Original Paper

Retrospective Evaluation of Gasohol Promotion Policy in Thailand
Using an Input-Output ModelYue MORIIZUMI[†]

(Received January 15, 2016)

産業連関モデルを用いたタイにおけるガソール促進政策の事後的な評価

森泉 由恵[†]

The Thai government has taken various political measures to promote the use of gasohol as an alternative to fossil-derived gasoline since 2003. The objective of the present study is to evaluate gasohol promotion policy of Thailand in the past from socio-economic and environmental perspectives. A modified input-output model is used to evaluate effects of an increase in gasohol use on the Thai economy from the three aspects, namely, domestic industry development, GHG emission, and employee income. The model is built on the Thai input-output table for the year 2005, by disaggregating the original sectors and adding new sectors related to gasohol production. The principal findings are as follows: first, an increase in gasohol use encourages the development of domestic industries through domestic inter-industrial linkages. Second, it decreases the GHG emission from the whole economy associated with a decrease in the use of gasoline; on the other hand, it should be also noted that the GHG emission caused by the gasohol production is not negligible. Third, the gasohol promotion policy increases employee income in the economy as a whole; more importance is that there is the potential increase in income of the rural households.

Key Words

Bioethanol, Cassava farming, Sugar cane farming, Greenhouse gas emissions, Employee income

タイ政府は、ガソリンの代替燃料としてのガソールの利用促進を目的として、2003年から様々な政策を実施してきた。本研究の目的は、タイでこれまでに行われたガソール推進政策について、社会経済および環境の観点から評価することである。ガソール政策分析用に改良した産業連関モデルを用いて、ガソールの普及拡大がもたらす影響を、国内歩留まり率の変化、GHG排出量の変化、雇用者所得の変化という3つの視点から評価した。新たなモデルは、タイの2005年産業連関表をベースとし、既存部門を分割するとともにガソール生産に関連する部門を新設することで作成した。分析結果から、以下の知見が得られた。第一に、ガソールの利用拡大は、生産波及効果の国内歩留まり率を高め、国内産業の発展に寄与する可能性をもつ。第二に、ガソールの導入は、ガソリン消費量を削減することにより、国全体のGHG排出量削減に貢献する。一方で、ガソール製造にともなうGHG排出量は無視できないほどに大きい点にも留意する必要がある。第三に、ガソール促進政策は、経済全体の雇用者所得を押し上げる効果がある。より重要なのは、農家の所得向上につながる可能性を持つことである。

キーワード

バイオエタノール, キャッサバ栽培, サトウキビ栽培, 温室効果ガス, 雇用者所得

1. はじめに

タイでは、サトウキビから砂糖を製造する過程で生じるモラセス(廃糖蜜)ならびにキャッサバを原材料としてバイオエタノールが製造され、それをガソリンと混合したガソホールが自動車用燃料として広く利用されている。タイ政府は、ガソホール普及促進に向けて、2003年より様々な政策を実施してきた。

ガソホール推進政策の中心は、価格政策である。タイ政府は、ガソホールに対してガソリンに課される税金等を減免することで、ガソリンよりも価格が低くなるように価格調整を行ってきた。当初、ガソホールによる燃料代替は順調に進み、ガソリン自動車用燃料の市場におけるガソホールの比率は、2005年に全体の9%(体積比率)、2009年には59%(体積比率)となった。その後、原料作物価格の高騰などの影響により、2012年頃までガソホール消費量が伸び悩んだ。そのため、2013年1月、タイ政府はそれまで度々延期されてきたレギュラーガソリンの販売停止に踏み切った。これを受けてガソホールの消費量は急増し、2013年は対前年比68%の増加を記録した。レギュラーガソリンは、ほぼガソホールへと切り替わり、2014年にはガソリン自動車用燃料の市場の93%(体積比率)をガソホールが占めるに至った。

価格調整以外の政策としては、エタノール生産業者に対する税制上の優遇措置の付与があげられる。また、ガソホールを販売するガソリンスタンドの拡充、ガソホール対応車の普及などインフラの整備にも力を入れている。なお、2016年から新たな自動車物品税が導入されることが決定しており、税率区分が従来の排気量基準からCO₂排出量基準へ変更されるため、ガソホール普及にはさらなる追い風となる可能性がある。

一連のガソホール推進政策による効果は、エネルギー、環境、農業、地域経済など異なる分野において期待されてきた。具体的には、ガソリン消費量の削減による原油輸入量の低減や、エタノール原料作物の栽培農家の所得向上、農村部の発展などである。また、エタノールを含む再生可能エネルギー拡大政策の目的には、温室効果ガスの排出削減が掲げられている。これまで、エタノール生産にともなうGHG排出量やその経済性については、プラントレベルでのLCAによる評価が行われてきた^{1)~5)}。しかし、ガソホールの生産がおよぼす影響、輸送という生産活動における燃料代替の効果は、産業連関を通じて国全体に波及する。そのため、プラントレベルだけでなく、経済全体で評価する必要がある。

