

｜ 第5章 ｜

アジアにおけるバイオ燃料の見通しと課題：
政策への影響



第5章 アジアにおけるバイオ燃料の見通しと課題： 政策への影響

1. はじめに

化石燃料の代替燃料としてバイオ燃料が世界の注目を集めている。20世紀における世界的な産業発展は、化石燃料を急速に枯渇させ、代替燃料の必要性を高めた。ある多国籍石油会社によれば、現在のペースで石油の採掘・利用を続けた場合、世界の石油埋蔵量は40.5年で枯渇するという(Beyond Petroleum 2007)。ここ数年、多くの国が野心的なバイオ燃料推進政策を導入しているが、政府にとって、バイオ燃料は以下の課題に取り組む上で効果的と考えられている。

(i) エネルギー安全保障

(ii) 経済発展と貧困削減

(iii) 環境、特に温室効果ガス(GHG)排出量と大気汚染の低減

バイオ燃料は、日本などの国連気候変動枠組条約(UNFCCC)附属書I国の場合、京都議定書のGHG排出量削減目標達成に寄与する。途上国側では主に、輸入燃料依存度の軽減(外貨節約)や農村開発と貧困削減に関心が集まっている。バイオ燃料には、エネルギー安全保障、経済発展、環境保護を同時に達成できるという、いわば「ウィン・ウィン・ウィン」の解決をもたらすという期待がある。

しかし、バイオ燃料が持続可能な方法で生産されなければ、その急速な普及は逆効果にもなりうる¹。すなわち、バイオ燃料は環境・社会問題を解決するどころか、それらを悪化することにもなりかねないという懸念が広がっている。これまでも、バイオ燃料が食糧の安全保障を弱体化する(Graham-Harrison 2005)、水不足を引き起こす(France-Presse 2007)、水質汚染を悪化させる(Engelhaupt 2007)、GHG排出量を増加させる(Searchinger et al. 2008)、生物多様性に悪影響を与える(Pearce 2005)等の警鐘が、メディアを通じて広く報告されている。また、バイオ燃料の生産には、生産されたエネルギー以上のエネルギーが投入されるのではないかと(Lang 2005)、あるいはバイオ燃料の生産と利用は、GHG排出量を逆に増やすのではないかとという疑問に対しても、明快な解答は出ていない。したがって、バイオ燃料は、持続的開発という目標と矛盾する危険性をはらんだ気候変動対策の一例と言うことができる。

現在、バイオ燃料には、補助金、関税、燃料混合の義務化など、市場に出回るために政府の支援策が導入されている。つまり、バイオ燃料から期待される効果のために、政府あるいは消費者、またはその両者がかなりの割増料を負担している。高価なバイオ燃料の推進政策が、どの程度まで期待された効果を実現できるのかは不明であるが、もしその効果が期待できないのであれば、バイオ燃料推進策に多額の資金を費やすことにはあまり意味がないことになる。例えば、バイオ燃料が普及した結果、熱帯雨林の破壊や貧困層の生活水準の悪化を助長することになれば悲劇である。しかし、期待以上の効果が得られるのであれば、さらに多額の資金を投入する意義があることになる。

バイオ燃料推進政策が進められた初期の段階においては、多くの国で、バイオ燃料に対するエネルギー安全保障や経済発展、短期的な経済効果への期待が重視されたため、土地利用の変化や食糧安全保障への影響などの環境面への影響や潜在的な副作用は十分に考慮に入れられていなかった。

また、アジアに着目したバイオ燃料に関する研究は数少ない。本章では、特にアジアにおけるバイオ燃料の可能性に関する研究の現状について分析と検討を行い、政策提言を行うことを趣旨と

する。以下、セクション 2 では、各種バイオ燃料を化石燃料と比較した場合の相対的な長所と短所について、環境・経済基準に基づく分析結果について述べ、セクション 3 では、アジアの主要数カ国におけるバイオ燃料の生産・消費・貿易の現在の傾向について分析を行った。セクション 4 では、既存のバイオ燃料政策について分析を行い、最後にセクション 5 において、政策提言を行った。

2. バイオ燃料の可能性: 有望なのか危険なのか

Box 5.1. バイオ燃料とは何か

バイオ燃料とは、植物や有機廃棄物などのバイオマスに由来する燃料を指す総称である。

第一世代バイオ燃料は、従来の技術を使い、農作物原料、植物油、動物性脂肪から生産される。以下のものが、商業的に最も一般に生産されている。

- バイオエタノール: ガソリンと混合して使われ、砂糖またはデンプンを発酵させて生産する。原料としては、サトウキビ、トウモロコシ、小麦、テンサイなどがある。
- バイオディーゼル: ディーゼル油と混合して使われ、植物油または動物性脂肪から生産される。原料としては、ヤシ、ジャトロファ、ココナッツ、大豆から抽出される油がある。

第二世代バイオ燃料は、食糧以外の原料から作られ、植物と木質系の廃棄物(セルロース系バイオ燃料と呼ばれる)、微細藻類、または現時点で実験段階のものを含む。

バイオ燃料(Box 5.1)の利用が、GHG 排出量削減やその他の環境目標、貧困削減、農村開発、エネルギー安全保障に対し、どの程度効果があるかについては諸説がある。バイオ燃料は化石燃料よりも高価であるので、コストに見合うだけの便益があるのか、あるいはその便益は実現するのかわという疑問に答えることは重要である。また、食糧と燃料の競合、生産に必要な資源の利用可能性、生産に必要なエネルギー投入量についても懸念がある。本セクションでは、アジア地域における第一世代バイオ燃料生産に関する重要な問題について取り上げる。

2.1. 環境への影響

バイオ燃料はさまざまな形で環境に影響を及ぼすことが考えられ、環境に対するバイオ燃料の真の影響を特定することは、依然として困難な課題である。ライフサイクルアセスメント(LCA)²を用いた研究では、バイオ燃料の GHG 排出量削減の効果や燃料生産に要するエネルギーと産出されたエネルギーとの収支について評価している(表 5.1 と 5.2)。これらの評価では、結果のみならずアセスメントの設計自体にもかなりのバラつきがある(International Energy Agency 2004)。アセスメントの対象範囲(どの要素をライフサイクルに含めるのか)、あるいは副産物をアセスメントに含めるか否か、生産方法に関する仮定などの点で、研究によって違いがある。

LCA 研究によれば、全体としては、第一世代バイオ燃料には、化石燃料よりも、理論上 GHG 排出量削減にかなりの効果が期待でき(表 5.1)、エネルギー純生産性が高いことが示されている(表 5.2)。GHG 排出量削減能力が最も高いのは、ブラジルでサトウキビから作られるエタノールと、ジャトロファから作られるバイオディーゼルである。LCA 研究によれば、砂糖を原料とするバイオ燃料の方が、デンプンを原料とするトウモロコシなどよりも、GHG 排出量が少ない点で優れている(Blottnitz and Curran 2007)。

表 5.1. GHG 排出量削減に関する原料の比較

燃料	国	CO ₂ (削減率%)	出典
トウモロコシ由来エタノール	米国	2(E10)から 23(E85)	(Wang 2005)
トウモロコシ由来エタノール	米国	-30	International Energy Agency (2004)に引用された(Pimentel 2001)
キャッサバ	タイ	63	(Nguyen et al. 2007)
サトウキビ	ブラジル	80	(International Energy Agency 2004)

パーム油	マレーシア	60	(Zutphen 2007)
ジャトロファ	インド	80	(Hooda and Rawat 2006)
ココナッツ	フィリピン	60	(Pascual and Tan 2004)

ドイツのエネギー環境研究所は、すべての作物由来のバイオ燃料が、環境への影響面で、化石燃料よりも優れていると結論づけた(Quirin et al. 2004)。さらに、次のような結論が導かれている。

- (i) エチルターシャリーブチルエーテル(ETBE)³は、バイオエタノールよりも優れている。
- (ii) バイオエタノールの中では、サトウキビ由来のものが最も優れている。
- (iii) ナタネ由来のバイオディーゼルは、純粋なナタネ油よりも優れている⁴。
- (iv) バイオエタノールとバイオディーゼルの比較結果は、使用する原料に左右される。

国際エネルギー機関(IEA)がブラジル、EU、米国におけるバイオ燃料の環境への影響について行った調査では、バイオ燃料により、かなりの GHG 排出削減が可能という報告を行っており(International Energy Agency 2004)、バイオエタノールとバイオディーゼルの両方で、GHG の純削減が可能であるとしている。

表 5.2. 原料別のエネルギー収支(NEV)⁵の比較

原料	国	NEV (百万 J/ リットル)	出典
トウモロコシ	米国	5.89	(Shapouri et al. 2002)
トウモロコシ	米国	-6.17	(Pimentel 2003)
キャッサバ	中国	15.14	(Hu et al. 2004)
キャッサバ	タイ	22.38	(Nguyen et al. 2007)
サトウキビ	ブラジル	41.34	(Macedo et al. 2004)
パーム油	マレーシア	37.45	(Zutphen 2007)
ジャトロファ	タイ	3.82	(Prueksakorn and Gheewala 2006)
ジャトロファ	インド	5.26	(Tobin 2005)
ココナッツ	フィリピン	31.72	(Tan et al. 2004)

しかし、バイオ燃料が、環境に対して悪影響をもたらし、エネルギー収支がマイナスになるという研究報告もあり(Pimentel 2002)、議論を引き起こしている。この報告に対し、全米バイオディーゼル委員会(National Biodiesel Board)は、Pimentel の研究の欠点として、背景情報が不足していること、バイオ燃料生産へのエネルギー投入量に関するデータが古いこと、農業労働力を化石エネルギーと同等に見なすという誤りを犯していること、エタノール生産で生じる副産物を無視していること、トウモロコシ生産手段に対する認識が不正確であること、を挙げている(National Biodiesel Board 2005)。また、GHG 削減が期待できるという報告がある一方で、バイオ燃料はその生産過程で、熱帯林の農地への転換等の土地利用の変化を通じて大量の二酸化炭素(CO₂)が放出され、大気・水質の汚染を悪化させ、生物多様性を劣化させることから、化石燃料よりも環境に対して悪影響を及ぼすという報告もある(Zah et al. 2007)。

