

目次

1. 課題
2. トウモロコシとバイオエタノールに関する 2008年までの経過
3. 分析手法：価格シミュレーションと便益評価
4. 結果
5. 追加分析：バイオエタノールのCO₂削減価値について
6. 考察と今後の課題

1. 課題

2008年に世界的な穀物価格の高騰が生じて以来、食物由来のバイオ燃料の生産は大変批判的な見方をされるようになった。穀物への需要を高め、食料安全保障を脅かしているとの認識である。しかし当時の状況を顧みると、価格高騰の要因として挙げられるのはバイオ燃料による穀物需要の増大だけではなかった。需要面からは途上国の経済発展や世界人口の増加が、供給面からは生産国での不作が指摘されている。また、金融危機の影響を受けて原油価格が高騰し、生産・輸送のコストが上昇したことや、穀物市場に投機的資金が流入したことも要因として挙げられる。さらに、こうした状況に敏感に反応した穀物輸出国が自国の食糧を確保するために輸出規制を行ったことも価格高騰に拍車をかけていたⁱ⁾。本来、バイオ燃料生産が穀物市場に与えた真の影響を計測するのであれば、こうした他の

要因の影響から分離しなくてはならない。特に、不作や投機的資金の流入のような一時的な現象を排除して分析することは、食料市場の中長期的な動向を捉える上でも不可欠な取り組みである。

こうした背景により、バイオ燃料と食料需給をめぐる経済分析は様々に行われてきた。例えば、Elobeid and Tokgoz (2006) は、米国におけるトウモロコシ製バイオエタノールとブラジルにおけるサトウキビ製バイオエタノールがもたらす、両原料作物の価格とガソリン価格への影響を分析した。また、小泉 (2007) は、米国と中国におけるトウモロコシ製バイオエタノールの生産がトウモロコシの需給、価格、輸出入量に与える影響を分析した。しかし、こういった数多くの研究の中においても、以下の2つのポイントを考慮して分析したものは少ない。

そのひとつ目として、バイオ燃料への需要が原油価格のみに影響されるような分析モデ

ルの構造となっており、穀物価格の上昇自体がバイオ燃料の生産に負担を与えることを考慮していない点が挙げられる。バイオ燃料の原料が穀物であるならば、穀物価格の上昇はすなわちバイオ燃料の生産コストの増大を意味する。そのため、製造者は生産量を減らし、消費量も減少する。結果として、穀物価格の上昇分の一部は相殺されるのである。この仮説が真であれば、これまで行われてきた分析結果はバイオ燃料生産の影響をやや過大に評価してきたことになる。この関係について検証し、実証されたならば、シミュレーションモデルを改善しなくてはならない。

ふたつ目は、これまでの分析が穀物の将来価格や取引量の動向を追うのみであり、その結果として社会に及ぶ影響度とその対象者については明確化されていないという点である。例えば、ある財の価格が2倍になるとして、その財がコメであるか、リンゴであるか、トウモロコシであるか、それによって社会への影響度とその影響を受ける対象者は異なってくる。シミュレーションによって算出された予想価格それ自体からは、バイオ燃料生産が重大な問題を引き起こしているか否かについて、明瞭な解答を得ることはできないのである。

また、この分析がもたらす重要な点として、価格上昇は損失だけを生んでいるわけではないということを明確にできるということもある。確かに消費者にとって必需品の価格上昇は家計圧迫の要因となる。これは特に低所得者にとって死活問題になりかねない。その一方で、需要の増大と価格の上昇は生産者の所得向上に寄与しうる。また、一般的な先進国

において多額の予算が農業・農村振興につき込まれている事実を考えれば、価格の上昇は国庫負担の軽減という形で、国や納税者等の利益につながっている。このように価格変動は損失と同時に利益をもたらすものであるから、バイオ燃料生産は価格上昇のみを理由に消費者目線で否定されるべきではない。社会的便益の評価を通じた上でこそ是非が問われる問題なのである。

本研究では上記2点の課題を念頭に、米国のバイオエタノール政策を題材にした経済分析を行った。まず、バイオエタノール生産とその原料であるトウモロコシの価格との相互作用を踏まえて再構築された部分均衡モデルを用い、2020年までのトウモロコシ価格についてシナリオ分析を行った。次いで、主なトウモロコシ生産国である米国、アルゼンチン、ブラジル、中国、EU (27カ国)、メキシコと、消費国の日本を対象とし、社会便益を定量的に算出した。本稿ではこれらの結果から、米国のバイオ燃料政策について考察する。

