

# 地域におけるバイオ燃料生産の経済および環境の両立性評価

## ——環境効率指標による分析——

林 岳

### 要 旨

地球温暖化などの地球環境問題は最近特に喫緊の課題となっており、経済政策も環境への配慮をなくしては国民の理解が得られにくくなりつつある。バイオ燃料の導入は地球温暖化防止に貢献するのみならず地域経済に一定の経済効果をもたらすことから、環境と経済の両立に貢献する産業とみなされている。しかし、バイオ燃料の諸効果については、環境面と経済面で全く別個に評価が行われ、両側面を統合して総合的な評価を行った事例は少ない。本稿では北海道十勝地方でバイオエタノールが生産されるケースを想定し、北海道内を影響評価の対象範囲として、産業連関分析を用いて地域経済効果とCO<sub>2</sub>排出変化量を計測した。そして環境効率指標を用いて環境面への影響と経済面への影響を統合し、バイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立に貢献するものなのかを検証した。

分析の結果、十勝地方でのバイオ燃料生産はガソリンに比べCO<sub>2</sub>の排出増加を極力抑制しながらより高い地域経済効果を求めることができ、バイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立性の確保に貢献しているという結論を得た。今後バイオ燃料をより環境にやさしい製品とするためには、域内で生産されるCO<sub>2</sub>排出原単位が低い部門の原材料を多く投入する努力が必要である。

### 1. 背景と目的

2008年秋以降の世界的な景気の落ち込みで日本経済も大きな打撃を受け、特に地方の経済活動をいかに活性化するかは大きな課題となっている。このような地域経済の回復、活性化策の1つとして環境ビジネスが注目され、国内においても環境に関連したさまざまな経済対策が行われている。このような環境と経済を結びつけた政策は今後もますます増えると予想されるが、当然ながら経済政策としての経済活性化の効果と同時に環境負荷の低減が強く求められる。数年前に世界各国で急速な広がりを見せたバイオ燃料生産も、その目的は経済的な側面への効果と環境面への効果の2つが挙げられている。1つはバイオ燃料という

新たな産業の創出が地域経済に大きな影響を与え、雇用の確保や農産物の新たな需要の創出などを通じて地域経済の活性化につながることである。もう1つは、化石燃料を代替することで温室効果ガス（GHG）の排出を抑制し、地球温暖化問題の解決に貢献するというものである。このようにバイオ燃料も環境と経済を結びつけた産業であることから、政策としてもその普及促進を積極的に支援してきた。

バイオ燃料が環境および経済に与える影響がどれほどのものなのかの検証は、過去にいくつもの分析・研究が行われてきた。経済面への影響についてはプラントの経営分析や産業連関分析により評価することができ、これまで多数の評価事例が蓄積されている。また、環境面への影響として主にライフ・サイクル・アセスメント（LCA）に

よりGHG削減量や投入・産出エネルギー量などが計測されている。しかし、環境面を評価するLCAは個別のプラントでのバイオ燃料生産を評価するに留まり、新たな需要創出による他産業への経済波及効果が地域環境に及ぼす影響までは評価できないという課題が残されている。バイオ燃料の導入を環境経済政策として考える場合、それが経済活性化と環境負荷の低減を同時に達成でき環境経済政策として有効なのかどうかは、地域全体を対象としたマクロ的な視点から検証することが必要である。そのためには、マクロ経済分析のツールである産業連関分析を適用したうえで、環境効率指標により環境面への影響と経済面への影響を統合化することが有効と考えられる。環境効率指標とは、環境負荷発生量単位あたりでどのくらいの経済的価値や生産量を生み出すことができるかを評価する指標であり、この指標を用いることによって環境面への影響と経済面への影響を1つの指標により示すことができ、環境と経済の両立性を検証することができる。

以上のような背景から、本稿では北海道十勝地方でバイオエタノールが生産されるケースを想定し、北海道内を影響評価の対象範囲として、まず産業連関分析を用いてバイオ燃料の需要増に伴う地域経済への影響およびこれに伴う地域内のGHG総排出量の変化を定量的に計測する。そして算出された地域経済効果とGHG排出量をもとに、環境効率指標を用いて環境面への影響と経済面への影響を統合し、バイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立に貢献するものなのかを検証することを目的とする。

北海道十勝地方でのバイオエタノール生産を事例として取り上げる理由は以下の2点である。第1の理由として、北海道十勝地方におけるバイオエタノール生産が国内における商業実証プラントとして建設が決定した最初の事例であるためである。第2の理由としては、本稿の分析に必要な不可欠なLCAによるGHG排出量の算定が、当該事例を対象に行われていた点である(Masuda (2008))。

本稿の構成は以下の通りである。まず本節に続き、第2節でバイオ燃料の影響評価および環境効率指標の適用研究という2つの視点から既存研究

を整理し、第3節では、本分析に適用するために修正を施した北海道産業連関表の修正手順について解説する。第4節でCO<sub>2</sub>波及効果およびCO<sub>2</sub>効率を定義し、第5節で分析シナリオについて触れる。そして第6節で結果を考察し、第7節で結論をまとめる。

## 2. 既存研究の整理

本節では、バイオ燃料の影響評価および環境効率指標の適用研究という2つの視点からの既存研究のサーベイにより、本稿の特徴を明らかにする。

まず、バイオ燃料の生産に伴う環境影響や経済的な効果を個別に評価した論文は数多い。環境影響の評価研究ではLCAによる評価が中心であり、地域や原料を特定したバイオ燃料生産システムを評価したもののほか(Masuda (2008), 佐賀他(2008), Pimentel and Patzek (2005), Shapouri et al. (2002))<sup>(1)</sup>、異なるいくつかの生産システムを導入した場合の環境負荷への影響を分析した研究(Contreras et al. (2009))や、LCAの結果のばらつき要因を明らかにする研究(Cherubini et al. (2009))なども行われている。また、LCA以外の手法を用いた研究としてはCavalett (2010)が挙げられる。この論文では、ブラジルでのバイオディーゼル燃料(BDF)生産を取り上げ、エメルギー(Emergy)会計やマテリアルフロー会計を用いてCO<sub>2</sub>排出量やエネルギー収支を評価している。この結果、BDFは完全な再生可能エネルギーとは言えないこと、また原料の大豆生産に多くのエネルギーが投入されていることを明らかにしている。

一方、経済面の影響を評価している研究については、マクロ経済的な分析(Evans (1997), Urbanchuk (2009))やプラントレベルのコスト分析を行った研究(Polagye et al. (2007))などが行われている。Evans (1997)では、バイオエタノール産業は農業所得45億ドル、雇用を19万2,000人、税収入を4億5,000万ドル増加させ、連邦政府予算の支出を35億ドル削減し、貿易収支を20億ドル改善させると評価している。また、近年の研究としてUrbanchuk (2009)では、2008

年のアメリカにおけるバイオエタノール生産により 588 億ドルのGDP増加をもたらされ、41 万人分の雇用を増加させたとしている。これに加え、2008 年に行われた新たなバイオエタノールプラントの建設により 44 億ドル、5 万 6,000 人の雇用をもたらされたことを明らかにしている。

バイオ燃料からバイオマス利活用まで範囲を広げると、地域経済への影響を分析したものとして、國光・上田 (2006) や保永 (2006) などがある。國光・上田 (2006) では、タイにおける籾殻発電を事例として籾殻発電により既存の電力供給の一部が置き換えられることで地域経済にどのような変化が現れるかを産業連関分析により明らかにしている。また、保永 (2006) では、産業連関分析の手法を用いて北海道において農業有機質資源の循環利用が行われることによる効果を定量的に明らかにしている。このように、産業連関分析を適用してバイオマスの利活用の効果を定量的に把握する研究はこれまでも多数行われている。