バイオ燃料に関する LCA においては、GHG の削減効果が、生産方法、バイオ燃料の原料生産地と精製所との距離、作物収量など、様々な要因が関係することから、結果にはかなりのバラつきが出てくると考えられる。作物収量は、さらに土壌の質、水源、施肥、天候などの要因に左右され、GHG 削減の効果は、例えば同国の同農地に作付けした作物でも、年ごとの天候により変動することもある。

多くの LCA 研究は、生産方法が異なるアジア以外の国で収集したデータに基づいている、あるいは理想的な条件を仮定した値に基づいて算出されているため、アジアの状況にはあてはまらない可能性がある。バイオ燃料の環境に対する影響やエネルギー収支は、栽培技術、燃料精製技術、原料などのさまざまな要因に依存するため、アジアにおけるバイオ燃料の実際の効用は、既存の研究で示された値よりも良い可能性もあれば、悪い可能性もある。

一方で、多くの途上国では、作物生産へのエネルギー、肥料などの投入が少ないため、これに該当するアジアの一部の地域では、バイオ燃料からの GHG 排出量が低くなる可能性がある。トウモロコシへの平均施肥量は1ヘクタール当たり、北米が 257 kg、西ヨーロッパが 276 kg であるのに対し、アジアではわずか 117 kg である。ただし、アジアでも日本などの一部の国では、一人当たりの施肥量がこの地域の途上国よりもはるかに多いため、平均値をもって論じることは誤解を与えかねない(Food and Agricultural Organization 2006)。農家のエネルギー使用量を比較すると、米国では、化石燃料(ガソリンとディーゼル)が農業活動におけるエネルギー使用総量の 75%を占めるのに対し(Brown and Neal 2005)、アジアの途上国では、農業活動のエネルギーのほとんどが、いまだに家畜動力と人力であり、電力とディーゼルがそれに次いでいる(Makhijani 1990)。

他方、アジアにおいては、バイオ燃料の生産過程におけるエネルギーの利用効率ははるかに低いことから、バイオ燃料からの GHG 排出量が逆に高くなる可能性もある。例えば、インドでは、トウモロコシ生産においてトウモロコシ1トン当たり4,653 MJ(百万ジュール)のエネルギーを使うのに対し(Ali 2006)、米国は1トン当たり4,168 MJ(Pimentel 2003)または2,068 MJ(Shapouri et al.2002)である。また、家畜動力からの GHG 排出量は算出されておらず、バイオ燃料の原料輸送インフラが、アジア以外の国々の方がより効率的である可能性もある。このため、アジアの実情に合った LCA 研究が急務となっている。

ほとんどの LCA 研究が対応していない重要な要素の1つとして、バイオ燃料作物栽培の拡大による土地利用形態の変化に与える影響があり、特に熱帯雨林の消失と、湿地や泥炭地の耕作地への転換が挙げられる。このことから、これまでの LCA 研究は、バイオ燃料からの GHG 排出量の算出を大幅に過小評価している可能性がある。土地利用形態の変化に着目したある最近の研究によれば、土地利用形態の変化を考慮に入れた場合、バイオ燃料からの GHG 排出量は化石燃料より50%も高くなるとしている(Searchinger et al. 2008)。Pimentel et al. (2007)は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)に宛てた書簡の中で、バイオ燃料作物の作付けは、肥沃な土地を農業活動から奪い、森林伐採と GHG 排出につながる土地利用形態の変化を引き起こすことから、小規模であっても、非持続的であると指摘している(Pimentel et al. 2007)。熱帯雨林の破壊による GHG 排出量の増加量は、熱帯雨林をバイオ燃料作物に転換することで回避される GHG 排出量を大幅に上回るという点で、意見が一致しつつある(Fargione et al.2008)。また、東南アジアの泥炭地は約420億t近くの炭素を蓄積していると推定され、パーム油生産に転換されると、それが大気中へ放出される可能性も考えられる(Hooijer et al.2006)。このため、熱帯雨林と泥炭地のバイオ燃料生産への転換を防ぐことは、重要な優先課題の一つである。

また、バイオ燃料生産は、生物多様性及び大気と水資源の質へ影響を及ぼす可能性がある。LCA 分析は、このような影響に対しては、エネルギー収支や GHG 排出量に関する研究ほど十分に行われていない。バイオ燃料作物の大規模単一栽培は、特に広範な熱帯雨林の破壊を伴う場合、明らかに生物多様性を脅かす(Bergsma et al. 2006)。したがって、生物多様性と GHG 排出量削減の間には、複雑なトレードオフが存在する可能性がある。また、大規模バイオ燃料生産によって、原料作物の生産に使われる化学肥料の使用増加と燃料生産工場からの排水が、水質への悪影響を及ぼすことも考えられる。

これまでの LCA 研究に対しては、政策または経済への影響を明確に考慮していないという批判があった。それは、こうした研究では、基本的に、既存の生産活動が、きわめて狭義に定義された活動に置き換わると仮定しているからである(Delucchi 2003)。また、ライフサイクルの異なった段階における影響は、さまざまな政策や経済条件に左右されると考えられる。これらの影響は、国によってあるいは時間の経過につれて異なり、同じ国内でも異なる可能性がある。そこで、分析の対象となる時間の幅が広く、あらゆる輸送手段、自動車動力伝達装置のタイプ、燃料、原料、燃料を使用する自動車のライフサイクル、各燃料が利用されるインフラの状態、さらには、価格設定政策などの

間接的な効果を有する政策の影響、等を考慮した包括的な LCA 研究が必要となっている。また、LCA 研究では、バイオ燃料作物栽培を原因とする熱帯雨林の伐採、土地利用形態の変化などの要因も対象とし、生物多様性の損失などの起こりうる環境問題のコストを考慮すべきである。

2.2. 食糧と燃料の競合、資源利用可能性

たとえバイオ燃料が GHG 排出の大幅な削減に役立つと仮定したとしても、食料価格の高騰—食糧と燃料の競合—が生じるとすれば、バイオ燃料の正当化は難しい。土地利用と食用作物生産がバイオ燃料生産に切り替わった場合、食料価格の上昇につながる可能性があり(Msangi et al.2006, Food and Agricultural Policy Research Institute 2005, Rajagopal and Zilberman 2007)、人口増加や悪天候など、食料価格の上昇をきたす他の要因が重なった場合は特にそうである。食糧と燃料の競合は既に起きているとも考えられ、その要因に、食用作物からバイオ燃料作物への転換がある⁶。現在のトウモロコシ、キャッサバ、サトウキビの価格上昇は、多数の国で増大する燃料需要を、バイオ燃料で対応しようとした場合に何が起きるかを如実に示している。米国では、2002 年以来、トウモロコシの価格が 42% 上昇し、2006 年には 1 トン当たり 139 ドルの最高値を記録した(United States Department of Agriculture 2007)。サトウキビから作る砂糖とエタノールの世界最大の生産国であるブラジルでは、砂糖の価格が 1 トン当たり 2004 年の 125 ドルから 2006 年の 506 ドルへと、何と 303% も上昇した(Center for Advanced Studies on Applied Economics 2007)。これらの変化は主に、トウモロコシその他の食糧からバイオ燃料生産への転換が原因とされ、サトウキビの 50% はエタノール生産に回されている(Schmitz et al.2003)。国際食糧政策研究所(IFPRI)では、世界的なバイオ燃料の普及計画により、トウモロコシの価格は 26%、油糧種子の価格は 18% とさらに上昇すると予測している(Braun 2007)。大幅なバイオ燃料生産を仮定したシナリオでは、価格がトウモロコシでは 72%、油糧種子では 44% も上昇する可能性がある。世界のパーム油価格についても、同じような上昇が予測されている(Bhardwaj 2007)。また、主食の価格が 1% 上昇するごとに、貧困層の消費は 0.75 ポイント減少すると推定される(Regmi 2001)。物価上昇が原因により食糧消費量が減るとすれば、飢餓が激増する可能性があり、世界の貧困と飢餓を軽減することを意図する持続可能な開発の原則に矛盾する。

食糧と燃料の競合の懸念により、バイオ燃料作物の生産は、限界耕作地や荒廃地、食用作物栽培に向かない土地でも成育する作物の生産に関心が向けられ、食糧安全保障に対する脅威の回避が図られている。その結果、アジアの多くの国で、荒廃地で生育でき、栽培にあまり水を必要としないジャトロファに注目が集まっている。しかしながら、ジャトロファは植物体維持には大量の水を必要としないものの、種子と油の収量を上げるためには水と肥料を必要とする。さらに、ジャトロファは肥沃な土地では生育が良くなるため、ジャトロファの栽培を荒廃地だけに制限することが難しいのではないかという懸念がある。しかし、ジャトロファの生産性が低いいため、今のところ、補助金その他の政策支援なしには、より肥沃な土地での栽培を促す誘因はあまりない。また、人口増大に直面するアジア諸国において、利用可能な限界耕作地や荒廃地が、実際にどの程度まで未利用のままなのかという疑問もある。またそのような土地は、貧しい人たちが正規の借地権を持たずに、自給用の作物栽培や放牧のために利用している場合があり、土地をジャトロファのプランテーションのような商業用途に転換すれば、土地のない貧困層をさらに苦境に立たせることになりかねない。

最後に、第一世代バイオ燃料について、単に食糧と燃料の競合を回避する手段として、非食用作物からの生産に限ればよいという考え方は、かならずしも説得力を持つとは言えない。もしもジャトロファのような非食用燃料作物の巨大市場が成長すれば、その栽培を荒廃地に限定することは不可能になるものと考えられ、栽培はより肥沃な土地にも拡大し、食用作物生産を圧迫し駆逐する可能性がある。より肥沃な耕地で栽培し、収量を大幅に改善することにより、原価を引き下げて利潤を引き上げようとする強い圧力が生じるからである。

