

RF-078 アジアにおけるバイオ燃料の持続的需給システムの構築に関する研究

(5) アジア圏での持続可能なバイオ燃料の利用を可能にするための社会的要件に関する研究

千葉大学 大学院園芸学研究科 丸山敦史

平成19～20年度 合計予算額	1,043千円
(うち、平成20年度予算額	596千円)
※上記の合計予算額には、間接経費	241千円を含む

[要旨] 本サブテーマでは、まず、既往の調査結果と二次統計資料を用いて、バイオエタノール市場の動向を記述的に分析した。エタノールの生産はアメリカとブラジルに特化していること、エタノールの主要輸出国の構成には大きな変化があり、その結果、現在はブラジルが中心となっていること、そして、エタノールの輸出先にも顕著な変化があることなどが明らかになった。次に、エタノール貿易の構造をGravity Modelを用いて分析した。2国間距離が短く、輸入国および輸出国のGDPが高いほどエタノール貿易が盛んになること、2005年、2006年に構造的な変化があるが、2国間距離については時系列的に安定しており、全期間を通じて貿易量に最も大きな影響を与えていることが明らかになった。更に、持続可能なバイオ燃料の需給モデルの成立条件について検討した。モデル分析の結果、多くの仮定が置かれているものの、距離が近い日本-ASEANでのバイオ燃料の貿易は、相対的に大きな生産者利益および消費者余剰を確保できるという点から好ましく、生産国・消費国の双方に潜在的メリットがあることが分かった。同時に、サブテーマ①～⑤の研究成果をもとに、持続可能なバイオ燃料の需給システムを実現するための要件を整理した。フィリピンの事例では、バイオ燃料の質自体に環境性能的な問題は少ないが大幅な供給能力の向上が必要であること、しかし、原料作物の生産拡大は栽培面積の拡大に依存しやすいという点で問題が起こりやすいこと、また、製糖工場にとっても、燃料生産は必ずしも魅力的なオプションにはなっていないことなど、多くの課題が示された。長期的視点に立ち、近隣地域で持続的にバイオ燃料を需給できる体制を作るために、日本が主体的に関われることは多いだろう。

[キーワード] バイオ燃料、貿易、Gravity Model、シミュレーション、持続可能

1. はじめに

地球温暖化対策としてのバイオ燃料の利用が、先進国、途上国を問わず世界規模で拡大している。バイオ燃料のメリットはいうまでもなくカーボンニュートラルであることにあるが、途上国においては農家所得の向上という面が強調されている。また、エネルギーの供給源を分散させ、そのセキュリティを確保するといった効果も期待されている。この様に、バイオ燃料普及の背景には各国の様々な事情がある。

日本では、京都議定書付属書I国としての責務を果たすことが一義的な目標となる。しかし、燃料生産の能力は極めて低く、その多くを輸入に頼らざるを得ない。経済的な利益を追求するなら

ば、より安価に生産できる国に輸入先を集中させるのがよい。反面、エネルギーの安定供給の問題や燃料生産に伴う環境汚染の問題、即ち、社会的な費用のことを考慮すれば、一極集中させることは好ましい選択とはいえない。また、輸出国と輸入国の距離が長いケースでは、輸送中の環境負荷が大きい可能性が高く、この点だけで見ても問題がある。

アジア、中でもASEAN諸国は、日本にとって経済外交政策上の重要性が増大している地域である。更に、熱帯・亜熱帯に属するため、バイオ燃料の原料となるサトウキビやココナッツの生産も多い。高いポテンシャルは認められるものの、現時点で、同地域からバイオ燃料の供給は行われていない。では、日本がASEAN諸国からバイオ燃料を調達することを、どの様に評価したらよいのであろうか。本研究では、まず、エタノール生産と貿易の状況を概観し、現下のエタノール貿易のパターンから日本-ASEAN間の貿易の可能性にふれ、最後に、地域内の需給システムを持続可能にする条件を明らかにしたい。

2. 研究目的

以上のような事柄を背景に、次の目的を設定する。

まず、バイオ燃料の貿易動向を概略的に把握するため、二次統計資料を用いた記述分析を行う。これにより、分析に用いるモデルの前提条件が明らかになる。次に、エタノール貿易のパターンを検討するために、国別貿易量やGDPなどのマクロデータを用いた統計分析を行う。これにより、どのような因子がエタノール貿易を強く規定しているか、時系列的な構造の変化があるかといった問題に答えることが出来る。更に、バイオ燃料最適普及率を決定する主体均衡モデルをバイオ燃料の供給国について開発し、それとサブテーマ①で開発された需要国のモデルを用いて、数値シミュレーション分析を行う。これにより、生産者及び消費者余剰の変化をトレースすることが出来る。同時に、ここでの研究成果と、サブテーマ①～④の研究成果をもとに、持続可能なバイオ燃料の需給システムを実現するための要件を検討する。

3. 研究方法

第1の課題については、F.O. Licht (2007) “ETHANOL PRODUCTION COSTS”、および、国連の商品貿易データベース (ComTrade) の商品アイテム : Ethyl alcohol; denatured spiritsのデータを用い、それらを単純集計した資料に基づいて分析を行う。第2の課題については、同じくComTradeのデータを用い、Gravity Model (重力モデル) による計量分析を行う。Gravity Modelは、貿易量の変動を、当該輸出国・輸入国の経済規模 (GDP) と2国間距離などによって説明しようとするものである。分析の対象となる期間は2002年から2006年の5年間である。なお、GDPデータはWorld BankのWorld Development Indicators (WDI) を用い、2国間距離はGoogle Earthで首都間の距離を計測した。第3の課題については、サブテーマ①で開発された、主体均衡に基づくバイオ燃料の最適普及率の決定モデルを拡張し、供給国の行動を記述できるようにする。シミュレーション分析では、炭素価格、2国間距離などの外生変数を操作する。また、需給システムの持続可能性について、各サブテーマが明らかにした知見を収集して相互の関連性をみる。