バイオ燃料の環境面と経済面の双方を捉えた研究はあまり多くはないが、このような研究の 1 つとしてまず Nguyen and Gheewala (2008) の研究が挙げられる。この研究では、LCA をベースにタイにおけるバイオエタノール生産・流通による環境負荷削減効果を計測し、同時に環境外部費用も計算して燃料価格に上乘せし、ガソリンとバイオエタノール (E10) のコストパフォーマンスを比較している。しかしながら、この研究における環境外部費用はスウェーデンで計測された費用をスウェーデンとタイのGDP比を用いてタイの環境外部費用に変換しており、このような外部費用の計算方法には疑問が残る。もう 1 つの研究事例としては Hu et al. (2004) が挙げられる。Hu et al. (2004) はバイオ燃料のLCAをベースに経済面、環境面、エネルギー面の 3 側面を総合的に評価する指標を提示している。この研究では中国広西県において通常のガソリンを使用した車両とキャッサバ原料のE85を使用した車両を 20 万km走行させた場合を想定し、LCAによって得られたエネルギー消費および環境負荷排出量に原料生産から車両の廃棄までにかかる総費用を組み込んだ新たな指標を構築している。この研究はバイオ燃料の個別の指標を統合した新たな総合的指標を提示し

た点で先駆的な研究といえるが、指標算出の際のウェイト設定が恣意的である点、ミクロ的な費用のみが取り扱われマクロ的な費用を考慮していない点が課題として指摘できる。

最後に、環境効率指標を用いた既存研究は、ネパールの製鉄業 (Kharel and Charmondusit (2008)), オーストラリアの鉱山 (Berkel (2007)), E-コマース (Abukhader (2008)), オーストラリア・クイーンズランドの食品加工業 (Pagan and Prasad (2007)), イタリアのタイル産業 (Breedveld et al. (2007)) など数多い。その他、国や地域全体に環境効率指標を適用したマクロ的な分析を行っている研究は Jollands et al. (2004) と Seppala et al. (2005), Mickwitz et al. (2006) を挙げることができる。Jollands et al. (2004) は主成分分析を用いたニュージーランドにおける政策立案者向けの環境効率指標集計手法を提示している。この論文では、評価した 5 つの集計方法のうち 2 つの方法では 1994/95 年から 1997/98 年までの間において、ニュージーランドの包括的環境効率が改善していることが示されており、主成分分析を用いた集計手法は環境効率の集計に有効であると指摘している。Seppala et al. (2005) はフィンランドの一地方を事例に、LCA を基礎とした環境効率指標を構築、その一部の試算を行い、指標の長所・短所について論じている。また、Mickwitz et al. (2006) は、地域における環境効率指標構築の意義と課題を列挙し、地域においても環境効率指標構築のために必要な情報に不足はないものの、情報を有する者と有しない者での共有ができていない状況にあり、環境効率指標を作成する段階で多数のステークホルダーが関与するとこの情報の非対称性は効率的に低減できると指摘している。

これまで見てきたように、バイオ燃料の評価研究に関しては環境面、経済面それぞれの側面からバイオ燃料の効果を分析した論文は多数あるものの、環境効率指標などにより環境面と経済面を統合して、包括的な指標によりバイオ燃料評価を行っている研究は数少なく、特に国や地域レベルといったマクロ的な視点から分析を行った研究は著者の文献サーベイにおいては、上記で紹介した Nguyen and Gheewala (2008), Hu et al. (2004)

程度しか見あたらない。また、環境効率指標をバイオ燃料に適用した既存研究は著者のサーベイ範囲内では見られず、またバイオ燃料に限らず地域レベルに適用した事例も数は多くない。

以上のような既存研究のサーベイ結果から、本稿ではバイオ燃料生産が地域全体にどのような影響を与えるのかといったマクロ的な評価に環境効率指標を適用し、経済面と環境面での効果計測を行う。

### 3. 産業連関表の修正

#### (1) 基本構造の修正

本稿では、北海道十勝地方でバイオエタノールが生産されるケースを想定し、分析の時点で最新版であった北海道産業連関表 2003 年延長表 104 部門表（以下、北海道表）を使用して分析を進める。しかし、2003 年当時はバイオ燃料の製造は行われていなかったため、北海道表にもバイオ燃料部門は独立した部門として設定されていない。したがって、バイオ燃料部門を独立して取り扱った産業連関分析を進めるためには北海道表を修正しバイオ燃料部門を追加する必要がある。そこで、國光・上田（2006）における産業連関表の修正方法を参考にし、北海道表にバイオ燃料部門を追加し 105 部門表とする修正作業を行った。

修正に際しての仮定について、まずバイオ燃料部門で生産される生産物としては、具体的にはバイオエタノールやBDFなどがあるが、十勝地方で生産が行われるのはこのうちのバイオエタノールであり、これから作られるバイオエタノール 3%混合ガソリン（E3）は石油製品部門の生産物であるガソリンを代替することとなる。したがって、ここではバイオ燃料部門の生産物をE3のみとし、北海道内においてE3の需要が発生することでガソリン需要を代替すると仮定する<sup>(2)</sup>。前述のとおり、北海道表で基準とする 2003 年の時点ではバイオ燃料の生産は行われておらず、既

存の北海道表では 104 部門の中にバイオ燃料の生産額は含まれていない。したがって、バイオ燃料部門が石油製品部門の一部に置き換わることを想定し、既存の北海道表にバイオ燃料部門を追加する修正を加える。

北海道表にバイオ燃料部門を追加するためには、まずバイオ燃料部門の生産規模を明確にする必要がある。現在、十勝地方で行われているのは規格外小麦やてんさいを用いたバイオエタノールの生産であるが、本稿は規格外小麦のみを原料としてバイオエタノールを生産した場合を想定する。これは、産業連関表の部門分割に必要なデータをMasuda（2008）のLCAから得ており、この研究では規格外小麦を原料とするバイオエタノール生産のみを対象としているためである。Masuda（2008）から、十勝地方で発生する規格外小麦は年間およそ 2 万 4,000t で、これから生産されるバイオエタノールは 1 万 490KL、E3 に換算すると 34 万 9,668KL となり、これがガソリンを代替することになる。北海道内のガソリン販売量は 247 万 2,448KL なので、E3 はこの約 14% を占める（第 1 表）。

次に、この生産量からバイオ燃料部門の域内生産額を推計する。そのためにはE3の価格が必要となるが、これについてはE3はその97%がガソリンであり、またガソリンを代替する燃料であることなどを考えると、E3価格はガソリン価格で代替することが妥当と思われる。したがって、本分析ではE3の税抜き小売価格がガソリンの税抜き小売価格と同じと仮定し、域内生産額を算出する。

石油情報センター（online）によると、2003 年当時のレギュラーガソリンの平均小売価格は 103.4 円/L で、この価格にはガソリン税 53.8 円/L が含まれておりガソリン本体の価格は 49.6 円/L となる。2009 年 2 月から E3 はエタノール分の 3% が非課税になっており、E3 のガソリン税は E3 容積の 97% に相当するガソリン分のみ課税対象とな

第 1 表 エタノールと E3 の生産量とガソリン販売量

	数量 (KL)	データ出所
エタノール生産量	10,490	Masuda (2008)
E3 生産量	349,668	エタノール生産量より計算
北海道内ガソリン販売量	2,472,448	北海道経済産業局 (online)

る。したがってE3の税額は  $53.8 \times 0.97 = 52.186$  円/Lと計算され、E3の小売価格はE3とガソリンの課税前価格が同じ49.6円/Lとしても、ガソリン税額の違いから  $49.6 + 52.186 = 101.8$  円/Lと計算でき、本稿ではこの値をE3ガソリン税込価格と設定する。バイオ燃料部門の域内生産額はこのE3価格に生産量を乗じて求められ、その額は355億9,700万円と計算される。(第2表)

第2表 バイオ燃料部門の生産額の推計

E3単価(円/L)	101.8
E3生産量(KL)	349,668
バイオ燃料部門域内生産額(百万円)	35,597

### (2) 需要構造の設定

当然ながら、バイオ燃料部門と石油製品部門ではその需要先が異なる。これは石油製品部門の生産物には航空燃料やナフサなども含まれているため、他部門での中間需要が多いのに対し、バイオ燃料部門の生産物であるE3はガソリンスタンドでの小売りが中心となることが想定されるためである。したがって、需要先についてはもとの石油製品部門からの按分計算は現実を反映しているとは言えず、新たに需要部門の数値を設定し直す必要があるのだが、本稿では石油製品部門の需要構造をベースに以下のとおりバイオ燃料部門の需要構造を構築した。

