

温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産性評価

橋本 敦夫
福岡女子商業高等学校

福山 博文
福岡大学

(受理 2015 年 11 月 19 日; 再受理 2016 年 10 月 18 日)

和文概要 製造業の多くは、生産活動を行う過程で温室効果ガスを排出するなどの環境問題を引き起こしている。都道府県の実産性を評価するには、温室効果ガス排出量の抑制を検討することが重要である。そこで、本稿の目的は三つある。第一に、47 都道府県の実産性を評価するために環境問題を考慮したスラック型のダイナミック・ネットワーク DEA モデルを提案する。このモデルでは、都道府県の実産構造を人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門の四つの部門で構成し、都道府県へ前期からもたらされる繰越財と次期へ引き渡す繰越財を考慮するとともに都道府県 GDP を生産物として産出すると同時に CO_2 排出量を副産物として生成すると仮定する。第二にブートストラップ重回帰分析を活用し全体効率性に影響をもたらす要因を探る。最後にいくつかの政策提言を行う。

キーワード: DEA, SBM, 生産性, 温室効果ガス, 都道府県

1. はじめに

現在、様々な環境問題が存在している。環境問題の一つであり地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの排出は生産活動の過程で発生している(環境省・経済産業省(2012))¹。各都道府県内の企業の生産活動は、生産量を維持発展させつつ温室効果ガス排出量の抑制にも配慮しなければならない。Sueyoshi et al. [27] は、環境汚染を防ぐことと経済発展をバランスよく行うことは持続可能な社会基盤を維持するためにも大きな政策課題であるとし、温室効果ガス排出量と大気汚染を減らす目的で技術革新へ向けた資本投資が必要であることを述べている。そのため、地球温暖化への影響を憂慮し、各地方自治体と企業は協同して温室効果ガスの排出量を抑制する取り組みを行っている(環境省・経済産業省(2012))。そして、藤井他 [6] や馬奈木 [16] は、投入要素に資本ストック、労働コスト、原材料費、生産物に売上、排出物に CO_2 排出量を用いて DEA(Data envelopment analysis: データ包絡分析) で推計し、国内製造業において、多くの企業で生産工程や製品設計の改善によって生産性を低下させずに経済効率性を犠牲にすることなく、 CO_2 排出量の削減を達成していることを明らかにしている。この取り組みは、環境省・経済産業省(2012) も示しているように、製造業だけではなく全産業で行われなければならない。

本稿は、都道府県の温室効果ガス排出量を抑制しつつ都道府県 GDP² の伸張を目指すモ

¹環境省地球環境局地球温暖化対策課・経済産業省産業技術環境局環境経済室(2012)「地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成 21 年(2009)年度温室効果ガス排出量」の集計結果。

²GRP(域内総生産)は、国を生産主体とした GDP(国内総生産)に対応した表記であり、国と地方の実産額の双方を取り上げて論議する場合は GRP を用いることも可能である。本稿は都道府県を地理的に区分した枠組みで、個々の生産主体として都道府県内総生産を論議する。よって本稿では、都道府県内総生産を都道府県 GDP と表すこととする。

デルを提案し都道府県の生産効率性の評価を試みる。すなわち、このモデルの特徴は生産活動を行う際に同時に放出される温室効果ガスの排出量の抑制を考慮に入れるところである。もう一つの特徴は人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入³部門を都道府県の生産活動に関わる内部部門として都道府県の生産構造モデルを構成している点である。

環境省・経済産業省(2012)の公表データによると、業種別排出量のうち製造業の温室効果ガス排出量は、86.8%⁴である。すなわち企業が生産活動を行うことによって製品が生産され、同時に温室効果ガスが排出される。Nakano et al. [19]は、Kuusmanen 技術⁵と Färe and Grosskopf 技術⁶で、労働力と民間資本ストックを投入要素、年間実質生産額とCO₂排出量を用いてDEAで推計し、紙パルプ・化学・非金属鉱物製品・一次金属のエネルギー集約型産業と社会資本のシェアが全要素生産性と技術変化に負の影響をもたらすことを明らかにしている。他方、Honma et al. [13]は、地球温暖化を抑制するため日本のエネルギー効率要因と経済活動の関係の研究の中で、化学・セラミックス・鉄鋼・金属製品・紙パルプ産業をエネルギー集約型産業とし、エネルギー集約型産業を有する都道府県はエネルギー効率が悪化していることを述べている。さらに、Goto et al. [10]は、労働力とエネルギーと社会資本を投入し生産物を産出する際に発生する炭素排出量、SO_x排出量、NO_x排出量、ゴミ排出量をもとに日本国内の製造業の環境効率について地域ごとに論議し、日本の製造業は技術革新のために資本を支出することと、温室効果ガス排出量と大気汚染を減らす努力が必要とされていることを示している。

また、長谷川[11]によるとCO₂排出の地域差に最も大きな影響を与えているのは地域内最終需要総額、CO₂排出原単位、移輸出構成比であるとし、さらに長谷川[12]は、都道府県レベルのCO₂排出量は、人口の成長とは無関係であることを述べている。

しかし、Otsuka et al. [22]は、温室効果ガス等の排出量は考慮していないものの、中央政府から地方政府への財政移転を減らすと同時に市場アクセスの容易さと人口密度の集積度が大きいことが地域経済の生産効率性に良好な影響をもたらすとしている。さらに、Otsuka et al. [23]は、財政移転の見直しと、都道府県合併による人口の集積度を高めることによって都道府県のコスト効率が改善されることを示唆している。そして、大塚他[25]は、地域産業が成長するためには集積の効果が強く重要な役割を果たしていることを明らかにしている。企業が人口密度の大きい地域に立地する場合、人的資本の確保を有利におこなうことが可能であろう。人口密度が大きい地域であれば、最終生産物を消費する割合も高くなることが考えられる。そして、これらの効果としてその地域産業の生産効率性や都道府県のコスト効率性に有意に働く要因となり得ると考えられる。

よって、人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門を投入要素とし、温室効果ガス排出量の抑制を考慮しつつ都道府県GDPを高めるモデルの生産効率性と都道府県人口密度や市場アクセスの容易さなどの集積の経済との関係性や各都道府県の全産業に対する第3次産業の生産額の割合との関係性、またエネルギー消費量に関連した指標との関係性を探りたい。

本稿の推計は、DEAを用いる。DEAを用いる理由は、異なる尺度の入出力に対応が可能

³内閣府によると、中間投入とは、「生産の過程で原材料費・光熱費・間接費等として投入された財貨及びサービス」をいう。内閣府(2016)「国民経済計算」。

⁴環境省・経済産業省(2012)業種別の実排出量(特定事業所) p.31。

⁵Kuusmanen [14]と Kuusmanen and Podinovski [15]を参照されたい。

⁶Färe and Grosskopf [4, 5]を参照されたい。

である点と、効率値を推計すると同時に非効率であるとされたものに具体的な改善案を示すことができるからである。

各都道府県の産業生産は環境保全に配慮しつつ生産性の向上を目指すべきであり、こうした背景を踏まえた推計モデルを活用することによって、環境問題を考慮した各都道府県の生産効率性を明らかにすることが可能となる。そこで、本稿では、各都道府県の生産構造を人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門の四つの内部部門で構成し、温室効果ガス排出量を抑制することを考慮しつつ都道府県 GDP の向上を目指す各都道府県の生産性評価を行う推計モデルを提案する。

