

E-0802 アジア太平洋地域を中心とする持続可能な発展のためのバイオ燃料利用戦略に関する研究

(3) 国際農産物需給を考慮した社会経済分析

東京大学

大学院農学生命学研究科

鈴木宣弘

<研究協力者>

東京大学 サステイナビリティ学連携研究機構 (IR3S)

特任講師 松田浩敬

平成20～22年度累計予算額：31,317千円（うち、平成22年度予算額：11,113千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] バイオ燃料導入促進は、その影響の及ぼす範囲が非常に大きく、経済的な採算性、食料需給・価格への影響、環境への影響等に関係する様々な自然科学的、社会科学的要因の相互依存のメカニズムを把握し、市場で取引されない価値も含めた総合的な視点からの分析が求められる。本サブテーマでは、バイオ燃料利用が農産物市場へ与える影響に関するシミュレーション・モデルを用いたバイオ燃料利用の社会経済分析を行うことを主な目的に、米国のバイオ燃料政策が国際農産物市場に与える影響についてシミュレーション分析を行った。これに加え米国とブラジルのバイオエタノール生産に関する経済的生産性の比較、国際植物油市場がパームヤシ生産農家に与える影響についてインドネシアを事例に分析を行った。特に米国のバイオエタノール導入に関連する政策が、トウモロコシを中心とした国際穀物市場に与える影響を、シミュレーション・モデルを用い分析した。その際、消費者余剰、生産者余剰からなる社会的余剰の計測やGHGであるCO<sub>2</sub>の削減効果の経済的評価を行い、米国のバイオエタノール導入に関連する政策の社会厚生に与える影響についても分析を試みた。本研究の分析結果から、米国が自らの社会的余剰の最大化のみを目標とするならば、税控除なしでエタノール生産を行うことが最適となるが、グローバルレベルでの社会的余剰の最大化を目標とするならば、米国がエタノール生産を停止することが最適となることが明らかとなった。さらに米国の社会的余剰の最大化を目指したエタノール生産は、エタノール利用によるCO<sub>2</sub>削減効果の価値がグローバルレベルの社会的余剰の最大化を達成した場合と米国のそれが達成された場合の差を上回れば許容される可能性があることも指摘できる。

[キーワード] バイオエタノール、国際農産物需給、国際農産物需給シミュレーション・モデル、穀物価格、植物油価格

## 1. はじめに

近年、カーボンニュートラル、再生可能燃料、大気汚染防止に資する、エネルギー安全保障への寄与、農業・農村振興、などの期待から世界規模でバイオ燃料の導入が進展している。しかしながら近年のバイオ燃料の導入が促進される理由は、これらの特性のみで完結するものではない。他の大きな理由の一つとして、原油価格の高騰が挙げられる。これにより特に輸送用燃料の代替

財としてのバイオ燃料の相対価格が低下し需要が増大することとなった。バイオ燃料導入促進は、その影響の及ぼす範囲が非常に広範囲に亘り、経済的な採算性、食料需給・価格への影響、環境への影響等に関係する様々な自然科学的、社会科学的要因の相互依存のメカニズムを把握し、市場で取引されない価値も含めた総合的な視点からの分析が求められる。

近年の穀物価格高騰の主要因の一つにバイオ燃料、特に米国における導入が挙げられている。そもそも、バイオ燃料需要の喚起は、穀物の過剰在庫を削減し、低迷していた穀物価格の上昇を実現するために推進された側面も大きい。米国は、農村不況の回復のため、穀物在庫率を引下げ、農産物価格を上昇させるべく、中国等への輸出需要の拡大に期待していた。しかし、トウモロコシについては、中国も1年分の消費量に相当する在庫をかかえるような過剰状況にあった。そういった状況の中、原油価格高騰により、エネルギー自給率向上の大義名分の下、バイオエタノール生産拡大の国民的コンセンサスを得る流れが生じた<sup>1)</sup>。また、中国も、膨大なトウモロコシ在庫の削減のためにバイオエタノール生産振興を位置づけている。EUについても、砂糖の輸出制度に対してWTO(世界貿易機関)のパネル(紛争処理委員会)で改善を求められ、輸出向け用途を大幅に削減せざるを得なくなり、行き場を失ったビートの処理のためにバイオエタノール生産が促進された経緯がある<sup>2)</sup>。このように、米国、EU、中国等が自国の農業・農村振興を優先させた結果であるバイオ燃料需要の拡大が、近年の穀物価格の高騰に大きく影響していることが指摘できる。国際的な農産物価格の高騰は、まさにその目的が達成されたことになるわけだが、今回の穀物価格の異常な高騰は、バイオ燃料需要の拡大による効果を大きく超えた水準になっていることも確かである。

## 2. 研究目的

本サブテーマは、バイオ燃料利用が農産物市場へ与える影響に関するシミュレーション・モデルを用いたバイオ燃料利用の社会経済分析を行うことを主な目的とする。

さらに経済的な意味でのバイオ燃料生産の合理性を検証することを目的に、バイオエタノールの2大生産国であり、世界全体に与える影響が大きい米国とブラジルのバイオエタノール生産に関する経済的生産性の比較を行うとともに、バイオディーゼルの原料となるパームオイルについて国際植物油市場がパームヤシ生産農家に与える影響を把握することを目的に、パームオイルの世界1位の生産国であるインドネシアを事例に分析を行った。Oil World<sup>10)</sup>によると、2004年にはパームオイルは大豆油に代わり植物油の中で最大の生産量を占めるようになり、2007年の全世界のパームオイル生産量は約3,870万トンとなり、植物油生産量の約30%を占めている。パームオイルはインドネシアおよびマレーシアが主要生産国であり、インドネシアは2006年にマレーシアに代わり世界最大のパームオイル生産国となった。FAOSTAT<sup>4)</sup>によると、2007年のインドネシアにおけるパームオイル生産量は約1,690万トンであり、全世界の生産量の約44%を占めている。

## 3. 研究方法

### (1) 米国とブラジルのバイオエタノール生産に関する経済的生産性の比較

図1~3は、米国、ブラジルにおけるバイオ燃料生産の採算性について分析したものである。アイオワ州立大学の研究所CARDによる同様の研究の成果がよく知られているが<sup>3)</sup>、本推計では、新たに、米国のトウモロコシからのエタノール製造で使用される化石燃料(石炭、天然ガス)の価格が、