4. 結果・考察

(1) エタノールの生産と貿易

図1には、2006年のエタノールの地域別生産シェアが示されている。世界の全生産量は、514bil. literで、北アメリカとラテンアメリカで78% (40.1bil. liter) を生産している。実態としては、北アメリカのほとんどがアメリカ、ラテンアメリカのほとんどがブラジルの産出になる。他方、アジア地域はわずか12%、ヨーロッパは9%にすぎない。日本や韓国はエタノールに嗜好性があり、普及が進めば地域内での需給バランスの崩れが大きくなる。なお、ヨーロッパや東南アジアではバイオディーゼルのほうが普及しているため、バイオ燃料全体で見ると異なる傾向になることに注意が必要である。

図2には、エタノール原料の類型別シェアが示されている。トウモロコシや小麦といった穀物系の原料が53%、サトウキビやテンサイといった糖質系が44%、石油由来のものが3%となっている。セルロース系はまだ統計に上がるほどの量ではない。穀物系と糖質系でシェアが2分されているのも、基本的には、主たる生産国のアメリカがトウモロコシを主原料としており、ブラジルがサトウキビを主原料にしていることに起因している。図1でみたように、現在のエタノールの生産は、極めて限られた地域で行われている。しかし、石油資源の偏在と根本的に異なるのは、多くの地域、国々で原料となる作物が栽培されている（栽培されうる）ということである。食料との競合問題に配慮しつつ、各地域の作物資源を有効に利用した需給体制を整えば、温暖化対策だけではなく、エネルギー安全保障の面でも大きな利点がある。

図3には、エタノールの仕向け先シェアがまとめられている。ほとんどが、添加剤を含めた燃料用（77%）であり、飲料用（14%）と工業用（9%）は少ない。バイオエタノールの普及が進めば、燃料用のシェアは一層拡大するものと思われ、エタノール市場に与える影響は一層大きくなる。

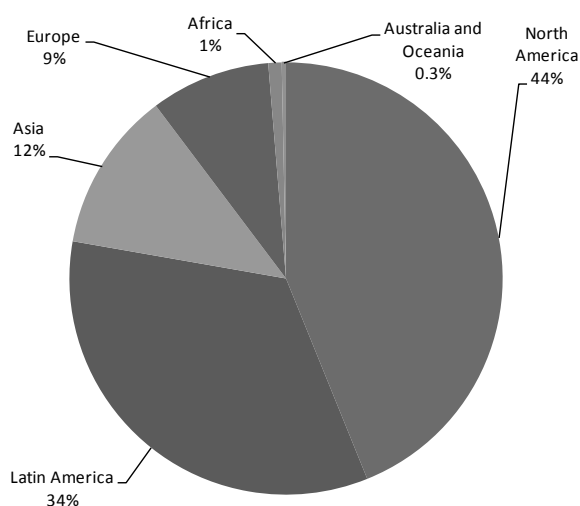


図1 エタノールの地域別生産量
(2006年)

出典：F.O. Licht (2007)

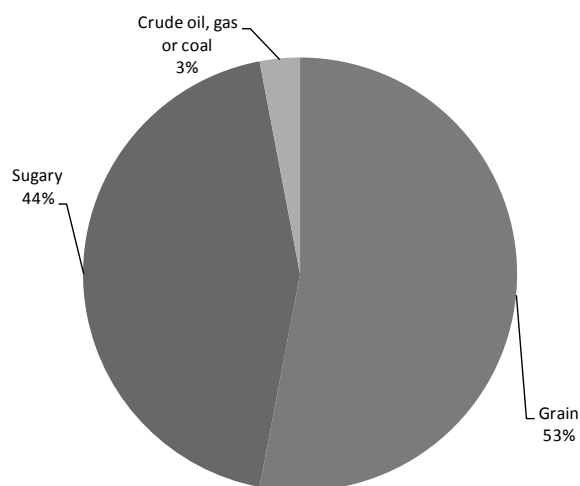


図2 エタノール原料の構成比
(2006年)

出典：F.O. Licht (2007)

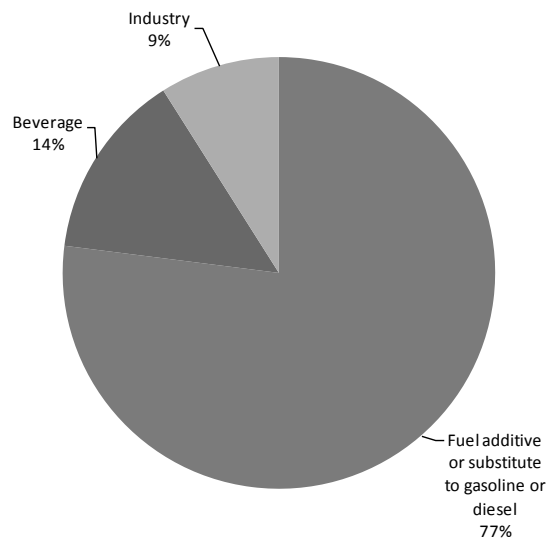


図3 エタノールの仕向け先構成比（2006年）

出典：F.O. Licht (2007)