第2節では、温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産構造モデルを提案する。第3節では、日本の都道府県による実証分析を行う。第4節では、第3節の結果を受けてブートストラップ法を用いた重回帰分析を行い、都道府県の生産効率性をもたらす要因を探る。第5節では、本稿のまとめと今後の課題を示す。

2. 環境問題を考慮した DEA モデル

DEA は、Charnes, Cooper, and Rhodes [2] によって提唱され、企業などの事業体 (DMU= Decision making unit:意思決定者) の経営活動に関わる投入要素と生産物をもとに効率性を評価する手法である。

DEA は、同様の事業を営む複数の事業体について投入要素と生産物の比率を推計し、各事業体の生産性を相対的に比較する。そして、それらの事業体の中から最も効率的な事業体が評価される。さらに各事業体は最も効率的な事業体の経営手法を参考に経営改善を図ることが可能となる。

ただし、Cooper et al. [3] によると、DEA モデルは、次のような改善すべき点があるとされている。

1. DEA の CCR モデルや BCC モデルでは、効率値が 1 と推計された場合でも効率的でない場合が存在する。そのため効率値と同時にスラックレスであることを確認する必要がある。
2. DEA はスラック (インプットの余剰とアウトプットの不足) が効率値に反映されない。DEA の推計においてスラックが発生していれば、その大きさも考慮し、効率値を求める必要がある。
3. DEA モデルの投入要素が N 種類あるとした場合、投入要素全てを一律に縮小させる提案は必ずしも現実的ではない。実際の企業であれば、投入要素 (例えば従業員数、設備投資額) を各々異なった比率で縮小化を行うはずである。
4. DEA の CCR モデルと BCC モデルは、入力指向型または出力指向型のどちらかに限定されてしまうため、投入要素を縮小させつつ産出物の増大化を目指すモデルの場合、効率性を考慮することができない。

そこで、Tone [28] は、DEA の SBM(Slacks-based measure) モデルを提案し上述の四項目を改善した。SBM モデルは、スラックレスであるかどうかを同時に推計することが可能である。さらに SBM モデルの無指向型 (Non-oriented) は、入力の余剰と出力の不足を同時に扱うことができる。

ただし、これらの DEA モデルは統計的な基盤に基づいていない。そのため本稿は統計的な信頼性を高める目的で DEA を用いて推計した効率値をもとにブートストラップ重回帰分析を行う。

各都道府県の産業が生産活動を行うための基盤として人的資本，物的資本，エネルギーおよび中間投入がある．その基本構造を示したものが図1である． HC は人的資本部門， PC は物的資本部門， EC はエネルギー部門および II を中間投入部門とする．

本稿で使用する記号と，これらの内容を考慮したモデルを以下に示す．

記号

J	: DMU (<i>Decision making unit</i> :意思決定者) の数
o	: 評価される対象 ⁷
DMU_j	: j 番目の DMU , $j \in \{1, \dots, J\}$
$x_{no,HC}$: (<i>Number of employees</i>) \times (<i>Human capital index</i>) DMU_j の n 番目の投入要素の量
$x_{no,PC}$: <i>Investment</i> DMU_j の n 番目の投入要素の量
$x_{no,EC}$: <i>Energy consumption</i> DMU_j の n 番目の投入要素の量
$x_{no,II}$: <i>Intermediate input</i> DMU_j の n 番目の投入要素の量
y_{mo}	: <i>Gross domestic product</i> DMU_j の m 番目の生産物の量
$b_{lo,EC}$: <i>CO₂ emissions</i> DMU_j の l 番目の排出物の量
$c_{ro,PC}^{(t-1,t)}$: <i>Physical capital stock</i> $t-1$ 期から t 期にもたらされる DMU_j の r 番目の繰越財
$c_{ro,PC}^{(t,t+1)}$: <i>Physical capital stock</i> t 期から $t+1$ 期にもたらされる DMU_j の r 番目の繰越財
s_n^-	: n 番目の投入要素のスラック値
s_m^+	: m 番目の生産物のスラック値
s_l^-	: l 番目の排出物のスラック値
s_r^+	: r 番目の繰越財のスラック値
$\lambda_{j,HC}$: HC 部門の DMU_j に対するウェイト
$\lambda_{j,PC}$: PC 部門の DMU_j に対するウェイト
$\lambda_{j,EC}$: EC 部門の DMU_j に対するウェイト
$\lambda_{j,II}$: II 部門の DMU_j に対するウェイト
HC	: <i>Human capital</i>
PC	: <i>Physical capital</i>
EC	: <i>Energy consumption</i>
II	: <i>Intermediate input</i>

各都道府県は，労働力が人的資本部門へ每期投入されている．本稿の人的資本 ($x_{o,HC}$) は，各都道府県の就業者数に深尾・岳 [7] の研究手法を用い新たに推計した 2001 年から 2009 年までの人的資本指数を乗じたものを活用する．各都道府県の就業者数に人的資本指数を乗じることによって各都道府県の労働力の質を考慮することが可能となり，各都道府県の実態を反映した人的資本としてモデルに活用することができる．なお，人的資本は当期に投入され，当期中の都道府県の生産活動に貢献する．

各都道府県の物的資本は，過去から前期までに整備された資本ストックを当期でもほぼそのまま活用し次期へと引き継がれる．本研究では，社会資本と民間資本を合計したものを物

⁷評価対象 DMU を DMU_o と表記する．

$$x_{o,HC} = (\text{Number of employees}) \times (\text{Human capital index})$$

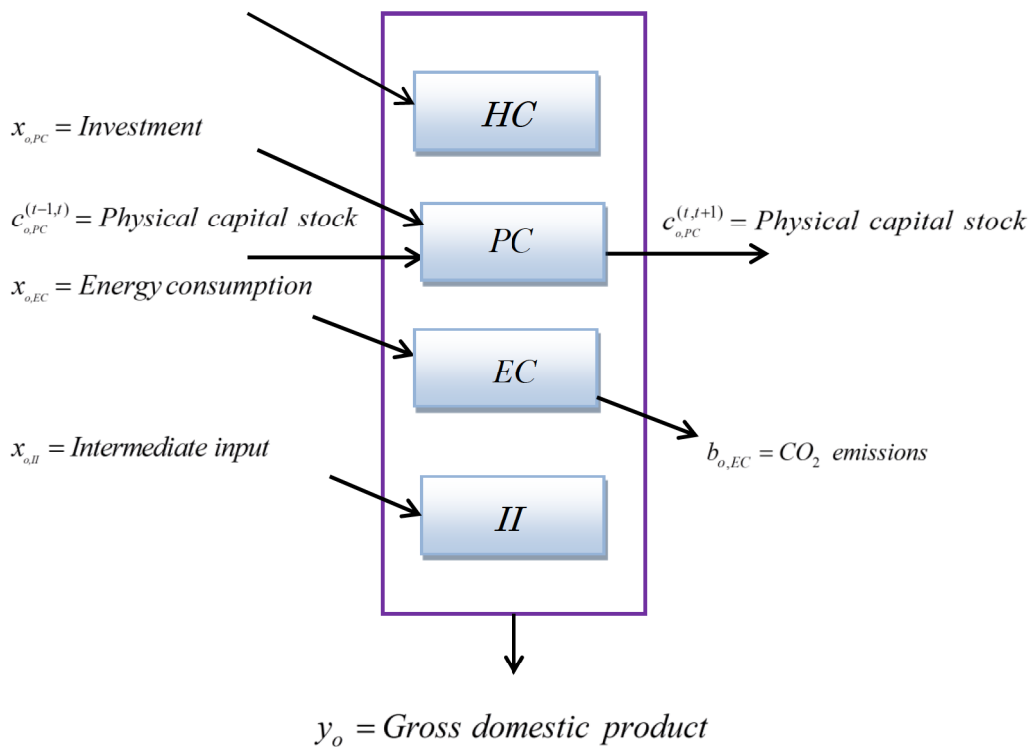


図 1: 温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産構造

的資本とする。物的資本には、当期中の都道府県の生産活動のために総固定資本形成 ($x_{o,PC}$) が新たに投入される。総固定資本形成が投入されることにより、前期までに引き継がれた資本ストックが当期中にさらに整備されるとともに、都道府県の生産活動を維持し生産基盤が整えられる。