原油の高騰と連動して上昇することをコスト計算に組み込んだ。ブラジルのサトウキビについては、各年いずれも、サトウキビからのエタノールがガソリンよりも割安で、採算がとれる可能性が示されている一方（図1）、米国のトウモロコシについては、補助金がなければ、ほぼすべての年で採算割れになる（図2）。これに対して、

原油価格(ドル/ブッシェル)

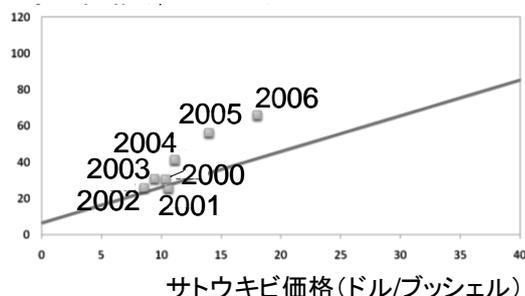


図1 ブラジルのサトウキビ由来エタノール製造コストと原油価格の採算性比較

註: ブレークイーブン線の左側にサトウキビ価格があれば、サトウキビからのエタノールのほうがガソリンよりも安く製造できることを示す。

原油価格(\$/Bushel)

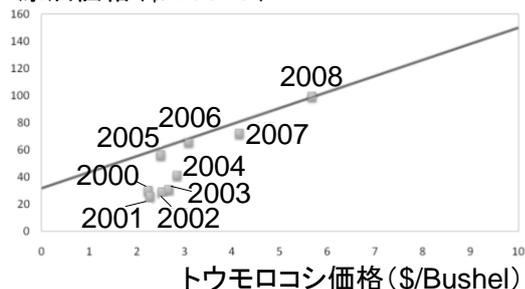


図2 米国のトウモロコシ由来エタノール製造コストと原油価格の採算性比較（補助なし）

註: ブレークイーブン線の左側にトウモロコシ価格があれば、トウモロコシからのエタノールのほうがガソリンよりも安く製造できることを示す。

原油価格(\$/Bushel)

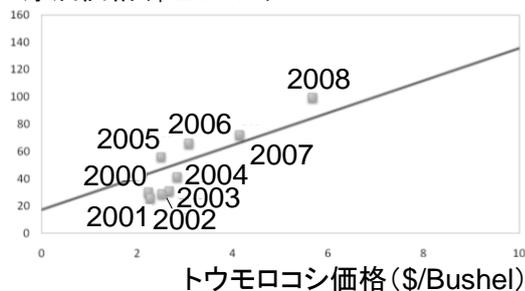


図3 米国のトウモロコシ由来エタノール製造コストと原油価格の採算性比較（補助あり）

すべての年で採算割れになる（図2）。これに対して、現行のエタノール1ガロン当たり51セントの税控除を前提とすることで、2005、2006年は採算がとれ、2007、2008年はほぼブレイクイーブンという状態になっており、政府からの補助の効果が発揮されている（図3）。この補助は、トウモロコシ1ブッシェル当たりになると1.02ドルに相当する大きなものとなっている。Elobeidらによる研究はこの税控除の分について、ガソリンに対するエタノールの熱量比が66.7%であることを考慮していないため過大に推計していると思われる<sup>3)</sup>

## （2）国際農産物シミュレーション・モデルの構築とシミュレーション

### 1) シミュレーション・モデルの構築

図4は、米国を中心としたトウモロコシ由来のバイオエタノール生産を明示的に考慮した、国際トウモロコシ需給に関するシミュレーション・モデルの概念図である。本モデルの最も特徴的な点は、エタノール価格とガソリン小売価格との関係を明示的に組み込んだ点である。図に示したように、バイオエタノールを含むエタノール需要量(消費量)には、ガソリンとエタノール混合ガソリンの小売価格の差が影響する。またガソリンとエタノール混合ガソリンの小売価格の差には、トウモロコシ価格が影響する。さらに小売価格の差には、政府による税控除、原油価格を通じたガソリン価格も影響する。表1は、エタノール需要として1人当たりエタノール消費量の決定式を推計した結果を示したものである。1人当たりエタノール消費量(自然対数)を被説明変数に、ガソリン価格とエタノール混合ガソリンの小売価格の差(自然対数)、タイムトレンドを説明変数として最小二乗法により推計した。期待される符号条件としては、ガソリン価格とエタノール混合ガ

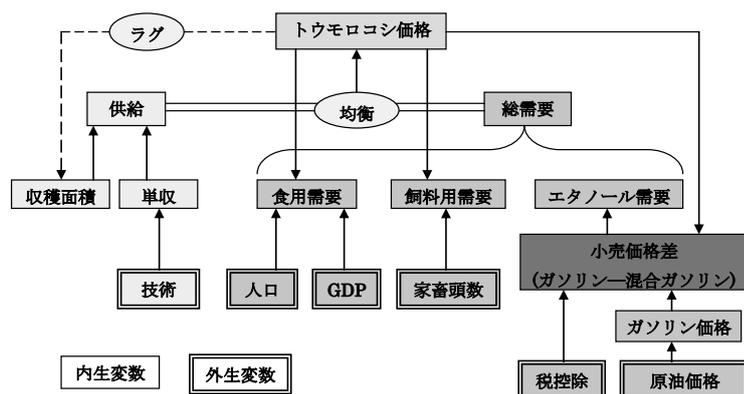


図4. シミュレーション・モデル概念図

ソリンの小売価格の差が大きければ大きいほど、エタノールへの需要が増大することから、正である。計測結果は、符号条件、有意性ともに良好であり、自由度修正済み決定係数、ダービン・ワトソン比(D.W.比)等の他の指標も概ねよい結果が得られた。以上の計測結果を図4で提示したシミュレーション・モデルに組み込みシミュレーションを行った。