まず、E3はすべて域内で最終需要として消費され域内における中間需要や域外への移輸出はないものとする。北海道内のガソリン消費量とE3の生産量から見ると、E3販売量はガソリン販売量の14%にとどまることから、域外への移輸出の余地はないものと推察され、移輸出が行われないという仮定は妥当と思われる。一方で、北海道内においてE3の中間需要が一切ないというのはいささか強い仮定かもしれない。しかしながら、現実のバイオエタノール生産・販売計画を見てもE3は事業者向けの販売よりもむしろガソリンスタンドにおける一般消費者向けの販売が計画されていることに鑑み、中間需要分に関してはこれまでどおりガソリンが需要されE3は最終需要のみとした。したがって、バイオ燃料部門の域内生産額  $X_e$  と最終需要合計額  $F_e$  の間には

$$X_e = F_e \quad (1)$$

が成り立つ。

家計外消費支出、民間消費支出など最終需要内の各項目への配分は石油製品部門における最終需要合計に占める各項目の比率から按分した。すなわち、 $F_{bj}$  を  $j$  項目における石油製品の最終需要、 $F_p$  を石油製品部門の最終需要合計額とすると、 $j$  項目におけるE3の最終需要  $F_{ej}$  は以下の式で表される。

$$F_{ej} = \frac{F_{bj}}{F_p} X_e \quad (2)$$

### (3) 投入構造の設定

バイオエタノールは農産物を原料に生産されることから、バイオ燃料部門の投入構造は石油製品部門と大きく異なる。例えば北海道表を見ると、石油製品部門では原油・天然ガス部門からの投入額が大きい、バイオ燃料の生産には原油・天然ガスの投入はないと考えられる。このようにバイオ燃料部門の投入構造を考える上では、実際の生産工程に投入される中間投入財を整理する必要がある。

第3表にはMasuda(2008)におけるLCAのインベントリから得られたバイオエタノール1万490KL生産する際の中間投入財とそれを金額換算した値を示している。Masuda(2008)のLCAにおいては、バイオエタノールの生産には規格外小麦、電力、重油、薬品、ガソリンの5項目のみ投入されているという仮定の下で分析を行っている。しかしながら、現実にはこれ以外にも様々な財・サービスが投入されており、それらすべてを細かく取り上げることは困難である。

そこで、ここでは第3表に掲げたバイオエタノール生産費目と石油製品部門の中間投入構造をもとに、以下のようにバイオ燃料部門の投入構造を構築した。第1に、第3表に掲げた5費目について北海道表の部門に対応させ<sup>(3)</sup>、費用額をそのまま当該部門の中間投入財投入額とした。第2に、5費目以外の投入財については、石油製品部門の投入構造をそのまま適用し投入係数によって生産額からの按分を行った。すなわち、 $a_{mi}$  を石油製品部門における  $i$  部門の投入係数とすると、バイオ燃料部門における  $i$  部門の投入額  $X_{ei}$  は以下の式で表される。

第3表 規格外小麦原料バイオエタノールの中間投入

費目	北海道表部門対応	金額 (百万円)	割合	単価	単価データ出所
小麦購入費	食用耕種農業	507.7	3.9%	20,716 円/t	十勝圏振興機構 (2005)
バイオエタノール生産電力費	電力	54.9	0.4%	11.12 円/kwh	北海道電力 (online)
バイオエタノール生産重油費	石油製品	63.5	0.5%	29.7 円/L	日本関税協会 (2004)
バイオエタノール生産薬品費	その他食料品	71.1	0.5%		Masuda (2008)
E3用ガソリン購入費	石油製品	12,406.0	94.7%	36.6 円/L	石油情報センター (online)
内生部門計		13,103.3	100.0%		
E3用ガソリン税	間接税	18,247.8		53.8 円/L	
DDG販売額	営業余剰	-150.0		20,400 円/t	十勝圏振興機構 (2005)
合計		31,201.0			

注. ガソリン単価は、北海道局 2003 年レギュラーガソリン平均卸価格 90.4 円/L からガソリン税 53.8 円/L を控除した値。

$$X_{ei} = a_{ij} \cdot X_j \quad (3)$$

第3に、バイオ燃料部門と石油製品部門の投入構造の大きな違いである原油・天然ガス部門からの投入について、バイオ燃料部門では投入額をゼロとした。また、石油製品部門では非金属鉱物部門へ副産物の販売があり、負値の投入額が計上されている。しかし、これについても、バイオ燃料部門から非金属鉱物部門への副産物投入は想定されないことから値をゼロとした。さらに、規格外小麦がバイオ燃料部門に投入されることにより、従来飼料として畜産部門へ投入されていた規格外小麦は減少する。このことによる影響を反映させるため、耕種農業部門から畜産部門への投入額をバイオ燃料部門への投入額 5 億 770 万円分だけ減少させた。

さて、バイオ燃料部門の創設によりバイオ燃料部門に中間投入を行う部門の生産額が変化してくる。このため、当該部門の生産額をバイオ燃料部門への中間投入額分だけ増加させ、それぞれの部門の中間投入額および付加価値額の増加へと按分した。このような波及効果に対してさらに中間投入額分の生産量増加が各部門に生じる。波及効果は次第に小さくなりつつも際限なく続くため、以降は域内生産額に占める各項目の比率に応じてバイオ燃料部門へ中間投入を行う部門における域内生産額の増加分を配分する調整を、波及効果による域内生産額増加が 1 億円未満になるまで繰り返した。ただし、石炭部門および原油天然ガス部門については、域内生産ではなく移輸入が増加すると仮定して調整を行った。これは域内におけるエネルギー調達には限界があり、バイオ燃料部門に

よる当該部門の需要増加分は地域外に依存せざるを得ないと考えたためである。

次に、付加価値部門の構造であるが、これについても基本的には (3) 式に基づいて石油製品部門の投入構造から計上値を推計したが、以下の2点の修正を加えた。1つは間接税項目で、第3表のとおりバイオ燃料部門の間接税額はE3用のガソリンに課税される分の 182 億 4,780 万円となるので、この値をバイオ燃料部門の間接税額として計上した。2つ目には、バイオ燃料部門から発生する副産物である発酵残渣 (Distiller's Dried Grains, DDG) については家畜飼料としての利用価値が認められており、(2) 式に基づき石油製品部門からの比率計算で求めた営業余剰の値に DDG の販売収入 1 億 5,000 万円を加えた点である。副産物収入のこのような取扱いは、産業連関表における副産物の取扱い方法のうちの一括方式をベースとしたものである<sup>(4)</sup>。一括方式は副産物がこれと競合する財の量に対してわずかな場合に適用される方法であるが、DDG と競合関係にある財を生産する飼料・有機質肥料部門の域内生産額が 213 億円であるのに対し、副産物収入は 1 億 5,000 万円と有機質肥料部門の域内生産額のわずか 0.7% であり、その額から見ても家畜飼料の生産に何ら影響を与えないという仮定も合理的と考えられることから、本稿では一括方式を採用した。

#### (4) 最終需要部門と付加価値部門の調整

このような需要と供給の修正を行った結果、付加価値部門および最終需要部門の間、すなわち産業連関表のタテ計の域内生産額 (中間投入 + 付加

価値)とヨコ計の域内生産額(域内中間需要+域内最終需要+移輸出-移輸入)で数値の不一致が発生する。これは北海道表においてこれまでになかったバイオ燃料部門が新たに追加され、さらにバイオ燃料部門に中間投入財を供給する部門でも生産額が増加するため、北海道の経済規模は拡大し域内生産額が増加するため供給側と需要側の修正が整合的に行われないことが要因にある。産業連関表は供給側と需要側での域内生産額の完全一致が必要なため、付加価値部門と最終需要部門の間において数値の調整を行う必要がある。

ここではタテ計とヨコ計の差を付加価値部門で調整した。すなわち、 $\Delta X_i$ を*i*部門におけるタテ計とヨコ計の差、 $V_{ij}$ を*i*部門の付加価値項目*j*の金額、 $V_i$ を*i*部門の粗付加価値計とすると、*i*部門の付加価値項目*j*の調整額 $\Delta X_{ij}$ は以下の式で表される。

$$\Delta X_{ij} = \Delta X_i \cdot \frac{V_{ij}}{V_i} \quad (4)$$

以上のような修正の結果、修正後の域内生産額は33兆4,979億円と修正前の域内生産額33兆4,975億円より4億円ほど増加している。これはバイオ燃料部門の発現に伴う投入・産出構造変化により、これまで移輸入に頼っていた部分が域内生産へシフトした結果である。なお、修正後の北海道表は14部門に統合の上、本稿末尾に付表1として掲げた。