本研究の目的は、タイにおけるバイオエタノール政策が国全体にもたらした影響を多角的に明らかにすることである。自動車用燃料としてのバイオエタノールの利用は、農業、エネルギー産業、輸送業など様々な産業活動に影響を与えるため、産業間のつながりを適切にとらえる必要がある。また、GHG排出量の削減や所得の増加など、異なる観点からの分析を、統合的に行うフレームワークが求められる。これら二つの点を踏まえ、本研究では、タイの産業連関表をガソホー

ル政策の分析に適したものに改良し、それを用いて影響評価を行い、今後の政策の方向性について検討する。評価には、急速に代替が進んだ2014年の現状を反映させる。ガソホール導入の影響をマクロの視点から評価した研究に関しては、将来についてのシミュレーションを行った分析は散見されるものの^{6) 7)}、現実を反映させた事後的な評価は行われていない。

2. 分析の方法

2.1 評価の前提

2.1.1 ガソホールの分類と消費の趨勢

タイで使用されているガソホールには、以下の4種類が存在する。オクタン価91のレギュラーガソリン(以下、ULG91)にバイオエタノールを10%混合したE10(91)、オクタン価95のハイオクガソリン(以下、ULG95)にバイオエタノールを10%混合したE10(95)、ULG95に20%、85%のエタノールを混合したE20、E85である。E10(91)、E10(95)は、2005年頃から本格的な普及段階に入った。当初、ULG95の販売を停止し、全量E10(95)で代替する方針が打ち出されていたため、E10(95)を中心として消費が拡大した。しかし、その政策は実施に至らず、前述の通り、ULG91が販売終了となったため、2012年にE10(95)とE10(91)の消費量が逆転した。2014年の消費量は、ガソリンが56万kLであるのに対し、E10(91)が334万kL、E10(95)が303万kLである。一方、E20とE85の消費が始まったのは、2008年からである。その後の増加率は小幅であったが、2013年から徐々に消費量が増加し、2014年にはE20が96万kL、E85が14万kL消費された。

2.1.2 エタノール原料作物と生産状況

タイにおけるエタノールの原料は、モラセス(廃糖蜜)とキャッサバであるが、エタノールの生産が開始されてから現在まで、主要原料はモラセスである。キャッサバ由来のエタノールは、モラセス由来エタノールよりも製造コストが高いこと、モラセスと比較すると原料収集の点で不利なこと、害虫被害や担保融資制度の影響によりキャッサバ価格が上昇したことなどから、予定されたようには生産拡大が進んで来なかった。ただし、ここ数年で新たに稼働した、あるいは、今後稼働する予定のエタノールプラントは、全てキャッサバを原料としている。既に、モラセスの供給の大幅増加は見込めないことから、キャッサバの利用が徐々に増加する可能性は高い。また、ここ数年は、ケーンジュース(サトウキビ搾り汁)の利用も増加傾向にある。

2015年2月時点で稼働しているエタノールプラントは、モラセスを原料とするものが11ヶ所(生産能力221万L/day)、キャッサバを原料とするプラントが6ヶ所(同128万L/day)、モラセスとキャッサバの両方を用いるプラントが4ヶ所(同70万L/day)である。将来的に稼働が予定されている4ヶ所のキャッサバエタノールプラントの生産能力は、137万L/dayである。

2.2 バイオエタノール部門拡張産業連関表の作成

バイオエタノール部門拡張産業連関表を、現在公表されているタイの最新の産業連関表である「2005 年産業連関表」⁸⁾をベースとして作成した。既存の産業連関表（以下、IO 表）には、バイオエタノール、ガソール製造に関する独立部門は存在しない。そこで、これらの部門を新たに作成し、既存の IO 表に組み込むことで、バイオエタノール導入効果の分析を可能にする拡張 IO 表を開発した。

新設した部門は、バイオエタノール部門とガソール部門である。バイオエタノール部門は、モラセスエタノール部門とキャッサバエタノール部門の2部門を作成した。ガソール部門は、E10 (91), E10 (95), E20, E85 の4部門を作成した。その結果、拡張 IO 表は、既存の 180 行×180 列の表に新たな6部門を加えた 186 行×186 列の表となった。なお、サトウキビ生産、キャッサバ生産、製糖業、キャッサバ加工業については独立部門が存在するため、既存の部門を利用することができる。

2.2.1 モデルプラントの想定

Table 1 にバイオエタノール部門作成の対象としたモデルプラントの概要を示す。モラセスエタノール部門のモデルプラントの原料はモラセスのみで、ケーンジュースは用いないとした。キャッサバエタノール部門のモデルプラントは、キャッサバチップを原料とし、生のキャッサバは使用しないとした。生産規模は 150 kl/day, 年間稼働日数は 330 日で共通とした。