世界のエネルギー需要量を満たす上で、バイオ燃料の実質的な貢献度はごくわずかである(表 5.3)。たとえ主な食用作物を栽培する世界のすべての土地をバイオ燃料生産に仕向けたとしても、必要とされる化石燃料の総量の約 57%しか満たせない(Rajagopal et al.2007)。したがって、各国はエネルギー政策の中で、その他のエネルギー源の確保がどうしても必要になってくる。

表 5.3. 主な穀物・糖作物由来エタノールの供給可能性

作物	世界面積 (百万 ha)	世界平均 収量 (t/ha)	世界生産量 (百万 t)	転換効率 (リットル/t)	土地集約度 (リットル/ha)	最大エタ ノール量 (10 億リッ トル)	ガソリン 換算量 (10 億リッ トル)	2003 年世界 ガソリン使用 量に対する 比率で表した 供給量(%)
小麦	215	2.8	602	340	952	205	137	12
米	150	4.2	630	430	1,806	271	182	26
トウモ ロコシ	145	4.9	711	400	1,960	284	190	17
ソルガ ム	45	1.3	59	380	494	22	15	1
サトウ キビ	20	65	1,300	70	4,550	91	61	6
キャッ サバ	19	12	219	180	2,070	39	26	2
テンサイ	5.4	46	248	110	5,060	27	18	2
合計	599					940	630	57

出典: Rajagopal et al. (2007)

バイオ燃料の生産には、これまで以上に多くの土地、水、肥料が必要になる。しかしアジアで、特に食糧と燃料の競合を抑えようとするれば、バイオ燃料の大規模な生産に十分な土地、水、その他の資源が存在しないかもしれない。アジアの多くの地域が、すでに深刻な土地と水の不足に苦しんでおり、その原因として、土地や水の別の用途をめぐる紛争がある可能性がある(Fritsche et al. 2006, Bergsma et al. 2006)。またアジアの国々の中には、バイオ燃料生産に対して豊富な労働力を持つ国があるが、労働集約的生産方法が、その国の状態によっては、最も経済効率が良い方法とは限らない。

よく見落とされる点として、アジアの多くの地域では、バイオ燃料作物の生産量を大幅に引き上げるためには、より多くの肥料が必要であるということがある。IGES の試算によれば、バイオディーゼルの生産奨励のためにジャトロファの栽培の普及を進めているインドにおいて、2012 年までに 13.4 百万 t のバイオディーゼル生産という目標達成のためには、年 14.9 百万 t の有機肥料(肥やし)と 2.6 百万 t の化学肥料が追加的に必要になる。化学肥料使用量がこれほど増加すれば、使用量を推奨範囲内と仮定したとしても、バイオ燃料生産による GHG 削減の効果も費用対効果も低下する。GHG 排出量を抑制するためには、施肥効率を高めて肥料の使用を抑える必要がある。

土地や資源に対する需要増加に対応するには、既存作物の生産性を上げて(垂直方向の拡大)、土地の一部をバイオ燃料生産に回すようにするか、または森林を伐採し、脆弱な生態系を商品作物生産のために転用し、利用可能な農地面積を物理的に拡張する(水平方向の拡大)しかないが、後者は環境に対して不可逆的な被害を与える危険性がある。このような潜在的な資源の競合のケースは、気候変動対策が、他の開発ニーズや優先課題と切り離して議論された場合に、持続可能な開発という観点からいかに逸脱するおそれがあるかを如実に表している。

2.3. 貧困削減と農村開発

持続可能な開発の中核をなす目標である貧困削減は、アジア地域でバイオ燃料推進派が主張する便益の一つでもある。バイオ燃料は、次のような条件を満たした場合に雇用を創出できると考えられる。

- (i) より労働集約性の高い生産方法が用いられた場合
- (ii) バイオ燃料精製インフラが地元を整備された場合
- (iii) 生産されたバイオ燃料が高い割合で現地において消費された場合
- (iv) バイオ燃料生産により、未利用地の利用が進んだ場合

しかし、貧困削減と持続可能な農村開発に対し、バイオ燃料がどこまで効果を発揮できるかは、極めて不確実である。バイオ燃料生産が大規模なプランテーションまたは精製所に支配された場合、バイオ燃料生産が資本集約的になり、農民と労働者は不平等や収入格差、危険または劣悪な労働条件に苦しみ、土地を失うことにさえなりかねない(Ankumu 2007, Friends of the Earth 2008)。現在の民間投資家が示すバイオ燃料への投機的な関心の対象は、大規模で低コスト生産が可能なプロジェクト向けられており、貧困削減を目的として持続可能な生産方法を適用したプロジェクトではない(Hazell and Braun 2006)。このようなプロジェクトでは、場合によっては、雇用にはほとんど寄与しない資本集約的生産方法が適用されることも考えられる。このことは、労働集約的生産方法によって、持続可能かつ費用対効果の高いバイオ燃料生産を行うことが不可能であることを意味するものではないが、政府がバイオ燃料の普及を通じ、貧困削減や雇用創出などの持続可能な開発に関する目標を優先させようとするならば、より労働集約的生産方法を奨励する政策を進める必要がある。ただし、生産地の条件によっては、労働集約的生産方法が最も効率の良いものではない場合、政府が負担するコストが市場コストと比べて高くなる場合があるという点に留意すべきである。

2.4. バイオ燃料の生産コストと価格

現在のバイオ燃料の価格は全般的に化石燃料よりも高いが、生産地での投入コスト、原料の生産性、他の生産要素の生産性の違いより、価格は大きく変動する。ある試算によれば、バイオディーゼルは普通のディーゼルよりも、ディーゼル 1 リットル換算⁷で約 0.27 ドル高い(Duncan 2003, OECD 2007)。環境コストと補助金を含めると、コストはさらに上昇する(OECD-ITF Round Table 2007)。バイオ燃料のコストが高くなる主な理由は、バイオ燃料生産原価の半分以上を占める原料生産原価である(Kojima et al. 2007)。原料生産原価が高い理由には、肥料やエネルギーなどの投入資源・物資の価格が高いこと、原料当りのバイオ燃料回収率が低いこと、バイオ燃料生産に利用できる原料の種類が限られていることが挙げられる(Runge and Senauer 2007)。原料価格が高い理由には、食糧と燃料の競合もある。ブラジルは世界のバイオ燃料原価をリードし、バイオエタノールの生産原価は世界平均よりも 50%も低い。その主な理由は、副産物からのエネルギー生産、国内のサトウキビの高い生産性、安い労働力である(Valdes 2007)。アジアには、豊富な安い労働力を利用し、ブラジルのようにバイオ燃料生産原価を下げられる国があるかもしれない。

アジアの一部の国では、バイオ燃料の価格が既に化石燃料の価格を下回っているところもある。例えば 2006 年に、インドではディーゼル油の小売価格が 1 リットル当たり 0.76 ドルであったのに対し、インド政府は、バイオ燃料の価格を、石油販売会社に対するディーゼル換算価格をリットル当たり 0.68 ドルに設定した(Ministry of Petroleum and Natural Gas 2005)。価格差は、原料価格の差、農家への補助金に起因する。化石燃料価格が上昇するにつれ、バイオ燃料の市場での競争力が増加し、化石燃料価格が十分に高い水準にまで上昇すれば、バイオ燃料は政府による政策支援なしでも、商業的に採算が取れるようになる。例えば、化石燃料原価が 1 リットル当たり 0.79 ドルに達すれば、エタノールは中国で採算がとれる(Koizumi and Ohga 2007)。同じく、ニュージーランド

のバイオエタノールは、ガソリンに課税をすれば採算性がとれる(Denne and Hole 2006)。EUのバイオエタノールとバイオディーゼルは、石油価格が1リットル当たりそれぞれ0.71ドル、0.48ドルを超えれば、それらと互角に競争できるようになる(National Farmers Union 2006)。長い目で見れば、バイオ燃料生産に利用できる原料が多様になり、大規模で効率的な生産プラントが建設されるようになれば、バイオ燃料価格は下がり、バイオ燃料の競争力は増加するものと予測される(Steenblik 2007)。

一般に、バイオ燃料は化石燃料よりも価格が高いため、政府が価格差を補うか、または使用を義務化しない限り、消費者はバイオ燃料を選択しないであろう。バイオ燃料の普及を進めようとする政府のほとんどが、補助金・関税・燃料税(及び免税)の組み合わせ、あるいは既存化石燃料への混合義務などの政策を通じて、バイオ燃料の額面価格が化石燃料の価格と同程度かまたは低くなるように設定している。この上乗せコストは、誰がどのように負担するかはともかく、実質上、政府がバイオ燃料利用によって達成しようとしている政策目標と、バイオ燃料利用がもたらす意図しない影響に対する対価である。このようなバイオ燃料の上乗せ価格は、政策の効果が明らかな場合のみ有効である。しかし、世界の原油価格がさらに上昇し、バイオ燃料が市場で競争力を持つようになれば、環境への影響や持続可能な開発を顧みることなく、バイオ燃料利用が急加速する可能性がある。

2.5. 有望なのか危険なのか

総じて、第一世代バイオ燃料には、持続可能な開発の基準(経済、環境、社会)を満たす何らかの効果があると考えられるが、その実現の可能性は、特にバイオ燃料の原料、生産方法、生産に携わる経済組織の形態のような、具体的な比較対象要素に左右される。このため、バイオ燃料利用の危険性を最小限に抑えつつ、期待された効果を実現するには、政策介入が重要になる。

一方で、いわゆる第二世代バイオ燃料については、GHG排出を削減し、食糧と燃料の競合を回避するという点で、第一世代よりも飛躍的に高い効果が期待できるというのが、大方の見方である(Worldwatch Institute 2007)。第二世代バイオ燃料は、農業、森林、都市ごみその他の廃棄物、微細藻類など、より広範囲な原料を利用できる。ただし、農業由来の原料を使う限り、第二世代バイオ燃料も、例えば化学肥料と農薬を使用することによる影響など、第一世代バイオ燃料と同じ課題に直面する。しかし、農業由来の原料であっても、リグノセルロースを含めて利用することで、穀粒や脂肪種子だけでなく、植物全体を利用できるため、原材料の利用率が、はるかに上昇する。