## 2) シミュレーション・シナリオ

表2は、米国のバイオエタノール導入に関する主な政策の歴史的推移をまとめたものである。近年の米国におけるバイオエタノール導入に関する政策の端緒は、代替燃料車（天然ガス、電気、エタノール）の普及拡大を目的として1992年に制定されたエネルギー政策法である。その後、カリフォルニア州令によるMTBE（Methyl Tert-Butyl Ether）の使用禁止等、関連法案の制定を経て、2004年には、雇用創出法により、バイオエタノールに対して1ガロン当たり5.1セントの連邦ガソリン税控除が制定され、2005年のエネルギー政策法では再生可能燃料基準を設定するとともに、再生可能燃料の利用を2022年までに360億ガロンにすることが設定された。以上の米国におけるバイオ燃料を巡る政策のなかでも、本研究において最も関連するのは、バイオエタノールに対して1ガロン当たり5.1セントの連邦ガソリン税控除がなされる、雇用創出法である。

本研究におけるシミュレーション・シナリオとシミュレーションの前提条件は以下のとおりである。まず現行のバイオエタノールに対する1ガロン当たり5.1セントの税控除がある下でのガソリンもしくは10%エタノール混合ガソリン（E10）の購入をベースライン・シナリオとする。これをベースとして、現行の税控除を1ガロン当たり0セント、10セント、19セントと変化させた場合、さらにエタノール生産を行わない場合、現行の税控除の下で、エタノール混合率を20%に引き上げたE20もしくはガソリンの購入を行う場合のシナリオを設定する。シミュレーションの前提として、トウモロコシ価格は米国内の需給のみで決定され、単収や収穫面積の拡大に上限は設定しない。また原油価格は毎年2%ずつ上昇することとしている。シミュレーションにあたって、人口、GDP、畜産物需要については外生とし、人口、GDPについては米国農務省(USDA)の予測を用い、畜産物の需要については、これまでの趨勢を踏襲することとする。シミュレーションの対象は2006年から2020年とする。

## (3) 国際植物油市場のパームヤシ生産農家に与える影響

### 1) インドネシアにおけるパーム搾油産業

インドネシアにおけるパーム果房（Fresh Fruit Bunches, FFB）の生産者は小農、私企業、政府の3種類に区分で

表1. 1人当たりエタノール消費量の推計結果

被説明変数	1人当たりエタノール消費量（自然対数）		
説明変数	係数	t-値	備考
小売価格差	0.0456	4.91	ガソリン価格－混合ガソリン価格（¢/gallon）
トレンド項	0.0056	9.56	
定数項	-120.86	-10.50	
n=23, R <sup>2</sup> =0.928, D.W.=1.34			

表2. 米国のバイオエタノール政策

政策	内容
エネルギー政策法(1992)	代替燃料車(天然ガス、電気、エタノール)の普及拡大を目的とした法律
カリフォルニア州令(1998年)	MTBE(メチルターシャリーブチルエーテル)を2002年までに使用禁止
米国雇用創出法(2004年)	エタノールに対して51¢/gallonの連邦ガソリン税控除
エネルギー政策法(2005年)	再生可能燃料基準(RFS)の設定・再生可能燃料の利用を2022年までに360億ガロンに

きる。私企業や政府は労働者を雇用してFFB生産を行う。収穫されたFFBは1～2日以内に搾油工場に輸送される。FFBは生鮮品であり、日がたつと品質が劣化したり油分の低下につながるため、収穫後速やかに搾油されなければならない。私企業や政府は搾油工場を所有しており、自らのプランテーションで収穫されたFFBのほとんどは自らの搾油工場に輸送される。小農は一定の収穫量がある場合は、直接搾油工場にFFBを納入することができるが、小規模な場合は中間業者に販売し、中間業者が一定数量以上にまとめて搾油工場に販売する。実地調査では、最低販売量が定められている地域があり、その場合は1回の販売量が15トン未満だと直接工場に販売することはできず、中間業者に販売しなければならない。また、搾油工場の子会社に一定の料金を支払うことで小農が直接工場に販売することができるという仕組みを採用している地域もある。ただし、その場合はトラック等の比較的大型の輸送手段がなければ工場に直接輸送できないことから、直接販売できるのは比較的大規模な農家に限られ、小規模な農家は中間業者に販売することになる。

図5は1999年から2007年までの小農、私企業、政府のプランテーションにおけるパームの作付面積を表したものであり、2000年から2001年、2003年から2004年にかけて小農および私企業の作付面積が急増していることがわかる。一方、政府のプランテーションは期間を通じてあまり変化がみられない。このことから、2000年以降の作付面積の急拡大によりFFBの供給が増加し、搾油工場の数も増加したと推測することができよう。実際の搾油工場の数を限られたデータで確認すると、インドネシア全体では1990年に82の搾油工場が存在していたが、1993年には155、1995年には179と増加し、2004年には229、2005年には249となっている。2003年における北スマトラ州の搾油工場数は66で、2004年には90、2005年には116に増加している(Directorate General of Estates (Plantation), Department of Agriculture, Indonesia)。今日ではプランテーションを持たない工場も増加しており、スマトラ島のジャンビ州では2005年時点で9つの搾油工場のうち6つがプランテーションを持たないものであるとされる<sup>5)</sup>。こうした工場は政府が所有する工場よりも高いFFBの買い取り価格を提示することが可能である。これは、プランテーションを開始し運営するための費用が不要であるためである。また、インドネシア・パーム・プランテーション農家連盟(Apkasindo)はパーム原油(Crude Palm Oil, CPO)生産を最適化するためにさらに119の搾油工場が必要であるという推計を発表している<sup>4)</sup>。これは2005年時点のFFB生産量を基準にすると470ほどの搾油工場が必要であるということを示しており、今後搾油工場の数はさらに増加するものと

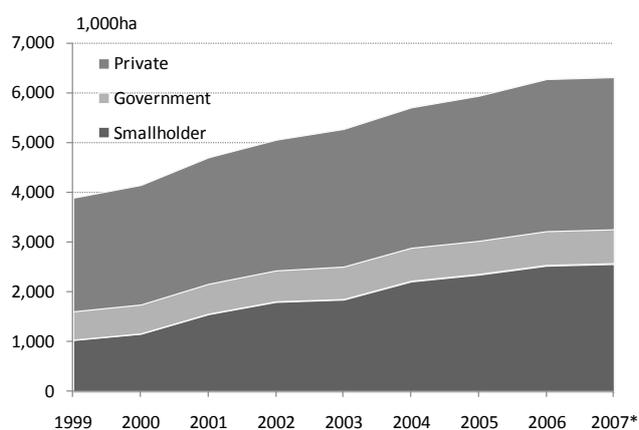


図5. パーム・プランテーションの作付面積

出所：BPS, Indonesian Oil Palm Statistics 2007

註：2007年は速報値。

考えられる。

以上の検討から、北スマトラ州におけるパーム搾油産業の市場構造は、特に2000年以降の競争的な環境の実現により、搾油工場にFFBの価格交渉力があるというよりは、農家あるいは中間業者といったFFBの売り手に交渉力があることが推察される。