エネルギー部門への投入要素は、都道府県別エネルギー消費統計の最終エネルギー消費量 ($x_{o,EC}$) を用いる。産業部門（製造業・非製造業）、民生部門（家庭・業務）及び運輸旅客部門のエネルギー消費量であり、各都道府県の生産活動のために用いられるエネルギー量である。ただし、エネルギー部門は望ましくない副産物として温室効果ガス ($b_{o,EC}$) を排出している。

中間投入部門へは、原材料として中間投入 ($x_{o,II}$) が投入される。中間投入は、生産の過程で原材料費・光熱費・間接費等として投入される財貨及びサービスであり、付加価値を産出するための原材料である。

そして、人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門を基盤として、各都道府県の産業は生産活動を行い、都道府県 GDP (y_o) を産出する。

さらに、都道府県の生産構造として、物的資本部門はある特定の期に全て投入され、全て産出されるものではない。物的資本部門の物的資本ストックは、 t 期を基準とすると、 t 期の生産活動に活用可能で、 $t-1$ 期までに蓄積され t 期にもたらされる $t-1$ 期の繰越財 ($C_{o,PC}^{(t-1,t)}$) が存在する。さらに、物的資本部門の資本ストックは、 t 期の総固定資本形成 ($x_{o,PC}$) により整備され、 t 期の生産活動に活用されたあと $t+1$ 期へ引き渡す t 期の繰越財 ($C_{o,PC}^{(t,t+1)}$) が存在する。都道府県の生産構造をモデル化するとき、物的資本部門のように期を超えて引き継がれる繰越財を考慮しなければならない。

以上の内容を考慮した最適化問題を次のとおり示す。

温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産性評価

Objective function : $\rho_{overall} =$

$$\min \frac{1 - \left\{ \frac{1}{N_{PC} + N_{EC} + N_{II} + L_{EC}} \left(\sum_{n=1}^{N_{PC}} \frac{s_{n,PC}^-}{x_{no,PC}} + \sum_{n=1}^{N_{EC}} \frac{s_{n,EC}^-}{x_{no,EC}} + \sum_{n=1}^{N_{II}} \frac{s_{n,II}^-}{x_{no,II}} + \sum_{l=1}^{L_{EC}} \frac{s_{l,EC}^-}{b_{lo,EC}} \right) \right\}}{1 + \left\{ \frac{1}{M + R_{PC}} \times \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_m^+}{y_{mo}} + \sum_{r=1}^{R_{PC}} \frac{s_{r,PC}^{(t,t+1)+}}{c_{ro,PC}} \right) \right\}} \quad (2.1)$$

Subject to :

(HC = Human capital)

$$\sum_{j=1}^J x_{nj,HC} \lambda_{j,HC} \leq x_{no,HC}, \quad (n = 1, \dots, N_{HC}), \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,HC} = y_{mo} + s_m^+, \quad (m = 1, \dots, M), \quad (2.3)$$

(PC = physical capital)

$$\sum_{j=1}^J x_{nj,PC} \lambda_{j,PC} = x_{no,PC} - s_{n,PC}^-, \quad (n = 1, \dots, N_{PC}), \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,PC} = y_{mo} + s_m^+, \quad (m = 1, \dots, M), \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^J c_{rj,PC}^{(t-1,t)} \lambda_{j,PC} \leq c_{ro,PC}^{(t-1,t)}, \quad (r = 1, \dots, R_{PC}), \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^J c_{rj,PC}^{(t,t+1)} \lambda_{j,PC} = c_{ro,PC}^{(t,t+1)} + s_{r,PC}^{(t,t+1)+}, \quad (r = 1, \dots, R_{PC}), \quad (2.7)$$

(EC = Energy consumption)

$$\sum_{j=1}^J x_{nj,EC} \lambda_{j,EC} = x_{no,EC} - s_{n,EC}^-, \quad (n = 1, \dots, N_{EC}), \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,EC} = y_{mo} + s_m^+, \quad (m = 1, \dots, M), \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1}^J b_{lj,EC} \lambda_{j,EC} = b_{lo,EC} - s_{l,EC}^-, \quad (l = 1, \dots, L_{EC}), \quad (2.10)$$

(II = Intermediate input)

$$\sum_{j=1}^J x_{nj,II} \lambda_{j,II} = x_{no,II} - s_{n,II}^-, \quad (n = 1, \dots, N_{II}), \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,II} = y_{mo} + s_m^+, \quad (m = 1, \dots, M), \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned}
 s_{n,PC}^- &\geq 0, (\forall n), s_{n,EC}^- \geq 0, (\forall n), s_{n,II}^- \geq 0, (\forall n), s_m^+ \geq 0, (\forall m), s_{l,EC}^- \geq 0, (\forall l), \\
 s_{r,PC}^{(t,t+1)+} &\geq 0, (\forall r), \\
 \lambda_{j,HC} &\geq 0, \lambda_{j,PC} \geq 0, \lambda_{j,EC} \geq 0, \lambda_{j,II} \geq 0, (\forall j).
 \end{aligned}$$

Nemoto and Goto [20] は、ダイナミック DEA を活用し電力会社の生産効率性を論議している。彼らはダイナミック DEA モデルの中で次期に繰り越す要素は準固定の制約を活用している。同様に本研究のモデルの式 (2.6) は前期からの繰越財であり、当期では調整ができない要素である。よって、本研究の式 (2.6) は Nemoto and Goto [20] を参考に準固定の制約とする。

温室効果ガス排出量は、抑制すべき望ましくない生産物である。宗像・本間 [18] は、温室効果ガス排出量を SBM モデルの目的関数の中でアウトプット側として推計している。しかし、温室効果ガス排出量は削減することが望ましいため、本研究は、目的関数の式 (2.1) のインプット側で推計を行うこととする。

Fukuyama, Hashimoto, Tone, and Weber [8] は、内部構造を持つ組織が生産活動を行う時に、内部の複数の部門が共同で生産活動に関わる仕組みが存在することを指摘し、新たなモデルを開発している。そして、このモデルは、式 (2.13) に示す特徴があり、Tone and Tsutsui [29–31] の DNSBM モデルを改良している⁸。そして、本稿は Fukuyama et al. [8] を応用し、温室効果ガス排出量を抑制するモデルとした。