続いて、図4には、非飲料系のエタノールの総貿易額の推移が、2000年から2006年にかけて図示されている。実線は名目金額を表している。全体として、指数関数的な増加傾向を示しているのが分かる。一方、波線で示されているのは、GDPデフレーター（World）で実質化した系列である。実質ベースでも、2001年に取引量が増加していることが分かる。しかし、2003年と2004年の名目金額は増加しているのに対し、実質金額は2004年までほとんど変化がない。世界的な好景気による物価上昇の影響が出ている。従って、エタノールの貿易量が大きく変化するのは2005年からになる。この時期は、いわゆるバイオ燃料ブームと呼ばれており、原油価格の上昇に伴う需要の増大があったとされている。2005年の実質価格ベースの貿易量は、2004年に対し17%の増加となっている。2006年には対前年で34%増加しており、バイオ燃料ブームの傾向が一層強まっている。

この様な総貿易量の変化に伴い、貿易国の構成も大きく変わることが予想される。そこで、その変化を調べるため、3時点（1998年、2002年、2006年）について、エタノールの主要輸出国をまとめたものが図5である。それぞれの年の上位5カ国が識別できるようにしてある。まず、1998年と2002年を比べると、1998年にはまだ上位5カ国に入っていなかったブラジルが、2002年にはアメリカを抜いて、フランスに続く2位までそのシェアを上昇させている。他方、アメリカのシェアは大きく下落している。この時期のアメリカはエタノールの増産体制に入っているため、輸出量の減少は増大する国内需要を優先させた結果と解釈される。次に、2002年と2006年を比較する。一見し、大きく国の構成が変わったことが分かる。ブラジルは取引量を大幅に伸ばし、中国も上位5カ国に入るようになった。一方、アメリカは、一層、そのシェアを減らした。

では、輸出量の増大に伴い、輸出先の国はどの様に変わっただろうか。図6は、ブラジルを例に、その輸出先と貿易量を表したものである。また、色が赤く（色凡例の上方）なるほど、取引量が増えることを表している。上の図は2002年で、下の図は2006年に対応する。一見して、2006年に青系色から赤色になっている国が多いのが分かる。また、白色（取引がない、もしくは、取引量が少ない国）から青色（色凡例の下方）に変わっている国も、ヨーロッパやアフリカなどで多く

みられる。一方、オーストラリアや南米の国々には、取引が大幅に減ったところもある。この事実、どこの国も一様に、ブラジルとの貿易量を増やしているのではないことを示している。