エタノールプラントは、立地の違いから、製糖工場併設型、キャッサバスターチ工場併設型、独立型の3つに分類することができる。モラセスエタノール部門のモデルプラントは、最も一般的な製糖工場併設型とした。製糖工場では、製糖プロセスで発生するバガスを燃料として蒸気生産と自家発電を行っている。製糖工場併設型のプラントでは、製糖工場からバガスをを用いて発電した電力を購入して必要電力をまかなうとした。蒸気については、蒸留廃液から回収したバイオガスをを用いて生産する。モラセス由来のエタノールの場合、エタノール 1 kl あたり 313.1 Nm³-CH₄ のバイオガスが発生する。

キャッサバエタノール部門のモデルプラントは、最も一般的である独立型とした。独立型の場合、製造プロセスに必要な電力はグリッドから購入する。蒸気生産は、モラセスエタノールと同様にバイオガスをを用いて行うが、原料がキャッサバの場合、バイオガス発生量はモラセスよりも少ない。キャッサバ由来エタノール 1 kl あたりのバイオガス発生は 148.6 Nm³-CH₄ であり、バイオガスだけでは必要な蒸気の全量を生産できないため、補助燃料として石炭を用いる。必要となる

石炭の量は、エタノール 1 kl あたり 0.15 ton である。

2.2.2 バイオエタノール部門の作成

バイオエタノール部門の投入額ベクトル（列部門）の作成には、エタノール製造コストの内訳データが必要となる。本研究では、タイにおいて、8ヶ所のエタノールプラント、農業・エネルギー・経済分野の専門家、代替エネルギー開発・省エネ局（Department of Alternative Energy Development and Efficiency: DEDE）に対してヒアリングを実施し、コストデータおよび情報を収集した。製造コストは、原料費、消耗品費（薬品等）、燃料費、電力・水道料金、人件費、保守・修繕費、保険料、減価償却費、諸費から構成される。可能な限り平均的なコスト構造を推計するため、複数のプラントのデータを用いるとともに、DEDE による文献⁹⁾の値も参考にして各項目の金額を決定した。これらのコスト総額と、ヒアリングで得た平均利潤額との合計金額を生産額とした。各コスト項目は、I/O 表の部門定義にしたがい、該当する部門に計上した。なお、諸費は一般管理費に相当するものと仮定し、既存の蒸留酒部門の投入額比率を用いて金額を按分し、関連部門に計上した。

産出額ベクトル（行部門）は、エタノールの販路構成データにより作成される。本推計では、生産したエタノールはガソール製造のみに使用され、かつ、全て国内で消費されると想定し、全額、新設したガソール部門に産出するとした。

2.2.3 ガソール部門の作成

ガソール部門は、バイオエタノールとガソリンの混合、給油所までのガソール輸送および販売を行う部門であると定義する。投入額ベクトルの作成では、原料費（バイオエタノール、ガソリン）の他、混合および販売に係る人件費と輸送費、営業余剰、税金を計上した。原料費以外のコストは、エネルギー政策計画局（Energy Policy and Planning Office: EPPO）により公表される石油製品価格構成データ¹⁰⁾を用いて求めた。人件費と輸送費、営業余剰は、石油製品価格構成データから得られる精製・流通マージンを、既存の石油精製部門の投入額比率で按分して算出した。

IO 表における各部門は、それぞれの生産活動の中で必要に応じて自家輸送を行うため、ガソリンやガソールは、道路貨物輸送部門以外の部門においても中間投入財として消費されている^{脚注 1)}。よって、ガソール部門の産出額ベクトルを作成するためには、道路貨物輸送部門を含む全ての部門を対象に、ガソールの販路構成を推計する必要がある。推計においては、i) ガソリンとガソールの代替比率は全部門共通である、ii) ガソールの販路構成はガソリンの販路

Table 1 Bioethanol production plants considered

	Feedstock	Capacity	Operating days	Configuration	Electricity	Steam
Molasses ethanol	Molasses	150 kL/day	330 days/year	co-location	bagasse	biogas
Cassava ethanol	Cassava chip	150 kL/day	330 days/year	stand-alone	grid	biogas+coal

脚注 1) ただし、IO 表の部門定義では、道路貨物輸送部門にも自家輸送が含まれると記載されている。

構成と等しい、という2つの仮定を置いた。ただし、ガソリンが含まれる既存の石油精製部門には、ガソリン以外の石油製品 (LPG, 灯油, ディーゼル等) も含まれるため、石油精製部門の販路構成をそのまま用いることはできない。