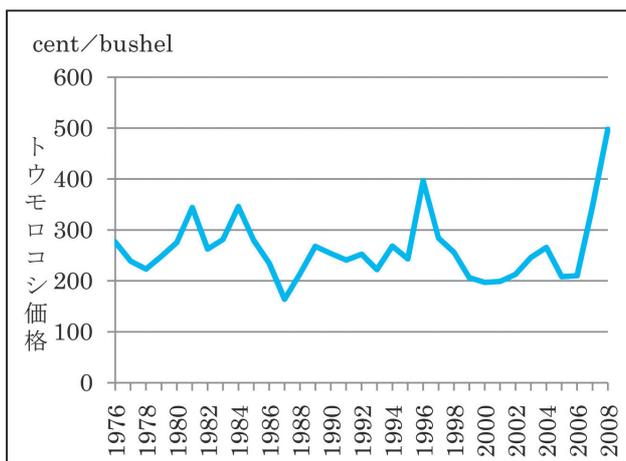
2. トウモロコシとバイオエタノールに関する2008年までの経過

1) トウモロコシの価格・生産量・消費量の動向

最初に、2008年までのトウモロコシ市場とバイオエタノール生産の状況について、データを用いて確認しておきたい。

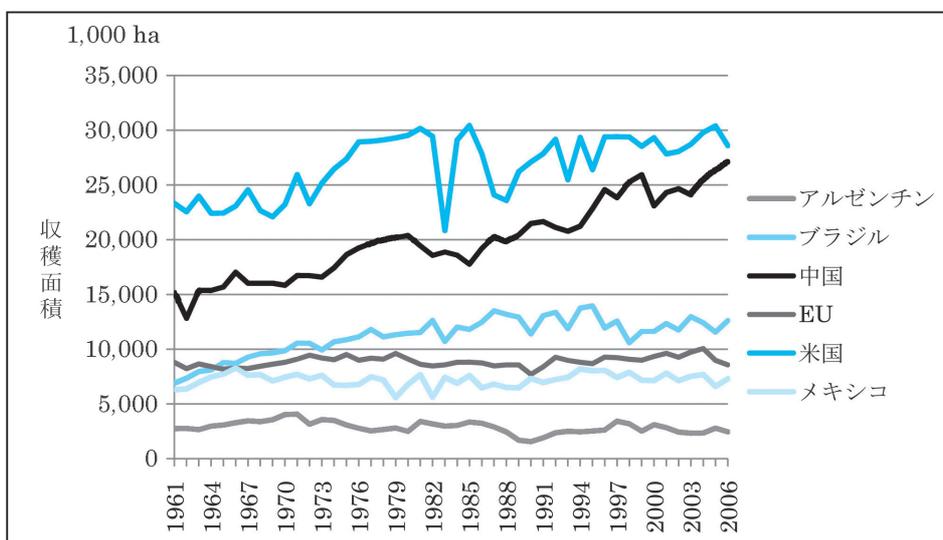
図1は国際トウモロコシ価格（シカゴ相場）の推移である。一時的に価格高騰や値崩れを起こした年はあるものの、2006年までの全体的な傾向としては200~270cent/bushelⁱⁱ⁾の範囲内にとどまっており、横ばいからやや下

図1 トウモロコシ価格の推移（1976—2008）



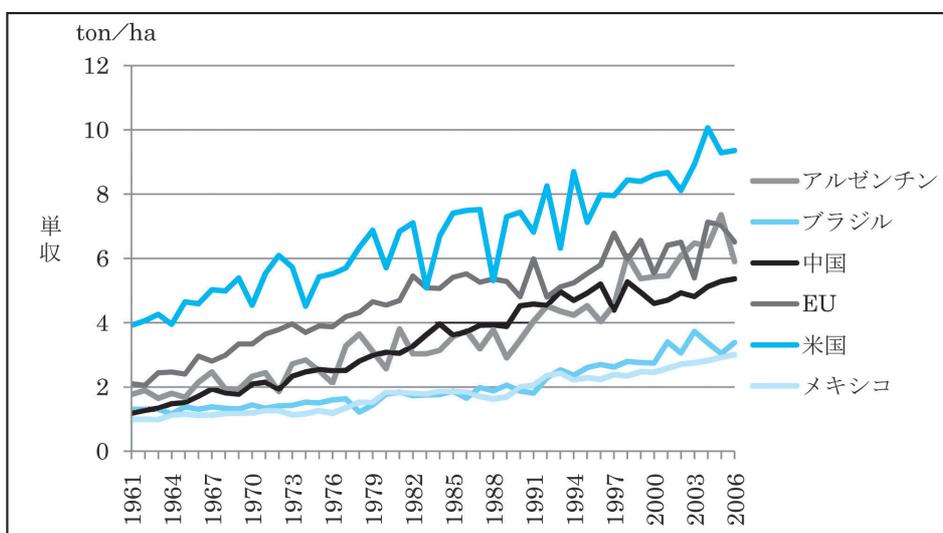
データ：米国農務省経済調査局（ERS/USDA）

図2 主要生産国におけるトウモロコシの収穫面積（1961—2006）



データ：FAOstat

図3 主要生産国におけるトウモロコシの単収（1961—2006）



データ：FAOstat

落傾向であることがうかがえる。このグラフを見る限りにおいて、世界的な人口増加や経済発展の結果として需給が逼迫する兆候があったとは言い難い。

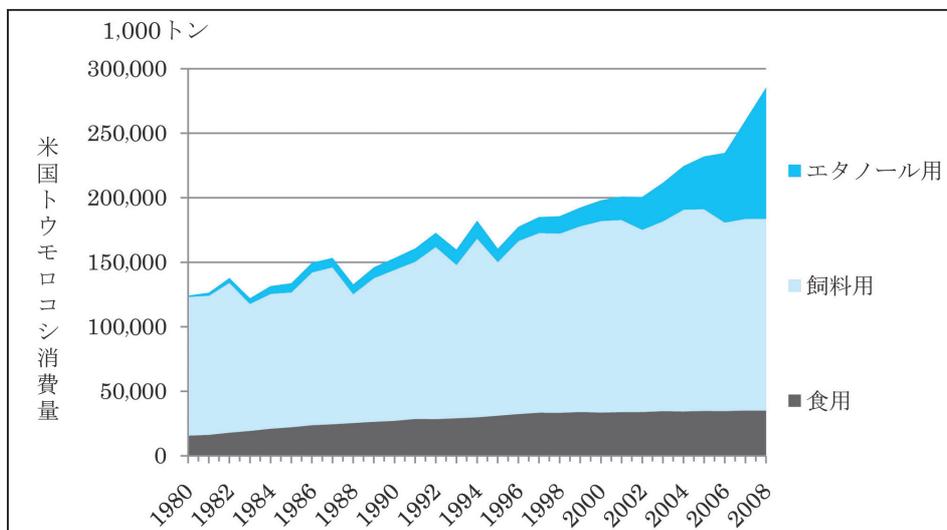
需要の増大の結果が明確に価格に表れていない理由は、主に生産量が増加していることにある。ここでは生産量を収穫面積と単収に要素分解して動向を見たい。図2は、トウモロコシの主要生産国における収穫面積のグラフである。収穫面積は中国では急速に拡大しているものの、その他の主要トウモロコシ生産国では1970年代からほぼ頭打ちしているように見える。一方、図3に示した単収は、現在も各国で堅調に伸びている。ここからわかるように、需要に対応しているのは主に単収の成長である。単収は気候、土壌、栽培技術等の影響を受ける。こうした理由から単収成長の限界なども指摘されているものの、現時点においても中国の単収は米国の半分程度であるから、条件差はあれども、収穫面積の拡大と併せて今後も中国で大きく増産される可能性はある。

次に、価格高騰の一因とされるバイオエタノール向けの消費について確認する。図4は米国におけるトウモロコシ消費量のグラフで、食用、飼料用、バイオエタノール用に分けて積み上げたものである。2000年頃からバイオエタノール向けの消費が急加速し、2008年にはトウモロコシ市場において大きな存在感を持つようになったことが見て取れる。ちょうどこの年にエタノール向けの消費量は1億トンを超え、米国内消費量の約35%を占めるようになってきている。この図からは、確かに価格高騰がバイオエタノールの増産によってもたらされたとの主張は的を射ているように思われる。

しかし、需給だけでは2008年の価格高騰を説明できないことを示す資料がある。図5は、各年度におけるトウモロコシの期末在庫率と価格の関係を示したものである。縦軸はトウモロコシ価格、横軸は米国におけるトウモロコシの期末在庫率をとっている。