#### 4. CO<sub>2</sub>波及効果とCO<sub>2</sub>効率の計測

##### (1) 分析の背景と目的

本稿では産業連関分析によりバイオ燃料生産が地域経済にもたらす地域経済効果を算出するが、地域経済効果をもたらされる部門においては財の生産量が増加するため、生産活動に伴うGHG排出量も増加する。このことから、バイオ燃料部門における生産量の増加は地域経済効果を通じた各部門への生産量増加に伴うGHG排出増加を通じて、地域全体のGHG排出量を増大させる結果をもたらすことが予想される。バイオ燃料は地球温暖化防止の手段としてその役割が期待されているため、バイオ燃料部門の創設による地域のGHG

排出の増加は最小限にとどめるべきであろう。また、Masuda (2008)でのLCAではバイオ燃料生産に伴うミクロ的なGHG削減効果を分析しているが、特に本稿ではLCAでは捉えられない地域全体でのGHG排出量変化も重要であると考えられる。以上の2つの理由から、バイオ燃料部門が地域全体のGHG排出量をどう変化させるかを把握することが重要となる。そこで本稿では、バイオ燃料生産が地域全体へもたらすGHG排出量変化を産業連関分析により計測する。なお、分析ではデータ取得の関係から対象となるGHGをCO<sub>2</sub>のみに限定し、地域経済効果によってもたらされる地域内のCO<sub>2</sub>排出量変化をCO<sub>2</sub>波及効果と呼ぶ。

分析で得られた地域経済効果とCO<sub>2</sub>波及効果の2つの効果は、バイオ燃料の効果の中でも地域経済と地域環境への影響を計測したマクロ的な視点からの効果と言える。バイオ燃料の普及導入にはより高い環境負荷削減効果とより高い地域経済効果の双方を達成することが求められるが、これらの効果を別個の手法により評価すると両者の関係を総合的に判断することができない。したがって、バイオ燃料の総合的な評価を行うためには環境面と経済面の総合的指標を構築し評価することが必要である。

そこで、本稿ではバイオ燃料の環境面と経済面の影響の双方を統合するための指標を提示し、これを用いてバイオ燃料の環境面と経済面の効果を統合し、双方を考慮したバイオ燃料の総合的評価を行う。環境面と経済面を統合した総合的指標にはさまざまなものが提案されている。例えばエコロジカル・フットプリントやグリーンGDP、エネルギー効率、環境効率指標などが挙げられる。このうち環境効率指標とは環境負荷1単位あたりの生産額、付加価値額などを計測する指標で、これを計測することで一定量の環境負荷排出によりどのくらいの生産額や付加価値、利益を得ることができるかを把握することができる。本稿ではこれらの総合的指標のうち環境効率指標を適用し、本稿の産業連関分析で得られた結果を利用できるように改良した上で、環境面と経済面の双方を考慮したバイオ燃料生産の総合的評価を行う。

(2) CO<sub>2</sub> 排出原単位

南齋他 (2002) では、産業連関表の各部門の生産額あたりCO<sub>2</sub> 排出量データが示されている。これはCO<sub>2</sub> 排出原単位と呼ばれ、生産額百万円あたりのCO<sub>2</sub> 排出量 (単位: t-CO<sub>2</sub>/百万円) で定義されている。本分析ではこのデータを用いて分析を行う。南齋他 (2002) によると、CO<sub>2</sub> 排出原単位ベクトル  $e$  は、直接CO<sub>2</sub> 排出量ベクトル  $d$ 、投入係数行列  $A$ 、輸入対角行列  $M$ 、単位行列  $I$  により以下の式で定義される。

$$e = d \{I - (I - M)A\}^{-1} \quad (5)$$

しかし当然ながら、南齋他 (2002) ではバイオ燃料部門、すなわちE3 生産に伴うCO<sub>2</sub> 排出原単位は掲載されておらず、バイオ燃料導入によるCO<sub>2</sub> 波及効果を求めるためには独自にバイオ燃料部門のCO<sub>2</sub> 排出原単位を推計する必要がある。そこで本分析ではMasuda (2008) のLCA結果をもとに、独自にバイオ燃料部門のCO<sub>2</sub> 排出原単位を推計した。

第4表には規格外小麦原料のバイオエタノール生産のLCAから得られたCO<sub>2</sub> 排出量が示されている。前述のとおり、南齋他 (2002) のCO<sub>2</sub> 排出

第4表 バイオエタノール生産に伴うCO<sub>2</sub> 排出量

(t-CO <sub>2</sub> /GJ-fuel)		
原料小麦生産	軽油	6.4
	灯油	5.5
	ガソリン	0.2
	電力	0.9
	肥料	7.8
	種苗	0.7
	農薬	1.6
原料小麦輸送	軽油	0.6
バイオエタノール製造	電力	9.1
	重油	21.3
	薬品	0.6
バイオエタノール輸送	軽油	0.0
E3 輸送	軽油	0.4
合計		54.9

出所: Masuda (2008).

注(1) 上記はCO<sub>2</sub> のみでCO<sub>2</sub> 以外のGHGは除いている。

(2) バイオエタノールはプラント内でE3 に加工されると仮定しており、バイオエタノールの輸送のためのCO<sub>2</sub> 排出量はゼロとしている。

原単位は各部門の生産活動により直接的に排出されるCO<sub>2</sub> のほか、当該部門の生産活動に投入される原材料生産に伴うCO<sub>2</sub> が計上されている。したがって、この定義に合わせるため、第4表のCO<sub>2</sub> 排出量のうち原料生産からバイオエタノール製造までのCO<sub>2</sub> 排出量を計算に導入した。さらに、本分析ではバイオ燃料部門の生産物をE3 と仮定しているため、E3 に含まれるガソリンも投入物となり、この製造にかかるCO<sub>2</sub> 排出量もバイオ燃料部門のCO<sub>2</sub> 排出量として考えなければならない。ガソリンの生産に伴うCO<sub>2</sub> 排出量は、南齋他 (2002) の石油製品部門のCO<sub>2</sub> 排出原単位を引用し、ガソリン価格にCO<sub>2</sub> 排出原単位を乗じてE3 用のガソリン生産に伴うCO<sub>2</sub> 排出量を推計する。推計の結果、バイオ燃料部門のCO<sub>2</sub> 排出原単位は2.145t-CO<sub>2</sub>/百万円となった。

(3) CO<sub>2</sub> 効率

第2節で紹介したHu et al. (2004) は、LCAから得られたデータを基礎として用いていることから、プラントレベルをベースとした環境効率を計測している。本稿では、産業連関分析の結果を用いて環境面への影響と経済面への影響をマクロ的に評価できるように環境指標を改良する。まず、環境効率は環境負荷量を分母、生産額や生産量などの駆動力を分子に置いた指標が主に用いられているが、本稿では環境負荷量としてCO<sub>2</sub> 波及効果を、分子には誘発GDP額を置くこととする。これにより、産業連関分析で得られた結果を用いることができるとともに、マクロ的視点からの環境効率指標とすることができ、プラントレベルでの効果分析ではなくマクロ的な視点からの経済効果の評価が可能となる。

以上のような改良を加えた総合指標としてCO<sub>2</sub> 効率を定義し分析に用いる。具体的には、本分析におけるCO<sub>2</sub> 効率  $CO_2\text{eff}$  はCO<sub>2</sub> 排出増加量あたりの域内誘発GDP額と定義され、CO<sub>2</sub> 波及効果を  $\Delta CO_2$ 、誘発GDP額を  $\Delta X$  として以下の式で表される。

$$CO_2\text{eff} = \frac{\Delta X}{\Delta CO_2} \quad (6)$$

すなわち、本稿におけるCO<sub>2</sub> 効率は1tのCO<sub>2</sub> 排

増加によりどのくらいの地域経済効果がもたらされるかを示す値である。

## 5. 分析シナリオ

本稿では、産業連関分析を用いてバイオ燃料の需要増加による地域経済効果を算出し、これに産業部門別のCO<sub>2</sub>排出原単位を乗じることによって地域経済効果による部門別のCO<sub>2</sub>排出量を算出する。最後にこれらの数値を分母、分子とした環境効率指標を導出し、バイオ燃料とガソリンの比較を行う。分析シナリオとしては北海道内においてE3 1万KLの追加的需要が発生した場合を想定し、これによる地域経済効果、具体的には誘発GDP額を計測することとする。また、ガソリンとの比較を行うため、ガソリンを販売した場合の誘発GDP額も同時に計測する。ただし、ガソリンとE3では発熱量が異なるため、1万KLのE3と1万KLのガソリンは等しく扱うことができない。そこで、1万KLのE3を発熱量で換算しこれと等価のガソリン量を求め、ガソリンについてはE3 1万KLと発熱量等価の量を販売した際の誘発GDP額を算出する。