本研究のモデルの特徴は式 (2.3)、式 (2.5)、式 (2.9) および式 (2.12) について、

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,HC} &= \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,PC} = \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,EC} = \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,II} \\
 &= y_{m0} + s_m^+, \quad (m = 1, \dots, M).
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

の関係をもつ制約式として示すことができる点である。

これは、生産物である都道府県 GDP は、人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門の四つの部門が、共同で産出に関わり、その結果として都道府県 GDP は各都道府県から一つ産出されることを表している。よって観測される各都道府県 GDP のスラック値も一つ推計される。

このように、都道府県 GDP は各都道府県から一つ観測されるが、制約式 (2.3) の $\lambda_{j,HC}$ は、式 (2.2) と式 (2.3) の制約式を含めて人的資本部門 (サブ DMU) として生産技術を決め、制約式 (2.5) の $\lambda_{j,PC}$ は、式 (2.4) から式 (2.7) の制約式を含めて物的資本部門 (サブ DMU) として生産技術を決める。さらに、制約式 (2.9) の $\lambda_{j,EC}$ は、式 (2.8) から式 (2.10) の制約式を含めてエネルギー部門 (サブ DMU) として生産技術を決め、制約式 (2.12) の $\lambda_{j,II}$ は、式 (2.11) と式 (2.12) の制約式を含めて中間投入部門 (サブ DMU) として生産技術を決める。

ただし、都道府県の生産構造を人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門を基盤とし、四つの部門がそれぞれサブ DMU として都道府県 GDP の産出に関わることを表すため、制約式を式 (2.3)、式 (2.5)、式 (2.9) および式 (2.12) に分けて示すこととした。

⁸本稿のモデルを応用して、Avkiran and Morita [1] を参考に住民などの利害関係者を考慮する場合も考えられる。その場合、住民をはじめ企業の業界団体や環境保全団体さらに生態系など各分野の利害関係のバランスを考慮する必要がある点とモデルの制約が今以上に厳しくなる点を解決しなければならない。よって、さらなる検討が必要である。

なお， $\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,HC}^* = \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,PC}^* = \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,EC}^* = \sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,II}^* = y_{mo} + s_m^{+*}$ ， $(m = 1, \dots, M)$ の関係があるとき， $\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,HC}^*$ ， $\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,PC}^*$ ， $\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,EC}^*$ および $\sum_{j=1}^J y_{mj} \lambda_{j,II}^*$ は， y_{mo} の最適解であり，最大化した s_m^{+*} の値により y_{mo} の最適解が決定する．

このように，都道府県 GDP の産出は，人的資本部門，物的資本部門，エネルギー部門および中間投入部門に共通に関わるものであり，生産活動において，それぞれの部門の役割のもとに，各都道府県一つの産出が観測される．

そして，温室効果ガス排出量の削減を考慮した式 (2.10) は，Shephard [26] が示す弱い処分可能性 (Weak disposability of output) の仮説を設定している．

3. 実証分析

3.1. データ

分析に使用するデータは次のとおりである．

人的資本部門への投入データは，総務省 (2013a)⁹ 統計局の「就業構造基本調査，男女，年齢，就業状態，教育，求職活動の有無別 15 歳以上人口」の都道府県別・学歴別・性別有業者と総務省 (2013b)¹⁰ 統計局の「賃金構造基本統計調査 年齢階級別きまって支給する現金給与額，所定内給与額及び年間賞与その他特別給与額 (産業計・産業別)」の学歴別・年齢別・性別賃金を活用し深尾・岳 [7] が示している人的資本指数を新たに延長して推計する．これは，各都道府県の労働者の学歴別・性別等の諸要素が生産活動にもたらす格差を考慮するために作成する．深尾・岳 [7] の先行研究にならって，人的資本は，各年の就業者数に同じ年の人的資本指数を乗じたものとする．

次に，物的資本は民間資本ストックと社会資本ストックを合計したものとする．

民間資本ストックは，企業が日々の生産活動において必要とし長期にわたって保有する施設・設備などの有形固定資産と無形固定資産を金額で示したものであり，内閣府 (2011)¹¹ の「都道府県別民間資本ストック」のデータを活用する．これによると，有形固定資産については，産業 10 分類 (農林水産業，鉱業，建設業，製造業，卸・小売業，金融・保険業，不動産業，運輸・通信業，電気・ガス・水道業，サービス業) と，特に製造業については，中分類 (食料品，繊維，パルプ・紙，化学，石油・石炭製品，窯業・土石製品，一次金属，金属製品，一般機械，電気機械，輸送機械，精密機械，その他製造品) まで細分化され推計されている。「都道府県別民間資本ストック」は内閣府 (2011) により 2000 暦年で実質化されていたため，内閣府 (2014)¹² の「統計情報調査結果 国民経済計算 統計データ 統計表 統計表一覧」にあるデフレータのうち民間企業設備を活用して 2005 暦年に実質化した．

社会資本ストックは，内閣府 (2012b)¹³ の『日本の社会資本 2012』によると，道路・港湾などのように整備された社会資本を示す．私たちの日々の生活と企業の生産活動を支える

⁹総務省 (2013a) 「就業構造基本調査，男女，年齢，就業状態，教育，求職活動の有無別 15 歳以上人口」，総務省統計局．

¹⁰総務省 (2013b) 「賃金構造基本統計調査 年齢階級別きまって支給する現金給与額，所定内給与額及び年間賞与その他特別給与額 (産業計・産業別)」，総務省統計局．

¹¹内閣府 (2011) 「都道府県別民間資本ストック (平成 12 暦年価格，国民経済計算ベース平成 23 年 3 月時点)」，内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部．

¹²内閣府 (2014) 「統計情報調査結果 国民経済計算 統計データ 統計表 統計表一覧，暦年デフレータ，民間企業設備」，内閣府景気統計部．

¹³内閣府 (2012b) 『日本の社会資本 2012』，内閣府政策統括官 (経済社会システム担当) ．

ものであり、生活と生産活動の基盤となる資本である。内閣府(2012b)の『日本の社会資本2012』のデータをこのモデルの社会資本ストックとする。公的機関(一般政府及び公的企業)により整備される社会資本のうち、主要17部門(道路、港湾、空港、鉄道、公共賃貸住宅、下水道、廃棄物処理、水道、都市公園、文教施設、治水、治山、海岸、農林漁業、郵便、国有林、工業用水道)を推計の対象としている。社会資本ストックは住民の生活や経済活動に必要な公共物であり、その蓄積された整備量を示す。社会資本ストックは内閣府政策統括官により2005暦年に実質化されているものを活用する。

内閣府(2012a)¹⁴の「県民経済計算」によると、総固定資本形成は、民間法人や公的企業が当期に新規に購入した有形や無形の固定資産であると定義されている。そのうち、民間固定資本形成は、この定義に基づく民間部門の固定資本形成を表している。よって民間固定資本形成は民間資本部門に当期新たに投入される要素である。そして、社会資本部門に当期に投入される公的固定資本形成は、内閣府(2012a)の「県民経済計算」によると、総固定資本形成のうち公的企業および政府といった公的部門の固定資本形成を表しているとし、当期に新たに投入される要素である。民間資本ストックと社会資本ストックは、毎期の固定資本形成によって充実し整備される。私たちの日々の生活と企業の生産活動を支えるものであり、生活と生産活動の基盤となる資本である。