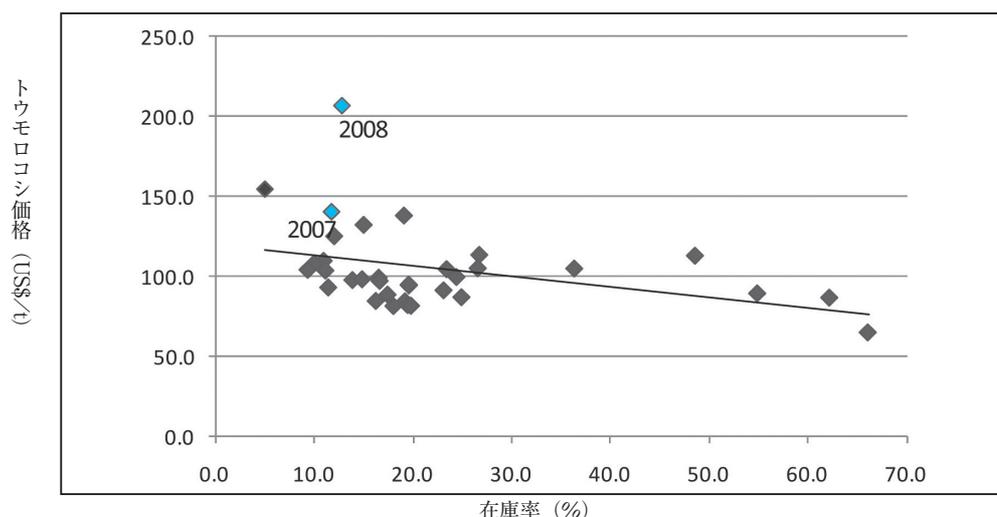
期末在庫率にはその年の生産と消費の関係が表れる。生産に対して消費が上回れば期末

図4 米国におけるトウモロコシ消費量（用途別、1980-2008）



データ：FAOstat

図5 米国トウモロコシ期末在庫率と価格の関係



出所：USDAのデータを基に農林水産省国際部が取りまとめたもの。

在庫率は低下するからである。この散布図からは、確かに期末在庫率と価格の間に負の相関関係が見てとれる。しかし2008年は大幅にこのラインから外れており、在庫率が低いとはいえ度を越した高値となっている。これは、需給要因以外の何らかの影響があったことを示している。横軸に世界の期末在庫率、あるいは輸出主要3国の在庫率を用いて作成された散布図でも同様のことが認められた。

なお、近年在庫率が低いことを根拠に供給不足であるとの主張をされることがある。しかし、これはロジスティックスの発達によってより少ない在庫で対応できるようになったためとも解釈できる。一概に供給不足が原因とは言い切れないことを補足しておきたい。

2) 米国におけるバイオエタノールの利用と推進政策

米国産のバイオエタノールは90%以上がトウモロコシを原料としている。中国でもトウモロコシから、ブラジルではサトウキビからバイオエタノールを生産している。しかし、

米国は輸入バイオエタノールに対して高い関税を設けており、ほとんど輸入していない。

用途はほとんどが自動車用燃料である。この時エタノールは、ガソリンと混和させて用いられる。こうして得られる混合ガソリンは、その混和率によってE10やE85ⁱⁱⁱ⁾ というように区別されている。米国ではE85として消費されるエタノールは全体のわずか1%程度であり、ほとんどはE10を中心とする低濃度の混合ガソリンとして消費されている。

米国が採っているバイオエタノール政策には規制の方策と経済の方策の二種類がある。規制の方策は、代替燃料車の導入に関する義務付けや既存の燃料の使用禁止などの再生可能エネルギーへの移行政策を指す。一方、経済の方策は、補助や税控除による誘導を指している^{iv)}。

本分析では主に、経済の方策の一つである連邦ガソリン税の控除について扱う。この税制優遇措置は近年始まったものではなく、1978年にはエタノール1ガロン^{v)} に対して40セントの補助が行われていた。1984年には60

セントにまで税控除率を上げていたが、それ以降は少しずつ率を下げ続け、2004年からは51セントとなった。1ガロンのE10に対しては5.1セント、E20に対しては10.2セントが控除される計算となる。

税控除率が高いほど、混合ガソリンは通常のガソリンに対して価格面で有利に近づく。その結果、トウモロコシの消費がより多くエタノール向けに割り振られるため、トウモロコシ価格が上昇すると考えられる。次節以降で、この値の操作によってトウモロコシ価格と各利害関係者の便益がどのように変化するか、具体的に試算していく。

3. 分析手法：価格シミュレーションと便益評価

1) 価格シミュレーション

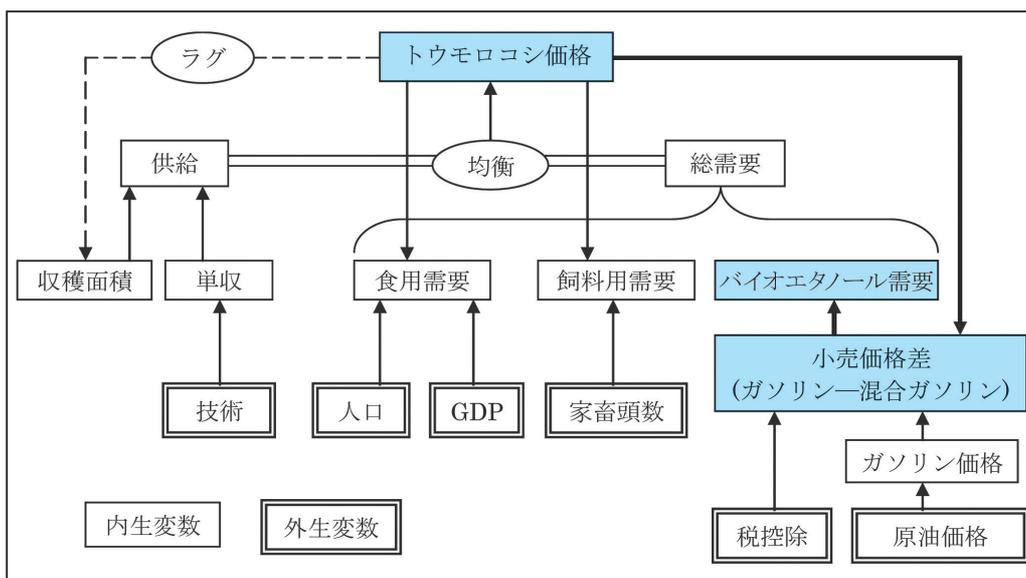
(1) シミュレーションモデル

図6は本分析で用いたトウモロコシ需給予測モデルの概念図である。トウモロコシ価格は、需要と供給が均衡するように決定される。

本モデルのトウモロコシ価格とはシカゴ相場を指している。シカゴ相場は国際穀物価格として扱われ、各国の市況への影響力も大きい。しかし現実的には価格は世界的な需給というよりも米国内の需給でほぼ決まっていると言える。したがって本モデルにおいてもトウモロコシ価格は米国の需給のみで決定され、その他の国における生産者および消費者の行動は価格に反映されない形になっている。