そこで、以下のようにガソリンのみの販路構成を推計した。まず、タイの公式統計^{11) 12)}に15業種別に記載されている12種の石油製品消費量を、業種ごとに該当するIO表の石油精製部門の産出額比率を用いて按分し、ガソリン以外の石油製品の販路構成を求めた。それを石油精製部門の産出額から差し引くことで、ガソリンのみの販路構成を算出した。ガソホール部門の行ベクトルは、この販路構成にガソホール消費額を乗じることで作成される。

2.2.4 既存部門の投入係数の修正

前述の通り、ガソリン、ガソホールは各内生部門でも消費される。よって、ガソリンとガソホールが代替した場合、各部門の投入構造が変化する。ガソリンは同等の熱量を有するガソホールによって代替され、かつ、両者は単価も異なるため、代替にともない中間投入額が変化する。ガソリン、ガソホールの中間投入額は、評価を行うケースにおける代替比率に基づき算出したガソリン、ガソホールの消費量に、それぞれの単価を掛け合わせて求めた。その上で、輸送用燃料の転換による中間投入額の変化は付加価値で吸収され、各部門の製品価格には転嫁されないと仮定し、代替後の投入係数を求めた。

2.2.5 GHG 排出原単位の推計

新設部門を含む186部門について、CO₂排出原単位を推計した。エタノール (キャッサバ) 部門のCO₂排出原単位は、製造プロセスでの石炭投入量、石炭単価および石炭のCO₂排出係数からCO₂排出量を推計し、それを生産額で割ることでCO₂排出原単位を求めた。ガソホール部門は、製造プロセスにおいて化石燃料の直接燃焼は行われないため、CO₂排出原単位はゼロとなる。

新設部門以外の既存の180部門のCO₂排出原単位は、2000年のタイIO表を対象としてCO₂排出原単位を推計した文献¹³⁾の方法に基づき、2005年のCO₂排出原単位を新たに推計した。ただし、エタノール原料作物の栽培は評価において重要であるため、サトウキビ部門、キャッサバ部門の2部門については、化石燃料消費にともなうCO₂排出量だけでなく、栽培時に発生するN₂O、CH₄も加味した原単位を作成した。施肥にともなうN₂O発生量は、ヒアリングで収集したそれぞれの作物の平均施肥量とNPK比から推計した。サトウキビ収穫時の火入れにともなうN₂O、CH₄排出量は、2005年の火入れ率データ¹⁴⁾を用いて、文献¹⁵⁾の方法に基づき推計した。

なお、ガソホールによりガソリンが代替された場合、内生部門でガソリンを消費する全ての部門のCO₂排出原単位が変化する。よって、評価を行うケースごとにCO₂原単位を推計する必要がある。

2.3 評価ケースと評価指標の設定

2.3.1 評価ケースの設定

本研究では、バイオエタノール導入効果の評価を行うため、以下の2つのケースを設定した。

i) ケース1：2005年ケース

2005年のガソリン、ガソホール消費量の実績値ケースである。エネルギー事務局 (Department of Energy Business: DOEB) のデータ¹⁶⁾から、2005年のガソリン、ガソホール消費量を求めた (Table 2)。Table 2に示すとおり、2005年には既にE10(95)が導入され、ULG95を代替している。E10(91)の導入量はごく少量であり、E20とE85はまだ導入されていない。また、2005年時点では、キャッサバエタノールは生産されておらず、エタノール生産は全量、モラセスを原料として行われている。

ii) ケース2：2014年ケース

2005年時点のガソリン、ガソホール消費量に、2014年時点のガソリン、ガソホール消費構成を当てはめた場合を想定したケースである。2005年の消費量実績値から満たすべき熱量を算出し、それに熱量換算した場合の2014年のガソリン、ガソホール消費構成を掛け合わせて消費量を求めた (Table 2)。ULG91はE10(91)に、ULG95はE10(95)、E20、E85によって代替される。熱量換算は、文献⁴⁾に基づき、ガソリンの低位発熱量を31.8 MJ/L、エタノールの低位発熱量を20.5 MJ/Lとして行った。

2014年には、モラセス、キャッサバともに原料として使用されている。DEDEへのヒアリングデータをもとに、2014年の燃料用エタノール生産に占める各原料の割合を、モラセス72%、キャッサバ28%と設定した。モラセス、キャッサバの使用割合の変化は、ガソホール部門の投入額ベクトルに反映される。

2.3.2 ガソホール価格構成の設定

E20とE85は、2005年時点ではまだ導入されていないため、部門作成のための基礎データである石油製品価格構成データが存在しない。そこで、本推計では、E10(95)の価格構成をもとに、E20、E85の価格構成を決定した。その結果をTable 3に示す。精製・流通マージン、および、製品価格に上乗せされる物品税、市町村税、石油基金、環境基金の金額は、E10(95)と同じであると仮定している。なお、エタノール参照価格の算定方法が2005年9月にコスト積上げ法へと変更され、より実態が反映される価格が設定されるよ