セルロース系原料は幅広く存在するため、第二世代バイオ燃料はエネルギー安全保障という観点からは有望である。しかし、第二世代バイオ燃料の利用が十分に効果を発揮するには、幾つかの課題があり、原料と転換プロセスを改善するための技術革新、大規模生産施設の小型化、散在しかつかさばる原料の輸送コストの低減などがある。また、第二世代バイオ燃料も、環境へ影響を全く起こさないわけではない。作物体全体を畑から回収することにより、従来土壌へ還元される葉茎等の有機物が減り、土壌劣化と浸食の影響を受けやすくなり、生産性が低下することが考えられる。熱帯地域においては、土壌中での有機物の分解の進行が速く、土壌の質を保つために、より多くの有機物投入を必要とし、またこの地域の多くの小作農家が、このような作物残渣その他の有機物を、主な植物の栄養源として利用しているため、この問題は、熱帯地域の途上国で深刻化するおそれがある。第二世代バイオ燃料の生産が、土壌保全に必要な有機物を奪うとすれば、農家は、作物収量を維持するために、化学肥料の使用を増やすことを余儀なくされるかもしれない。また、生態学的に脆弱な地域から落葉落枝などの森林廃棄物を回収すると、生物多様性に影響が及ぶ可能性があり、森林土壌においても浸食と劣化のおそれがある(Graham et al. 2007, UNCTAD 2007, Wright and Brown 2007, Runge 2007)。これらの問題に対しては、バイオ燃料生産工程から出る無機質残渣を土壌に還元するなどの方法も考えられるが(Tono et al. 2007)、有機質

残渣は依然として農業活動に利用できないため、それは部分的な解決策でしかない。また、第二世代バイオ燃料が大規模に生産できるようになるまでの間に、多額の投資が第一世代バイオ燃料生産に対して行われると考えられるため、第二世代バイオ燃料への移行についても課題が残る。国連貿易開発会議(UNCTAD)は、第二世代バイオ燃料が商業的に採算が合うようになるまで期間を20年から30年と見ているが、それまでに第一世代バイオ燃料のための大規模インフラ投資が行われた場合、第二世代バイオ燃料が競争力を獲得することが困難になるかもしれない。

第二世代バイオ燃料については、以上のような課題があるにもかかわらず、これまで開発研究に多額の投資が行われてきていることから、その普及を楽観視する向きもある。その一例として、主に石炭からディーゼルを生産するために使われ確立した技術を、セルロース系エタノール生産に応用する試みがある(UNCTAD 2007)。しかし、バイオ燃料を、燃料生産用作物からではなく、都市ごみや農業廃棄物から生産できればもっと理想的である(Bensten et al. 2006)。バイオ燃料が、アジアの都市ごみ問題や、増加する食肉消費・生産に伴う畜産廃棄物の増加に由来する問題の解決に役立つならば、バイオ燃料はもっと有益であるが、技術革新なしには、これらの廃棄物を原料としたバイオ燃料生産が商業的に採算がとれるようにはならない。集中的な研究や多くの実証プロジェクトが世界中で進行中ではあるが、大規模利用の実現は少なくとも数年先というのが、大方の見方である。

3. アジア主要国におけるバイオ燃料の生産・消費動向

3.1. 第一世代バイオ燃料

3.1.1. 現状

アジアの数カ国では、すでに政府と民生部門が、第一世代バイオ燃料の生産と消費を急速に拡大する意欲的な計画を立てている。インドネシアとマレーシアには、パーム油を原料にバイオディーゼルを生産する大胆な計画がある。中国とインドでは多様なバイオ燃料原料について試験が行われている。フィリピンはココナッツ油を原料とするバイオディーゼルとサトウキビを原料とするエタノールに力を入れており、タイとパキスタンも、将来、重要な生産国になることが予想される。日本でもこれまでかなりの研究がされているが、日本はまだバイオ燃料の主要な生産国ではなく、セルロース系バイオマスを原料とする第二世代バイオ燃料生産技術の開発に力を入れている。

アジア地域において、バイオ燃料の生産及び消費、バイオ燃料原料の利用状況に関するデータの質はあまり高くなく、またバイオディーゼルに関するデータは特に乏しい。バイオ燃料消費量については、大まかな推定値しかない。バイオ燃料の生産・販売・貿易・インベントリーに関して、特に国際比較が可能な標準化した国レベルの質の高いデータが必要である。

世界的な推定によれば、バイオエタノールはバイオ燃料生産量の90%を占め、年間360億リットル、バイオディーゼルはバイオ燃料生産の10%を占め、年間40億リットルといわれている(Rajagopal and Zilberman 2007)。これは世界の運輸部門における燃料市場の約1%に相当する。バイオ燃料の生産と消費は、世界とアジア太平洋地域の両方で、エネルギー需要と化石燃料価格の上昇につれて、さらに増加するものと予測される。

アジア太平洋地域の運輸部門において、バイオ燃料の使用量は増加しており、インド、中国、パキスタン、タイ、フィリピン、ロシア、インドネシア、韓国、日本などを含むアジア諸国では、2004年に平均で運輸燃料全体の約1.06%がバイオ燃料由来であった(Worldwatch Institute 2007)。1位はインドで、バイオ燃料が運輸燃料の3.01%を占め、次いで中国であった(2.51%)。

アジア諸国において、バイオ燃料の原料は、既存の作物、既存の原料生産や燃料精製インフラ、気象条件、そして一部のケースでは政府の政策を考慮して選定されており、必ずしも、効率、生産

コスト、GHG 排出量削減の効果という観点に基づいたものではない。現在、バイオエタノールについてはサトウキビ、バイオディーゼルについてはアブラヤシ(パーム油)が、最も重要な原料となっている。キャッサバは単位作付面積当たりのバイオエタノール生産能力では最高であるが、キャッサバ作付面積はサトウキビよりもかなり小さい。単位作付面積当たりのバイオディーゼル生産量はアブラヤシが最高で、次いでジャトロファとココナッツとなっている。

3.1.2. 潜在的な生産能力

表 5.4 と表 5.5 は、特定の作物の全作付面積をバイオ燃料生産に転換すると仮定して、アジア諸国により最大生産可能なバイオエタノールとバイオディーゼルの生産量を推定した結果である。この仮定シナリオに基づく分析によれば、現在、中国とインドネシアは理論上可能なバイオエタノール生産能力の 7%しか生産しておらず、次いでタイ(5%)、インド(4%)、フィリピン(2%)という結果となっている。2004 年の日本と韓国を除くアジア地域における化石燃料需要は 8,250 億リットルであり、運輸部門がその約 65%を占めていた(International Energy Agency 2004)。このため、表 5.4 と表 5.5 の全作付面積がバイオ燃料生産に転換されたとしても、運輸燃料のうちバイオエタノールまたはバイオディーゼルで代替される割合は約 33%にすぎず、また仮に作付面積の 10%が転換されたとすれば、運輸燃料のわずか 3%しか代替されない。したがって、第一世代バイオ燃料は、アジア地域の増大し続ける輸送エネルギー需要に対する決定的な解決策とは考えられない。

表 5.4. アジア主要国における第一世代バイオ燃料からのバイオエタノール潜在生産能力

国	原料	2005 年の総作付面積* (百万 ha)	エタノール収率** (リットル/ha)	バイオエタノール潜在生産能力*** (百万リットル)	現在のエタノール生産量 (百万リットル)	潜在生産能力に対する現生産量の割合(%)
中国	トウモロコシ	26	2,088	55	4,000	7
	スイートソルガム	1	380	0.4		
	キャッサバ	0.2	3,177	0.7		
インド	サトウキビ	4	5,434 (Gonsalves 2006)	22	2,000	4
	ソルガム	9	3,469	32		
インドネシア	キャッサバ	1	2,465 (USDA Foreign Agricultural Service 2007b)	3	200	7
フィリピン	サトウキビ	0.4	4,349	2	100	2
	キャッサバ	0.2	1,474	0.3		
	トウモロコシ	2	2,960	6		
タイ	サトウキビ	1	3,252 (Dutta et al. 2007)	3	400	5
	キャッサバ	1	5,721 (Nguyen et al. 2007)	6		

注:* Food and Agricultural Organization (2007) ** エタノール収量の値は別の情報源から取得(USDA Foreign Agricultural Service 2007a) *** バイオエタノールの潜在的な生産能力は、現作付面積にヘクタール当たりのエタノール収率を掛けて求めた

表 5.5. アジア主要国における第一世代原料からのバイオディーゼル潜在的生産能力

国	原料	総面積*(百万 ha)	バイオディーゼル収率**(リットル/ha)	バイオディーゼル潜在生産能力*** (百万リットル)
フィリピン	ココナッツ	3.2	1,750	6,000
タイ	アブラヤシ	0.3	3,800	1,000
インドネシア	アブラヤシ	3.7	3,800	14,000
	ココナッツ	2.7	1,750	5,000
	大豆	0.6	320	200
インド#	ジャトロファ	@13.4	1,892 (Rajagopal et al.2005)	25,000

注:* Food and Agricultural Organization (2007) ** 別の情報源から取得し、範囲で示された場合は平均値を求めた ***現作付面積にヘクタール当たりのエタノール収率を掛けて求めた #: 生産はまだパイロット段階 @: インド政府により運営されると想定される面積