本稿第一節で述べた指摘のひとつ目、トウモロコシ価格の変動によるバイオエタノール生産への影響は、図中で太い矢印で示した部分に相当する。燃料の消費者は、従来のガソリンと混合ガソリンの価格を見てどちらを消費するかを決める。仮に消費者がガソリンと混合ガソリンを完全に同一視しているのであれば、価格の安い方だけが消費される。その結果、両者の価格は一致するはずである。しかし、実際には価格差があっても両方が消費されている。そこからは、ある程度の価格差を容認して混合ガソリンを購入する消費者の

図6 シミュレーションモデルの概念図



存在があると推測される。すなわち、混合ガソリン、ひいてはバイオエタノール向けのトウモロコシ消費量は、従来のガソリンと混合ガソリンの価格差の関数であることが仮想される。この仮説に基づいてバイオエタノール向けトウモロコシ消費量と燃料価格差の関係をOLS推計した結果は（1）式のとおりとなった。

ETHはエタノール生産向けのトウモロコシ消費量（1,000トン）、POPuは米国総人口（人）、PDIFVは従来のガソリンと混合ガソリンの価格差（US\$/gallon）、Tはトレンド項で、西暦年と等しい。また、係数の下の括弧内の数値はt値である。各統計量は良好なものとなった。ここで価格差PDIFVは（2）式で表されている。PGはガソリン価格（cent/gallon）、

fueltaxは連邦ガソリン税（18.4cent/gallon）、PMはトウモロコシ価格（cent/bushel）、TCは前節で述べた1ガロンの混合ガソリンに対する税控除率（cent/gallon）である。すなわち（2）式の第一項がガソリンの小売価格を、第二項がE10の小売価格を表している。両式から、トウモロコシ価格の上昇がバイオエタノール向けのトウモロコシ消費を抑制する効果が確かに実証された。

（2）シナリオ

さて、このモデルを用いてシミュレーションをするにあたり、表1のとおり、ベースラインと6つのシナリオを設定した。6つのシナリオは2つのグループに分けてある。ひとつ目のグループは外生変数である税控除率の

$$ETH/POPu = -0.00530 + 5.50 \times 10^{-6} PDIFV + 2.67 \times 10^{-6} T \quad (1)$$

(-4.77) (6.16) (4.78)

adjusted R-squared = 0.88, D.W. = 1.32, N = 23 (1984-2006)

$$PDIFV = (PG + fueltax) - \left(\frac{PM}{2.7} \times 10\% + Pg \times 90\% + fueltax - TC\right) \quad (2)$$

表1 シミュレーションシナリオ

群	シナリオ名	内 容
	ベースライン	E10に対する税控除率5.1cent/gallon（2008年の水準を維持） （エタノール100%に対して51 cent/gallonの控除）
1	S 1	バイオエタノールを一切生産しない
	S 2	E10に対する税控除率 0 cent/gallon（税控除を行わない）
	S 3	E10に対する税控除率 10 cent/gallon
	S 4	E10に対する税控除率 18.4 cent/gallon（連邦燃料税を完全控除）
2	S 5	E10からE20へ転換、（1）式をエタノールの需要関数と解釈
	S 6	E10からE20へ転換、（1）式を混合燃料の需要関数と解釈

値を変化させたものである。このシナリオを設けることで、政策ごとの需給予測をすると同時に、税控除政策の持つトウモロコシ価格への影響力を測ることができる。便宜上、本稿ではS 1からS 4をまとめて第一群と呼ぶこととする。バイオエタノール政策の方向性としてS 1が最も消極的であり、S 2、S 3、S 4の順により積極的な政策となっていく。ベースラインは、S 2とS 3の中間的な政策にあたる。

ふたつ目のグループでは、税控除率をベースラインと同じくエタノール1ガロンあたり51centとしたうえで、すべてのE10をE20に移行させる。E20シナリオであるS 5、S 6を第二群と呼ぶことにする。

S 5とS 6の違いは、(1)式の解釈の違いによる。S 5では、(1)式を文字通りエタノールに対する需要関数だと解釈する。つまり、この場合は消費者が価格差を見て決定しているのはエタノールの購入量であると考ええる。他方、S 6では、(1)式を混合ガソリンに対する需要関数と見なす。エタノールの混和率が全国一律と仮定すればエタノールの消費量と混合ガソリンの消費量は表裏一体の関係である。そのため、(1)式はエタノール消費量を被説明変数に用いつつも、混合ガソリンの需要関数を表していると見なすこともできる。換言すれば、消費者が燃料価格差を見て決定しているのは混合ガソリンの購入量だという仮定である。S 5では同一価格差に対してエタノールの消費量は変わらないので極端なベースラインとの差は現れないと予想される。一方、S 6では価格差が同一でもエタノール消費量はベースラインの2倍に

なる。そのため、トウモロコシ価格が大きく上昇する可能性がある。

(3) その他の前提

シミュレーションにあたっては以下のような仮定をおく。

①シミュレーション期間は2007年から2020年までとする。本来、データの存在する限りは最新の時点からのシミュレーションが望ましいと考えられる。しかし、2007年、2008年の穀物市場は、それ以前とはかけ離れた異常な状況であった。そのような、いわばノイズ含みのデータを用いてシミュレーション行うのは、中長期的な価格動向を見るうえで望ましくない。そこで2007年からシミュレーションを行うことにより、そのような影響を受けることを回避する。また、純粹に需給のみで決まる均衡価格と、実測値とを比較することによって、現実がどれほど異常な事態であったかを検証することができるという利点もある。

②外生変数の将来予測値は、各国の人口については米国商務省国勢調査局による予測値を、GDPについては米国農務省経済調査局(ERS/USDA)による予測値を用いる。

③畜産物の生産量の将来予測値は、トウモロコシ市場と同様、畜産物市場をモデル化して需給均衡に基づき決定されるべきである。しかし、本モデルにおいてはモデルの複雑化を回避するため、過去のデータを基に、主にトレンドのみで説明する。

④原油価格は年に2%ずつ上昇すると仮定する。この上昇率は現実と比べると高い。したがってトウモロコシ需要は大きめに見積もら

れることになり、「食料危機」が起りやすい設定となっている。

2) 便益評価

(1) 評価対象

便益評価の対象とする利害関係国および地域は、米国、中国、アルゼンチン、メキシコ、ブラジル、EU27、日本とする。米国、中国、アルゼンチン、ブラジル、EU27は、世界における有力なトウモロコシ生産国である。特に米国と中国はそれぞれ1億トン超を生産しており、これら両国を合わせると世界の生産の約6割を占める。無論、これらの国は同時に消費国でもある。日本についてはほとんどトウモロコシ生産がない。そのため本稿では消費するのみの国として扱う。