表3. 単位根検定結果

Variable	ADF		PP		
	Z(t)	p-Z(t)	Z( $\rho$ )	Z(t)	p-Z(t)
$p_{b,t}$	-1.459	0.553	-4.550	-1.492	0.537
$\Delta p_{b,t}$	-8.397 ***	0.000 ***	-74.761 ***	-8.144 ***	0.000 ***
$p_{s,t}$	-1.284	0.637	-3.406	-1.326	0.617
$\Delta p_{s,t}$	-9.377 ***	0.000 ***	-93.151 ***	-9.308 ***	0.000 ***

註：1) ADF検定のZ(t)はDickey-Fuller検定の統計量、p-Z(t)はMacKinnonによる近似  $\rho$  統計量である。

2) PP検定のZ( $\rho$ )ではPhillips-Perronの  $\rho$  統計量、Z(t)はPhillips-Perronのt統計量、p-Z(t)はMacKinnonによる近似  $\rho$  統計量である。

3) \*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意であることを示す。

## 2) (M-)TARモデルによる非対称価格伝達の推計

世界最大のパームオイル生産国であるインドネシアでは、2005年時点でパーム・プランテーションの面積が全国土の76.5%を占める<sup>5)</sup>。中でも、北スマトラ州のパームオイル生産能力が最大であり、2005年にはインドネシア全体の搾油能力の40%以上を占めている（2005年）。

本研究では、国際植物油市場におけるパームオイル価格がパームヤシ農家に与える影響を把握することを目的に、北スマトラ州のパーム搾油産業における価格伝達について推計した。特に、投入物価格と産出物価格の差であるマージンが増大するようなショックと減少するようなショックに対して、産出物価格の調整速度が対称的であるかという観点から、非対称価格伝達の有無について実証分析を行った。非対称価格伝達の推計には(Momentum) Threshold Autoregressive ((M-)TAR)モデルを用いた。

非対称価格伝達の実証分析にはパーム搾油工場のFFB購入価格 ( $p_b$ ) およびパーム果実換算のCPO工場搬出価格 ( $p_s$ ) を用いた。FFB購入価格はPT Smart社のデータを使用した。CPO工場搬出価格はMaryadi et al.による次の方程式を用いて算出した<sup>5)</sup>。

$$p_s = FOB_{cpo} \times FOB_{PKO} \times CR_{PKO} \quad (1)$$

ただし、 $FOB_{CPO}$ 、 $FOB_{PKO}$ はそれぞれCPOの本船甲板渡し価格 (FOB価格)、PKO (パーム核油) のFOB価格を表し、 $CR_{CPO}$ 、 $CR_{PKO}$ はそれぞれCPOおよびPKOの搾油率 (1単位のFFBから抽出できるCPO、PKOの割合) を表す。搾油率はパームの樹齢によって変化するが、スマトラ島におけるパーム栽培は植民地時代から続く長い歴史を持っており、カリマンタン島やその他の新興地域と比較して生産性の高い樹齢10年以上の樹木が多いことから、法令で規定された搾油率の中でもっとも生産性の高い樹齢10年から20年の搾油率を採用した<sup>6)</sup>。すなわち、 $CR_{CPO}=21.25\%$ 、 $CR_{PKO}=5.0\%$ である。FOB価格はPT Smart社のデータを用いた。これはベラワン港におけるFOB価格を表すものである。 $p_b$ および $p_s$ は1999年1月から2008年12月までの月次データであり、サンプル数は120である。

搾油費用が期間を通じて一定であると仮定すると、t期における $p_b$ と $p_s$ の関係は次のように表せる。

$$p_{s,t} = p_{b,t} + \text{cost} \quad (2)$$

Engle and Grangerによると、 $p_{s,t}$ および $p_{b,t}$ が非定常過程であり、 $\Delta p_{s,t}$ および $\Delta p_{b,t}$ が定常過程であ

る場合、すなわち、1階差定常過程（I(1)過程）である場合、 $p_{s,t}$ を $p_{b,t}$ に回帰したときの係数はバイアスを持ち、みせかけの相関を示す<sup>7)</sup>。しかし、その残差系列が定常過程であれば、 $p_{s,t}$ および $p_{b,t}$ は共和分関係にあると言われる。したがって、 $p_{s,t}$ および $p_{b,t}$ の単位根検定と共和分検定を行わなくてはならない。なお、以下では両変数に対数をとって分析を行った。 $\ln p_{s,t}$ および $\ln p_{b,t}$ に関する単位根検定の結果から（表3）、両変数はI(1)過程であるといえる。よって、 $\ln p_{s,t}$ を $\ln p_{b,t}$ に回帰した次式はみせかけの相関を示している可能性がある。ただし、括弧内はt値を表す。

$$\ln \hat{\rho}_{s,t} = 1.118 + 0.869 \ln \hat{\rho}_{s,t} + \hat{\mu}_{s,t} \quad (3)$$

(10.46) (52.78)

Enders and SiklosによるTARモデルは、(3)式における残差系列 $\{\hat{\mu}_{s,t}\}$ を用い、次式において共和分検定を行う<sup>8)</sup>。

$$\Delta \mu_t = I_t \rho_1 \mu_{t-1} + (1 - I_t) \rho_2 \mu_{t-1} + \sum_{i=1}^T \gamma_i \Delta \mu_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_{t-1} \geq \tau \\ 0 & \text{if } \mu_{t-1} < \tau \end{cases} \quad (5)$$