第5表に示すとおり、E3 1万KLと発熱量等価のガソリンは9,904KLとなり、E3量よりもおよそ100KL少ない量になる。これはE3に含まれるエタノールの発熱量がガソリンよりも低いためである。しかしながら、両者を金額換算すると、E3には税控除があるため金額が600万円ほど低くなる。本分析ではE3で10億1,800万円分の最終需要が増加したと考え、地域経済効果として誘発GDP額を算出し、ガソリンについては10億2,400万円分の最終需要増加を想定する。

ただし、これらの最終需要が増加した際もガソリンの場合は一部が移輸入で賄われ、域内の生産

増加に結びつくのは最終需要増加のうちの一部である。本分析ではこの点を考慮した上で地域経済効果を算出する。具体的には産業連関表から石油製品部門の域内自給率を算出し、これを最終需要増加額に乗じることによって域内の石油製品部門にもたらされる生産増加額を算出し、この生産増加額から地域経済効果すなわち誘発GDP額を求める。北海道表から石油製品部門の域内自給率を計算すると33.3%となる。すなわち、域内でガソリンに10億2,400万円の最終需要増加があったとしても、域内の石油製品部門の生産増加に結びつくのはその33.3%の3億4,100万円ということである。したがって、ガソリンの地域経済効果は域内生産増加額を3億4,100万円として算出した。一方、E3については需要増加分をすべて十勝地方のバイオエタノールプラントからの供給で賄うとし、E3の域内自給率は100%として計算した。

まとめると、北海道内で1万KLの燃料需要が追加的に発生した場合、E3ではこの1万KL分、金額にして10億1,800万円分が北海道の需要増加に結びつく一方、ガソリンでは一部が移輸入で賄われるため北海道内の生産増加は3億4,100万円となり、これらの域内生産増加額をもとにE3とガソリンの地域経済効果を算出し比較を行う。そして算出された地域経済効果をもとにCO<sub>2</sub>波及効果を算出し、バイオエタノール生産の導入が地域環境へ与える影響も評価する。

## 6. 結果と考察

### (1) 計測結果の概説

地域経済効果の計測結果は第6表に示した。この表から誘発GDP額を見ると、E3を1万KL生産した場合の誘発GDP額は7億1,900万円となる一方、ガソリンを生産した場合の誘発GDP額は1億6,300万円に留まり、その差は5億5,000万円以上に達する。また、生産誘発係数で考えると、E3は1.29、ガソリンは1.16でE3のほうが高い値となっている。このことから、北海道内にもたらされる地域経済効果に関しては、ガソリンよりもE3のほうが大きいといえる。

第5表 E3とガソリンの発熱量・金額

	単位 あたり 発熱量 (GJ/KL)	数量 (KL)	総発 熱量 (GJ)	燃料 単価 (円/L)	金額 (百万円)
E3	34.3	10,000	342,704	101.8	1,018
ガソリン	34.6	9,904	342,704	103.4	1,024

出所：日本化学会(1995)、Masuda(2008)、石油情報センター(online)。

第6表 地域経済効果の計測結果

			(百万円)		
	E3	ガソリン	E3	ガソリン	
耕種農業	5.4	0.0	鉄鋼製品	0.1	0.0
畜産	0.8	0.0	非鉄金属一次製品	0.0	0.0
林業	0.0	0.0	金属製品	0.4	0.2
漁業	0.0	0.0	機械	0.2	0.1
鉱業	1.6	3.8	その他の製造品	0.6	0.2
と畜・肉・酪農品	0.0	0.0	建築	0.0	0.0
水産食料品	0.0	0.0	建設補修	1.1	0.4
その他の食料品	0.5	0.0	土木	0.0	0.0
繊維	0.0	0.0	電力・ガス・水道	3.9	2.8
製材・家具	0.1	0.0	商業	7.6	2.2
パルプ・紙	0.2	0.1	金融・保険・不動産	21.1	6.9
出版・印刷	0.7	0.2	運輸・通信・放送	18.8	5.8
化学製品	0.2	0.0	公務	0.1	0.1
バイオ燃料	582.9	0.0	公共サービス	5.8	2.0
石油製品	55.6	134.3	サービス業	11.4	4.0
石炭製品	0.0	0.0	事務用品	0.0	0.0
皮革・ゴム	0.0	0.0	分類不明	0.4	0.2
窯業・土石製品	0.1	0.0	内生部門計	719.7	163.3
			生産誘発係数	1.29	1.16

注. 生産誘発係数は粗生産額ベース（誘発粗生産額に占める直接生産増加額割合）である。  
地域経済効果は105部門で計測したが、紙幅の都合上部門統合して計上している。

第7表 CO<sub>2</sub>波及効果の計測結果

			(t-CO <sub>2</sub> )		
	E3	ガソリン	E3	ガソリン	
耕種農業	0.4	0.0	鉄鋼製品	0.7	0.2
畜産	1.0	0.0	非鉄金属一次製品	0.0	0.0
林業	0.0	0.0	金属製品	0.4	0.1
漁業	0.0	0.0	機械	0.3	0.1
鉱業	0.1	-0.2	その他の製造品	0.5	0.2
と畜・肉・酪農品	0.0	0.0	建築	0.0	0.0
水産食料品	0.0	0.0	建設補修	0.6	0.2
その他の食料品	0.3	0.0	土木	0.0	0.0
繊維	0.0	0.0	電力・ガス・水道	20.8	12.0
製材・家具	0.1	0.0	商業	2.4	0.7
パルプ・紙	0.8	0.2	金融・保険・不動産	4.1	1.3
出版・印刷	0.7	0.2	運輸・通信・放送	35.3	10.4
化学製品	0.5	0.1	公務	0.0	0.0
バイオ燃料	2,210.5	0.0	公共サービス	0.8	0.3
石油製品	9.4	1,226.1	サービス業	4.8	1.6
石炭製品	0.2	0.1	事務用品	0.2	0.1
皮革・ゴム	0.0	0.0	分類不明	0.3	0.1
窯業・土石製品	0.9	0.4	内生部門計	2,296.4	1,254.3

注. CO<sub>2</sub>波及効果は105部門で計測したが、紙幅の都合上部門統合して計上している。

次に、部門別の誘発GDP額の大きさを見る。E3の場合、バイオ燃料部門を除き誘発GDP額が最も大きいのは石油製品部門の5,600万円である。これはE3製造に投入されるガソリンの生産誘発によりもたらされる効果と考えられる。それ以外の部門では金融・保険・不動産の2,100万円、運輸・通信・放送の1,900万円、サービス業の1,100万円など第3次産業を中心に誘発GDP額が大きくなっている。また、第1次産業では耕種農業に

500万円の誘発GDP額がもたらされ、これは原料作物である規格外小麦の中間需要から得られる効果であると考えられる。一方のガソリンの場合は、自部門の石油・石炭製品部門の1億3,400万円以外に1,000万円を超える誘発GDP額がもたらされる部門はなく、金融・保険・不動産の700万円、運輸・通信・放送の600万円程度であり、第1次産業にもたらされる誘発GDP額も皆無である。このようにガソリンの生産からは北海道内にはあ

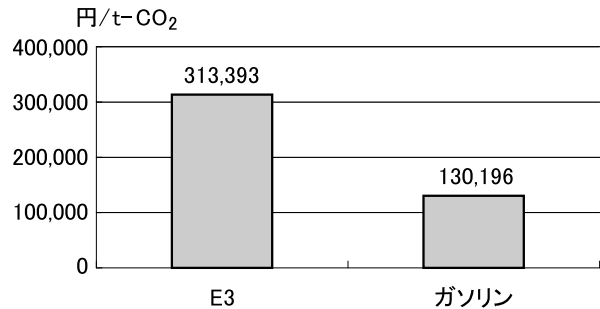
より大きな地域経済効果をもたらされないことがわかる。つまり、北海道内で発生した自動車用燃料の需要増加を満たす場合、それをE3によって賄うほうがガソリンで賄うよりも北海道経済に与える影響が大きいことが示された。