便益を算出するのは、ここで挙げた関係国内のトウモロコシの生産者と消費者に関する部分である。既に述べたとおり、米国以外の生産者、消費者は価格決定に関われない。ただ米国内で決定された価格に基づいて行動するのみである。したがって、これらの国では国内均衡がとれているわけではなく、また貿易を通じて国際均衡がとれているわけでもない。

米国においてはトウモロコシの生産者と消費者に加え、エタノール消費者の得る便益と、政府収入に関する部分を評価対象に加える。その他の評価対象として、CO₂削減効果、化石燃料節約の効果、エネルギー自給率の向上、大気汚染防止なども含まれるべきである。しかし、これらは誰もが納得できる統一的な評価法を確立するのが困難であるので重要な評価項目ではあるがここでは算出しない。ただ

し、CO₂削減効果については第5節で別の角度から分析を行う。

(2) 便益の算出方法

トウモロコシの生産者ならびに消費者の享受する便益は、それぞれ生産者余剰と消費者余剰として評価する。これらは、供給関数および需要関数を価格で積分することで算出できる。生産者余剰は、収入から変動費用を差し引いた差額、すなわち利潤と固定費用の和に相当する。したがって、固定費用が一定の場合、生産者余剰の増加と利潤の増加は同義である。また、消費者余剰は、財の消費に伴う貨幣的価値から、取引にかかる費用を差し引いたものに相当する。例えば、ある財の消費に500円相当の価値を見出す消費者がいるとき（したがってこの消費者は財の価格が500円以下なら購入してもよいと考えている）、その財が400円で取引されていれば、その消費者は購入・消費を通じて100円分の利益を得ていると言える。こうして発生する各々の消費者の利益の総和が、消費者余剰である。同様に、エタノール消費者の得る便益についてもエタノール生産向けトウモロコシに関する需要関数をトウモロコシ価格で積分することで算出する。

米国政府の税収に関わる部分については、税控除政策に伴う機会費用を算出する。米国政府は、エタノールに対する税控除政策を採ることによってガソリンのみであったならば得られたはずの燃料税の一部を収入として得る機会を失っている。その損失額を算出する。

この計算にあたっては、任意の年において輸送部門におけるエネルギーの消費量はシナ

リオ間で同量であることを仮定する。換言すると、いかなる政策であっても、どれほどのガソリンがエタノールで代替されようとも、年間の国内自動車総走行量は変化しないとの仮定である^{vi)}。

4. 結果

1) 価格シミュレーション

シミュレーションによって得られた結果のうち、トウモロコシ価格について2008年までの実測値とともにグラフに表したものが図7である。

まず全体の結果としてわかるのは、いずれのシナリオにおいても2008年の試算値がその

年の実測値である497.5cent/bushelに遠く及んでいないということである。2008年は原油価格も大変高騰しており、年平均で94.75\$/barrelであった。この値で試算を行ったところ、トウモロコシ価格は269.6cent/bushel、説明できない価格差は約220cent/bushelとなる。平均トウモロコシ価格（価格高騰が始まる前の1997年から2006年の10年間の平均）が228.5cent/bushelであることを踏まえると、実際に起きた価格上昇分のうち、エタノール生産を含めた需給の影響は15%程度である（表2）。換言すれば、残りの85%程度は投機的資金の流入によるバブルであったことになる。確かに、バイオエタノールの生産が投資

図7 シミュレーション結果（2007-2020）：トウモロコシ価格

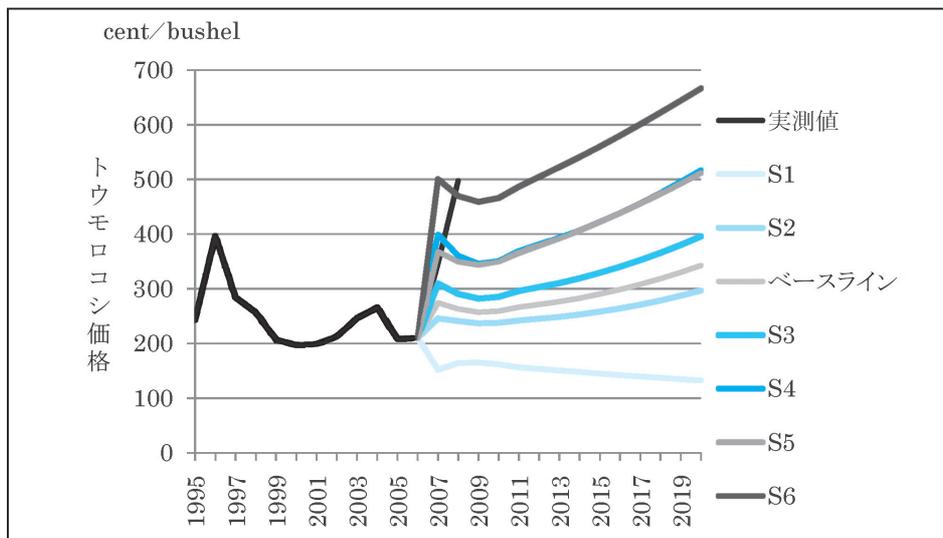


表2 バイオエタノール生産による2008年トウモロコシ価格高騰への寄与

原油価格	94.75 \$ /barrel
トウモロコシ価格試算	269.6cent/bushel
①需給で説明される価格上昇幅	41.1cent/bushel
②実際の価格上昇幅	269.0cent/bushel
①/②×100	15.3%

家の高値期待を誘起させた部分もあろう。しかし期待ほどの影響を及ぼすものではないことが判明したならば、異常と言える程の価格高騰は長期的なものにはならないと考えられる。

さて、続いてシナリオ別に見ていくと、ベースライン、S2、S3の3つのグラフは近く、同じ価格帯をやや下降気味に推移している。つまり、E10に対する税控除率が0～10cent/gallonの範囲内でのバイオエタノール政策であれば、市場自体や外的要因に何らかの変化が生じない限り2020年までの間では1995年以来の価格水準から逸脱しない。S4においても260～280セントと、近年よりはやや高い水準ではあるものの、1980年代にはしばしば見られた価格帯にとどまっている。