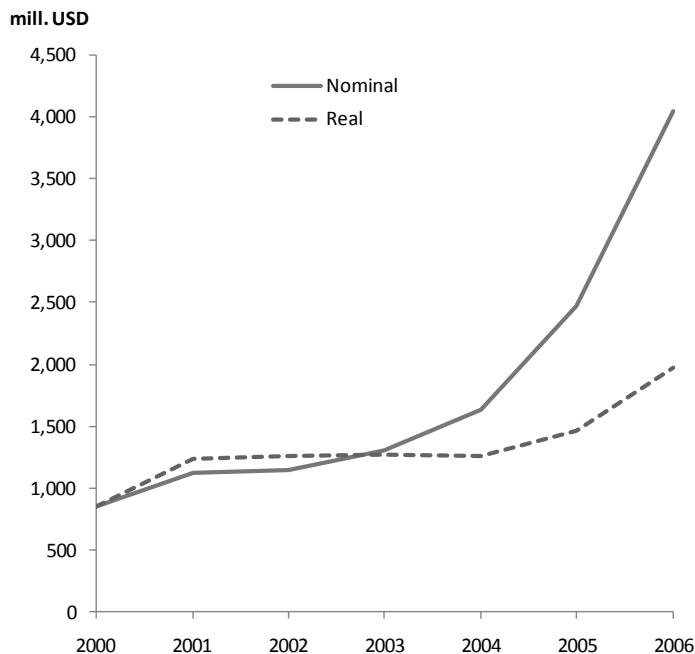


図4 エタノール貿易量の推移（2000年-2006年）

出典：ComTrade

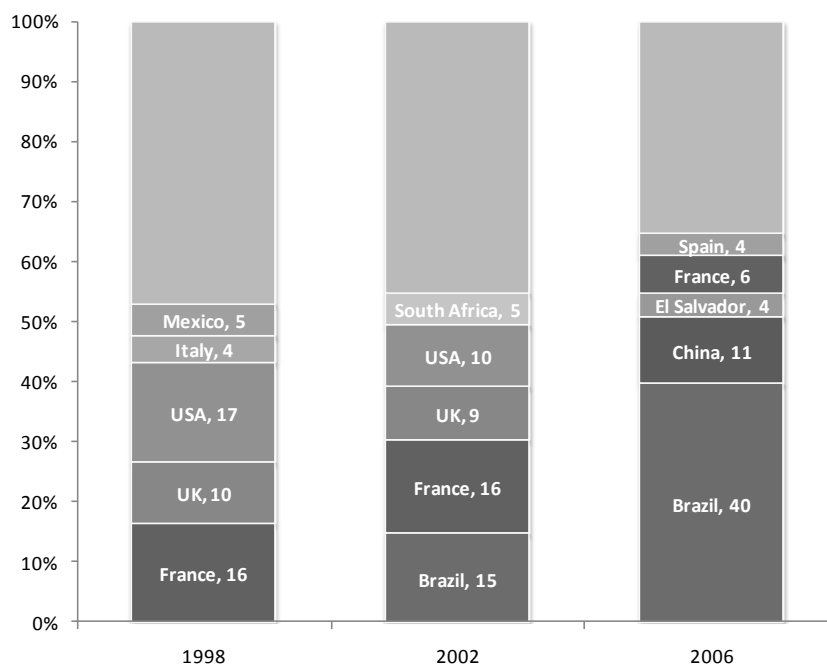


図5 エタノール主要輸出国の動向（1998年、2002年、2006年）

出典：ComTrade

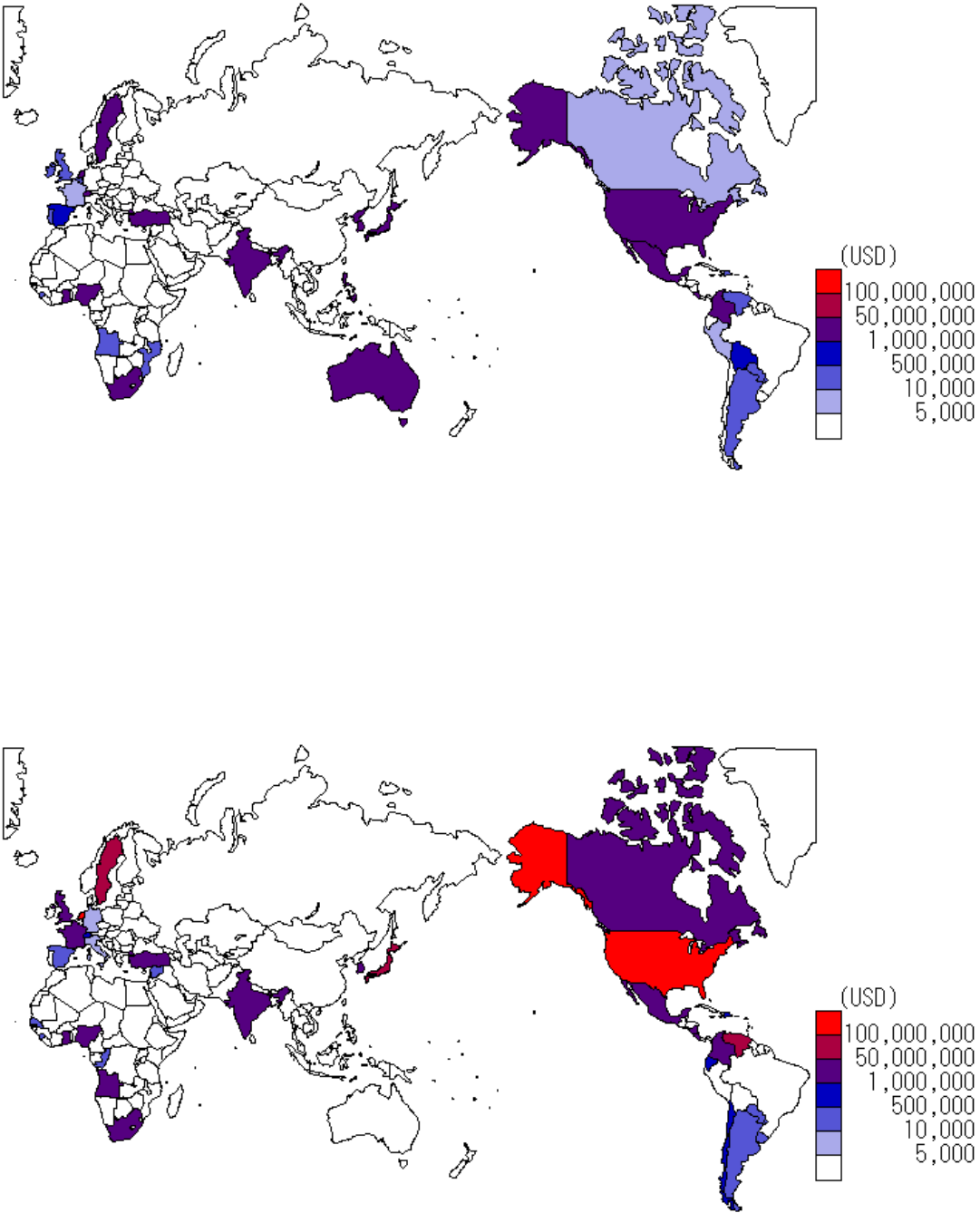


図6 ブラジルのエタノール輸出先の変化（2002年上、2006年下）

出典：ComTrade

表1は、エタノール貿易の地域性をみるために、アジア（東、東南、南アジア）を例に作成したものである。各輸出国が、それぞれ幾つの貿易相手国を持っており、そのうち何カ国がアジア（同上）の国であるかが示されている。全平均は45%とおおよそ半分程度が同一地域内での貿易となっている。アジア（同上）が高々20数カ国で構成されていることを考えると、高い数字である。特に、インドネシア、タイは8割弱が域内の貿易となっている。更に、貿易量の多い中国であっても、域内貿易量が4割に達していることは注目に値する。インドについては、距離的に近い、中央アジアや西アジアへの貿易を考慮すれば、より高い数値になることが期待される。

表1 東・東南・南アジア地域内でのエタノール貿易（2006年、ComTrade）

Exporters	No. of partner countries		% Share	Trade volume (mil. USD)
	World	Asia		
China	39	16	41.0	4,538
India	28	8	28.6	145
Indonesia	9	7	77.8	180
Thailand	12	9	75.0	89
Total	88	40	45.5	4,952