民間資本ストックと社会資本ストックは純資本ストックの統計量を用いる。これは、粗資本ストックから各資本の供用年数の経過を考慮し減価(物理的減耗、陳腐化等による価値の減少)を控除した残存価値である。民間資本でいうと市場価値に相当する統計量である。本稿のモデルは除却や減価償却費をあらかじめ考慮し、総固定資本形成が資本ストックに永久に積み上げられないように推計する。

エネルギー消費は、経済産業省資源エネルギー庁(2013)¹⁵の2011年度都道府県別エネルギー消費統計の最終エネルギー消費量(TJ)を用いる。この値は産業部門(製造業・非製造業)、民生部門(家庭・業務)及び運輸旅客部門などの各部門で実際に消費されたエネルギー需給量を47都道府県別に推計している。

中間投入は、生産の過程で原材料費・光熱費・間接費等として投入される財貨及びサービスであり、内閣府(2016)¹⁶「県民経済計算」「経済活動別県内総生産および要素所得(名目)」を2005年基準でデフレートしたものをを用いる。

都道府県GDPは、各都道府県の「県内総生産」である。各都道府県内で生み出された生産物・サービスの金額の総和であり、都道府県内の経済活動によって新たに生産された付加価値の総額である。内閣府(2013)¹⁷の「県内総生産(生産側、実質)」を本稿の都道府県GDPとする。都道府県GDPは内閣府により2005暦年に実質化されているものを活用する。

環境省地球環境局地球温暖化対策課・経済産業省産業技術環境局環境経済室(2012)によると温室効果ガス排出量は、2006年に「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」が導入され、温室効果ガスの排出者自らが排出量を算定し可視化することになった。これは地球温暖化対策のための取り組みを促進することを目的としている。そして、温室効果ガス排出量について事業者別、業種別及び都道府県別に集計し取りまとめている。2009年の報告事業所数は特定排出者(国や地方公共団体を含む)の11,358事業所と特定輸送排出者1,382事業者で実排出量の合計は6億435万 tCO_2 である。特定排出者は、全ての事業所の原油エネ

¹⁴内閣府(2012a)「県民経済計算」、内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部。

¹⁵経済産業省(2013)「都道府県別エネルギー消費統計」、資源エネルギー庁。

¹⁶内閣府(2016)「県民経済計算」。

¹⁷内閣府(2013)「県内総生産(生産側、実質)」、内閣府統計局。

ルギー使用量の合計が 1,500kl/年以上となる事業者と全ての事業所の排出量が CO_2 換算で 3,000t 以上となりかつ常時使用する従業員が 21 人以上の事業者である。 CO_2 排出量は、都道府県別に算定されたエネルギー起源 CO_2 排出量と非エネルギー起源 CO_2 排出量を合わせた排出量である。 2009 年の内訳はエネルギー起源 CO_2 排出量が 88.4%であり、農業や半導体製造などの事業者を含む全ての事業者のうち CO_2 排出量が多いのは燃料の燃焼や電気又は熱の使用に伴うものである。

これらのデータセットが公表されている期間は表 1 のとおりである。そのため、本稿のモデルを活用して推計する期間は 2006 年から 2009 年までとする。

表 1: 各データの公表年

データ名	期間	出所
人的資本 (就業者数 × 人的資本指数)	2001 年 ~ 2009 年	総務省 (2013a) , 総務省 (2013b) をもとに著者推計
総固定資本形成	2001 年 ~ 2011 年	内閣府 (2012a)
最終エネルギー消費	1990 年 ~ 2011 年	経済産業省 (2013)
中間投入	1996 年 ~ 2009 年	内閣府 (2016)
都道府県 GDP	2001 年 ~ 2011 年	内閣府 (2013)
温室効果ガス排出量	2006 年 ~ 2011 年	環境省・経済産業省 (2014)
民間資本ストック	1970 年 ~ 2009 年	内閣府 (2011)
社会資本ストック	1953 年 ~ 2009 年	内閣府 (2012b)

3.2. 都道府県の全体効率値

本稿のモデルで使用する第 3.1 節で示したデータの基本統計量は表 2 のとおりである。

人的資本、総固定資本形成、最終エネルギー消費量、中間投入、都道府県 GDP は、東京都・大阪府・愛知県のように都市圏に位置する都道府県や政令指定都市がある都道府県の値が多い傾向にある。温室効果ガス排出量は主たる事業が「製造業」の事業所からの排出量が多く、千葉県、愛知県、広島県のように工場・事業場の所在地が多い都道府県の排出量が多い。物的資本ストックの内訳をみると、東京都や北海道は社会資本ストックの額が多い。これは、東京都が日本国の首都として重点的に整備されてきたこと、北海道は面積が大きく交通ネットワーク充実のために道路整備を重点目標としてきたことによる。民間資本ストックのうち製造業の額は東京都、愛知県、神奈川県が大きく、非製造業の額は東京都、大阪府の値が多い傾向にある。

これらの投入要素、生産物、排出物、繰越財を用いて推計し、都道府県の効率値を求めた。各都道府県の効率値の推計結果は表 3 のとおりである。

表 2: 基本統計量

期	基本統計量	人的資本	総固定資本形成 (100万円)	最終エネルギー消費 (TJ)	中間投入 (100万円)	温室効果ガス算定排出量 (tCO ₂)	都道府県GDP (100万円)	前期物的資本ストック (100万円)	当期物的資本ストック (100万円)
2006	平均	1,518,778	2,343,922	378,687	10,135,145	11,394,238	11,425,321	31,445,381	31,721,117
	標準偏差	1,784,048	2,590,972	329,202	12,537,951	12,114,019	15,581,196	23,992,095	24,472,426
	最大値	10,922,725	15,035,113	1,361,651	72,991,791	50,243,363	99,152,710	152,274,094	155,783,075
	最小値	335,973	506,264	82,362	1,704,738	1,048,290	2,189,739	13,830,572	13,905,438
2007	平均	1,594,230	2,273,621	389,766	10,342,186	13,070,015	11,588,971	31,721,117	31,968,306
	標準偏差	1,920,465	2,511,857	339,057	12,749,484	14,185,793	15,774,189	24,472,426	24,926,152
	最大値	11,818,594	14,485,519	1,403,564	73,796,842	56,225,385	100,061,637	155,783,075	159,045,537
	最小値	344,775	455,478	83,338	1,687,155	980,208	2,160,115	13,905,438	13,934,699
2008	平均	1,657,262	2,116,681	369,016	9,766,740	12,308,667	11,280,426	31,968,306	31,800,007
	標準偏差	2,064,125	2,349,193	321,580	12,013,213	13,077,717	15,364,942	24,926,152	24,790,722
	最大値	12,797,412	13,606,818	1,353,398	70,436,103	52,135,428	97,840,393	159,045,537	158,373,044
	最小値	351,277	429,781	78,797	1,575,931	903,086	2,092,722	13,934,699	13,879,239
2009	平均	1,726,917	2,007,843	360,590	8,780,542	9,664,048	10,813,422	31,800,007	31,862,335
	標準偏差	2,191,712	2,257,271	309,211	10,870,931	10,892,126	14,688,356	24,790,722	24,957,689
	最大値	13,628,005	13,494,148	1,280,267	64,665,460	43,892,470	93,842,542	158,373,044	159,618,978
	最小値	365,369	425,920	76,803	1,463,117	625,577	2,027,794	13,879,239	13,871,527