一方、バイオエタノール生産を一切行わなくなった場合、価格はこれまでの半分程度の高水準にまで下落する。2008年で急落しているように見えるのは2007年までのデータが実際にバイオエタノール生産を含んだ上での価格であったのに対し、2008年に突然それが無くなったためである。このような生産物価格の下落は消費者、特に低所得層にとっては喜ばしいことかもしれない。しかし農家の負担、あるいは彼らを補助する政府の負担を考慮すると、農業の存続可能性を検証する必要も生じてこよう。

混合ガソリンがE10からE20へと完全移行した場合については、シナリオ毎に大きくことなる結果が出た。第一群と比較すると、S5のグラフはS4のグラフに近い。ただし、徐々に価格が下落していくS4とは異なり、S5は300cent/bushel付近で止まる。一方、

S6では400cent/bushel台に乗り、さらに価格上昇していくとの結果になった。エタノールの混和率を変更する場合、税控除率の変更よりも大きな影響がトウモロコシ市場に及ぶことが示唆されている。

2) 便益評価の結果

以上の結果を用いて各々のシナリオ条件下における便益を求めた。表3では、その試算結果のうち2020年における値のみを示している。これらの値はベースラインが基準となるよう調整してある。したがって、値が正の場合は政策のそちらへの政策変更が望ましいことを、負の場合は現行政策維持の方が望ましいことを示している。

まず第一群においては、世界全体の便益はS2、すなわちバイオエタノールを生産するものの税控除は行わないシナリオにおいて最大化される。比較的小幅ながら、中国、ブラジル、メキシコ、日本で便益が向上し、米国、アルゼンチン、EUで低下する。米国に不利益なシナリオは選択されないと考えられるものの、仮に国際的な交渉によって便益を再分配できればこのシナリオが選択される可能性はある。

バイオエタノールの生産を行わないS1が世界的に支持されない結果となったのは米国の便益が大幅に損なわれるためである。米国を除いた場合には、S1への転換により世界の便益は73億ドル向上し、第一群の中では最大となる。しかし米国においては163億もの損失が生じる。全体として大幅のマイナスなので、便益の再分配によっても米国の便益低下を埋め合わせることは難しい。加えて、価

表3 試算結果：2020年における便益

(単位：100万US\$)

国	便益	第一群					第二群	
		S1	S2	現行	S3	S4	S5	S6
米国	生産者	-11988	-1793	0	1852	5346	9381	35981
	消費者	8745	1159	0	-1159	-3252	-5583	-18478
	エタノール	-16554	-3503	0	3730	10928	6193	12490
	政府収入	3499	4043	0	-4747	-14826	-1627	-4444
	小計	-16297	-94	0	-324	-1804	8364	25549
中国	生産者	-8474	-1268	0	1310	3783	6663	25641
	消費者	11487	1613	0	-1639	-4665	-8125	-28897
	小計	3013	346	0	-329	-881	-1463	-3256
その他 生産国	生産者	-6209	-1009	0	1068	3149	5631	24270
	消費者	10278	1371	0	-1374	-3863	-6643	-22196
	小計	4069	362	0	-306	-714	-1012	2074
日本	消費者	241	31	0	-30	-84	-142	-445
	小計	241	31	0	-30	-84	-142	-445
世界	生産者	-26671	-4070	0	4230	12278	21675	85892
	消費者	30752	4174	0	-4203	-11864	-20493	-70016
	エタノール	-16554	-3503	0	3730	10928	6193	12490
	政府収入	3499	4043	0	-4747	-14826	-1627	-4444
合計		-8973	645	0	-990	-3483	5748	23922
米国を除いた合計		7324	739	0	-666	-1679	-2616	-1627

注1) 「その他生産国」はアルゼンチン、ブラジル、EU、メキシコの総和。

注2) 「生産者」「消費者」はそれぞれ、トウモロコシの生産者余剰と消費者余剰、「エタノール」はバイオエタノールの消費者余剰を示す。

格動向からもわかるように、S1は各国国内への影響も大きい。消費者余剰の大幅な増加が期待できる代わりに、生産者余剰の減少も著しく、国内での調整も必要となることが予想される。したがって、S1を選択するのはかなり困難であると考えられる。

ところで、税控除率を変化させるのは米国政府であるから、政策は基本的に米国にとって最適なものが採用されると考えるべきである。そこで米国の便益差を見ると、S1～S4のいずれも負の値となっている。つまり、第一群の中では現行通りの5.1cent/gallonの税控除が最適であることを示している。

より細かく税控除率を変化させてみると、3.6cent/gallonの税控除率の場合において便益差が最大となった。しかしその値は1,840万ドルと比較的小さな差である。ここからは、現時点において既に米国政府が自国にとって非常に合理的な政策を採っていると結論づけることが出来る。しかも税控除率を徐々に下げ続けている現在の方針は、なお合理的な判断と言えよう。

次に、第二群について見ていく。S5、S6のいずれのシナリオにおいても、世界全体の便益は大幅に向上する。しかし国別に見ていくと便益のほとんどが米国で発生している

一方で、他の多くの国では低下している。しかもその影響は非常に大きい。いずれのシナリオに従うとしても、E20への移行は時間をかけて慎重に行われる必要があると推測される。

米国での便益増加は主に生産者余剰の増加によるものである。また、その効果の割には税収の逸失が小さいことも要因として挙げられる。消費者の負担が大きいものの、生産者の得た利益を適切に再配分できれば米国にとっては非常に望ましい。しかし、特に損失の大きい中国やメキシコのような消費国との調整が必要となる可能性がある。

5. 追加分析: バイオエタノールのCO₂削減価値について

最後に、追加的な分析を行いたい。ここまでは、生産者余剰、消費者余剰、政府収入といった、バイオエタノール生産がもたらす経済学的な効果を評価してきた。ここには、化石燃料の節約効果やエネルギー自給率の向上効果、大気汚染の防止効果といった、バイオエタノールのもつ外部効果と呼ばれる価値は含まれていない。ここでは、これらの外部効果のうち、CO₂削減効果のみに的を絞って考察を行う。

そもそも地球温暖化とCO₂とバイオエタノールの関係を巡っては、トウモロコシ由来のバイオエタノールにはCO₂削減効果はほとんどないとの報告や、地球は温暖化をしていないとの報告など、それらの関係について否定的な意見が出されている。しかしそれらの点について検証したり、真実を追究したりすることは本分析の趣旨ではない。ここでは化石