（2）貿易パターンの統計的分析

ここでは、エタノール貿易の要因分析を行うため、Gravity Model（重力モデル）を用いた計量分析を行う。Gravity Modelは、貿易量の変動を、当該輸出国・輸入国の経済規模（GDP）と2国間距離によって説明しようとするものであり、次式で定義される。

$$X_{ij} = K \frac{Y_i^\alpha Y_j^\beta}{D_{ij}^\lambda}$$

両辺の対数を取り、

$$\ln X_{ij} = K' + \alpha \ln Y_i + \beta \ln Y_j - \lambda \ln D_{ij}$$

ここで、 X は貿易量、 Y はGDP、 D は輸出国と相手国との距離、添え字 i は輸出国、添え字 j は輸入国、 α 、 β 、 λ 、 K は推計される未知のパラメータを表している。通常、貿易は、経済規模が大きくなるほど活発になる。特に、エタノールの輸入国においては、経済規模が大きいほど燃料需要を中心に消費が増えるため輸入量が多くなることが想定される。従って、パラメータ β は正値をとることが期待される。また、パラメータ α についても、貧しい国ほど輸出が盛んになることは想

定しにくく正值をとることが期待される。しかし、分析対象の財や国の選び方によっては、負の値をとる可能性も排除できない。また、パラメータ λ は、距離が離れば離れるほど輸送費用がかさみ貿易量が少なくなることが想定されるので、正值をとることが期待される。

回帰式には、質的な差異を説明するためにいくつかの変数を導入する。具体的には、当該貿易が2国間貿易協定のある国の間で行われるものに1、その他のケースを0とした変数（Bilateral trade agreement）と、EUやASEANなどの多国間の経済協定国の間で行われたものであれば1とする変数（Economic block）を導入している。変数化した協定は、Baier and Bergstrand（2007）のTable 3を参考にしている¹⁾。更に、先に見たように、2005年と2006年の貿易構造は、それ以前と大きく異なることが予想される。それをモデルに反映させるため、それぞれの年の年次ダミー（Dum₂₀₀₅、Dum₂₀₀₆）を作り、切片ダミーと、主要な変数（GDPと距離）の傾きダミーとして導入した。

表2 回帰分析に用いたサンプル属性

Year	No. of countries		Trade	GDP		No. of obs.
	Exporter	Importer	volume (mil. USD, real 2000)	Exporter	Importer	
2002	41	181	1.28	1,720	628	854
2003	40	178	1.33	1,670	648	847
2004	42	182	1.26	1,720	593	939
2005	42	181	1.39	1,800	655	997
2006	40	179	1.91	1,710	659	996
Entire	42	195	1.44	1,720	637	4,633

表3 回帰分析に用いた国（輸出国のみ掲載）

Argentina	Costa Rica	Indonesia	Republic of Korea	United States
Australia	Denmark	Ireland	Singapore	Zimbabwe
Austria	Ecuador	Israel	South Africa	
Belgium	El Salvador	Italy	Spain	
Bolivia	France	Jamaica	Swaziland	
Brazil	Germany	Japan	Sweden	
Canada	Ghana	Mexico	Thailand	
Chile	Guatemala	Netherlands	Trinidad and Tobago	
China	Hungary	Pakistan	Ukraine	
Colombia	India	Portugal	United Kingdom	

表2には、分析に用いたサンプルの属性がまとめられている。各年とも、輸出国は40カ国程度、相手国は180カ国程度である。2002年と2006年の上位輸出国を網羅できるようにサンプリングした（表3）。貿易量の推移をみると2004年から2005年への伸びが、前節で紹介した貿易総量の2004年から2005年への伸びよりも控えめになっていることが分かる。また、エタノールの場合、伝統的には、フランスやイギリス、アメリカなどの先進国が主な輸出国であることを反映し、輸出国の

GDPが輸入国のそれを大きく上回っている。近年は、中国やブラジルの輸出量のシェアが増えたが、両国とも経済規模は大きい。

表4には、Gravity Modelの推計結果が示されている。傾きダミーなど統計的に有意でない変数は、最終的な回帰式から除外されている。主要な変数のパラメータは、いずれも期待された符号条件で推計されている。輸出国のGDP係数はあまり大きくないが、輸入国のそれは大きく、経済規模が拡大するにつれて急速に輸入量が増えることが示されている。貿易量に最も大きな影響を与えているのは2国間距離であり、距離の1%の増加に対し貿易量が0.49%減る計算である。傾きダミーについては、GDPに関するもののみ有意な結果が得られた。2005年、2006年で貿易フローが大きく変化したことの現れと思われる。反面、距離については、傾きダミーは有意ではなく、バイオ燃料ブーム期であっても構造的な変化がないということを示しており、注目すべき結果といえる。その他の経済協定に関わるダミー変数は、いずれも正の符号で統計的に有意に推計されており、協定が結ばれている国の間で貿易量が多いことを示している。

Gravity modelの問題点としては、経済理論的基礎が薄い、決定要因に価格情報が含まれない、といったものが挙げられる。この問題に対応するため、理論整合的なGravity関数を、非線形モデルや固定効果モデルを用いて計測するという研究が進んでいる^{1),2)}。本研究でも理論整合的なモデルの計測を試みたが、統計的に優れた結果を得ることが出来なかった。また、経済協定に関する変数は内生変数であるため、説明変数に入れるのは好ましくないという指摘もなされている。確かに、貿易量が多いから経済協定を結んだのか、経済協定を結んだために貿易量が増えたのかは定かではない。エタノール貿易が総貿易量に占める割合はわずかであり、エタノール貿易が経済協定を規定することはほとんどないといって良い。内生性は弱いように思われるが、ここでの推計結果も、協定を結んだことが貿易量を増やしているといった因果関係を表すものではないことに注意すべきである。なお、本研究では、経済協定に関する変数を除いたモデルも計測し、主要な変数について結論に大きな変化はないことを確認している。

