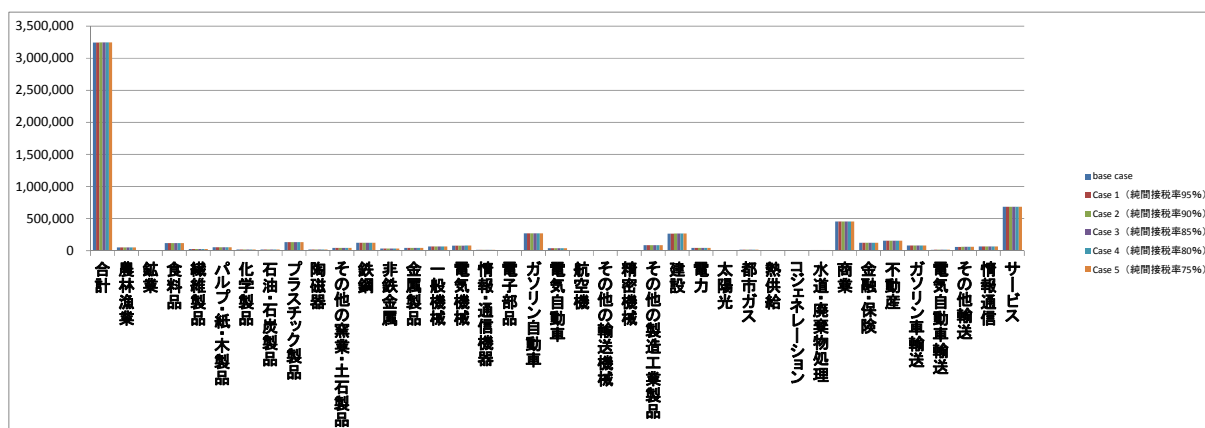


図 3-5-1 産業産出量シミュレーション結果 (Case 1～Case 5)

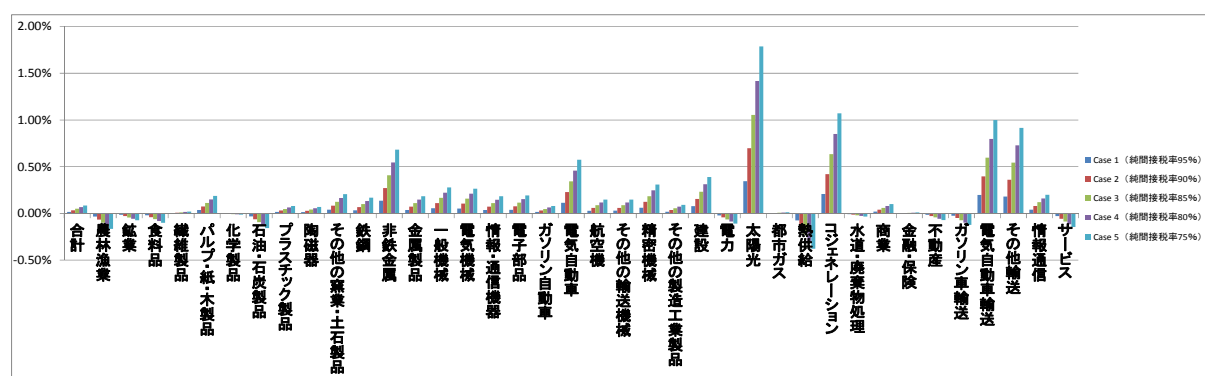


図 3-5-2 産業産出量変化率 (Case 1～Case 5)