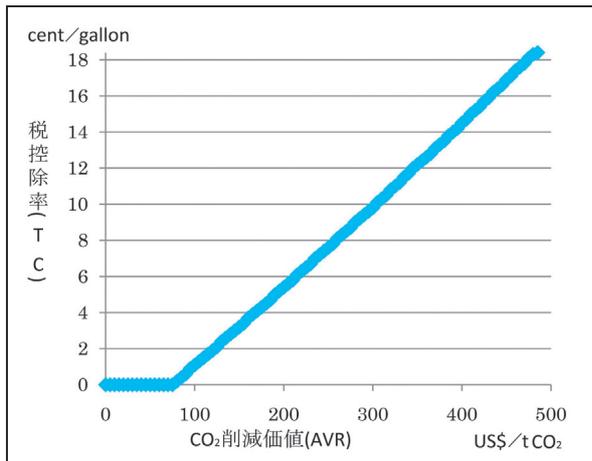
燃料からバイオエタノールへ消費を転換することによってCO₂削減が達成でき、それにより何らかのネガティブな現象を回避できるものと仮定したい。

さてこのとき、CO₂削減の本来の価値は、削減により回避できた損失の大きさに相当するであろう。しかしながら、地球温暖化が及ぼす影響は範囲も種類も多様で、その上、未知の影響も存在しうる。それぞれの評価法についてもコンセンサスの得られたものはなく、評価は大変困難と言える。

そこで本節では視点を換え、単位質量あたりのCO₂の削減価値（以下AVR）と米国の税控除率（以下TC）の関係について分析する。前節では、世界の経済学的な便益の総和はS2（税控除を行わずにバイオエタノール生産を続行）においてシナリオ中最大となることがわかった。しかし、S2はバイオエタノールの消費がベースラインやS3、S4に比べると少ないため、CO₂削減量も少ない。そのため、CO₂削減価値を含めると、世界の便益を最大化する税控除率が変化する可能性がある。前節の結果にCO₂削減価値を上積みすることを考える場合、その上積額はAVRの値に依存する。では、あるAVRの値が与えられた場合に、米国政府はTCをいくつに設定すれば世界の便益を最大化できるのか。その関係を導くことが本節の目的である。

CO₂削減価値を含んだ便益が最大となるようなAVRの値とTCの組み合わせをプロットしたものが図8である。分析にあたっては、AVRは5 US\$/tCO₂ずつ、TCは0.1cent/gallonずつ変化させた。AVRが0～75US\$/tCO₂のときには最適な税控除率は0cent/

図8 CO₂削減価値と便益を最大にする税控除率の関係



gallonのままである。それ以降は、便益を最大にするようなTCとAVRの組み合わせはほぼ直線的に並ぶ。回帰分析の結果によれば、この部分の関係は $TC = -3.58 + 0.045AVR$ で表された。TC=5.1が便益を最大化する政策になるのは、AVR=195のときである。また、AVR≥485のときには連邦ガソリン税の完全控除 (TC=18.4) が望まれるとの結果となった。

なお、比較の参考としてCO₂の排出権取引権価格を挙げると、欧州では10ユーロ（約14ドル）前後、日本でも1,500円（約18ドル）程度となっている^{vii)}。それと比べると、最適税控除率が変化するには少なくとも5倍程度の価値が必要である。

6. 考察と今後の課題

本分析では、現行のバイオエタノール政策および変更された政策の下において、2020年までのトウモロコシ価格をシミュレートした。またそののち、それぞれのシナリオにおける便益を算出した。その結果、①バイオエタノールの生産は価格高騰の要因というより

も、むしろ価格支持に近い、②E20政策はトウモロコシ価格を大きく吊り上げる可能性がある、③2008年の価格高騰は、約85%が需給で説明できない、バブルと呼ぶべき部分である、④外部効果を含まない場合、バイオエタノールの生産を停止するのではなく抑制した方が世界全体の便益が大きくなる、⑤現在のバイオエタノール政策は、米国にとっては非常に合理的に設定されている、といった示唆が得られた。

これらの結果について補足すべきことがある。

まずは、便益の総和を最大化するような政策がもっとも望ましい政策だとは限らないという点である。今回示したいかなる政策変化によっても、勝者と敗者は、国家間でも一国内でも現れてしまう。適切に便益移転が行われればこの問題は解決しうるものの、おそらく国家間の移転は容易な話ではない。初期条件が不利な低所得国や貧困層が負担者になる場合、便益の総和が最大化されるとしても最適な政策とは必ずしも言えない。

また逆に、便益配分の不平等が初期条件における格差を是正する可能性もある。本分析ではベースラインから見た便益の変化量を示したため、初期条件の有利・不利は踏まえていない。誰に利益をもたらすべきで、そのために誰に負担を受け入れてもらえばよいか、その点を明確にする必要がある。

その際に気をつけねばならないことは、生産者余剰の増加は必ずしも農家の利益の向上を表していないという点である。例えば、流通過程における買ったたきの構造や、原油価格の高騰に伴うコストの上昇が農家の手取りに反映されない原因として指摘されている^{viii)}。

それと同様に、消費者余剰の増加（減少）も最終消費者の利益（損失）だとは限られていない。特にトウモロコシは飼料としての消費がメインであるから、消費者余剰は畜産農家に属する部分も多いであろう。バイオエタノール政策によりトウモロコシ生産者に利益をもたらしたつもりが畜産農家に負担を強いることになり、その補てんに追加的な政府支出が必要となる可能性もある。

以上のように、社会への影響をより詳細に見通すには①適切な便益移転が現実に可能か、②真に利益を享受するのは誰か、そして真に損失を被るのは誰か、③負担者はどの程度の損失まで耐えうるのか、といった問いに答える必要がある。今後は、トウモロコシと関連の強い大豆や小麦の市場を含めた形に幅を広げ、より現実に沿うようなシミュレーション—政策評価モデルに改良していくとともに、生産者や消費者をより細分化して上記①～③に対する考察を行っていくこととしたい。

注 釈

- i) 輸出規制に関しては本稿で扱うトウモロコシには当てはまらない。
- ii) トウモロコシの場合、1 bushel=25.4kg。
- iii) Eに続く数値は、その混合ガソリンにおけるエタノールの混和率（体積比）を示す。例えば、E10はガソリン：エタノール=90：10で混和させたものを指す。
- iv) バイオエタノール政策の経過と詳細については大聖（2004）に詳しい。
- v) 1 gallon= 3.785 ℓ。
- vi) この仮定は以下の推計結果によりある程度サポートされる。
- $$TGACB = 7.60 \times 10^6 - 0.166 \times ENACB + 885 \times GDP$$
- (38.0) (-0.51) (30.9)
- adjusted R-squared = 0.99, D.W. = 0.98, N=28
(1981-2008)
- TGACBは米国の輸送部門におけるガソリンとエタノールの消費量の和（熱量換算済み）、ENACBは同部門におけるエタノールの消費量（同）である。データは米国