表4 回帰分析の結果

Variables	Coeff.	St. Err.	prob
$\ln(Y_i)$	0.088	0.034	0.009
$\ln(Y_j)$	0.357	0.022	0.000
$\ln(D)$	-0.491	0.050	0.000
$\ln(Y_i)*Dum_{2005}$	0.116	0.068	0.090
$\ln(Y_i)*Dum_{2006}$	-0.085	0.035	0.016
$\ln(Y_j)*Dum_{2006}$	0.080	0.038	0.038
Dum_{2005}	-0.201	0.120	0.094
Dum_{2006}	-3.582	1.863	0.055
Bilateral trade agreement	0.694	0.377	0.066
Economic block	0.354	0.133	0.008
Constant	3.326	1.014	0.001
R-sq.		0.121	

(3) 持続可能な需給システムの成立要件

社会が潜在的に持続可能であるためには、現時点でパレート効率的な資源配分となっている必要があることが示されている³⁾。そして、そのような資源配分は、社会的な費用と便益が把握されて初めて達成可能となる。この観点から捉え直せば、本研究課題の全体像はパレート最適点を知るために必要な社会的費用と便益について、それらを規定する要因が何であるかを実証的に明らかにしようとするものといえる。

バイオ燃料に関わる生産サイドの総費用は、精製プラントからの廃棄物による環境汚染や原料作物の生産拡大による環境破壊と、通常の私的な生産費に対応している（表5）。一方で、生産者の便益は、原料作物の生産やプラント稼働に伴う所得の向上である。他方、消費サイドの費用は、専用の自動車や専用の貯蔵施設などの導入費用とバイオ燃料購入の支出である。他方、便益は、地球温暖化が進まなくなることから得られるものである。各サブテーマを位置づけてみれば、サブテーマ①は、自動車の需要予測を通してバイオ燃料の消費量と導入コストの把握を可能とし、サブテーマ②は、環境便益が期待される水準のものであるかを評価し、サブテーマ③は燃料精製プラントレベルでの、サブテーマ④は原料作物の生産レベルでの社会的費用の発生可能性を明らかにしている。

表5 バイオ燃料生産の主な社会的費用

Categories	Production stages			Consumption stage
	Energy crop	Fuel	Distribution	
Costs	Pollution of chemicals or fertilizer / Deforestation	Water pollution	Air pollution / Global warming	Shorten car life-span
Benefits	Increase in income / Improved livelihood	Increase in GDP	Increase in GDP	Reduction of CO ₂

具体的に、サブテーマ①から④で得られた知見をまとめると、以下のようなになる。

フィリピンを典型とした途上国産のバイオ燃料には大きな環境性能上の問題はなく、その点で環境負荷について特筆すべきところはない。しかし、アジア圏、特にASEAN諸国におけるバイオ燃料の供給能力は極めて限定されており、各国の導入目標すら達成することが難しい国が多い。特に、バイオエタノールについて、この傾向が強く表れている。更に、自動車保有台数の予測からガソリン需要を見通すと、2005年現在、ASEAN諸国のガソリン消費量は日本の7割程度であるが、2050年には同程度まで増加すると見込まれる。一律の混合率を設定すれば、バイオ燃料需要は必然的に増加することになる。加えて、日本のバイオ燃料需要も増大することが予想され、これらをまかなうためには、大幅な燃料生産の増加が必要となる。農家レベルでの増産については、規模の大きい農家ほど増産の意向が強いものの、反収を増やすためには生産要素（肥料、土地など）の投入量を物理的に増やす必要がある。サトウキビ園は、比較的標高が高く道路条件が悪いエリアにも広がりやすく、その点で環境に負荷を掛ける可能性がある。他方、製糖工場は、将来的に

エタノール生産への参入が期待されているが、現状では、エタノール生産への投資リスクそのものが高く、財政的支援の必要な段階にある。

この様に生産拡大に向けての障害が多い状況下で、日本が近隣国とのバイオ燃料の需給システムを確立させることのメリットをもう一度検討しておく必要がある。最後に、この問題について、数値モデルを使って接近する。

1) モデルの想定

サブテーマ①で開発された消費国のモデルに、供給側の行動様式を統合させ、需給システムの全体の成立可能性を検討するためのモデルを作る。

まず、バイオ燃料生産者は、所与の価格、コスト構造の下で利潤を最大化するよう生産量を決定すると仮定する。次に、バイオ燃料の限界生産費用は逓増すると想定し、費用関数を2次式で定義する。なお、ここでは、バイオ燃料生産者をASEAN全体と考えている。更に、ASEAN諸国ではCO₂の削減義務を負っていないため、CO₂の削減に伴う収益は発生しないと仮定する。一方、バイオ燃料生産については、国内雇用創出やエネルギーセキュリティの向上といった便益があると想定されるため、政策的な措置を考慮するための変数を導入する。

それらを勘案したうえで、バイオ燃料生産者は、次式で定められる利潤（バイオ燃料生産額と燃料コストの差）を最大化するようバイオ燃料混合率を定めると想定する。

$$TB_g = W_b \cdot p_b \cdot \{s_g \cdot L_g \cdot \varepsilon_g + q_d\} - L_g \cdot \varepsilon_g (s_g \cdot p_{bg} + (1 - s_g) p_f + \beta_{0g} \cdot s_g^2)$$

ここで、 W_b はバイオ燃料生産の政策的重要度、 s_g はバイオ燃料混合率、 L_g は年間走行距離、 p_{bg} 、 p_b はバイオ燃料の生産者価格と消費者価格、 q_d は消費国需要、 p_f は石油燃料価格、 ε_g は燃費である。 $\beta_{0g} \cdot s_g^2$ は、消費者モデルと同様に、バイオ燃料導入に伴う車両、インフラ等の年間費用を表し、導入量に応じてより高度なガソリン基材調整や輸送、貯蔵設備、車両対応が必要になると想定されることから、費用逓増を仮定している。