Table 2 Consumption of gasoline and gasohol in two cases

	Case1 (2005) [1000 kL/year]	Case2 (2014) [1000 kL/year]
ULG 91	4,333	76
ULG 95	2,240	309
E10 (91)	29	4,444
E10 (95)	646	1,696
E20	0	833
E85	0	207

Table 3 Price structure of gasohol

	Case1 (2005)		Case2 (2014)			
	E10(91) [Baht/L]	E10(95) [Baht/L]	E10(91) [Baht/L]	E10(95) [Baht/L]	E20 [Baht/L]	E85 [Baht/L]
Ex-refinery price	17.06	17.51	17.09	17.54	17.72	18.90
Excise tax	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32
Municipal Tax	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Oil Fund	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Consevation Fund	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
VAT (7%)	1.48	1.51	1.48	1.51	1.52	1.61
Marketing margin	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
VAT (7%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Retaile price	24.21	24.69	24.24	24.73	24.92	26.18

Table 4 Final demand of gasohol in two cases

	Case1 (2005) [1000Baht]	Case2 (2014) [1000Baht]
E10 (91)	265,511	40,742,809
E10 (95)	6,032,623	15,860,810
E20	0	7,854,458
E85	0	2,049,386

うになった。よって、推計には 2005 年 9 月～12 月のデータの平均値を用いた。

2.3.3 最終需要の設定

推計のための最終需要は、以下のように設定した。

- i) ガソリンとガソホールは、内生部門および最終需要部門（民間消費支出、政府消費支出）で消費される。最終需要部門のガソホール消費額は、ガソホール部門の行ベクトル作成において推計したガソホールの販路構成データを用いて求めた。Table 4 に、2 つのケースのガソホール 4 部門（E10（91）、E10（95）、E20、E85）の最終需要額を示す。なお、ガソリンの最終需要額は、石油精製部門の最終需要額からガソホール 4 部門の最終需要額合計を差し引くことで表される。
- ii) バイオエタノールは全額、中間投入されるため、バイオエタノール部門の最終需要はゼロとなる。
- iii) 上記以外の部門には、2005 年の最終需要額をそのまま与えた。

2.3.4 評価指標の設定

上記の 2 つのケースについて、以下の 3 つの観点からバイオエタノール導入効果の評価を行う。

1) 国内歩留まり率の変化：

エタノールは、モラセス、キャッサバというタイ国内の資源を用いて生産される。輸送用燃料の転換に伴い、各部門におけるガソリンの投入量が減少し、エタノールを用いたガソホールの投入量が増加する。これにより、各部門の生産波及効果の国内歩留まり率が変化すると予想される。第 j 部門の国内歩留まり率 (D_j) は、第 j 部門による波及効果が国内に

とどまる比率を示す指標であり、式 (1) によって算出される。

$$D_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} / \sum_{i=1}^n b_{ij}^d \quad (1)$$

ただし、 b_{ij} は式 (2) により、 b_{ij}^d は式 (3) により求められるレオンチェフ逆行列 $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{B}^d$ の行列要素である。

$$\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2)$$

$$\mathbf{B}^d = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{I}$ は単位行列、 $\mathbf{A}$ は輸入品がタイ国内で生産されていると仮定した場合の投入係数行列、 $\mathbf{A}^d$ は輸入表を用いて求めた国産品に対する投入係数行列である。レオンチェフ逆行列の j 部門の列和は、部門 j に 1 単位の需要が生じたときに全部門で誘発される波及効果の大きさを示す。

2) GHG 排出量の変化：

エタノールの導入が GHG 排出量の削減に貢献しているか否かを確認するとともに、排出量をより少なくする方策について検討することを目的とし、GHG 排出量の変化を計測する。各内生部門の GHG 排出量 ($\mathbf{E}$) は、式 (4) により算出される。

$$\mathbf{E} = \hat{\mathbf{e}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{F} \quad (4)$$

ここで、 $\hat{\mathbf{e}}$ ：各内生部門の直接 GHG 排出原単位の対角行列、 $\mathbf{I}$ ：単位行列、 $\mathbf{A}^d$ ：国産品投入係数行列、 $\mathbf{F}$ ：最終需要ベクトルを示す。 $\hat{\mathbf{e}}$ 、 $\mathbf{A}^d$ 、 $\mathbf{F}$ はケースにより異なる。また、最終需要部門からの燃料燃焼に伴う GHG 排出量は、各燃料の消費量と GHG 排出係数を乗じることで求めている。