ただし、 $I_t$ はヘビサイド指示関数、 $\tau$ はChanによる閾値の超一致推定量を表す<sup>9)</sup>。また、 $\varepsilon_t$ は

$$E(\varepsilon_t) = 0, \quad E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2, \quad E(\varepsilon_t \varepsilon_j) = 0 \quad (t \neq j) \quad (6)$$

を満たすホワイトノイズ攪乱項である。また、 $\{\hat{\mu}_{s,t}\}$ が定常過程であるための必要十分条件は次の通りである<sup>11)</sup>。

$$\rho_1 < 0, \quad \rho_2 < 0, \quad (1 + \rho_1)(1 + \rho_2) < 1 \quad \text{for any } \tau \quad (7)$$

なお、Tはラグ次数であり、(6)式および(7)式を満たすときのBIC（Bayesian Information Criteria）を最小にする値として求められる。

共和分検定は $\rho_1 = \rho_2 = 0$ を検定することで行われる。すなわち、 $\rho_1 = \rho_2 = 0$ が棄却されれば $p_{s,t}$ と $p_{b,t}$ は共和分関係にあることが示される。

非対称価格伝達は $\rho_1$ と $\rho_2$ の絶対値の大きさを比較することで検定することができる。 $\rho_1 = \rho_2$ が棄却され $|\rho_1| < |\rho_2|$ であれば、均衡誤差からの負の乖離の方が正の乖離よりも急速に調整されることを示すため、マージンが増加するようなショックよりもマージンが減少するようなショックに対してより急速な調整が行われる。すなわち、下方硬直的な価格伝達を示しており、正の非対称価格伝達と呼ばれる。逆に、 $\rho_1 = \rho_2$ が棄却され $|\rho_1| > |\rho_2|$ であれば、均衡誤差からの正の乖離の方が負の乖離よりも急速に調整されることを示すため、マージンが減少するようなショックよりもマージンが増加するようなショックに対してより急速な調整が行われる。すなわち、上方硬直的な価格伝達を示しており、負の非対称価格伝達と呼ばれる。

一方、M-TARモデルは(5)式における $\mu$ を $\Delta \mu$ と置き換えることによって推計される。TARモデルとM-TARモデルはSichelの言うDeepnessとSteepnessという2つの非対称調整過程に対応するが、いずれのモデルでも $|\rho_1| < |\rho_2|$ であれば正の非対称価格伝達を示し、 $|\rho_1| > |\rho_2|$ であれば負の非対称価格伝達を示す<sup>12)</sup>。

## 4. 結果・考察

## (1) 国際農産物シミュレーション・モデルによるシミュレーション結果

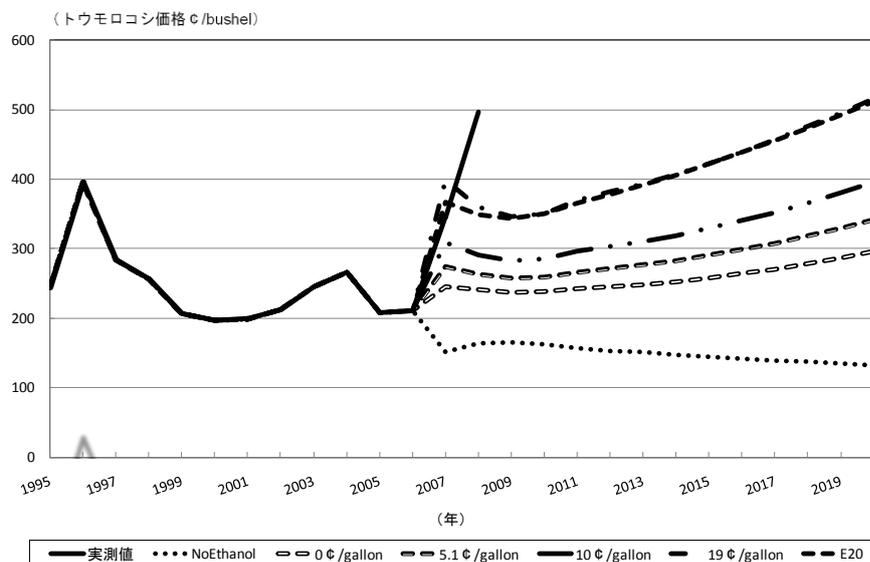


図6. シミュレーション結果

図6は国際トウモロコシ価格に関するシミュレーション結果を示したものである。図から明かなように、エタノール生産を停止した場合、国際トウモロコシ価格は2006年時点の価格よりも低い水準で推移し下落する傾向にある。それ以外のシナリオについては、全て2006年の価格水準より高水準にあるとともに、上昇傾向で推移する。

エタノールに対する1ガロン当たりの税控除が0セント、5.1セント、10セント、19セントと大きくなるにつれ、国際トウモロコシ価格の水準は高くなっていくことがわかる。これは言うまでもなく、米国のバイオエタノール導入に関する政策である税控除により、エタノール混合ガソリンのほうが相対的に安価になることから米国国内のエタノール需要が増大し、それに振り向けられるトウモロコシの量が増大することから生じる。また、ガソリンの混合率をE10からE20に引き上げた場合でも、国際トウモロコシ価格は上昇し、その水準は、税控除の値が最も大きい、1ガロンあたり19セントとほぼ同水準である。バイオエタノールに対する税控除が現行の1ガロンあたり5.1セントを含む0～10セントにかけては、現状の国際トウモロコシ価格の推移の趨勢からそれほど大きく外れたものではない。しかしながらE20の場合、その影響は大きい。

以上より、米国のバイオエタノール導入促進政策が国際トウモロコシ市場に対して、大きな影響を有することが本研究のシミュレーション結果から明かとなったが、その評価については、国際社会全体としての社会厚生、あるいは、GHG削減効果等を総合して判断する必要がある。国際トウモロコシ価格が上昇するものの、消費者余剰の減少以上に生産者余剰が増大する、あるいはGHG削減効果が見込め