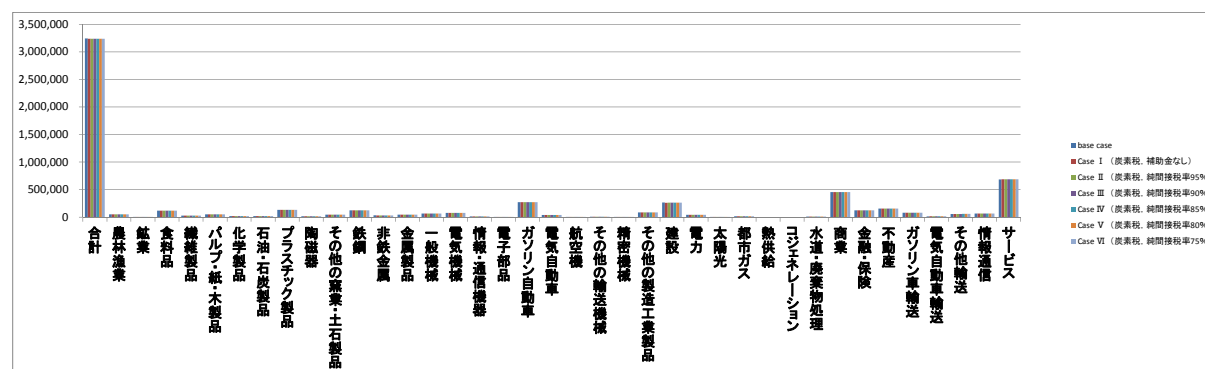


図 3-5-3 産業産出量シミュレーション結果 (Case I ～Case VI)

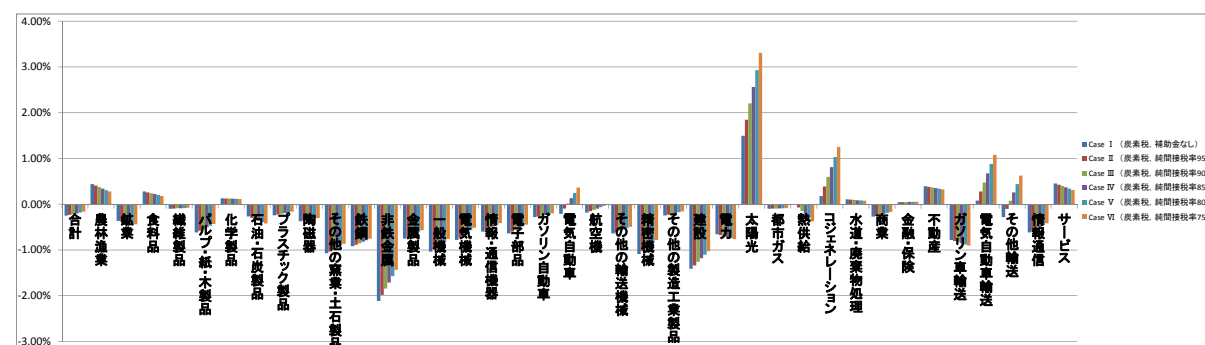


図 3-5-4 産業産出量変化率 (Case I ～Case VI)

市内 GDP

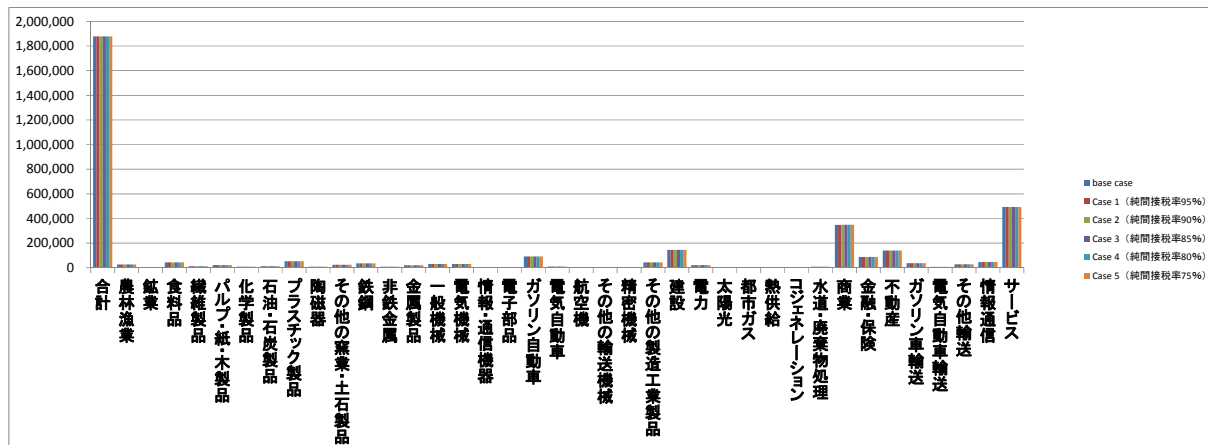


図 3-5-5 市内 GDP シミュレーション結果 (Case 1～Case 5)