第7表に掲げたCO<sub>2</sub>波及効果の計測結果を見ると、E3の場合には合計で2,296tのCO<sub>2</sub>排出増加が北海道内にもたらされることがわかる。一方で、ガソリンの場合は1,254tとなっておりE3の半分程度に留まっている。この結果はE3よりもガソリンの方が地域内にもたらすCO<sub>2</sub>波及効果、すなわち生産活動の誘発によるCO<sub>2</sub>排出増加はガソリンの方が小さいことを示す。次に部門別のCO<sub>2</sub>波及効果を見る。ここで注意が必要なのは、(5)式のとおり定義されるCO<sub>2</sub>排出原単位を用いて計算しているため、1次CO<sub>2</sub>波及効果はすべて直接生産が生じる部門に計上されている点である。すなわち、E3の場合はバイオ燃料部門、ガソリンの場合は石油製品部門に計上されている値は全部門における1次波及効果を含むものであることに留意いただきたい。

E3の場合はバイオ燃料部門自身以外には運輸・通信・放送部門で35t、電力・ガス・水道部門で21tのCO<sub>2</sub>排出増加が見られる程度である。また、農業部門におけるCO<sub>2</sub>排出増加はほとんどない。ガソリンについても同様に石油製品部門自身における1,226tのCO<sub>2</sub>排出増加以外には電力・ガス・水道部門で12t、運輸・通信・放送部門で10tのCO<sub>2</sub>排出増加が見られ、排出増加が大きい部門はE3、ガソリンともほぼ同じである。

以上のように、E3の方がガソリンよりも地域経済効果は大きいものの、排出されるCO<sub>2</sub>もE3のほうがより増加するという結果が得られた。このような結果は地域経済効果とCO<sub>2</sub>波及効果の大きさの相対的な比較が必要となることを示している。CO<sub>2</sub>波及効果は必ずしも地域経済効果の大きさに比例するわけではない。バイオ燃料に求められるのはより大きな地域経済効果をもたらしながらCO<sub>2</sub>排出増加をできるだけ抑制できることであり、このような産業にバイオ燃料部門が該当するののかについては、本稿のこれまでの分析では明らかにすることができずCO<sub>2</sub>効率指標の算出が必要となる。

地域経済効果とCO<sub>2</sub>波及効果から求められるCO<sub>2</sub>効率は第1図に示されている。これを見ると、E3のCO<sub>2</sub>効率はE3で31万3,400円/t-CO<sub>2</sub>、ガソリンの場合で13万200円/t-CO<sub>2</sub>となっている。CO<sub>2</sub>効率は、CO<sub>2</sub>1tの排出増加により得られる誘発GDP額を示しており、E3のほうがガソリンよりもCO<sub>2</sub>排出1tあたりの誘発GDP額が2.4倍近く大きく、CO<sub>2</sub>効率が高いことが示された。



第1図 CO<sub>2</sub>効率の計測結果

## (2) 計測結果の考察

E3のほうがガソリンよりも地域経済効果、CO<sub>2</sub>波及効果ともに大きいという結果は、域内自給率の関係から域内で発生する生産増加額がE3とガソリンで異なることに起因する。北海道における石油製品の域内自給率は33.3%であり、域内の追加的燃料需要の2/3は北海道外で生産されたガソリンが移輸入されることで賄われることを意味する。したがって、北海道内において生産活動がより活発化するE3のほうが地域経済効果が高くなることは必然の結果である。さらにE3ではガソリンに比べ北海道内での地域経済効果が大きい分だけ各部門で増加するCO<sub>2</sub>排出量も多くなるのである。

次に、地域経済効果とCO<sub>2</sub>波及効果をそれぞれ分母、分子にとったCO<sub>2</sub>効率ではE3のほうがガソリンよりも高いという結果がもたらされた要因は2つ考えることができる。第1にE3とガソリンの地域経済効果とCO<sub>2</sub>波及効果が必ずしも比例的に増加しないことである。E3はCO<sub>2</sub>排出原単位の小さな部門への地域経済効果が大きく、ガソリンの場合はその逆の結果が得られている。実際、地域経済効果の大きいバイオ燃料部門と石油製品部門のCO<sub>2</sub>排出原単位はそれぞれ2,145t-CO<sub>2</sub>/百万円、3,259 t-CO<sub>2</sub>/百万円となっており、バイ

オ燃料部門のほうが小さい。第2に地域経済効果の大きさがCO<sub>2</sub>効率の向上につながっていることを指摘できる。一般的に環境効率指標では環境負荷量が同じでも経済駆動力すなわち分子の値が大きいほど効率性は向上する。E3のCO<sub>2</sub>効率の高さはその大きな地域経済効果に依存している部分が大いと考えられる。いずれにしろ、E3のCO<sub>2</sub>効率がガソリンよりも高いということは、環境効率指標を用いて環境面への影響と経済面への影響の相対的な関係からみた場合、E3のほうがガソリンよりも優位であることを示す。このことから、E3はガソリンに比べCO<sub>2</sub>の排出増加を極力抑制しながらより高い地域経済効果を求めることができ、バイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立に貢献していると言える。

上で解説した結果は北海道十勝地方におけるバイオエタノール生産を事例として導かれたものである。そのため、上記の結果を国内におけるバイオエタノール生産全般に一般化することはできないと考えられる。この理由は以下の2点である。第1に、上記の結果はバイオエタノール生産のLCA分析によるGHG排出量の計測結果を基礎としており、バイオエタノール生産におけるGHG排出量は原料に何をを用いるか、製造する燃料種はE3かETBEかなどさまざまな要因によって異なってくるためである。Masuda (2008) などバイオエタノール生産の既存研究を見ると、バイオエタノール生産の中では特に原料作物の生産と燃料自体の製造によりほとんどのGHGが排出されるという結果になっている。今回は規格外小麦原料によるバイオエタノール生産を想定したが、別の原料からバイオエタノールを生産した場合は大きく異なる結果となることが予想される。第2に、産業連関分析を用いた本稿の分析では、どの地域を対象として分析を行うかによっても結果が変わってくると思われるためである。すなわち、同じ十勝地方を事例としても、北海道表を用いるのと十勝支庁産業連関表や全国表を用いた場合では、評価対象となる地域の大きさが異なり、必然的に結果も変わってくるものが予想されるのである。

以上、分析結果および限界点をまとめたが、さらに残された課題は2点ある。第1に本分析は北海道という限定された範囲を対象としたもので

あり、今回の分析で評価した地域経済効果およびCO<sub>2</sub>波及効果は地域限定的なものである点である。上記の一般化の問題とも関連するが、本分析は北海道内に限定した影響を把握するのみで、北海道内における需要を賄うために北海道外においてもたらされるCO<sub>2</sub>排出増加は考慮されない。E3については域内自給率100%を仮定しているため、第7表で掲げたCO<sub>2</sub>排出増加量以外の域外におけるCO<sub>2</sub>排出量増加は基本的に発生しないが<sup>(5)</sup>、ガソリンの場合は追加的燃料需要の2/3を北海道外の生産で賄っており、域外において生産増加が行われCO<sub>2</sub>排出増加が引き起こされる。特にガソリンとの比較においては全国での影響評価が特に重要となる。本分析の結果を解釈する際には、この点を踏まえる必要がある<sup>(6)</sup>。第2に本稿で適用したCO<sub>2</sub>効率は効率性を評価する指標であり、環境負荷総量の抑制が達成されているかどうかを判断する指標ではない点である。CO<sub>2</sub>効率からはCO<sub>2</sub>排出量が地域として削減されているかといった視点からの評価をすることはできず、他の指標を用いて評価する必要がある<sup>(7)</sup>。

本分析は上記のような課題を抱えているものの、これらはバイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立に貢献しているという本稿の結論を覆すものではない。上記の課題については稿を改めて検討したい。