表4. 2020年時点のシナリオ別余剰

単位: 100万US\$

るのであれば、本研究のシミュレーション・モデルのシナリオに用いた米国のバイオ燃料導入促進政策は肯定される。

表4は、米国、中国、その他生産国について消費者余剰、生産者余剰

シナリオ		エタノール生産なし	0セント	5.1セント	10セント	19セント
米国	消費者	17947.3	3446.4	0	-3793.3	-11791.3
	生産者	-27770.4	-6398.7	0	7619.2	25635.3
	政府	5873.1	6753.7	0	-8419.4	-28800.3
中国	消費者	25173.8	5300.9	0	-6059.6	-19553.9
	生産者	-19788.2	-4573.9	0	5451.2	18354.7
その他生産国	消費者	21258.3	4130.6	0	-4569.7	-14279.1
	生産者	-15858.0	-4124.1	0	5205.0	18617.4
	消費者	471.7	83.9	0	-89.6	-270.4
総余剰	米国	-3950.1	3801.4	0	-4593.5	-14956.3
	グローバル	7307.5	4618.7	0	-4656.2	-12087.6

表5. 米国の社会的最大余剰とグローバルな社会的最大余剰

平均 (2011~2020)	0 ¢	5.1 ¢	10 ¢	19 ¢
「エタノールなし」との余剰差 (100万US\$)	-1595.3	-5403.1	-9647.3	-17890.5
CO <sub>2</sub> 排出削減量 (100万トン)	30.8	36.6	54.2	42.6
必要なCO <sub>2</sub> 価格 (US\$/トン)	49.7	147.6	228.7	336.2

を現行の米国におけるバイオエタノール政策を基準として比較したものである。米国については、先のシミュレーションにおいて米国のバイオエタ

ノール政策について検討したことから、政府部門を考慮する。またトウモロコシの需要・消費国として日本の消費者余剰も考慮する。消費者余剰と生産者余剰の合計が社会的余剰となるが全体として先に提示したシミュレーション・シナリオに関して、エタノール生産を増加させるにつれ社会的余剰は低下する傾向にあることが指摘できる。すなわち7307.5 (100万US\$:エタノール生産なし)、4618.7 (100万US\$:エタノール生産あり・税控除なし)、-4593.5 (100万US\$:エタノール生産あり・10セント/ガロンの税控除)、-12087.6 (100万US\$:エタノール生産あり・19セント/ガロンの税控除)と推移し、トウモロコシからのエタノール生産を全く行わない場合に社会的余剰が最も大きくなる。ただし、この場合、トウモロコシ価格は低下し、消費者-生産者間で余剰の大きさが異なることから、所得分配の公平性が問題になる可能性がある。

次に、米国のみを社会的余剰に着目すると税控除なしでエタノール生産を行うシナリオの場合が3801.4 (100万US\$)で最も大きな社会的余剰となり、グローバルレベルでの社会的余剰の最適なシナリオの場合と異なる。

ここで、仮定として、生産段階のCO<sub>2</sub>排出を考慮せず、トウモロコシ由来のエタノールを使用することで削減されるCO<sub>2</sub>排出を考慮する。すなわち、米国の社会的余剰の最大化とグローバルレベルの社会的余剰の最大化とが異なる場合、CO<sub>2</sub>排出の削減価値がその差を上回るなら米国の社会的余剰を最大化するバイオエタノール導入政策は許容されることとなる。表5の上2段にグローバルレベルの社会的余剰を最大化するトウモロコシ由来のエタノール生産を行わない場合の社会的余剰とシナリオ別の米国の社会的余剰との差、およびその際のCO<sub>2</sub>削減量を示した。さらにそのCO<sub>2</sub>

表6. (M-)TARモデルの推計結果

TAR					M-TAR				
range	$\rho_1$	$\rho_2$	$\Phi$	Asym.	range	$\rho_1$	$\rho_2$	$\Phi$	Asym.
1999.1-2008.12 (1-120)	-0.449 ***	-0.357 ***	15.09 ***	0.40	1999.1-2008.12 (1-120)	-0.270 ***	-0.817 ***	21.75 ***	11.02 ***
1999.6-2008.7 (6-115)	-0.397 ***	-0.501 ***	15.66 ***	0.42	1999.6-2008.7 (6-115)	-0.330 ***	-1.015 ***	22.64 ***	11.27 ***
1999.11-2008.2 (11-110)	-0.319 ***	-0.465 ***	11.72 ***	0.79	1999.11-2008.2 (11-110)	-0.308 ***	-0.856 ***	14.95 ***	6.04 **
2000.4-2007.9 (16-105)	-0.502 ***	-0.393 ***	12.19 ***	0.36	2000.4-2007.9 (16-105)	-0.354 ***	-0.803 ***	14.54 ***	4.05 **
2000.9-2007.4 (21-100)	-0.613 ***	-0.256 **	11.97 ***	3.71 *	2000.9-2007.4 (21-100)	-0.539 ***	-0.206	11.55 ***	3.04 *
2001.2-2006.11 (26-95)	-0.610 ***	-0.244 *	9.53 ***	3.21 *	2001.2-2006.11 (26-95)	-0.571 ***	-0.146	10.19 ***	4.29 **
2001.7-2006.6 (31-90)	-0.569 ***	-0.170	9.95 ***	4.17 **	2001.7-2006.6 (31-90)	-0.495 ***	0.124	11.12 ***	6.04 **
	-4.30	-1.18	0.046 -			-4.68	0.54	0.017 -	

註：1)  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ は(4)式における調整係数を表す。

2)  $\Phi$ は $\rho_1 = \rho_2 = 0$ をF検定したときのF統計量である。棄却域はEnders and Siklosによる<sup>7)</sup>。

3) Asym.は $\rho_1 = \rho_2$ をF検定したときのF統計量である。

4) +は正の非対称価格伝達を、-は負の非対称価格伝達を表す。

5) \*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ10%、5%、1%水準で有意であることを示す。

削減量がエタノール生産を行わない場合の社会的余剰とシナリオ別の米国の社会的余剰との差と同等の価値を有するためのCO<sub>2</sub>の価格を示した。表に示したようにCO<sub>2</sub>削減の価値が1トン当たり49.7 US\$以上と見なせるならば社会的な最適行動と米国にとっての最適行動は税控除なしにエタノール生産を行うシナリオで一致する。