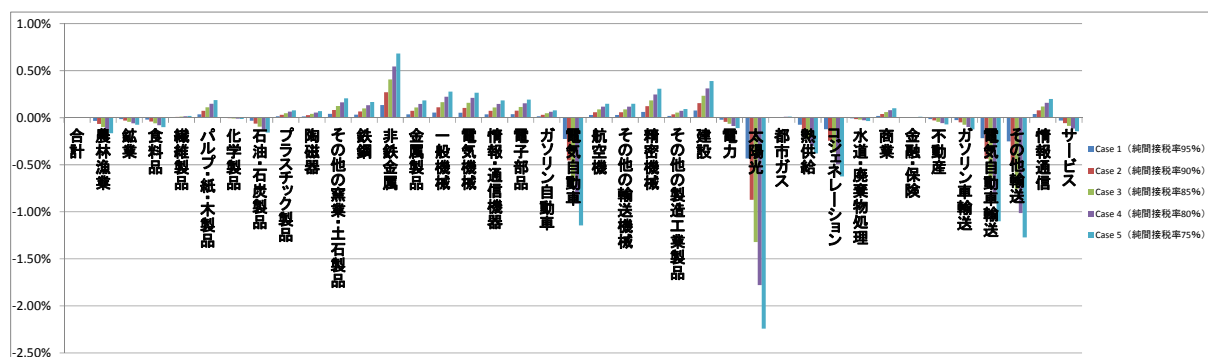


図 3-5-6 市内 GDP 変化率 (Case 1～Case 5)

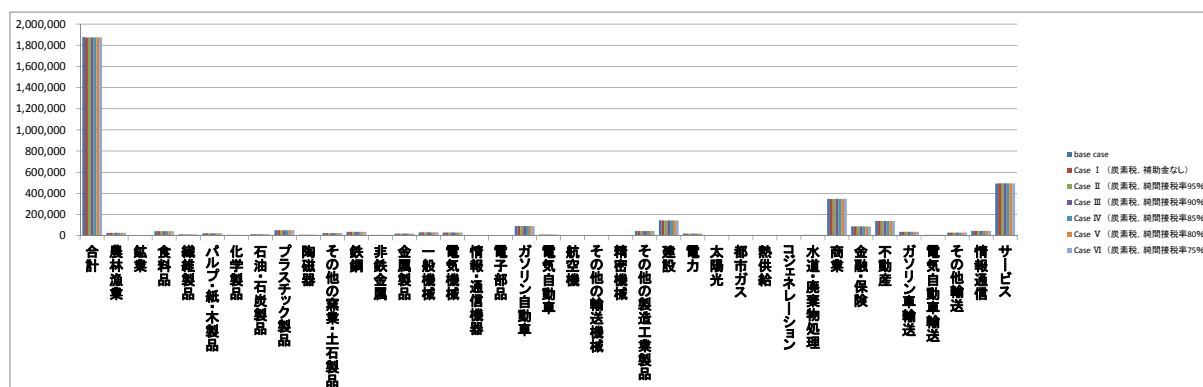


図 3-5-7 市内 GDP シミュレーション結果 (Case I ～Case VI)