エネルギー省エネルギー情報局（EIA/DOE）公表のものを用いた。

この結果からは、総消費熱量がエタノール消費量によって変動しない（すなわちエタノール消費量の増加分だけガソリン消費量が減少している）という帰無仮説は棄却できない。D.W.値が小さいものの、それによってこの検定結果が覆ることはない。ただし、95%信頼区間は（-0.83,0.50）であるため、この仮定の正当性を十分に証明できているとも言い難い。

- vii) 日本政策金融公庫、国際協力銀行「排出権市場動向レポート2010」より。あくまで比較の参考数値であることに注意されたい。排出権価格は市場メカニズムによって決定されるため、「CO₂削減によって免れた損失額」と位置付けた本稿のCO₂削減価値とは根本的に評価法が異なる。
- viii) 鈴木・木下『食料を読む』日本経済新聞出版社 pp.66-71、2010

参考文献

- ・朝野賢司、美濃輪智明『日本におけるバイオエタノールの生産コストとCO₂削減コスト分析』AIST/BTRC DISCUSSION PAPER、2007
- ・大賀圭治『2020年 世界食料需給予測 —国際食料政策シミュレーションモデルの開発と利用—』農山漁村文化協会、1998
- ・大聖泰弘『図解バイオエタノール最前線』工業調査会、2004
- ・小泉達治「米国における燃料用エタノール政策の動向—とうもろこし需給に与える影響—」『農林水産政策研究 第11号』、2006
- ・小泉達治『バイオエタノールと世界の食糧需給』筑波書房、2007
- ・小泉達治、大賀圭治「バイオエタノール需要が食料価格に与える影響」『フードシステム研究』第15巻第4号、2008
- ・小島浩司「バイオ燃料の経済性、持続可能性（エネルギー・環境・社会）の課題」『食品と容器』Vol.49 No.1、2008
- ・鈴木宣弘『現代の食料・農業問題 ～誤解から打開へ～』創森社、2008
- ・鈴木宣弘、木下順子『食料を読む』日本経済新聞出版社、2010
- ・農林水産政策研究所『2018年における世界の食料需給見通し —世界食料需給モデルによる予測結果—』、2009
- ・独立行政法人農畜産業振興機構編『月報 畜産の情報海外編』1984-2008
- ・NEDO情報・システム部「米国のバイオエタノールの現状と今後の展望」『NEDO海外レポート No.1000』、2007
- ・日本政策金融公庫、国際協力銀行「排出権市場動向レポート2010」、2010.7
- ・阮蔚『アメリカ、中国のバイオ燃料事情』農林中金総合研究所、2007

- Fortenbery, T.R. and H. Park. "The Effect of Ethanol Production on U. S. National Corn Price" Staff Paper No.523, 2008.
- Gorter, H. and D. R. Just. "The Law of Unintended Consequences : How the U. S. Biofuel Tax Credit with a Mandate Subsidizes Oil Consumption and Has No Impact on Ethanol Consumption" Working Paper 07 – WP 20, 2007.
- Gorter, H. and D. R. Just. "Water" in the U. S. Ethanol Tax Credit and Mandate : Implications for Rectangular Deadweight Costs and the Corn Oil Price Relationship" *Review of Agricultural Economics Vol 30, No. 3*, 2008.
- Gorter, H. and D. R. Just. "The Welfare Economics of Biofuel Tax Credits and Mandate" , 2008.
- Gorter, H. and D. R. Just. "The Social Cost and Benefits of U. S. Biofuel Policies" , 2008.
- Hayes, D. J. , B. A. Babcock, J. F. Fabiosa, S. Tokgoz, A. Elobeid, T. H. Yu, F. Dong, C. E. Hart, E. Chavez, S. Pan, M. Carriquiry and J. Dumortier. "Biofuels : Potential Production Capacity, Effects on Grain and Livestock Sectors, and Implications for Food Prices and Consumers" , 2009.
- McPhail, L. L. and B. A. Babcock. "Ethanol, Mandates, and Drought : Insights from a Stochastic Equilibrium Model of the U. S. Corn Market" Working Paper 08 – WP 464, 2008.
- McPhail, L. L. and B. A. Babcock. "Short-Run Price and Welfare Impacts of Federal Ethanol Policies" , 2008.
- Meyer, F. , P. G. Strauss and T. Funke. "Modeling the Impacts of macro-economic variables on the South African biofuels industry" *Agrekon, Vol 47, No 3*, 2008.
- Oga, K. and K. Yanagishima "International Food and Agricultural Policy Simulation Model" , 1995.
- Paulson, N. D. , B. A. Babcock, C. E. Hart and D. J. Hayes. "Insuring Uncertainty in Value-Added Agriculture : Ethanol Production" Working Paper 04 – WP 360, 2004.
- Pimentel, D. "Ethanol Fuels : Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative" *Natural Resources Research, Vol.12, No. 2*, 2003.
- Rosegrant, M. W. , C. Ringler, S. Msangi, T. B. Sulser, T. Zhu, and S. A. Cline. "International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT) Model Description" , 2008.
- Tepe, F. S., X. Du and D. A. Hennessy. "The Impact of Biofuels Policy on Agribusiness Stock Prices" Working Paper 09 – WP 497, 2009.
- Tokgoz, S. and A. Elobeid. "An Analysis of the Link between Ethanol, Energy, and Crop Markets" Center for Agricultural and Rural Development, Working Paper No. 523, 2008.
- World Bank "Rising food prices : Policy options and World Bank response" , 2008
- FAOstat (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
<http://faostat.fao.org/>
- ERS – USDA (Economic Research Service / United States Department of Agriculture)
Feed Grains Database
<http://www.ers.usda.gov/Data/FeedGrains/n>
International Macroeconomic Data Set
<http://www.ers.usda.gov/Data/Macroeconomics/>
- DOT (United States Department of Transportation)
<http://www.dot.gov/new/index.htm>
- EIA (U. S. Energy Information Administration)
- Energy Kids "Energy Timelines, Ethanol"
http://tonto.eia.doe.gov/kids/energy.cfm?page=tl_ethanol
- CCX (Chicago Climate Exchange)
<http://www.chicagoclimatex.com/>

謝 辞

本稿は、筆者が東京大学大学院農学生命科学研究科に提出した修士論文に、一部内容の修正と再構成を施したものである。本研究を進めるにあたり、多大なるご指導とご鞭撻を賜った東京大学大学院教授の鈴木宣弘先生（国際環境経済学研究室）に心より感謝を申し上げたい。また、同研究室助教の高橋太郎先生、東京大学サステナビリティ学連携研究機構（IR 3 S）特任講師の松田浩敬先生にも理論面・研究面においてご指導と助言を賜った。ここに記して両先生にも御礼申し上げる。