3) 雇用者所得の変化：

エタノール導入の重要な目的の一つに農村部の所得向上がある。農村部と都市部の所得格差は深刻な問題であり、エタノールの導入が所得の形成にどのような影響を与えるかを分析することは極めて重要である。そこで、3 つ目の評価指標として、雇用者所得の変化を計測する。各内生部門の雇用者所得 ($\mathbf{W}$) は、GHG 排出量と同様に以下の式で求めることができる。

$$\mathbf{W} = \hat{\mathbf{w}}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{F} \quad (5)$$

ただし、 $\hat{\mathbf{w}}$ は雇用者所得率であり、粗付加価値部門の中の雇用者所得額を国内生産額で除することで求められる。

3. 結果と考察

3.1 国内歩留まり率の変化

Fig. 1 に国内歩留まり率の推計結果を示す。横軸は、IO 表の 180 部門を、縦軸は、2つのケース間における歩留まり率の変化率を示す。Fig. 1 が示すように、輸送用燃料の転換により、167 部門で国内歩留まり率が上昇するという結果が得られた。これは、石油精製部門の国内歩留まり率が 43%であるのに対し、ガソホル（E10）部門の国内歩留まり率が 63%であることから、ガソホルへの転換にともない各部門の中間投入における原材料の輸入品比率が下がり、それにより国外への波及効果の流出が減ったためであると考えられる。この結果から、エタノールの導入は、総じて国内歩留まり率を高める効果を持つことが示唆された。

ただし、ガソホル（E10）部門の歩留まり率は、石油精製部門のそれよりは高いものの、ガソホル（E10）のエタノール混合比率は 1 割にすぎず、9 割分はガソリンであるため、ガソホル（E10）への転換による効果は限定的である。ガソホル（E85）部門の歩留まり率は 86%であることから、エタノール混合比率を高めることができれば、国内歩留まり率がさらに高まると見込まれる。そのためには、原料作物の供給、および、E85 を取り扱うスタンドの増加や対応車両の普及などのインフラ整備が鍵となる。

3.2 GHG 排出量の変化

Table 5 に GHG 排出量の推計結果を示す。輸送用燃料をガソリンからガソホルへ切り替えることによって、GHG 排出量はネットで 109 万 t-CO₂eq./year 減少すると算定された。

ガソホルへの燃料転換により、輸送時のガソリン、ガソホル燃焼にともなう排出量が減少する。具体的には、内生部門と最終需要部門でそれぞれ 78.5 万、47.8 万 t-CO₂eq./year 減少し、合計で 126 万 t-CO₂eq./year の GHG 排出量が削減される。

一方、ガソホルの生産にともなう排出量は、ガソリンのそれよりも大きいため、生産プロセスにおける GHG 排出量は増加する。内生部門で消費されるガソリンが減り、ガソホルが増えることによって、ガソリンとガソホルの生産に伴い排出される GHG 量は 11.2 万 t-CO₂eq./year の増加となる。最終需要部門でも同様に消費されるガソホル量が増えるため、ガソリン、ガソホルの生産に伴う GHG 排出量は 6.5 万 t-CO₂eq./year 増加する。生産プロセスにおける GHG 排出量の増加は、産業部門と最終需要部門を合わせて 17.7 万 t-CO₂eq./year となった。以上の結果から、ガソリンからガソホルへの転換は、GHG 排出量削減効果があるものの、ガソホルの生産にともなう排出量の増加は無視できない程度に大きいことが示唆された。

Fig. 2 に生産プロセスにおける GHG 排出量の内訳を示す。17.7 万 t-CO₂eq./year の内訳は、増加分が 33.1 万 t-CO₂eq./year であるのに対し、減少分が 15.4 万 t-CO₂eq./year となっている。最も排出量の増加が大きい部門は発電部門であり、増加分の約 33%を占めている。発電部門について排出量の増加が大きい部門は、エタノール（キャッサバ）部門、原料作物の栽培および加工部門である。サトウキビ・キャッサバ部門の排出は、施肥および収穫時の野焼きにともなう N₂O、CH₄ の排出に起因する。

Fig. 1 Change in industrial linkage effects from base case

Table 5 Differences of GHG emissions between the two cases

Processes	Demand sector	Case1 (2005) [t-CO ₂ eq./year]	Case2 (2014) [t-CO ₂ eq./year]	Difference [t-CO ₂ eq./year]
Fuel combustion	Intermediate demand	9,851,283	9,065,812	-785,471
	Final demand	5,992,576	5,514,771	-477,805
Fuel production	Intermediate demand	219,077,042	219,188,944	111,902
	Final demand	943,720	1,008,318	64,598
Total		235,864,622	234,777,845	-1,086,776