3.2. 第二世代バイオ燃料

3.2.1. 現状

第一世代バイオ燃料の生産には限界があるため、第二世代バイオ燃料の推進へ向かう動きがある。欧州委員会は、現在 EU 内で利用されるバイオ燃料に関し、化石燃料と比べて最低 10%の GHG 排出削減を義務づける規則制定を進めているところであるが、おそらく EU の目標値達成に向けて第二世代バイオ燃料をさらに重視し、各国の支援とあいまって第二世代バイオ燃料の利用を奨励するものと思われる (Mason 2007)。2007 年の米エネルギー法案では、2022 年までに、自動車燃料に年間 1,363 億リットルの国産代替燃料を混合することを義務づけ、セルロース系エタノールの比率を 2012 年までに最低 3%、2022 年までに最低 44%とするよう求めている (Gardner 2007)。日本は廃棄物と未利用資源から得られるバイオマスの重要性を強調している⁸。日本政府は稲藁と木材からエタノールを大量生産する技術を実現できれば、草本作物からは 18 億リットル～20 億リットル、木質系材料からは 20 億リットル～22 億リットルのエタノール生産が可能になると推定している (Biomass Nippon Strategy Promotion Conference 2007)。別の推定値によれば、日本は製材所の残材、建設廃材、森林廃棄物、市場価値のない低品質の木から、木質系バイオマス 24.7 百万 t を供給できるとしている (Inoue 2007)。木質系バイオマスの転換率を 1 トン当たり 303 リットルとすると、日本はセルロース系エタノール 75 億リットルの生産が可能であり、これは 2006 年の石油総消費量の 3.4%に相当する。

大規模生産という点では、セルロース系バイオマスを原料とするバイオ燃料は、まだ実証段階にある。米国、カナダ、ドイツ、スウェーデン、中国、ブラジルでは、大規模生産に重点を置いた研究を実施してきている (World Business Council for Sustainable Development 2007)。これまで、一般に第二世代バイオ燃料技術が市場で入手可能になるのは 2030 年と言われていたが、持続可能な開発のための世界経済人会議 (WBCSD) は、政府からの資金投入によっては、近い将来に、技術革新が起こると考えている (World Business Council for Sustainable Development 2007)。

Box 5.2. 建設廃材からのバイオエタノール生産

日本は第二世代バイオ燃料の潜在的な生産能力を探るために、数件のパイロット事業を進めている。その一例が、大成建設株式会社、丸紅株式会社、東京ボード工業株式会社、大栄環境株式会社、サッポロビール株式会社を株主とするバイオエタノール・ジャパン・関西株式会社 (BJK) である。この事業では、BJK が「都市に蓄積された森林資源」と呼ぶ建設廃材を使う。生産されたエタノールは、大阪府のガソリンスタンドで、エタノールを 3% 混合したガソリン (E3) として販売される。環境省の支援を受けて建設されたバイオエタノール生産施設は、大阪府が推進する「エコタウン」の中心的産業の一つである。現在、年間 4 万トンから 5 万トンの廃材を使い、年間 1.4 百万リットルの生産が可能である (Sato 2007)。当該事業は、他の同類のプロジェクトと同様、商業的な採算がとれるまでには至っていない。

3.2.2. 潜在的な生産能力

インド、インドネシア、中国、マレーシア、日本、ベトナムにおいて、米、小麦、サトウキビ、トウモロコシのみの残渣から、約 4,020 億リットルのエタノールを生産できる可能性がある(表 5.6)。もしその他の農作物、製材所、森林、牧草地からの残渣や都市と農村の有機廃棄物も含めれば、さらに多くのエタノールを生産できるであろう。

表 5.6. アジア主要国における第二世代バイオ燃料のための農業残渣の利用可能性

作物	残渣タイプ	インド	インドネシア	中国	マレーシア	日本	ベトナム
米	藁、殻	229	90	303	4	19	60
小麦	藁、殻	110	-	156	-	1	-
サトウキビ	葉、バガス	119	15	44	-	1	8
トウモロコシ	茎、芯、 葉、皮	14	13	140	0.1	0	4
残渣総量(百万t/年)		472	117	643	4	21	71
セルロース系エタノール* (10 億リットル/年)		143	35	195	1	6	21

注:* セルロース系残渣の転換率を 303 リットル/t とする。転換率は原料によって違うため、大まかな推定値である。2005 年の作物収量は FAOSTAT データベースによる。残渣量は各種情報源の収穫指数値と、地上バイオマス中のバイオマス分布から求めた。

4. アジア主要国のバイオ燃料関連政策

4.1. アジア主要国の国家政策

多くのアジアの国では、すでにバイオ燃料推進のための積極的な政策導入が始まっている。このような政策展開の主要因は、急速な人口増加と経済成長の下で、各国政府が、増加する輸送用燃料需要を満たし、エネルギー安全保障を強化する必要に迫られているからである。EU への輸出機会が増大する可能性が高いことがバイオ燃料推進の動機となっている国もある。

政策手段としては、供給と需要の喚起、バイオ燃料導入量の公的目標値設定、ガソリン又はディーゼルへのバイオ燃料混合の義務づけ、税制優遇措置、その他の産業振興策などがある(Clark 2007a, Kojima et al.2007)。中国のように、バイオ燃料と食糧間のトレードオフの可能性を認識し、問題解決のために政策の調整に取り組み始めている国もある。多くの国が貿易政策を導入しており、特に国産バイオ燃料の振興を目指し、未成熟産業の保護を行っている。インドネシアなど、バイオ燃料の国内消費を輸出に優先させるために、輸出関税を検討中の国もある。

本セクションでは、アジア主要国の主なバイオ燃料関連政策を、特に、公的数値目標、燃料混合義務、バイオ燃料推進の経済的インセンティブ、非食糧由来のバイオ燃料の推進策に焦点を当てつつ検討する。

表 5.7 はアジア 9 ヵ国の現行政策の一覧である⁹。中国、インドネシア、タイ、日本などの国は、バイオ燃料の国内消費量又は生産量について数値目標を設定している。混合義務はシンガポールと日本を除くほとんどの国で導入されるか、または計画されている。タイと韓国は、混合義務の導入を図ったものの、産業界からの反対を受け、政府案は導入延期、あるいは規模の縮小を余儀なくされた。最も多くの国で導入されている経済的インセンティブは、税金と補助金である。エタノール混合ガソリン(ガソホール)への税率引き下げというタイの政策は、消費の大幅拡大に大きな効果を示した。一方、インドネシアの補助金制度は、化石燃料に対する補助金によって効果が相殺され、大きな効果を上げていない。調査対象国中、インドのみがエタノールとバイオディーゼルの購入に固定価格制を導入している。

バイオ燃料生産に食用原料を使うことによる負の側面への対応を始めた国もある。中国は2007年6月に政策の大幅な転換を行い、穀物を原料とするエタノールを使ういかなる新規プロジェクトも承認しないことを決定した。日本とシンガポールは、第二世代バイオ燃料の開発に重点を置いている。他の国々は、ジャトロファなどの代替原料からのバイオ燃料生産を検討・推進している。

各国の政策の概要は以下のとおりである。

世界第3位のエタノール生産国である**中国**は、従来、トウモロコシを原料とするバイオエタノールを推進していた。しかし、2007年5月に、同国はエネルギー作物と穀物の競合を避ける新たな政策を打ち出した。政府は食糧作物を原料とするエタノールを使う新規プロジェクトの承認を取りやめ、操業中の工場に対し、ソルガム、バタタ、キャッサバなどの新たな供給源に切り替えるよう促した(Sun 2007)。中国は2020年までに、交通エネルギーの15%をバイオ燃料で担う目標を掲げている。政府は、一部の地域で試験的に10%エタノール混合を義務づけ、補助金や免税などの優遇策を導入している(Global Bioenergy Partnership 2007)。

インドは混合義務化、固定買取価格、税制優遇措置の段階的導入を通じ、バイオエタノールとバイオディーゼルの導入を推進してきた。2004年から2005年の供給不足により、2004年10月にはエタノール混合義務は任意に変更されたが、2006年10月に20の州において再び義務化された。ディーゼルについては、全国的な5%混合義務化が計画されている(Global Bioenergy Partnership 2007)。燃料と食糧の競合問題に対処するために、政府はスウィートソルガム、テンサイ、キャッサバ、タピオカを原料とするエタノール生産や、ジャトロファのような非食用植物を原料とするバイオディーゼル生産を検討中である(Subramanian 2007)。インド中央政府は、食糧と燃料の競合の可能性をきわめて深刻な問題ととらえており、新規バイオ燃料政策の発表が遅れていることは(2008年2月現在)、同国がバイオ燃料問題に慎重に取り組もうとしている証拠とも考えられる。一部の州政府は、より積極的にバイオ燃料を推進している。全国の荒廃地へのバイオ燃料作物の作付けと、バイオ燃料生産と地方開発計画の統合が政策的議論の焦点となっている¹⁰。

インドネシアと並んで、世界二大パーム油生産国である**マレーシア**は、バイオ燃料混合義務の実施が難航している(USDA Foreign Agricultural Service 2007d)¹¹。マレーシアはバイオディーゼル製造企業91社に免許を発給したが、パーム原油の高値が原因で、実際に操業を開始したのは、そのうちわずか4社にとどまっている(Nagarajan 2008)。販売促進策としては、価格補助策が発表された(Mustapha 2008)。ジャトロファ、ニッパ、サゴ、アブラヤシなどの代替バイオマス原料も政府によって奨励されている(Lunjew 2007)。

インドネシア政府は、石油の生産量が減少する一方で国内消費の増加により輸出が減少する中、国内石油需要をバイオ燃料で賄う方針であり、2010年までに、バイオディーゼルの使用量を、エネルギーミックスの2%まで引き上げるという目標を掲げている(Legowo 2007)。混合は義務化されていないが、10%を上限とした混合が許可されている。しかし、バイオ燃料の推進には数々の障壁がある。インドネシア国有石油会社はバイオディーゼル混合燃料を販売しているが、パーム油価格の上昇と、化石燃料への補助金がバイオディーゼルと同水準で維持されていることが原因で、2007年4月に、混合率を2.5%に下げた(Daily Times 2007)。NGOの間からは、インドネシアのパーム原油生産拡大の影響に対する配慮がなされていないとして、批判の声が上がっている(Mahr 2007)。インドネシアは、パーム原油の輸出を制限し、国内の調理用途の油を確保するために、2%の輸出関税を導入している(Leow 2008; Commodity Online 2008)。

低コストの砂糖生産国である**タイ**は、今後5年以内に、自動車用燃料消費の20%をバイオ燃料と天然ガスに切り替えることを計画している(Waranusantikule 2008)。一貫した価格優位性を維持するために、10%エタノール混合ガソリンに対する税制優遇措置がとられ、その結果、消費が2004年