最後に、本稿における分析は、北海道十勝地方でバイオエタノールが生産された場合に、環境負荷を最小化するようなシナリオ設定を行った上で行ったものである。そのため、現在実際に十勝地方で行われているバイオエタノール生産を評価したものではない点に留意いただきたい。

## 7. おわりに

本稿では北海道十勝地方でバイオエタノールが生産されるケースを想定し、北海道内を影響評価の対象範囲として、まず産業連関分析を用いてバイオ燃料の需要増に伴う地域経済への影響およびこれに伴う地域内のCO<sub>2</sub>総排出量の変化を定量的に計測した。そして算出された地域経済効果とCO<sub>2</sub>排出量をもとに、環境効率指標を用いて環境面への影響と経済面への影響を統合し、バイオ燃

料の導入が地域における環境と経済の両立に貢献するものなのかを検証することを目的として分析を行った。

その結果、十勝地方でのバイオ燃料生産はガソリンに比べCO<sub>2</sub>の排出増加を極力抑制しながらより高い地域経済効果を求めることができ、バイオ燃料の導入が地域における環境と経済の両立性の確保に貢献しているという結論を得た。バイオ燃料が主に第1次産業の生産物を原料にしていることから、農業への地域経済効果が発生する。特に北海道は農業が地域の基幹産業となっており、農業に地域経済効果をもたらされることは、バイオ燃料の導入が地域経済の活性化に貢献するという期待に応えるものであることを示す。さらに、バイオ燃料はガソリンに比べ環境効率の向上に貢献するという環境面の優位性も有している。

しかし一方で、E3の地域経済効果もそのほとんどがバイオ燃料部門自らと石油製品部門への地域経済効果であり、地域産業全般に広く効果が波及するには至っていない。地域経済にいかにか大きな経済効果をもたらすかを考えた際のバイオ燃料部門の今後の課題としては、域内で生産される原材料をいかに多く中間投入し域外から移輸入される中間投入財を削減するか、さらにはバイオ燃料部門自体の影響力を大きくするかという点が重要になろう。またその際、バイオ燃料をより環境にやさしい製品とするためには、域内で生産される原材料の中でもGHG排出の少ない部門の生産物をより多く使用する努力が必要である。そうすることで、バイオ燃料の導入により地域全体が持続可能な方向へ向かっていくと考えられる。

注(1) LCAを用いたバイオ燃料の環境評価に関する研究事例はVon Blotnitz and Curran (2007) やKendall and Chang (2009) にまとめられている。

(2) 本稿では北海道十勝地方でバイオエタノールが生産された場合に、環境負荷を最小化するようなシナリオ設定を行っているため、バイオエタノール生産・流通における仮定は、現在実際に十勝地方で行われている生産・流通方式とは異なっている。例えば、本稿ではE3として道内に供給すると仮定しているが、実際には十勝地方で生産されたバイオエタノールは本州へ輸送されエチル・ターシャリー・ブチル・エーテル (ETBE) に転換され供給されている。

(3) その他食料品部門からバイオエタノール生産への投

入とは具体的には薬品を指す。バイオエタノール生産に使われる薬品の多くは発酵に用いられる酵母菌などであり、これらの製品の生産額は産業連関表においてはその他食料品部門に計上されている。

- (4) 産業連関表における副産物の取り扱い方法には本分析で採用した一括方式のほか、分離方式、トランスファー方式、マイナス方式(ストーン方式)、分離方式、表章方式などがある。これらの方法の詳細については、総務省(2004)を参照のこと。
- (5) E3の域内自給率が100%であっても、その生産に移輸入財が投入される場合には域外でのCO<sub>2</sub>排出増加も生じるが、本分析ではそれは考慮していない。
- (6) この問題を解決するには移輸入財の生産による環境負荷を計算に入れる方法が考えられる。エコロジカル・フットプリントでは環境負荷排出の起因となる主体に帰属させる方法が採用されている。エコロジカル・フットプリントの詳細はワケナゲル他(2004)を参照のこと。
- (7) この点は山本(2008)41頁でも指摘されている。

## 〔引用文献〕

- Abukhader, S., (2008) "Eco-efficiency in the Era of Electric Commerce – Should 'Eco-Effectiveness' Approach Be Adapted?" *Journal of Cleaner Production* 16 (7), pp.764-771.
- Berkel, R., (2007) "Eco-Efficiency in the Australian Minerals Processing Sector" *Journal of Cleaner Production* 15 (8-9), pp.772-781.
- Breedveld, L., Timellini, G., Casoni, G., Fregni, A. and Busani, G., (2007) "Eco-efficiency of Fabric Filters in the Italian Ceramic Tile Industry" *Journal of Cleaner Production* 15 (1), pp.86-93.
- Cavalett, O., and Ortega, E., (2010) "Integrated Environmental Assessment of Biodiesel Production from Soybean in Brazil" *Journal of Cleaner Production* 18 (1), pp.55-70.
- Cherubini, F., Brid, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B. and Woess-Gallasch, S., (2009) "Energy- and Greenhouse Gas-based LCA of Biofuel and Bioenergy Systems: Key issues, Ranges and Recommendations" *Resource Conservation and Recycling* 53 (8), pp.434-447.
- Contreras, A. M., Rosa, E., Perez, M., Langenhove, H. V. and Dewulf, J., (2009) "Comparative Life Cycle Assessment of Four Alternatives for Using

- By-products of Cane Sugar Production” *Journal of Cleaner Production* 17 (8), pp.772-779.
- Evans, M., (1997) “The Impact of the Demand for Ethanol” *RFA Reports and Studies*, Renewable Fuels Association.
- 北海道電力 (online)「北海道電力ホームページ」  
<http://www.hepco.co.jp/> (2010年7月29日アクセス)
- 北海道経済産業局 (online)「北海道経済産業局 資源・エネルギーホームページ」  
[http://www.hkd.meti.go.jp/information/sigen\\_energy/index.htm](http://www.hkd.meti.go.jp/information/sigen_energy/index.htm)(2010年7月29日アクセス)
- Hu, Z., Pu G., Fang F. and Wang C., (2004) “Economics, Environment, and Energy Life Cycle Assessment of Automobiles Fueled by Bioethanol Blends in China” *Renewable Energy* 29 (14), pp.2183-2192.
- Jollands N., Letmit J. and Patterson M., (2004) “Aggregate Eco-efficiency Indices for New Zealand – A Principal Components Analysis” *Journal of Environmental Management* 73 (4), pp.293-305.
- Kendall, A., and Chang, B., (2009) “Estimating Life Cycle Greenhouse Gas Emission from Corn-ethanol: A Critical Review of Current U.S. Practices” *Journal of Cleaner Production* 17(13), pp.1175-1182.
- Kharel, G. and Charmondusit, K. (2008) “Eco-Efficiency Evaluation of the Iron Rod Industry in Nepal” *Journal of Cleaner Production* 16 (13), pp.1379-1387.
- 國光洋二, 上田達己 (2006)「籾殻発電導入の経済的効果に関する分析－タイを対象とした産業連関分析の適用－」『地域学研究』第36巻第3号, 561-573頁。
- Masuda, K. (2008) “Does Bio-fuel Production in Japan Have Environmental Advantages?: Evaluating Bio-ethanol Production from Substandard Wheat in Hokkaido” 『農業経営研究』46 (1), 138-143 頁。
- Mickwitz, P., Melanen, M., Rosenstrom, U. and Seppala, J., (2006) “Regional Eco-efficiency Indicators – A Participatory Approach” *Journal of Cleaner Production* 14 (18), pp.1603-1611.
- 南齋規介, 森口祐一, 東野達 (2002)『産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) —LCAのインベントリデータとして—』, 国立環境研究所地球環境研究センター。
- Nguyen, T. L. and Gheewala, S. H., (2008) “Fossil Energy, Environmental and Cost Performance of Ethanol in Thailand” *Journal of Cleaner Production* 16 (16), pp.1814-1821.
- 日本化学会 (1995)『化学便覧応用化学編第5版』, 丸善。
- 日本関税協会 (2004)『日本貿易月報’03.12』, 日本関税協会。
- Pagan, B. and Prasad, P., (2007) “The Queensland Food Eco-efficiency Project: Reducing Risk and Improving Competitiveness” *Journal of Cleaner Production* 15 (8-9), pp.764-771.
- Pimentel, D. and Patzek, T. W. (2005) “Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower” *Natural Resources Research* 14 (1), pp.65-75.
- Polagye, B. L., Hodgson, K. T. and Malte, P. C., (2007) “An Economic Analysis of Bio-energy Options Thinning from Overstocked Forests” *Biomass and Bioenergy* 31 (2, 3), pp.105-125.
- 佐賀清崇, 横山伸也, 芋生憲司 (2008)「稲作からのバイオエタノール生産システムのエネルギー収支分析」『エネルギー・資源学会論文誌』第29巻第1号, 30-35頁。
- 石油情報センター (online)「石油情報センターホームページ」  
<http://oil-info.ieej.or.jp/> (2010年7月29日アクセス)
- Seppala, J., Malenen, M., Maenpaa, I., Koskela, S., Tenhunen, J. and Hiltunen, R., (2005) “How Can the Eco-efficiency of a Region Be Measured and Monitored?” *Journal of Industrial Ecology* 9 (4), pp.117-130.
- Shapouri, H., Duffield, J. A., and Wang, M. (2002) “The Energy Balance of Corn Ethanol: an Update” USDA Office of Energy Policy and New Uses, Agricultural Report No.813.
- 総務省 (2004)『平成12年(2000年)産業連関表－総合解説編－』, 総務省。
- 十勝圏振興機構 (2005)『北海道十勝地域の規格外農産物及び農産加工残渣物利用におけるバイオエタ