温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産効率値 (2006 年から 2009 年まで) によると、すべての年で効率値が 1 となる都道府県は存在しなかったものの業務部門が集中しエネルギー集約度が小さい東京都や温室効果ガスを排出する製造業が少ない奈良県や京都府の効率値が大きかった。そして、三重県・大分県・広島県・山口県・岡山県・茨城県は効率値が小さい都道府県であった。これらの都道府県は、化学・化学繊維・紙パルプ・鉄鋼・金属製品・非金属鉱物製品・セメント・セラミックスのようなエネルギー集約型企业が多く存在している。これらの企業が多く存在する都道府県は温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産効率性の評価においては効率値が小さいことが認められた。

本稿モデルの推計結果 (表 3) は温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産効率性の推計結果であるものの、都道府県のエネルギー効率性を論議している Otsuka et al. [21] とほぼ同様な都道府県順位の推計結果を得た。

4. 都道府県の生産効率性をもたらす要因

第 2 節で都道府県の生産構造をモデル化し、全体効率値の推計手法を示した。第 3 節では全体効率値 (表 3) を推計した。本節では、温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産効率性をもたらす要因を探る。全体効率値の決定要因を見出すために、ブートストラップ法を用いた重回帰分析を行う。ブートストラップ法を適用する理由は、統計的な基盤に基づいて効率値の信頼性を高めることにある。

地域経済の生産効率を高める要因として、集積の経済との関係性を考察する。Otsuka et al. [22] が示しているように、集積の経済が本研究の全体効率性に影響をもたらす要因である可能性がある。集積度が大きいことが優れた人的資本の供給のしやすさとともに物流の移動が円滑に行われる要因であり、さらに生産物の消費の貢献につながる可能性があるためである。

集積の経済について、森川 [17] はサービス業の生産性を研究し、大都市圏にある企業の生産性は 20% ~ 50% 程度大きく、企業がある地域の人口密度が 2 倍だった場合、企業の生産性は 10% ~ 20% 大きいとしている。Otsuka et al. [24] は、エネルギー効率性と集積の経済に深い関係性があることを明らかにしている。さらに、Otsuka et al. [22] は、都道府県の製造業と非製造業の生産性は集積の経済がプラスの影響をもたらすことを述べている。2006 年から 2009 年までの可住地域人口密度 (DEN) は、総務省 (2014)¹⁸ 統計局の国勢調査に基づく「日本の長期統計系列」の「人口世帯」と国土交通省 (2014)¹⁹ の「都道府県別可住地面積」による人口と各都道府県の可住面積をもとに作成した。

次に、市場アクセスについて、Otsuka et al. [22] は、自動車の移動時間と都道府県の生産市場の大きさに基づいて、市場アクセス指数を示している。市場アクセス指数 (ACC) は次の式 (4.1) にて推計を行う。

$$ACC_j \equiv \sum_{k \neq j} \left[\left(\frac{d_{jk}^{-1}}{\sum_{k \neq j} d_{jk}^{-1}} \right) \times GRP_k \right] \quad (4.1)$$

企業が、他地域市場へのアクセスが良好な地域に立地しているならば、企業は他域外の市場から投入要素や中間生産物をより効率的に調達できると予想される。 d_{jk} は、地域 j から地域 k まで経済的に結びつく距離である。域内総生産 GRP_k は、地域市場で産出される付

¹⁸総務省 (2014) 「日本の長期統計系列」, 総務省統計局。

¹⁹国土交通省 (2014) 「可住地面積」。

表 3: 温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産効率値

都道府県	2006年	2007年	2008年	2009年
北海道	0.580	0.585	0.587	0.559
青森県	0.573	0.545	0.542	0.546
岩手県	0.544	0.545	0.559	0.542
宮城県	0.549	0.549	0.576	0.598
秋田県	0.577	0.571	0.592	0.600
山形県	0.549	0.558	0.579	0.560
福島県	0.534	0.511	0.513	0.525
茨城県	0.424	0.431	0.437	0.425
栃木県	0.511	0.504	0.565	0.553
群馬県	0.519	0.520	0.530	0.521
埼玉県	0.554	0.564	0.576	0.584
千葉県	0.441	0.434	0.456	0.476
東京都	0.979	0.981	0.985	0.974
神奈川県	0.593	0.585	0.590	0.596
新潟県	0.562	0.566	0.569	0.590
富山県	0.515	0.501	0.522	0.489
石川県	0.622	0.613	0.646	0.621
福井県	0.569	0.574	0.585	0.568
山梨県	0.574	0.580	0.620	0.644
長野県	0.590	0.579	0.618	0.658
岐阜県	0.526	0.518	0.547	0.550
静岡県	0.534	0.527	0.542	0.550
愛知県	0.447	0.447	0.525	0.450
三重県	0.370	0.380	0.401	0.393
滋賀県	0.495	0.507	0.509	0.536
京都府	0.674	0.658	0.688	0.686
大阪府	0.642	0.649	0.675	0.661
兵庫県	0.443	0.438	0.444	0.434
奈良県	0.647	0.679	0.705	0.675
和歌山県	0.511	0.437	0.456	0.440
鳥取県	0.591	0.590	0.631	0.574
島根県	0.552	0.533	0.599	0.555
岡山県	0.445	0.424	0.423	0.416
広島県	0.392	0.373	0.411	0.399
山口県	0.407	0.393	0.412	0.420
徳島県	0.534	0.525	0.548	0.548
香川県	0.550	0.534	0.541	0.549
愛媛県	0.459	0.428	0.433	0.449
高知県	0.551	0.543	0.553	0.508
福岡県	0.530	0.528	0.529	0.544
佐賀県	0.577	0.572	0.568	0.547
長崎県	0.629	0.623	0.639	0.605
熊本県	0.560	0.572	0.580	0.575
大分県	0.400	0.380	0.377	0.389
宮崎県	0.535	0.562	0.586	0.561
鹿児島県	0.642	0.664	0.669	0.644
沖縄県	0.589	0.596	0.649	0.568

加価値額であり、その市場の経済力を表す。この指標の特徴は、市場アクセスの状況が市場の経済力と、市場にアクセスするための経済的に結びつく距離を考慮する点にある。Otsuka et al. [22] は、経済的に結びつく距離を（一財）電力中央研究所が所有する自動車を利用した場合の最短移動時間距離（トラベルコスト）を利用している。

しかし、本稿では、 d_{jk} に国土交通省 (2013)²⁰ が「国土交通省の全国貨物純流動調査集計表」で公表している「都道府県間物流時間」の全ての代表輸送機関（鉄道、自家用トラック、営業用トラック、船舶、航空、その他）の移動時間を活用した。ただし、国土交通省の調査が、2000年2005年2010年と5年毎であるため、今回の推計のために2005年と2010年の各値から2006年から2009年までの値を線形補完した。

GRP_k は内閣府 (2013) の「県内総生産（生産側，実質）」を都道府県 GDP とし、2005 暦年を基準として実質化している。

各都道府県は産業構造に特徴があり、都道府県の産業構造による全体効率値への影響が考えられる。全国の都道府県は、おおむね全産業の生産額に対する第3次産業の生産額の比率が高い傾向にある。その次に第2次産業の生産額の比率が高い（表4）。よって、温室効果ガス排出量を考慮した都道府県の生産効率性と各都道府県の全産業の生産額に対する第3次産業の生産額の割合 SER (Service industry relative to GDP) の関係性を確かめたい。