に 23 倍、2005 年に 11 倍と増加した。消費拡大が停滞局面に入ると、政府はさらに価格差を拡大する措置を講じた (Kojima et al.2007)。2008 年 1 月には、バンコクのガソリンスタンド 15 店で、20% エタノール混合ガソリンの販売が始まったが、価格はプレミアムガソリンよりもリットル当たり 6 バーツ安く設定されている (Bangkok Post 2007)。しかし、自動車業界からの反対により、政府はエタノール混合義務化を完全には実施できないでいる (Worldwatch Institute 2007)。一方、ディーゼルに関しては、2008 年に、パーム油 (B2) 混合義務化が計画されている (Waranusantikule 2008)。

フィリピンは世界最大のココナツ油輸出国であり、2007 年のバイオ燃料法では、ディーゼルに対して 1% のココナツ油混合を、2009 年までに 2% の混合を義務づけている。また、この法律では、ガソリンへのエタノールの混合について、2009 年までに最低 5%、2011 年までに 10% を義務づけている (USDA Foreign Agricultural Service 2007e)。バイオ燃料法によって、さまざまな税制優遇措置と資金支援が制度化された。現在、ジャトロファメチルエステル採算性に関する本格的な研究が進められ、軍の野営地でジャトロファ栽培が行われている (Marasigan 2007, Laur 2006)。

表 5.7. アジア主要国のバイオ燃料政策

国	数値目標	混合義務	経済的優遇策	第二世代バイオ燃料並びに代替資源作物に関する政策
中国	2020 年までに輸送エネルギーの 15% をバイオ燃料に。	エタノール:一部地域で 10% 混合義務試験的導入中。	エタノール:生産優遇策、補助金、税額控除。 ディーゼル:動物脂肪または植物油を原料とするバイオディーゼルに対する税額控除。	穀物を原料とするエタノールに関する新規プロジェクトの承認停止。第二世代燃料の実験。
インド	目標確認されず。	エタノール:特定の州において、ガソリンへの 5% 混合。	エタノール:消費税引き下げ。 エタノールとディーゼル:企業による買取に対して固定価格設定。	ジャトロファの推進。
マレーシア	目標確認されず。	ディーゼル:のパームオイル 5% 混合。	ディーゼル:混合ディーゼルの価格に対する補助計画。	ジャトロファ、ニッパなどの普及。
インドネシア	2010 年までに、国内バイオ燃料使用量をエネルギーミックスの 2% に。	ディーゼル:混合義務無。混合燃料の販売は行われている(現在、2.5%から 5%)、2010 年に、混合率を 10% に引き上げる計画あり。	ディーゼル:補助金(ただし化石燃料と同率)。	ジャトロファとキャッサバを本格的に検討中。
タイ	2012 年までに、自動車用燃料消費の 20% をバイオ燃料と天然ガスに切り替え。	ディーゼル:2008 年 4 月から、全ディーゼル車に 2% パーム油混合。	エタノール:税額控除による価格優遇策。	キャッサバの利用。
フィリピン	目標確認されず。	エタノール:2009 年までに 5%、2011 年までに 10%。 ディーゼル:ココナツ油 1% 混合。2009 年までに 2%。	エタノールとディーゼル:税額控除と融資優遇。	ジャトロファの研究と実証実験。
韓国	目標確認されず。	ディーゼル:混合率 0.5%。2012 年までに 3% に引き上げ。	バイオディーゼル:税額控除。	適切なエネルギー作物の特定段階。

日本	2010年までに、年間原油換算50万キロリットル(500百万リットル)のバイオマス由来輸送用燃料導入。	混合義務無し。混合の上限はエタノールが3%、バイオディーゼルが5%。	エタノール:生産補助金。税制上の優遇措置を計画 中。	セルロース系エタノールを推進。
シンガポール	目標確認されず。	混合義務確認されず。	バイオディーゼルプラントへの投資を推進。	第二世代バイオ燃料重点計画。

2008年1月現在の情報。出典:Worldwatch Institute (2007), GBEP (2007), Sun (2007), Kojima et al. (2007), Subramanian (2007), USDA Foreign Agricultural Service (2007a, b, c, d, e, f), Mustapha (2008), Lunjew (2007), Legowo (2007), Daily Times (2007), Waranusantikule (2008), Marasigan (2007), Ehrlich (2007), Seo (2008), Iijima (2007), 日刊工業新聞(2008), 日本経済新聞(2007), Kolesnikov-Jessop (2007)

韓国の目標値は他国に比べて低く、国内のディーゼル燃料への0.5%の混入が義務づけられている。当初の混合義務率目標案は5%であったが、国内精油業界が反発した結果、はるかに低い値になったものである(Reuters 2007d)。2007年9月に、2012年までに混合率を3%に引き上げる計画が発表された(Ehrlich 2007)。バイオエタノールに関しては、2006年に導入可能性の調査が開始された(USDA Foreign Agricultural Service 2007c)。

日本の京都議定書目標達成計画では、2010年までに輸送用燃料について、年間50万キロリットル(5億リットル)の原油をバイオマス由来燃料に切り替える目標を掲げている¹²。バイオ燃料の混合は義務づけられておらず、混合上限が規定されており、バイオエタノールの混合は3%、バイオディーゼルは5%まで認められている(Iijima 2007)。バイオエタノール混合燃料の販売は2007年に開始された。政府は揮発油税の軽減や、バイオ燃料原料生産者と製造業者に対する税制上の優遇措置を導入する計画である(日本経済新聞 2007, 日本工業新聞 2008)。2006年に改定されたバイオマス・ニッポン総合戦略においては、林地残材などの未利用バイオマスの活用、「バイオマス・タウン」(バイオマスが総合的に利活用される地域)構築の推進などが盛り込まれており、セルロース系バイオ燃料の重要性が強調されている(日本経済新聞 2008, Reuters 2007b)。廃棄物を原料とするバイオディーゼルの活用した草の根レベルの活動も注目されている。地方自治体やNGOは、廃食用油を利用し、地域に根ざした取組を展開してきた(Box 5.3)。このような取組を通じて、年間推定4百万リットルから5百万リットルのバイオディーゼルが生産されている(バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議 2007)。

Box 5.3 京都市のバイオディーゼル燃料化事業

京都市は1997年の第3回UNFCCC締約国会議(COP3)の開催に先立ち、廃食用油から精製したバイオディーゼルの220台のごみ収集車への使用を開始した。2000年には、市営バス約80台に、バイオディーゼルの20%混合した燃料を導入した。京都市は年間150万リットルのバイオディーゼルを使用しており、それによって年間約4,000トンのCO₂排出量を削減してきたと推定される。家庭系の廃食用油再生利用は拡大し、収集拠点約1,000カ所で、年合計13万リットルを回収するに至っている。燃料品質を確保するために、専門家による技術検討会が設置され、京都スタンダードと呼ばれる暫定規格の策定に取り組んできた。2004年6月以来、日量5,000リットルの燃料化プラントが稼働している。

出典:京都市 2007年

日本のバイオ燃料政策と市場の今後の発展は、きわめて重大な意味を持つ。日本がバイオ燃料の大消費国になれば、その大半を輸入する必要があるとの見方が強い。そのため、日本の動きは、バイオ燃料とバイオ燃料原料を生産する国に対し、大きな影響を及ぼすと予想される。

世界第3位の規模を誇る石油精製拠点のシンガポールは、ジュロン島におけるバイオディーゼル製造の活性化を図ってきた。バイオディーゼル生産量は、2010年までに年間百万tを超えると予測される(Clark 2007b)。パーム油5%を混入したメチルエステルの導入可能性を検証する実地試験が、複数の民間企業及び政府機関の協働により開始された(Communications DNA Pte Ltd

2007)。政府は第二世代バイオ燃料の普及に重点を置く方針を明らかにしている (Kolesnikov-Jessop 2007)。

4.2. アジアにおけるバイオ燃料政策関連の地域レベルでのイニシアティブ

アジアでは、国際レベルでのバイオ燃料推進策が実施されている。2007年1月の第2回東アジア首脳会議では、アジアの政治指導者らによる、「東アジアのエネルギー安全保障に関するセブ宣言」が発表され、バイオ燃料を推進する共同の意志が表明された。この声明には、「バイオ燃料の利用を促進し、バイオ燃料のより自由な貿易及び原動機や自動車に使用されるバイオ燃料の基準設定に向けた作業を行う」ことも今後の取組の一つとして盛り込まれている (East Asia Summit 2007)。

バイオ燃料生産の拡大が環境に及ぼす悪影響をめぐる懸念の高まりに対応し、欧州委員会、FAO、UNEP、国際バイオエネルギー・パートナーシップ、IEA など、さまざまな国際機関がバイオ燃料持続可能性認証制度の整備に着手し始めた (Dam et al. 2008)。アジアでは、同様の制度の整備は、適切な基準に関する合意を得るために、ステークホルダー間の対話の場を設ける「円卓会議」のかたちで進められている、(Dam et al. 2008)。2004年には、持続可能なパーム油に関する幅広いステークホルダーが参加する国際的イニシアティブとして、「持続可能なパーム油のための円卓会議」(RSPO)が設置された。その第一の目的は、「パーム油の供給関係者の協調とステークホルダーとの対話により持続的なパーム油の生産と消費を促進する」ことである。メンバーには、アブラヤシ生産業者、パーム油の加工業者と取引業者、消費財生産者、小売業者、銀行・投資家、環境・自然保護 NGO、社会・開発 NGO など、パーム油サプライチェーンに属する主要関係者が含まれる。マレーシアとインドネシアのパーム油業界団体もメンバーとして参加している (Roundtable on Sustainable Palm Oil 2004, Kojima et al. 2007)。認証に関する協定が策定され、2007年11月に認証プロセスが開始された (RSPO 2007, Reuters 2007c)。