## (2) 国際植物油市場のパームヤシ生産農家に与える影響に関する分析結果

(M-)TARモデルでは、サンプル数が約50以下の推計では小サンプル・バイアスが発生する可能性があるため、いくつかの期間区分を行って推計し、総合的に判断する必要があると考えられる。推計結果を示したのが表5である。1999年1月から2000年8月頃までは有意に $|\rho_1| < |\rho_2|$ が成立し、正の非対称価格伝達が趨勢的であるが、2000年9月頃から2007年4月頃までは有意に $|\rho_1| > |\rho_2|$ が成立し、負の非対称価格伝達が趨勢的であり、それ以降は再び正の非対称価格伝達に向かうように考えられる。すなわち、期間中の初期においては下方硬直的な価格伝達が行われ、それが2000年8月頃から上方硬直的な価格伝達に変化し、2007年後半以降は比較的対称的な価格伝達になってきたと判断することができる。

より多くの期間区分で同様の推計を行い、それらを総合してひとつの指標として表したものが図7である。ここからも、2000年7月頃までは正の非対称価格伝達となっていたが、2000年8月頃から負の非対称価格伝達に向けて変化し、2002年4月頃から2007年4月頃までは完全な負の非対称価格伝達が行われて、それ以降は対称的な価格伝達が行われていることが確認できる。

1999年1月から2000年7月頃までの下方硬直的な非対称価格伝達は、パームオイル産業に関する既存研究が指摘しているように、相対的に搾油工場がFFB購入価格の決定力を持っていることと合致する。しかし、パームオイルの国際価格の上昇とそれともなうパームオイル需要の増大により、パーム作

付地域が拡大するとともに搾油工場が増加し、搾油能力も上昇したため、搾油産業が厳しい競争に晒されるようになり、FFBの売り手(農家)に価格決定権が移行したといえる。これは2000年8月頃から2007年4月頃までの上方硬直的な非対称価格伝達に示されている。また、交渉力が強い方を先導者、弱い方を追随者と考えると、上方あるいは下方硬直的な非対称価格伝達が見られる期間において、先導者の価格上昇により需要が低下すると、追随者は価格を急速には調整しなくなり、先導者が価格を引き下げることで需要が増加すると、追随者は価格を急速に調整することになる。

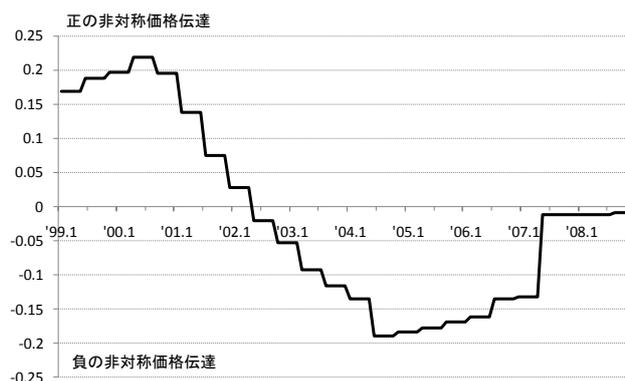


図7. 非対称価格伝達の推移  
出所：筆者作成

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

米国が自らの社会的余剰の最大化のみを目標とするならば、税控除なしでエタノール生産を行

うことが最適となる。しかし一方で、グローバルレベルでの社会的余剰の最大化を目標とするならば、米国がエタノール生産を停止することが最適となる。米国が自国の社会的余剰の最大化のみを考慮した場合のトウモロコシ由来のエタノール利用によるCO<sub>2</sub>削減効果の価値が、一定程度認められるならば、米国のバイオエタノール政策は許容される可能性がある。すなわち米国が自国の社会的余剰の最大化のみを目標とした場合と、グローバルレベルの社会的余剰の最大化を目標した場合との社会的余剰の差を埋めるだけのCO<sub>2</sub>削減効果の価値が認められればよい。近年確立しつつあるCO<sub>2</sub>取引市場で形成されるCO<sub>2</sub>価格の上昇が見られるような場合、米国のバイオエタノール政策は許容される可能性があるといえよう。以上より、本研究は生産段階のCO<sub>2</sub>排出を考慮に入れていない、という欠点は有するが、経済学のフレームワークをバイオ燃料導入の影響評価に応用し、一つの評価軸を提示した点に科学的意義が認められる。また、非対称価格伝達のフレームワークをバイオ燃料利用について、なかでも国際市場の途上国農民への影響に応用した研究は行われておらず、この点についても本研究の科学的意義が指摘できよう。

## (2) 環境政策への貢献

経済産業省が農林水産省、環境省と連携して開催した「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」において、本サブテーマの代表者が本研究成果を元に議論を行った。

## 6. 引用文献

- 1) 阮蔚 (Ruan Wei) (2008)「中国におけるエタノール生産の状況と穀物需給への影響」梶井功・服部信司編著『世界の穀物需給とバイオエネルギー』農林統計協会.
- 2) 加藤信夫・平石康久 (2008) 「EUにおける砂糖制度改革下の域内砂糖需給の変化と改革への対応について (1) ~ (3) 」『砂糖類情報』, [http://sugar.lin.go.jp/world/report\\_d.htm](http://sugar.lin.go.jp/world/report_d.htm)
- 3) Elobeid, A., S. Tokgoz, D.J. Hayes, B.A. Babcock, and C.E. Hart.(2007), “The Long-Run Impact of Corn-Based Ethanol on the Grain, Oilseed, and Livestock Sectors with Implications for Biotech Crops,” *AgBioForum*, 10(1), pp.11-18.
- 4) FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/default.aspx>
- 5) InforDev(2006), *The Indonesian Palm Oil Plantation and Its Major Downstream Industry*
- 6) Maryadi, A. K. Yusuf, and A. Mulyana(2004), “Pricing of Palm Oil Fresh Fruit Bunches for Smallholders in South Sumatra,” *Working Paper. Food Research Institute of Stanford University*.
- 7) Engle, R. F. and C. W. J. Granger(1987), “Co-integration and error-correction: Representation, estimation and testing,” *Econometrica*, Vol.55, pp.251-276.
- 8) Enders, W. and P. L. Siklos(2001), “Cointegration and Threshold Adjustment,” *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol.19, pp.166-76.
- 9) Chan, K. S.(1993), “Consistency and Limiting Distribution of the Least Squares Estimator of a Threshold Autoregressive Model,” *The Annals of Statistics*, Vol.21, pp.520-533.
- 10) Oil World, <http://www.oilworld.biz/home>
- 11) Petrucelli, J. and S. Woolford(1984), “A threshold AR(1) model,” *Journal of Applied Probability*, Vol.21, pp.270-286.
- 12) Sichel, D.(1993), “Business Cycle Asymmetry: A Deeper Look,” *Economic Inquiry*, Vol.31,

pp.224-236.