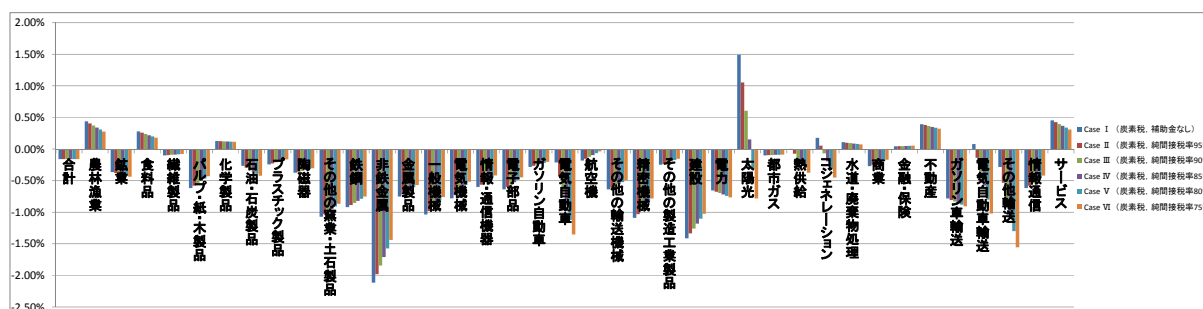


図 3-5-8 市内 GDP 変化率 (Case I ～Case VI)

CO₂ 排出量

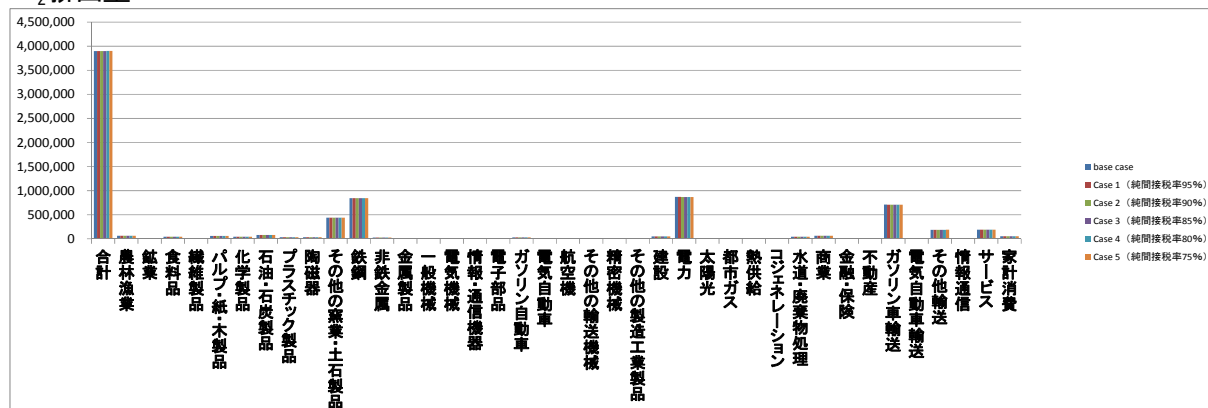


図 3-5-9 CO₂ 排出量シミュレーション結果 (Case 1～Case 5)

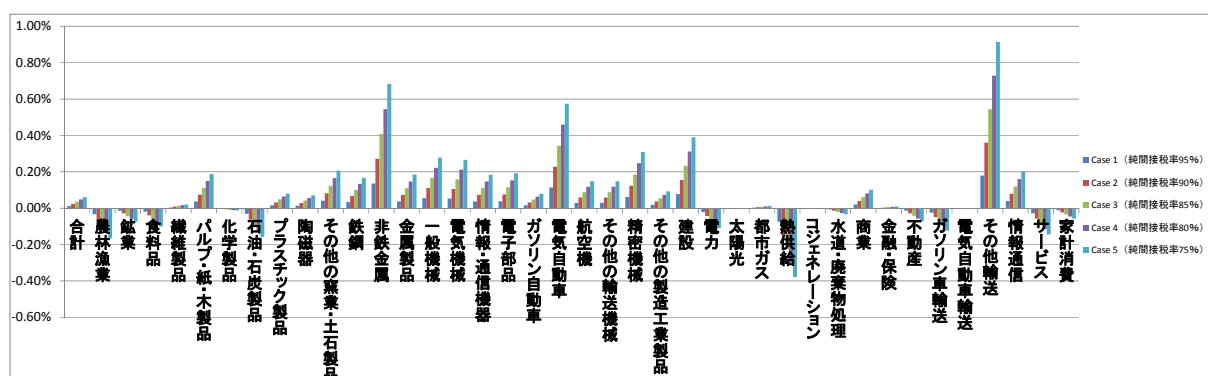


図 3-5-10 CO₂ 排出量変化率 (Case 1～Case 5)