Fig. 2 Sectoral GHG emissions in production process

他方、生産プロセスでの GHG 排出量の減少は、Fig. 2 に示すとおり、ほぼ、原油・天然ガス部門と石油精製部門の生産額減少に伴うものである。原油・天然ガス部門の GHG 排出量の減少については、以下の点に留意する必要がある。タイ IO 表の原油・天然ガス部門が対象とするアクティビティは、原油・天然ガスの探鉱（地質調査、試掘、探掘）、開発（生産井掘削、施設建設）、生産である。よって、同部門の GHG 排出量には、原油・天然ガスの探鉱、開発、生産に伴う排出が含まれる。タイでは、原油・天然ガスの国産比率を高めることを目的に、タイ石油開発公社(PTTEP)による原油・天然ガスの探鉱・開発事業が活発に行われている。輸送燃料の転換によってガソリン需要が減少した場合、原油・天然ガスの生産量が減少する可能性はあるが、探鉱・開発に関わる活動が抑制されるか否かは不明である。原油・天然ガス部門の生産額の減少に伴う GHG 排出量の減少は、これらの活動が一律に抑制された場合の値である点を踏まえておく必要がある。

なお、本推計は、タイ国内での GHG 排出量を対象としており、国外での GHG 排出量は考慮していない。エタノール生産プロセスでは様々な薬品が必要となるが、タイはその大部分を輸入に依存している。エタノール生産量が増加すれば、当然のことながら薬品の投入量も増加し、その分、GHG 排出量も増加する。しかし、その増加分は、本推計での GHG 排出量には含まれていない。

3.3 雇用者所得の変化

Table 6 に雇用者所得の推計結果を示す。Table 6 は、増加額が大きい上位 15 部門と、減少幅が大きい 2 部門を示し

ている。雇用者所得は、燃料の代替により経済全体で 0.24% (61.5 億バーツ) 増加すると算定された。原油・天然ガス部門、石油精製部門の生産活動がエタノール関連部門の生産活動へとシフトした結果、国内での取引が増えて誘発生産額が増加し、それにともない雇用者所得も増加したと考えられる。国内取引が増えたことの効果は、卸売・小売部門や、金融部門、保険部門などサービス業の雇用者所得の増加に表れている。

最も増加額が大きい部門はガソホール (E10 (91)) 部門であり、増加額のうちの 28% を占める。ガソホール部門の活動は、エタノールとガソリンの混合、および、ガソホールの販売であり、石油会社が行うものである。したがって、ガソホール部門の雇用者所得の増加は、石油精製部門内での所得が、既存の生産活動から新たな生産活動へとシフトしたものと解釈することができる。

エタノール製造との連関が強い原料作物栽培における雇用者所得に関しては、サトウキビ部門で 6.9 億バーツ、キャッサバ部門で 6.5 億バーツの増加となっている。これらの部門の所得増加は、工業部門であるエタノール部門の所得増加よりも大きい伸びを示している。また、製糖部門やキャッサ加工部門の雇用者所得も、それぞれ、7.8 億バーツ、1.7 億バーツ増加している。このような、原料作物栽培部門、原料作物加工部門における雇用者所得の増加は、エタノール導入が農家や農村部の所得向上という目的を満たす可能性があることを示唆している。ただし、この数値は燃料転換にともない必要となる原料作物が、全て追加的に生産された場合を想定したものであり、原料作物の供給制約を考慮していない点に留意する必要がある。

Table 6 Differences of employee income between the two cases

Sectors	Case1 (2005) [1000 Baht/year]	Case2 (2014) [1000 Baht/year]	Difference [1000 Baht/year]
Gasohol (E10(91))	13,334	2,043,735	2,030,401
Sugar	7,731,694	8,510,399	778,705
Sugar Cane	6,867,180	7,555,030	687,850
Cassava	6,843,464	7,490,828	647,364
Molasses ethanol	65,711	669,210	603,499
Gasohol (E10(95))	297,030	780,047	483,017
Gasohol (E20)	0	383,321	383,321
Wholesale trade	259,367,139	259,643,084	275,945
Cassava ethanol	0	241,171	241,171
Electricity	102,291,113	102,479,510	188,396
Tapioca Milling	1,576,542	1,749,811	173,269
Banking service	86,016,655	86,171,608	154,952
Gasohol (E85)	0	95,260	95,260
Retail trade	193,399,673	193,488,389	88,716
Water work and supply	9,056,003	9,119,888	63,886
Petroleum refineries	8,081,259	7,266,797	-814,461
Crude Oil and Natural Gas	40,444,264	40,126,518	-317,746
Other sectors	1,867,190,983	1,867,575,360	384,377
Total	2,589,242,045	2,595,389,966	6,147,921