## 7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 鈴木宣弘： 農業経済研究，第81巻2号，2009，食料をめぐる国際情勢と日本農業・農政の展開方向
- 2) N. Kuga, N. Suzuki, and H.M. Kaiser： Agribusiness: An international journal, 26(1), 64-82, 2010, “Trade implications of price discrimination in a domestic market”
- 3) T. Nakajima, A. Ruffin, and H. Matsuda： International oil palm conference proceedings 2010, “The structural change in supply-chain of Indonesia’s palm oil industry between farmers and companies”
- 4) X. Li, T. Takahashi b, N. Suzuki and H. M. Kaiser： Agricultural Systems, 104, 348-353, 2011, “The impact of climate change on maize yields in the United States and China”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 松田浩敬・高橋大輔： 農業経済研究，第80巻1号，23-35，2008，国際食料需給の現状と環境問題ーバイオ燃料生産と水問題を中心にー。
- 2) 木下順子・鈴木宣弘： 2008年版食料白書ー食料とエネルギー・地域からの自給戦略，農村漁村文化協会，49ー67(2008)，求められる食料安全保障の確立
- 3) 鈴木宣弘： 現代の食料・農業問題ー誤解から打開へ，創森社，2008
- 4) 鈴木宣弘： バイオエタノール：食とエネルギー確保と環境保全に向けて(シンポジウム（静岡県コンベンションアーツセンター）)，日本作物学会紀事，第78巻（別号2），2009，食料問題とバイオエタノール
- 5) 鈴木宣弘： 農業と経済，第76巻3号，13-25，2010，食料アクセスの変化が北東アジアに与えた影響
- 6) 鈴木宣弘・木下順子： バイオエタノール通信（JARUS），第4号，43-58，2010，世界の食料需給とバイオエタノール

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 鈴木宣弘： 弥生(東京大学)，No.47，2-3(2008)，バイオ燃料と食料価格高騰ー総合評価の視点ー
- 2) 鈴木宣弘： 地域経済ニューズレター(金沢大学)，No.82，1-7(2009)，バイオ燃料生産と世界の食料問題
- 3) 鈴木宣弘・木下順子： 食料を読む，日経文庫，2010

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 鈴木宣弘： 日本農学会シンポジウム，東京，2008，穀物争奪戦：バイオ燃料と食料（パネラーとして）

- 2) 鈴木宣弘：Bio Fuels Worldビジネステクニカルセミナー，東京，2008，バイオ燃料と食料問題をどう捉えるか～国内農産物活用の位置づけと可能性
- 3) R. Masuda, N. Suzuki and H. Matsuda：Second international symposium on food and water sustainability in Asia 2008, Macau. China, 2008, “Effects caused by change of China’s demand for cereals on world corn market (poster presentation) ”.
- 4) T. Takagi, N. Suzuki and H. Matsuda：Second international symposium on food and water sustainability in Asia 2008, Macau. China, 2008, “The analysis of the impacts of bioethanol demand on grain market (poster presentation) ”
- 5) T. Takagi, N. Suzuki and H. Matsuda：Second international symposium on food and water sustainability in Asia 2008, Macau. China, 2008, “The impact of the bio-ethanol production on the world grain market-The case study of world Maize”
- 6) T. Nakajima, A. Ruffin and H. Matsuda, H：International scientific congress on climate change, Copenhagen. Denmark, 2009, “Analysis of price asymmetry in the international and domestic vegetable oil markets for achieving sustainable agriculture in developing countries(posters presentation)” .
- 7) H. Matsuda and N. Suzuki：International scientific congress on climate change, Copenhagen, Denmark, 2009, “Economic impacts of rising demand of vegetable oil for bio-diesel and food on sustainability”
- 8) N. Suzuki：日中韓農業経済学会共同シンポジウム講演，茨城，2009, “Direction of Japan’s agricultural policy responding to the recent world food situation”
- 9) 鈴木宣弘：農研機構・農業機械国際シンポジウム，埼玉，2009，世界の食料需給をどうとらえるか
- 10) N. Suzuki: 2009持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議、食料のグローバルな安全保障，東京，2009, “Can trade liberalization promote sustainability of crop production and food security?”
- 11) 鈴木宣弘: 2009年度日本応用経済学会秋季大会，名古屋，2009, 「食糧危機」の誤解と経済学への期待
- 12) T. Nakajima, A. Ruffin and H. Matsuda, H：IR3S-Kerala Agriculture University Joint Workshop, Tainan, Taiwan, 2009, “The structural change in supply-chain of Indonesia’s palm oil industry”
- 13) T. Nakajima, A. Ruffin and H. Matsuda, H：International Workshop on Sustainable City-region, Tainan, Taiwan, 2010, “Empirical analysis of price transmission in palm oil crushing industry - The case of the province of North Sumatra in Indonesia -”
- 14) 松田浩敬: ISAP2010 持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム，横浜，2010，バイオ燃料は持続可能な社会の構築に貢献できるのか：国際農産物需給を考慮した社会経済分析

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) テレビ東京 モーニング・サテライト(2008.7.11 5:45、テレビ出演によるバイオ燃料需要と食料問題に関する解説)
- 2) NHK 海外ネットワーク(2008.7.27 18:00、テレビ出演によるバイオ燃料需要と食料問題に関する解説)
- 3) NHKスペシャル(2008.10.17 19:30、テレビ出演によるバイオ燃料需要と食料問題に関する解説)
- 4) 「東京新聞」(2009.3.28 10面、「食糧危機」の教訓をどう活かすか)

(6) その他

- 1) 鈴木宣弘「大丈夫か日本の食?—農産物の価格高騰と食料安全保障—」東大農場公開セミナー講演(田無), 2008.7.26
- 2) 鈴木宣弘「バイオエタノール生産・利用をめぐる経済問題と国際情勢」東京大学農学部公開セミナー第35回講演(弥生講堂), 2008.11.1