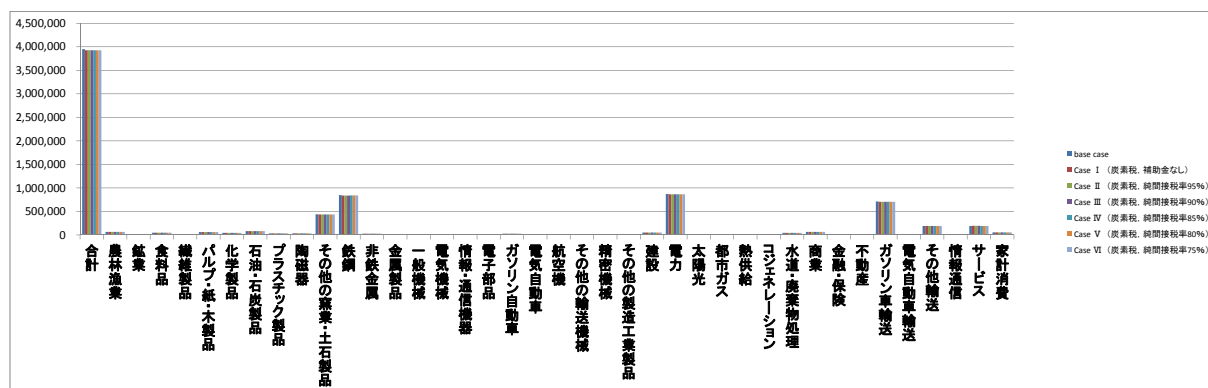


図 3-5-11 CO₂ 排出量シミュレーション結果 (Case I ~ Case VI)

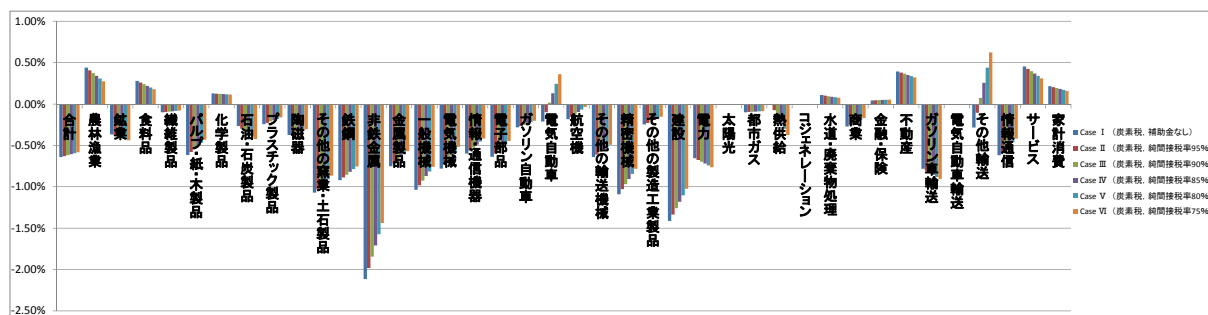


図 3-5-12 CO₂ 排出量変化率 (Case I ~ Case VI)