持続可能なバイオ燃料のための円卓会議 (RSB) は、バイオ燃料の持続可能性に関する基準の策定を目的としたマルチステークホルダーイニシアティブである。主催は EPFL (スイス連邦工科大学ローザンヌ校) エネルギーセンターであり、最初のステークホルダー会議は 2006 年に開催された。現在、RSB は持続可能なバイオ燃料生産に関する原則と基準の策定に重点を置き、2008 年半ばまでに基準の原案をとりまとめる方向である (Roundtable on Sustainable Biofuels 2007)。バイオ燃料の原料に着目した円卓会議イニシアティブとしては、他に、持続可能な大豆生産のための円卓会議やベター・シュガーケーン・イニシアティブ (Better Sugarcane Initiative) などがある。

「円卓会議手法」は、幅広いステークホルダーの支持を受けた認証制度を策定する機会を提供する。しかし、そうした円卓会議で作られた基準は自主的な約束でしかなく、効果を上げるのは、全ステークホルダーが強い決意を維持して取り組んだ場合に限られる (Dam et al. 2008, Reuters 2007a)。また、参加者の動機も懸念事項である。地球の友などの NGO は、一部の政府が、円卓会議に参加していることを口実とし、環境や社会的弱者の保護のためのより効果的で直接的な対策を怠っていると指摘している (Reuters 2007a)。

4.3. アジアの現行バイオ燃料関連政策の影響

アジア諸国の多くのバイオ燃料推進政策は、意欲的で、善意に基づいたものであるが、以下に述べるとおり、必ずしも明らかになっていない点もある。

(i) バイオ燃料推進戦略を実行に移すことは、物理的に可能なのか？ 物理的制約は非常に大きい可能性がある。原料作物の栽培のための土地と水の入手可能性に関する分析が行われておらず、バイオ燃料の生産量を大幅に引き上げられるだけの十分な土地がアジアにあるのか、特に、食糧価格の大幅な上昇を引き起こさずにそれが可能か、という疑問がある。各国では既にバイオ

燃料消費目標値の達成に関する問題が表面化してきており、目標値が引き下げられ、食糧価格が上昇しつつある。

(ii) *バイオ燃料推進戦略を持続可能な形で実行に移せるのか？* つまり、他の環境又は社会経済問題を引き起こさずに、実際に GHG 排出量を削減できるのか？ 国家バイオ燃料戦略はみなバイオ燃料の持続可能な生産を謳っているが、現行の政策にはそれを確実にするための具体的メカニズムが含まれていない。EU でさえ、まだ持続可能性の基準についての合意に達していない状況であり、途上国のように規制や実施の能力に限界がある場合、さらに困難を伴うと予想される。とはいえ、持続可能性基準の設定は、バイオ燃料による便益がマイナス効果による費用を確実に上回るようにするための重要な手段である。最終的には、持続可能性の基準についての国際的合意を得て、各地域において適用しなければならない。各国政府は、RSPO や RSB などのイニシアティブを支持し、それらのイニシアティブを利用して自国の政策を強化すべきである。現在、RSPO への参加は自主的であり、法的拘束力がない。そのため、RSPO ではマレーシアが中心的役割を果たしているが、RSPO のベストプラクティスの遵守がすべてのパーム油生産業者に義務づけられているわけではないため、環境 NGO は、森林におけるアブラヤシプランテーションの拡大が生物多様性に多大な影響を及ぼすとして、いまだに非常に批判的である¹³。

短期的な利益にとらわれることは、単に、環境問題をあるセクターから別のセクターに移すことにすぎない。運輸分野の GHG 排出量を削減するために、バイオ燃料プランテーションを拡大する分森林を伐採するという犠牲を払うことは、その一例である。非持続的な慣行は環境を危機にさらし、社会問題を引き起こすだけでなく、長い目で見れば、バイオ燃料業界自体も危機に陥れるであろう。特に、途上国を中心とする原料生産国にとっては、初期の段階からバイオ燃料業界が遵守すべき義務的持続可能性基準を設け、採用する方が有利である。事後的に導入すると、むしろコストは増大する。

(iii) *バイオ燃料推進政策は本当にエネルギー安全保障の強化という目標を達成できるのか？* 現時点では、エネルギー安全保障に対する第一世代バイオ燃料の貢献度は、物理的にきわめて限られており、財政面で多額のコストを伴い、環境・社会面でも重大なコストが発生する可能性がある。第二世代バイオ燃料はそれよりもはるかに有望であるが、短期的には、こちらも財政面でコストを伴うことが考えられる。現在、バイオ燃料の推進には、政府からの多額の財政支援を必要としており、この支援が確実にバイオ燃料生産の環境・社会的持続可能性の強化につながるようにすることが望ましい。

現行のバイオ燃料推進政策について、他に指摘すべき点は以下のとおりである。

(i) *品質基準に対する関心の低さ。* バイオ燃料は均質に製造されるわけではない。各国は拘束力を持つバイオ燃料の導入数値目標と混合義務は設けていても、バイオ燃料の品質基準については何ら言及していない。アジアのバイオ燃料業界は誕生したばかりであり、生産は何とか国内需要を満たすかどうかというレベルである。現時点では、品質基準がないために、国内バイオ燃料業界の立ち上げが容易となっている。長期的には、基準がないことにより、市場の発展が妨げられ、競争と貿易に歪みが生じ、輸出能力が損なわれる可能性がある。

(ii) *第二世代バイオ燃料に対する関心の低さ。* 現行政策は第一世代バイオ燃料に重点を置いている。生産性と収率を上げる技術に関する研究で、費用便益の数値は改善される。しかし、第二世代バイオ燃料の技術の採算性が向上すれば、第二世代への世代転換が起こる。途上国を含む原料生産国は、この転換の準備を整えておく必要がある。

(iii) *国際協力の重要性。* 最終的には、各国のバイオ燃料政策の成功は、バイオ燃料を持続的に生産できるかどうかにかかっている。各国が個々にそれを達成するのは不可能であり、国際協力が重要となる。さらに、各国が独自の基準を策定した場合、新たな貿易障害になってしまう。特に輸出国(アジアでは、主に途上国)の場合、バイオ燃料を持続的に生産しているという信頼を輸入国が

ら得られなければ、市場に参入することが難しくなる。国際的に認証制度が合意されれば、気候変動の緩和、エネルギー安全保障、地方開発の面で期待されるバイオ燃料の効果を、環境の犠牲を伴わずに達成する保証となりうる。

5. 結論と提言

バイオ燃料に関しては最適な政策など存在しないというのが一般の見方である。既存の政策提言には、急速な推進から、さらなる調査を踏まえた慎重な推進、さらにはモラトリアム(一時停止)まで、大きな幅があり、その多くは、バイオ燃料を推進(または制約)することで利益を得る企業やアジアを拠点としない NGO と研究機関によって提言されている。残念ながら、中立的な団体が、アジアにおいて、あるいはアジアの条件を考慮して実施した政策分析はほとんどない。本章の結論は、廃棄物由来のセルロース系バイオマスを原料としたバイオ燃料、いわゆる第二世代バイオ燃料の方が、第一世代バイオ燃料よりも有望であり、持続可能な開発の原則に沿っているという、大方の意見と一致している。日本を含む先進国では、第二世代バイオ燃料に関する多くの技術研究が実施されてきたが、それらの研究に対しては、さらなる財政的・人的資源を投じる必要があり、また、アジアの途上国に特有な条件の下での研究開発はほとんど行われていない。

ただし、多くのアジア諸国が既に第一世代バイオ燃料の推進を決定しているため、第一世代バイオ燃料利用による問題に対処する政策がやはり重要である。第二世代バイオ燃料技術については、多数のパイロット・プロジェクトが実施されているにもかかわらず、大規模な導入が可能な時期は不明であり、また第一世代バイオ燃料で用いられる燃料精製技術は、容易には第二世代バイオ燃料に転用できない。

アジアにおけるバイオ燃料の持続的生産は、土地利用形態の変化が引き起こす問題が対処されるのであれば、理論上は可能と思われる。また、バイオ燃料は、GHG 排出削減、エネルギー安全保障、貧困削減に、ある程度寄与するものと考えられる。しかし、特に熱帯雨林や泥炭地の破壊をもたらす非持続的なバイオ燃料生産を促す強い経済的誘因は現に存在し、またバイオ燃料の利用目標値が、持続可能な手段によって生産されたバイオ燃料でどの程度達成できるのかは不明である。

バイオ燃料に関する厳しいモラトリアム(一時停止)と急速な大規模推進の両極端の政策は、いずれも必要性に欠け、現実的ではない。アジアの多くの政府が、既にバイオ燃料を積極的に推進しようとしているものの、利用目標を達成できるだけのバイオ燃料生産の見込みはない。しかしながら、持続的生産を約束する安全策がないまま目標値を引き上げたり促進を強化したりした場合には、森林伐採をはじめとする環境破壊が急速に進行するおそれがある。

このため、短期的には、バイオ燃料の原料作物の持続的な生産、特に直接的にも間接的にも森林伐採を回避する生産方法を模索することが最優先課題であると考えられる。アジアの政府の中には、特にエネルギー安全保障や経済発展に比べ、バイオ燃料の持続可能な生産や環境保護の推進に対する優先度が高くない国もある。しかし仮に、これらの国で、短期的であっても非持続的なバイオ燃料が進められ、その結果として環境破壊、経済的な混乱、貧困の悪化・拡大が引き起こされれば、究極的には非生産的な結果におわる「角を矯めて牛を殺す」ことが考えられる。先進国には、輸入するバイオ燃料が持続的に生産された物であることを確認する責任がある。自国の気候変動に関する約束を果たすことにより、バイオ燃料生産国での環境・社会問題を引き起こすことは容認されることではない。

持続的に生産されたバイオ燃料を認証する制度の整備は、持続可能な生産を推進するための効果的な第一歩となりうる。これには RSB や RSPO のような既存のステークホルダー参加型のイニシアティブが検討してきた持続可能性の基準を活用できる。しかし、このような基準の適用は任意であるため、実効性を確保するためには、各国の政府が関与してそれらを義務化することが必要に