4. おわりに

本研究では、エタノールの導入効果を評価するための IO 表を作成するとともに、国内歩留り率の変化、GHG 排出量の変化、雇用者所得の変化という3つの観点から推計を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- ・国内資源を活用したエタノールの導入は、国内歩留り率を高めるという観点からは意味を持つことが示唆された。さらなる効果を得るためには、エタノールの混合比率を高めることが有効である。
- ・エタノールによる燃料代替は、GHG 排出量の削減につながることを示唆された。ただし、ガソホルの生産の際のエネルギー消費による排出量の増加は、無視できないほどに大きい。また、エタノール生産に投入される薬品類の生産による排出量の増加も考慮する必要がある。
- ・エタノール導入による取引構造の変化は、大きくではないが、国内の雇用者所得を全体的に押し上げることが示唆された。また、農家・農村の雇用者所得の向上に寄与する可能性も持つことが明らかになった。

国内歩留り率、雇用者所得の面からは、原料作物であるサトウキビ、キャッサバの生産が増加することの効果は大きい。また、タイ政府が目標とする 2021 年末までのエタノール消費量 (328.5 万 kL/年) を実現するためには、原料作物の生産増加は不可欠である。タイでは、農業生産増加のための耕地拡大は限界であると言われているため、タイ政府は単収を向上させる取組みに尽力している。今後は、単収を上げるための技術の普及が極めて重要となる。

本研究の分析については、以下の2点に留意する必要がある。

- 1) ガソホルがガソリンを代替することにより、各部門の内

生部門における投入額が変化する。本推計では、各部門は、投入額の変化を付加価値で吸収すると仮定し、生産物の価格は変化させていない。しかし、長期的にみた場合には、燃料転換による投入額の変化を受け、各部門が生産物の価格を変化させる、あるいは、他の財の投入量を変化させる可能性がある。

- 2) 今回の分析では、ガソホルの生産と消費による影響のみを対象としており、新規のプラント建設や、E20、E85 の消費拡大にともなうインフラ整備のための投資による影響は評価に含めていない。低炭素社会への移行という側面からは、インフラ整備による影響の把握は重要な研究課題である。ガソホルの普及が拡大した場合、プラント建設やインフラ整備のために、どの程度 GHG 排出量が発生するか、どの程度雇用者所得が増加か、といった点も、合わせて議論することが望まれる。

今後のエタノール生産拡大の鍵は、キャッサバの生産性向上が握っている。しかし、生産性の向上は容易でなく、一朝一夕には実現できないだろう。その場合、現在、デンブンやチップ、ペレット生産に向けられているキャッサバが、エタノール生産に振り替えられる、すなわち、キャッサバ需要の間で競合が起こる可能性がある。今後は、こうした状況を反映した評価を行っていく必要がある。

文 献 : References

- 1) Nguyen, T. L. T., Gheewala, S. H., Garivait, S., *Energy Policy*, **35**, 4585-4596 (2007)
- 2) Nguyen, T. L. T., Gheewala S. H., *Int J Life Cycle Asses*, **13**, 301-311 (2008)
- 3) Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., *Energy*, **34**, 1933-1946

- (2009)
- 4) Sorapipatana, C., Yoosin, S., *Renew Sust Energ Rev*, **15**, 1343-1349 (2011)
 - 5) Moriizumi, Y., Suksri, P., Hondo, H., Wake Y., *J. Clean. Prod.*, **37**, 326-334 (2012)
 - 6) Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., Hunecke, K., Fritsche, U. R., *Biomass Bioenergy*, **46**, 409-418 (2012)
 - 7) Wianiwat, S., Asafu-Adjaye, J., *Energy Policy*, **55**, 543-555 (2013)
 - 8) National Economic and Social Development Board (NESDB), Input-output table of Thailand 2005 (2005)
 - 9) Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Life Cycle Assessment of Ethanol from Cassava and Sugar Cane, Final Report (2007)
 - 10) Energy Policy and Planning Office (EPPO), Price structure of petroleum products in Bangkok, <http://www.eppo.go.th/petro/price/index.html>
 - 11) Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Thailand Energy Situation 2005 (2005)
 - 12) Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Oil and Thailand 2005 (2005)
 - 13) Moriizumi, Y., Hondo, H., *J. Jpn. Soc. Energ. Resour.*, **29**, 1-7(2008): 森泉由恵, 本藤祐樹, エネルギー・資源学会論文誌, **29**, 1-7 (2008)
 - 14) Office of The Cane and Sugar Board (OCSB), Sugar production by sugar mill in 2004/2005 (2005)
 - 15) Moriizumi, Y., Suksri, P., Hondo, H., Wake, Y., *J. Jpn. Inst. Energy*, **92**(5), 491-502 (2013): 森泉由恵, スクッスイー・ピヤワン, 本藤祐樹, 和気洋子, 日エネ誌, **92**(5), 491-502 (2013)
 - 16) Department of Energy Business (DOEB), Petroleum Product Demand, http://www.doeb.go.th/info/data/datadistribution/y_sale.xls
-