ノール変換システムに関する事業化可能性調査報告書』, 十勝圏振興機構。

Urbanchuk, J. M., (2009) “2008 Contributions of the Ethanol Industry to the Economy of the United States” *RFA Reports and Studies*, Renewable Fuels Association.

Von Blottnitz, H., and Curran, M. A. (2007) “A Review of Assessments Conducted on Bioethanol as a Transportation Fuel from a Net Energy, Greenhouse Gas, and Environmental Life Cycle Perspective”, *Journal of Cleaner Production* 15 (7), pp.607-619.

ワケナゲル, A., リーズ, W., 和田喜彦監訳・解題, 池田真理訳 (2004) 『エコロジカル・フットプリント - 地球環境持続のための実践プランニング・ツール -』 合同出版 (Wackernagel, M. and Rees, W., (1996) *Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth* - New Society Publishers)。

山本充 (2008) 『マクロ環境会計による経済社会の持続可能性評価に関する実証研究』, 北海道大学大学院学位請求論文。

保永展利 (2006) 「地域経済における農業有機質資源の循環利用評価 - 北海道地域を対象とした連関効果の推計 -」『地域学研究』第36巻第3号, 611-620頁。

付表1 2003年北海道産産業連関表14部門表(バイオ燃料部門追加)

(単位:百万円)

	農業	林業	漁業	鉱業	バイオ燃料	製造業	建設業	電力・水道	商業	金融・保険・不動産	運輸・通信・放送	公務	サービス業	分類不明	内生部門計	道最終需要計	内移出計	(控除)輸移入計	内生産額
農業	264,679	74	0	0	508	521,954	9,650	0	687	2	407	198	35,432	0	833,590	249,008	563,220	-262,077	1,383,741
林業	140	8,979	50	102	0	42,212	439	0	0	0	0	18	2,052	0	53,992	9,806	1,450	-21,264	43,984
漁業	0	0	4,239	0	0	216,211	0	0	0	0	48	38	13,499	0	234,035	14,549	69,143	-46,755	270,972
鉱業	0	3	0	69	2	343,579	57,086	17,201	0	0	2	66	34	28	418,070	-264	21,147	-323,062	115,891
バイオ燃料	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35,597	0	0	35,597
製造業	225,484	4,420	58,542	15,378	12,770	1,610,330	833,694	89,565	196,938	65,599	178,056	270,411	1,186,637	14,300	4,762,125	3,603,317	3,016,234	-5,495,938	5,885,738
建設業	5,386	179	77	637	41	18,184	9,824	38,291	24,404	109,659	24,818	16,964	50,934	6	299,403	3,124,409	0	0	3,423,812
電力・ガス・水道	11,646	378	306	3,923	77	131,020	21,771	58,747	58,464	21,890	46,450	52,147	223,529	2,504	632,853	373,073	764	-2,347	1,009,343
商業	63,962	1,494	17,955	4,090	285	393,674	230,945	17,190	77,923	14,926	42,256	44,243	428,347	1,911	1,339,201	2,875,212	895,449	-1,320,514	3,789,348
金融・保険・不動産	42,990	1,081	4,325	7,997	531	78,521	63,562	56,363	259,885	258,892	139,454	8,986	266,561	42,995	1,232,142	2,499,408	36,831	-54,447	3,713,334
運輸・通信・放送	26,820	2,118	4,920	4,204	778	173,517	160,673	21,489	168,003	64,915	303,793	95,448	265,129	8,051	1,299,857	1,108,103	557,720	-346,570	2,619,110
公務	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,603	23,603	0	0	0	25,953,48
サービス業	27,234	1,483	5,187	17,322	461	305,733	344,143	119,824	314,762	243,101	299,825	180,838	692,047	15,984	2,567,944	5,794,210	672,396	-583,098	8,451,452
分類不明	8,725	51	1,097	2,615	13	26,855	21,470	9,480	34,310	14,656	15,240	1,143	22,422	0	158,078	3,149	3,678	-5,251	159,654
内生部門計	677,065	20,260	96,698	56,337	15,465	3,861,789	1,753,257	428,151	1,135,376	793,640	1,050,349	670,500	3,186,623	109,382	13,854,893	22,266,322	5,838,032	-8,461,337	33,497,925
家計外消費支出	1,577	383	10,327	5,819	97	80,975	48,576	19,377	82,651	50,567	104,955	48,145	160,877	4,396	618,721				
雇用者所得	93,132	11,793	61,234	23,637	591	849,086	1,262,253	217,612	1,722,026	539,901	937,592	1,202,415	3,750,234	8,814	10,680,319				
営業余剰	411,417	8,855	58,032	14,601	349	420,270	70,562	131,320	403,771	1,307,322	153,577	0	632,623	16,140	3,628,839				
資本減耗引当	166,800	3,232	29,548	10,964	1,112	262,791	180,229	162,540	208,117	917,775	272,970	667,306	563,728	17,890	3,465,002				
間接税(除開税)	79,984	2,286	16,393	6,872	18,248	453,624	156,528	58,875	252,407	181,207	108,954	6,982	235,452	3,143	1,580,954				
(控除)経常補助金	-46,253	-2,824	-1,260	-2,338	-265	-42,797	-47,593	-8,532	-15,001	-76,477	-9,286	0	-78,086	-111	-330,804				
租付加価値部門計	706,676	23,724	174,274	59,554	20,132	2,023,949	1,670,555	581,192	2,653,971	2,920,295	1,568,761	1,924,848	5,264,828	50,272	19,643,031				
道内生産額	1,383,741	43,984	270,972	115,891	35,597	5,885,738	3,423,812	1,009,343	3,789,348	3,713,934	2,619,110	2,595,348	8,451,452	159,654	33,497,925				

# Evaluating the Economic-Environment Co-Benefit of Bio-Fuel Production; An Application of Eco-Efficiency

Takashi HAYASHI

## Summary

Global warming and other environmental issues are assuming growing importance. For this reason, recent economic policies are finding it increasingly difficult to earn public acceptance unless they have somewhat eco-friendly components. The introduction of bio-fuels is viewed as one means of contributing to both economic growth and environmental preservation, given their benefits for regional economies and their ability to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. To date, however, these impacts have been calculated separately and few studies have evaluated both the economic and environmental impacts in a single framework.

This study calculates the economic impact and volume of GHG emissions using a case study involving bio-ethanol production in Tokachi, Hokkaido, and then integrates these impacts by means of eco-efficiency to analyze whether the introduction of bio-fuels creates an economic-environment co-benefit.

The results show that bio-ethanol production in Tokachi region produces a larger economic impact when the reduction of GHG emissions compared with the use of gasoline is considered. We conclude that bio-ethanol production creates an economic-environment co-benefit in the region. To produce bio-ethanol that is even more eco-friendly, the aim should be to try to use more domestic inputs that are produced with lower GHG emissions.