財価格

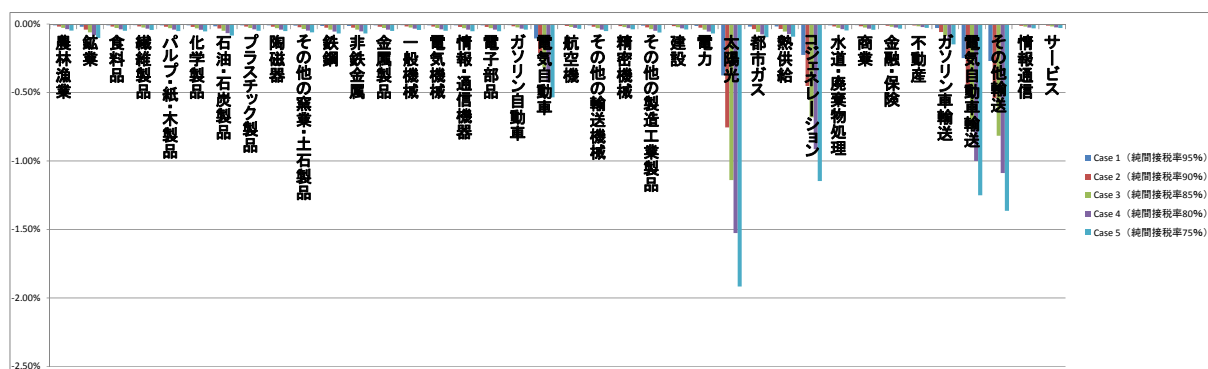


図 3-5-13 財価格変化率 (Case 1～Case 5)

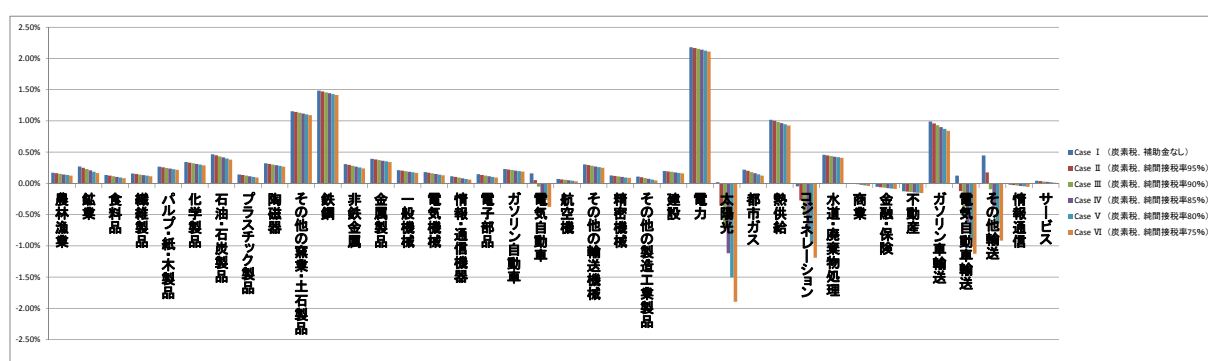


図 3-5-14 財価格変化率 (Case I ～Case VI)

その他の主要変数

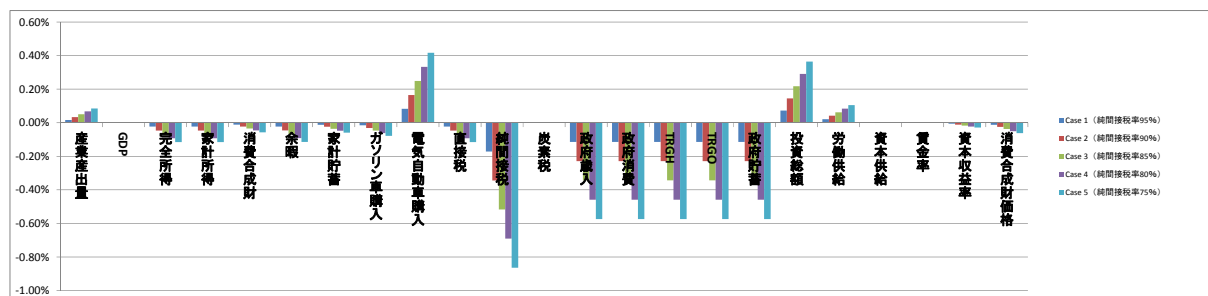


図 3-5-15 その他の主要変数変化率 (Case 1～Case 5)