この最大化問題を解くことで、生産国のバイオ燃料混合率は次式で与えられる。

$$s_g = \frac{p_b(W_b - 1) + p_f - c_{tg}}{2\beta_{0g}}$$

ただし、 c_{tg} は国内輸送費用であり、 $p_{bg} = p_b + c_{tg}$ である。なお、バイオ燃料の生産地は通常農村部であり、消費地は都市部である。都市部と農村部の所得格差や雇用機会格差が問題となる場合、政府はバイオ燃料生産に補助金を付けるなどの施策をとるだろう。この様な場合に、 W_b は1より大きい値が設定される。また、 $W_b = 1$ であれば、国内向け生産額は国内消費額とキャンセルされ、混合率はバイオ燃料価格によらず、石油価格のみで決定される。一方、 $W_b > 1$ の場合にはバイオ燃料価格が高いほど混合率を高くすることで生産額を増加させることになるが、これは反射的に消費者のコストとなる。

これらの方程式を解くと、生産国と消費国を含むバイオ燃料市場における需給均衡は次式で与えられる。

$$p_b^* = \frac{\left(\frac{p_f + p_c \cdot \delta - c_i - c_{ig}}{2\beta_{0d}} \cdot q_d + \frac{(p_f - c_{ig}) \cdot q_d}{2\beta_{0g}} \right)}{\left(\frac{1}{2\alpha_1} + \frac{q_d}{2\beta_{0d}} - \frac{W_b - 1}{2\beta_{0g}} \cdot q_g \right)}$$

これより、バイオ燃料価格は石油価格、炭素価格、および両国の燃料需要量の関数となる。この価格によって与えられる生産者利潤が正の場合に、需給システムが経済的に成立可能となる。

2) シミュレーション

以上のモデルを用い、所与の石油価格、CO₂削減価値等の条件の下で、需給システムの成立可能性のシミュレーション分析を行った。ただし、エタノールの生産コストは、Licht社資料に基づき、ブラジルでのサトウキビの平均収率（1.26ton/2yr）のときに8cent/literになると仮定し、収率が高まればコストは低下し、低くなればコストが高くなるという関係を想定した。エネルギー需要は、サブテーマ①で算定したシナリオを用いた。また、ガソリンのCIF価格は、日本、ASEANとも35円/liter、W_b=1とした。

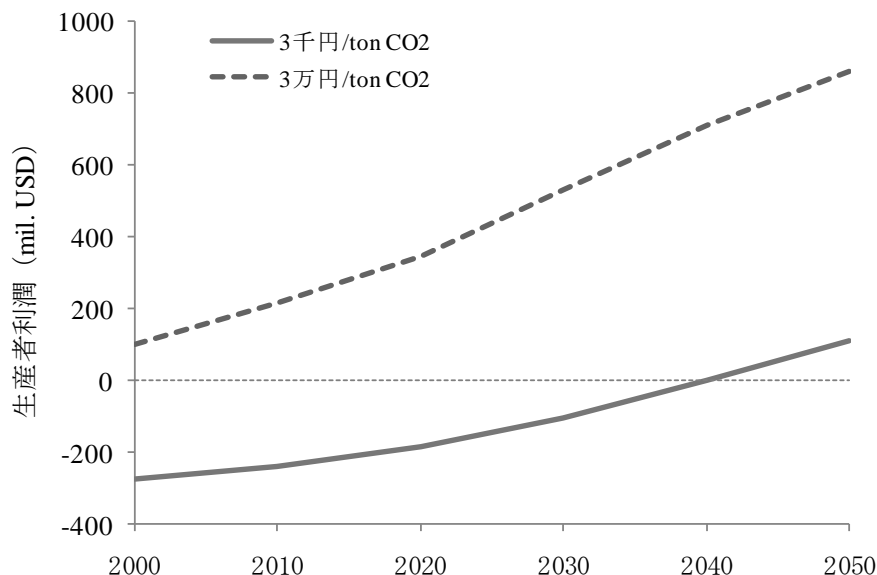


図7 バイオ燃料生産者利潤の変化

図7は、日本での炭素価格が3万円/ton CO₂のときと、3千円/ton CO₂のときの生産者利潤の変化を表している。2000年時点を見ると、3万円/ton CO₂のときはCO₂排出削減策としてバイオ燃料が日本でも十分利用されており（10v%）、生産者利潤がプラスとなっている。しかし、3千円/ton CO₂のときは、当面の生産者利潤はマイナスとなっており、需給システムが成立しえない。ただし、両

ケースとも経年で生産者利潤は増加する。3千円/ton CO₂の場合でも2040年にはプラスとなっているが、これは生産国での需要が増加することでバイオ燃料生産の平均費用が低下するためである。

また、図8は、同時期の日本におけるバイオ燃料のCIF価格の変化を表しているが、途上国での需要増加に応じて価格が上昇することがわかる。ただし、本分析ではバイオ燃料の生産コストをかなり安価に見積もっている。炭素価格が3千円/ton CO₂の場合、ガソリン熱量換算で30円/liter以上でなければ生産者利潤は正とならない。バイオ燃料需給システムが経済的に成立するには、需要喚起とともに初期投資の軽減策などが必要と考えられる。