表 4: 各都道府県の産業別生産額の割合 (2009 年)

産業	最大	最小	平均
第1次産業	4.9%	0.1%	1.8%
第2次産業	42.9%	12.3%	25.7%
第3次産業	87.7%	56.4%	72.4%

出典：内閣府 (2013) 「経済活動別県内総生産（生産側，実質）」
内閣府統計局のデータを活用し著者が推計し作成した

表3の全体効率値の推計値 $\rho_{overall}^*$ を被説明変数とし、説明変数には DEN , ACC , および SER を用いる。 DEN は各都道府県の可住地域人口密度であり、都道府県人口を可住面積で割って求めた。単位は、人/平方キロメートルである。 ACC は各都道府県の市場アクセス指数であり都道府県間物流時間と都道府県 GDP を用いて求めた。単位は100万円である。 SER は各都道府県の全産業に対する第3次産業の生産額の割合である。 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ は、推計のためのパラメータである。

これらのデータを自然対数へ変換し、式 (4.2) のように推計を試みる。

$$\ln \rho_{overall}^* = \alpha_0 + \alpha_1 \ln DEN + \alpha_2 \ln ACC + \alpha_3 \ln SER + \varepsilon \quad (4.2)$$

この推計結果（表5）から、可住地域人口密度は1%水準で正の有意性、市場アクセス指数は5%水準で正の有意性、第3次産業の生産額割合は1%水準で正の有意性がそれぞれ認められた。

そして、人口密度が1%増えると都道府県生産効率性が約0.01%上昇すること、市場アクセス度が1%増えると都道府県の生産効率性が約0.09%上昇することが認められた。そして、全産業に対する第3次産業の生産額の割合が1%上昇すると都道府県生産効率性が0.31%上昇することが認められた。

²⁰国土交通省 (2013) 「国土交通省の全国貨物純流動調査集計表」, 国土交通省総合政策局。

表 5: Bootstrap Regression Results(可住地域人口密度，市場アクセス指数および各都道府県の全産業に対する第 3 次産業生産額の割合)

	Coefficient		Standard Error	Z	Prob. z > Z*	95% Confidence Interval	
α_0	-0.10730	***	0.01275	-8.42	0.0000	-0.13229	-0.08232
DEN	0.01349	***	0.00494	2.73	0.0063	0.00381	0.02316
ACC	0.08730	**	0.03408	2.56	0.0104	0.02050	0.15409
SER	0.31026	***	0.03548	8.74	0.0000	0.24071	0.37981

Legend: ***, **, * indicates significance at 1%, 5%, and 10% level
 推計には Nlogit5(Ver.5)(Econometric Software 社)を使用した

Otsuka et al. [22] は，その推計の中で温室効果ガス等の望ましくない排出物は考慮していないものの集積の経済が都道府県の生産性を高める要因であることを述べている．本稿は，彼らの論議を追認する推計結果を得た．

次に，Nakano et al. [19] と Honma et al. [13] を参考に，温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産効率性と各都道府県のエネルギー消費量との関係性を考えたい．経済産業省 (2013)²¹ の資源エネルギー庁が公表している都道府県別の製造業のエネルギー消費量と非製造業のエネルギー消費量をもとに，最終エネルギー消費量における製造業のエネルギー消費量の割合を ECM (Energy consumption of the manufacturing sector)，最終エネルギー消費量における非製造業のエネルギー消費量の割合を ECN (Energy consumption of the non-manufacturing sector) とし，それぞれ説明変数とする．Nakano et al. [19]²² や Honma et al. [13]²³ が，エネルギー集約型産業の多くはエネルギー活用が非効率であることを指摘しているように，都道府県の生産性を高めるためには，効率的なエネルギーの活用が望まれる．

表 3 の全体効率値の推計値 $\rho_{overall}^*$ を被説明変数，各都道府県のエネルギー集約型産業を多く含む製造業のエネルギー消費量の割合を ECM ，エネルギー集約度が低い産業が多い非製造業のエネルギー消費量の割合を ECN とし，ブートストラップ法を用いた重回帰分析を行う． $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ は，推計のためのパラメータである．

これらのデータを自然対数へ変換し，式 (4.3) のように推計を試みる．

$$\ln \rho_{overall}^* = \alpha_0 + \alpha_1 \ln ECM + \alpha_2 \ln ECN + \varepsilon \quad (4.3)$$

この推計結果 (表 6) によると，製造業のエネルギー消費量の割合は 1%水準で負の有意性が認められた．製造業のエネルギー消費量の割合が 1%減増えると都道府県の生産効率性が 0.12%減少することが認められた．

エネルギー集約型産業を多く含む製造業のエネルギー消費量を抑制することが望ましいとなった点は，Nakano et al. [19] と Honma et al. [13] の研究を追認する結果を得た．

²¹ 経済産業省 (2013) 「平成 25 年度エネルギー環境総合戦略調査 (エネルギー消費量， CO_2 排出量の地域分割に関する調査研究)」，経済産業省資源エネルギー庁・独立行政法人経済産業研究所．

²² Nakano et al. [19] p.714 は，紙パルプ・化学・非金属鉱物製品・一次金属をエネルギー集約型産業と定義している．

²³ Honma et al. [13] p.825 は，化学・セラミックス・鉄鋼・金属製品・紙パルプをエネルギー集約型産業と定義している．

表 6: Bootstrap Regression Results(製造業と非製造業のエネルギー消費量の割合)

	Coefficient		Standard Error	Z	Prob. z > Z*	95% Confidence Interval	
α_0	0.22235	***	0.02405	9.25	0.0000	0.17522	0.26948
ECM	-0.11694	***	0.00581	-20.12	0.0000	-0.12833	-0.10555
ECN	0.00051		0.00342	0.15	0.8812	-0.00619	0.00721

Legend: ***, **, * indicates significance at 1%, 5%, and 10% level
推計には Nlogit5(Ver.5)(Econometric Software 社) を使用した

5. まとめ

都道府県の生産活動において副産物として産出される温室効果ガス排出量を抑制することを考慮しつつ、生産物である都道府県 GDP の向上を目指すモデルを作成し生産効率性を評価することができた。このモデルの特徴は、一つ目に人的資本部門、物的資本部門、エネルギー部門および中間投入部門を都道府県の生産活動に関わる内部部門として都道府県の生産構造を構成している点と、二つ目に各部門の技術を協同で活用することによって都道府県 GDP の生産量と温室効果ガスの排出量がもたらされることを明示したモデルとなっている点である。このモデルを活用し、都道府県の温室効果ガス排出量の抑制を考慮しつつ都道府県 GDP を向上させる生産効率性を評価した。そして、各都道府県の生産効率性をもたらす要因を探った。

本稿の実証分析によると、都道府県の温室効果ガス排出量の抑制を考慮しつつ都道府県 GDP の向上を目指す生産効率性の改善に寄与する要因として、各都道府県の可住地域人口密度および市場アクセスで表した集積の経済がプラスの効果をもたらす政策上の意義が認められると同時に各都道府県で全産業に対する第3次産業の生産額の割合を大きくすることが考慮すべき政策であることを示唆している。

また、各都道府県の製造業のエネルギー消費量の割合が増加すると温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産効率性が減少することが確認された。