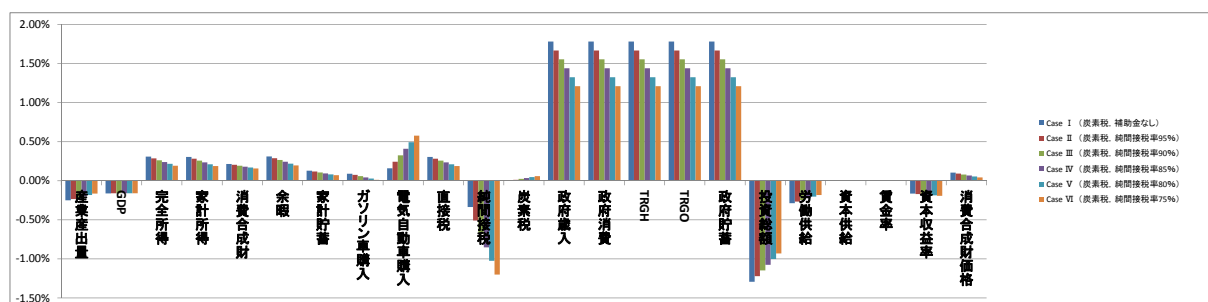


図 3-5-16 その他の主要変数変化率 (Case I ～Case VI)

3-6 おわりに

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、電気自動車製造、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。しかし多量のCO₂を排出する産業の生産増加に伴い、CO₂の総排出量はわずかながら増加してしまった。これは省資源型の電気自動車普及によるリバウンド効果と解釈される。

一方、炭素税を導入したケースでは追加的補助金の対象となる産業の産出量を増加させ、多くのCO₂を排出する鉄鋼業、電力、その他窯業・土石製品産業の産出量を減少させた。その結果、総産出量は若干減少している。しかし同時にCO₂総排出量の減少も見られた。これは価格インセンティブ効果から多くのCO₂を排出する産業の産出量が減少したためであると言える。

補助金率を上げると総産出量は増加し、それに伴いCO₂排出量も増加することが分かった。炭素税を導入するとCO₂排出量が多い産業の産出量が減少し、総産出量も減少した。その結果、CO₂総排出量も減少した。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判明した。中でも追加的補助金の対象となった産業の変動の大きさは、他の産業と比べて大きい。

追加的補助金を支出した場合、市民の豊かさを表す等価的偏差がマイナスとなることが分かった。これは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と解釈される。しかし、炭素税を導入すると政府から家計への経常移転が増加し、家計所得や余暇も増加し等価的偏差はプラスの値を示した。

本研究では前年度の課題であったCO₂増加の問題を、炭素税導入により抑制することができた。豊橋市において適切な補助金や炭素税の導入により、電気自動車の普及、CO₂の減少、家計効用の増加という環境共生型都市への道筋を示すことができた。近い将来2010年の愛知県産業連関表が公表される予定であり、本モデルの推計精度を向上させることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 畔柳 創・平井裕太・高田祐樹・松井拓也・前田 恵：「電気自動車が活躍できる社会づくり」，ISFJ2009 政策フォーラム発表論文，pp.1-25，2009
- 2) 宮田 譲・佐藤浩基：「二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析」，土木計画学研究・論文集 Vol.16，pp.431-442，1999
- 3) 宮田 譲・渋谷博幸・張 鍵：「廃棄物を考慮した小地域の応用一般均衡分析 - 帯広都市圏を事例として -」，地域学研究 第34巻，pp.481-508，2004
- 4) Miyata, Y., Shibusawa, H. and Khanam, S. : “Economic Impacts of an Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan – A CGE Modelling Approach –”, IOSR Journal of Business and Management, Vol.2, No.4, pp.29-40, 2012
- 5) 宮田 譲・渋谷博幸：「豊橋市における電気自動車導入による都市の変化」，サステイナブルな社会における未来ビークルシティ事業－低炭素社会における安全安心なビークルシティ－平成24年度研究成果報告書，pp.38-57，豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンター，2013
- 6) 村沢義久：「燃やさない文明と電気自動車の役割」，予防時報，No. 239，pp.20-25，2009
- 7) 南齋規介・森口祐一・東野 達：「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」，独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター，2004年
- 8) 日本エネルギー経済研究所 HP : <http://eneken.ieej.or.jp/>
- 9) 豊橋市 HP : <http://www.city.toyohashi.aichi.jp/>，「豊橋市地球温暖化対策地域推進計画」
- 10) 全国地球温暖化防止活動推進センターHP : <http://www.jccca.org/>
- 11) 愛知県公式 HP : <http://www.pref.aichi.jp/>