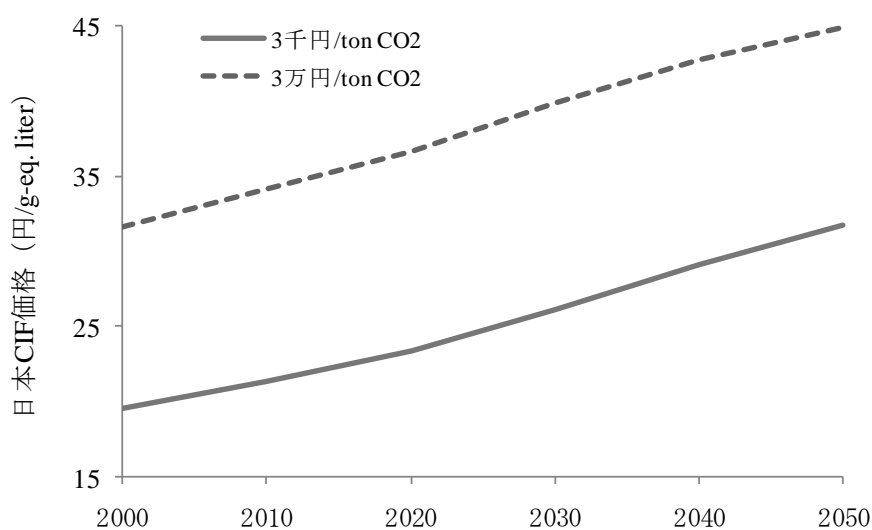


図8 バイオ燃料価格（日本CIF）の変化

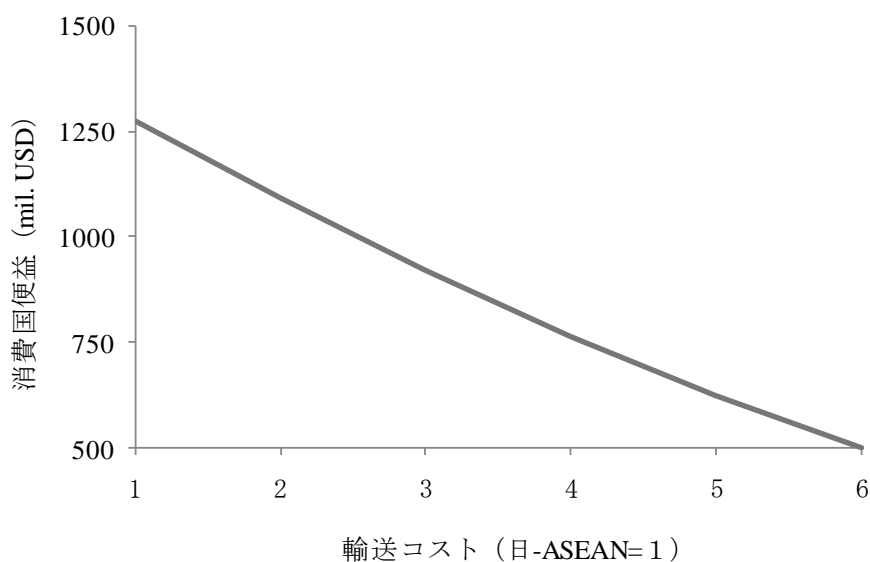


図9 輸送コストに対するバイオ燃料利用の便益変化

最後に、輸送費用が日本の便益に及ぼす影響を図9に示す。前節の統計分析から、2国間貿易における「距離」の重要性が示されているが、このシミュレーションモデルを用いれば、影響を数値化することが出来る。ここでは、輸送コストは距離に比例して増加すると仮定している。また、図では、日本とASEANの距離を1としたときのコストを横軸にとっている。消費国の便益は、輸送距離に対して感度が高く変化していることが分かる。日本ではバイオ燃料の供給元としてブラジルを想定しているが、他の条件が同じならば、ブラジル並みの距離を想定した便益はASEANを想定したときに比べ60%も低下する。

先に述べたように、日本がアジア圏でのエタノール貿易を行うには多くの課題がある。しかし、ここでの結果は、今後さらに精緻な分析が必要ではあるものの、日本がアジア圏で貿易を行うことに対する一つの根拠を与えている。いいかえれば、近隣地域で持続的にバイオ燃料を需給できる体制を作ること、長期的な視点から重要であり、そのために、環境保全技術や財政力の面で優れた日本が主体的に関われる部分は多いものと思われる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

Gravity Modelを用いた統計モデルにより、バイオ燃料ブーム期を含んだエタノール貿易市場の構造と変化を明らかにした。また、バイオ燃料の最適普及率を決定する主体均衡モデルを援用し、持続可能なバイオ燃料の需給システムの可能性について検討を加えた。同時に、サブテーマ①～⑤の研究成果の相互関係を整理し、持続可能なバイオ燃料の需給システムを実現するための要件を明らかにした。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究の成果は、これまでに明らかにされることの少なかった日本とアジア諸国とのバイオ燃料生産と利用の拡大に関する議論に、統計・数値モデルによる実証的な知見を加え、更に、サブテーマ間の研究成果を整理・統合することにより、持続的なバイオ燃料普及政策の課題と方策を提示した。

6. 引用文献

- 1) Baier and Bergstrand (2007) "Do free trade agreements actually increase members' international trade?," *Journal of International Economics* 71, 72-95.
- 2) Anderson, James E. and vanWincoop, Eric (2003) "Gravity with gravitas: a solution to the border puzzle," *American Economic Review* 93 (1), 170-192.
- 3) Robert N. Stavins, Alexander F. Wagner and Gernot Wagner (2003) "Interpreting sustainability in economic terms: dynamic efficiency plus intergenerational equity," *Economics Letters*, 79, 339-343.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 なし

(2) 口頭発表

- 1) 紀伊雅敦・丸山敦史・甲斐聡（2008）「アジアにおける持続可能なバイオ燃料の需給システムに関する考察」第38回土木計画学研究発表会、和歌山大学

(3) 出願特許 なし

(4) シンポジウム・セミナーの開催 なし

(5) マスコミ等への公表・報道等 なし

(6) その他 なし