さて、今後の課題として、本稿で考慮しなかった望ましくない財を考慮に入れた都道府県の生産効率性を求めることが考えられる。また、本稿は各都道府県の産業部門を集約して分析することを通して全般的な傾向を見いだすことを前提としたため、都道府県毎の公的投資の比重や観光産業の重点度、エネルギー集約型産業を数多く有するか否かなど各都道府県の産業部門を細かく考慮しなかった。これらのデータを活用することによって、都道府県の生産効率性を高める要因を都道府県毎に見いだせる可能性がある。他方で、Fukuyama et al. [9] が示すように、FDH(Free disposable hull) 技術を活用し、評価対象の関係性から効率性を導く手法を用いた都道府県の生産性評価も考えらえる。これらは今後の研究の課題である。

謝辞

査読者の方々の的確なご指摘とご助言により、本稿の質の向上に貢献していただきました。日本 OR 学会「評価の OR」研究会の皆様には数多くのアドバイスをいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] N.K. Avkiran and H. Morita: Benchmarking firm performance from a multiple-stakeholder perspective with an application to Chinese banking. *Omega*, **38-6** (2010), 501–508.
- [2] A. Charnes, W.W. Cooper, and E. Rhodes: Measuring the efficiency of decision-marking units. *European Journal of Operational Research*, **2-6** (1978), 429–444.
- [3] W.W. Cooper, L.M. Seiford, and K. Tone: *Data Envelopment Analysis 2nd edition* (Springer, 2007).
- [4] R. Färe and S. Grosskopf: Nonparametric productivity analysis with undesirable outputs: comment. *American Journal of Agricultural Economics*, **85** (2003), 1070–1074.
- [5] R. Färe and S. Grosskopf: A comment on weak disposability in nonparametric production analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, **91** (2009), 535–538.
- [6] 藤井秀道, 馬奈木俊介, 金子慎治: 国内製造業 10 業種の CO_2 排出量を考慮した生産性分析. *社会経済研究*, **60-6** (2012), 15–23.
- [7] 深尾京司, 岳希明: 戦後日本国内における経済収束と生産要素投入 ソロー成長モデルは適用できるか. *経済研究*, **51-2** (2000), 136–151.
- [8] H. Fukuyama, A. Hashimoto, K. Tone and W.L. Weber: Does human capital or physical capital constrain output in Japanese prefectures? *Empirical Economics*, in press (2016).
- [9] H. Fukuyama, J.L. Hougaard, K. Sekitani and J. Shi: Efficiency measurement with a non-convex free disposal hull technology. *Journal of the Operational Research Society*, **67-1** (2016), 9–19.
- [10] M. Goto, A. Otsuka, and T. Sueyoshi: DEA(Data envelopment analysis) assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries. *Energy*, **66** (2014), 535–549.
- [11] 長谷川良二: CO_2 排出に関する日本 47 都道府県の地域構造要因分析. *会計検査研究*, **33** (2006), 173–187.
- [12] 長谷川良二: 改訂 RAS 法を用いた都道府県別 CO_2 排出量の推計. *産業連関*, **16-2** (2008), 42–54.
- [13] S. Honma and J.L. Hu: Total-factor energy efficiency of regions in Japan. *Energy Policy*, **36** (2008), 821–833.
- [14] T. Kuosmanen: Weak disposability in nonparametric production analysis with undesirable outputs. *American Journal of Agricultural Economics*, **87** (2005), 1077–1082.
- [15] T. Kuosmanen and V. Podinovski: Weak disposability in nonparametric production analysis: reply to Färe and Grosskopf. *American Journal of Agricultural Economics*, **91** (2009), 539–545.
- [16] 馬奈木俊介: *環境と効率の経済分析* (日本経済新聞出版社, 2013).
- [17] 森川正之: サービス業の生産性と密度の経済性-事業所データによる対個人サービス業の分析-. *経済産業研究所*, (2008).
- [18] 宗像優, 本間聡: 地方自治体の地球温暖化対策の現状と政策評価-包絡分析法 (DEA) による政令指定都市の比較研究-. *経済政策ジャーナル*, **9-2** (2012), 41–44.

- [19] M. Nakano and S. Managi: Productivity analysis with CO_2 emissions in Japan. *Pacific Economic Review*, **15-5** (2010), 708–718.
- [20] J. Nemoto and M. Goto: Measurement of dynamic efficiency in production: an application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities. *Journal of Productivity Analysis*, **19** (2003), 191–210.
- [21] A. Otsuka and M. Goto: Estimation and determinants of energy efficiency in Japanese regional economies. *Regional Science Policy & Practice*, **7-2** (2015), 89–101.
- [22] A. Otsuka, M. Goto, and T. Sueyoshi: Industrial agglomeration effects in Japan: productive efficiency, market access, and public fiscal transfer. *Papers in Regional Science*, **89-4** (2010), 819–839.
- [23] A. Otsuka, M. Goto, and T. Sueyoshi: Cost-efficiency of Japanese local governments: effects of decentralization and regional integration. *Regional Studies, Regional Science*, **1-1** (2014), 207–220.
- [24] A. Otsuka, M. Goto, and T. Sueyoshi: Energy efficiency and agglomeration economies: the case of Japanese manufacturing industries. *Regional Science Policy & Practice*, **6-2** (2014), 195–212.
- [25] 大塚章弘, 森岡隆司, 黒瀬誠: 地域経済における産業集積効果の実証分析-中国地域を対象として-. *地域経済研究*, **22** (2011), 23–39.
- [26] R.W. Shephard: *Theory of Cost and Production Functions* (Princeton University Press, 1970).
- [27] T. Sueyoshi and M. Goto: Investment strategy for sustainable society by development of regional economies and prevention of industrial pollution in Japanese manufacturing sectors. *Energy Economics*, **42** (2014), 299–312.
- [28] K. Tone: A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, **130-3** (2001), 498–509.
- [29] K. Tone and M. Tsutsui: Network DEA: a slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, **197** (2009), 243–252.
- [30] K. Tone and M. Tsutsui: Dynamic DEA: a slacks-based measure approach. *Omega*, **38** (2010), 145–156.
- [31] K. Tone and M. Tsutsui: Dynamic DEA with network structure: a slacks-based measure approach. *Omega*, **42** (2014), 124–131.

橋本敦夫

福岡女子商業高等学校

〒 811-1203 福岡県筑紫郡那珂川町片縄北 1-4-1

E-mail: munekana76@ybb.ne.jp

ABSTRACT

PREFECTURAL PRODUCTIVITY EVALUATION IN CONSIDERATION
OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Atsuo Hashimoto Hirofumi Fukuyama
Fukuoka Girls' Commercial High School *Fukuoka University*

Many manufacturing firms cause environmental problems such as greenhouse gas emissions in the process of carrying out their production activities. In evaluating the performance of prefectures, it is of great importance to consider curbing greenhouse gas emissions. The purpose of this paper is three-fold. First, we introduce an environmental dynamic-network slacks-based model that enables us to evaluate the performances of 47 Japanese prefectures. In this model, the prefectures are assumed to produce the by-product of CO_2 as well as the main good output of gross domestic product by utilizing four parallel sectors (the human capital, physical capital, energy consumption and intermediate input sectors), each of which also employs the carry-over product from the previous period and a new carry-over product to the next period. Second, we explore the factors affecting the overall efficiency using a bootstrap regression procedure. Finally, we offer some policy suggestions.