なるであろう。日本のような先進国を含め、主にバイオ燃料を輸入する国では、国際的に合意された持続可能なバイオ燃料の基準に基づき、国内のバイオ燃料生産基準を設けることも可能であるが、持続可能性基準の導入は、国際協力と客観的な監視のもと、効果的に行う必要があり、さらに、バイオ燃料に関するデータ収集を改善する必要もあるであろう。

バイオ燃料の持続的な生産の可能性が保証されるまでは、バイオ燃料の推進策は慎重を期する方が賢明であろう。同様に、バイオ燃料関連プロジェクトを承認するクリーン開発メカニズムの規定や基準も緩和すべきではないと考える。政策資金や援助は、第一世代バイオ燃料の生産増加ではなく、バイオ燃料の持続的な生産方法を推進するための研究開発や政策、特に第二世代バイオ燃料に向けられるべきである。

バイオ燃料関連政策を検討する上で、アジア各国における条件の多様性、例えば開発レベル、生産や消費の状況、原料の利用可能性、気候等を考慮することは当然のことながら重要であり、最適な政策は国により、あるいは国内の地域間でも異なると考えるべきである。

政策論議の多くは、米国のエタノールに対する高い関税率をはじめとした、バイオ燃料の貿易障壁に集中しており、バイオ燃料貿易に対する保護主義的な障壁を軽減すべきである、あるいはバイオ燃料を WTO が規定する環境財として分類すべきであるなどの提言が多くみられる。貿易障壁を引き下げるとは、一般に経済効率を上昇させ、歪みを是正する。しかし、バイオ燃料の場合は、まず燃料の持続的な生産を確保することが最優先であり、貿易障壁の軽減は、この問題に有効でないばかりか、逆に非持続的なバイオ燃料生産を助長する可能性もある。バイオ燃料を環境財として扱うことについては、国際的に合意された認証制度などにより、持続的に生産されたバイオ燃料が非持続的に生産されたものと区別できるようになるまで、合意に達することは困難であろう。したがって、現時点では貿易政策手段を優先させることは望ましくない。

また、一部の途上国に見られるように、国内のバイオ燃料生産を推進し、外国産のバイオ燃料の輸入を抑止する目的で、自国の未熟産業を保護することは、非生産的になる可能性があり好ましくない。国内のバイオ燃料生産促進、コスト削減、地球環境保護 (GHG 削減)、貧困削減という目標の間にトレードオフの構造がある。未熟産業の保護は、エネルギーや輸送、食糧のコストや価格を引き上げることとなるため、その結果エネルギー安全保障の改善効果を弱め、低所得者への負担が不均衡に大きくなる。また未熟産業の保護は、持続的な方法よりも低コストの非持続的な生産方法を助長する可能性もある。一方、輸入バイオ燃料の方がより持続的な方法で生産されていれば (かつ輸入品の方が安価な場合もある)、国内生産よりも輸入を推進する方が、GHG 排出削減に効果的であるという可能性もある。バイオ燃料の国内生産は、経済・環境の観点から、最善の選択肢である場合もあれば、そうでない場合もあり、各国の状況は個別に分析されるべきである。

最後に、第一世代バイオ燃料が持続的に生産され、GHG 削減に寄与したとしても、その寄与は小規模なものにとどまるであろう。依然として省エネルギーと他の再生可能エネルギーの推進が不可欠であることに変わりはなく、バイオ燃料の推進だけで特効薬のような効果があるわけではない。バイオ燃料は、気候変動とエネルギー政策において唯一の手段でないばかりか、主要な手段とすらならず、どの国にあっても、省エネルギーと他の再生可能エネルギーの推進を含む包括的なエネルギー政策の一部としてバイオ燃料の促進を位置づけるべきである。また、バイオ燃料政策は、より広範な意味での持続可能な開発に資する形で考慮されるべきであり、いかなる新政策についても、予め経済・社会・環境面への影響を十分に評価すべきである。

今後の研究課題

今後の政策に有効な情報を提供するためには、バイオ燃料に関するさらなる研究が必要である。特に重要な分野は、(i) バイオ燃料の環境影響に関するより包括的な LCA 研究、(ii) バイオ

燃料の経済・社会的影響、(iii)費用効率が高く、環境にやさしいバイオ燃料生産方法、特に第二世代バイオ燃料、である。先進国では既に研究が進められているが、これらの研究は、それぞれの地域に固有の結果をもたらすことが考えられるため、途上国も独自に研究を実施すべきである。例えば、第二世代バイオ燃料に関しては、各国には異なる生産条件と潜在的原料が存在する。

参考文献

- Ali, N. 2006. Energy management in agriculture: Status, issues and strategy. Paper read at Balancing Energy, Development, and Climate Priorities in India, 30 Nov-1 Dec 2006, at New Delhi, India.
- Ankumu, G. 2007. *The dark side of biofuels*. Climate Network Africa 2007. Available from <http://www.cnaf.or.ke/Publications/THE%20DARK%20SIDE%20OF%20%20BIOFUELS.pdf> (accessed 8 February 2008).
- Bangkok Post. 2007. PTT and Bangchak to begin selling E20 in Bangkok 1 Jan 2008. 27 December.
- Bensten, S. B., C. Felby, and K. H. Ipsen. 2006. Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark. Denmark: Dong Energy and Royal Veterinary and Agricultural University.
- Bergsma, G., B. Kampman, H. Croezen, and M. Sevenster. 2006. Biofuels and their global influence on land availability for agriculture and nature: A first evaluation and a proposal for further fact finding. *Solutions for environment, economy and technology*. Delft: CE.
- Beyond Petroleum. 2007. BP Statistical Review of World Energy. London: Beyond Petroleum.
- Bhardwaj, M. 2007. Global palm oil prices to rise sharply. *Reuters*, 23 September 2007.
- バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議. 2007. 国産バイオ燃料の大幅な拡大, February.
- Blotnitz, H.V., and M.A. Curran. 2007. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 15 (7):607-619.
- Braun, J.V. 2007. The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions. Paper read at CGIAR Annual General Meeting, 4 December 2007, at Beijing.
- Brown, E., and E. R. Neal. 2005. On-farm energy use characterizations. Washington D.C.: American Council for an Energy Efficient Economy.
- Center for Advanced Studies on Applied Economics. 2007. Series of the CEPEA/ESALQ Crystal Price Index. Center for Advanced Studies on Applied Economics, Brazil.
- Clark, G. 2007a. APAC governments providing strong support to biofuels. *Biofuel Review*, 2 November. <http://www.biofuelreview.com/> (accessed 6 November 2007).
- . 2007b. Singapore highlights the importance of biofuels on its energy strategy. *Biofuel Review*, 12 September <http://www.biofuelreview.com/> (accessed 12 September 2007).
- Commodity Online. 2008. Indonesian biofuel export hurt by legislation. Commodity Online, 20 March. <http://www.commodityonline.com/commodities/oil-oilseeds/newsdetails.php?id=6583> (accessed 6 May 2008).
- Communications DNA Pte Ltd. 2007. Press Release: Biodiesel field test launch in Singapore. <http://www.edb.gov.sg/> (accessed 20 December 2007).
- Daily Times. 2007. High palm oil prices squeeze Indonesia biodiesel mix. 11 July.
- Dam, J. V., M. Junginger, A. Faaij, I. Jürgens, G. Best, and U. Fritsche. 2008. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. *Biomass and Bioenergy* (The IEA Bioenergy Task 40 special issue) (forthcoming).
- Delucchi, M. A. 2003. Issues in lifecycle analysis. Paper read at Integrated Energy Policy Report Committee Workshop on Transportation fuels production, importation and infrastructure, 11 July 2003, at Sacramento.
- Denne, T., and J. Hole. 2006. Enabling biofuels: Biofuel economics. Auckland: COVEC and Ministry of Transport, New Zealand.
- Duncan, J. 2003. Costs of biodiesel production. Wellington, New Zealand: Energy Efficiency and Conservation Authority.
- Dutta, A., R. M. Shrestha, H. Jayasuria, and CAPSA. 2007. E-learning course on bio-energy for achieving MDGs. Paper read at Renewable energy e-learning course, 20 April 2007, at

- <http://www.steapan.org/e-learning/bio-energy-adutta.pdf> (Online conference) (accessed 20 February 2008).
- East Asia Summit. 2007. Cebu Declaration on East Asian Energy Security.
- Ehrlich, D. 2007. S. Korea to boost biodiesel by 2012. *Cleantech*, 7 September.
- Engelhaupt, E. 2007. Biofuelling water problems. *Environmental Science and Technology*, October 15.
- Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, and P. Hawthorne. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*: 319(5867): 1235 - 1238.
- Food and Agricultural Organization. 2006. Fertilizer use by crop. *Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*. Rome: Food and Agricultural Organization.
- . 2007. FAOSTAT. Rome: Food and Agricultural Organization.
- Food and Agricultural Policy Research Institute. 2005. Implications of increased ethanol production for US agriculture. Missouri: Food and Agricultural Policy Research Institute.
- France-Presse. 2007. Water for biofuels or food? *Agence France-Presse*, August 17 2007.
- Friends of the Earth. 2008. Losing ground: The human rights impacts of oil palm plantation expansion in Indonesia. London: Friends of the Earth, Life Mosaic, and Sawit Watch.
- Fritsche, U. R., K. Hünecke, A. Hermann, F. Schulze, and K. Wiegmann. 2006. Sustainability standards for bioenergy. Berlin: WWF Germany.
- Gardner, T. 2007. U.S. energy law drives alternative to corn ethanol. *Reuters*. 19 December.
- Global Bioenergy Partnership (GBEP). 2007. A review of the current state of bioenergy development in G8 +5 countries. Rome, Italy.
- Gonsalves, J. B. 2006. An assessment of the biofuels industry in India. Geneva: UNCTAD.
- Graham-Harrison, Emma. 2005. Food security worries could limit China biofuels. *Reuters*, September 26.
- Graham, R.L., R. Nelson, J. Sheehan, R.D. Perlack, and L.L. Wright. 2007. Current and potential US corn stover supplies. *Agronomy Journal* 99:1-11.
- Hazell, P., and J. V. Braun. 2006. Biofuels: A win-win approach that can serve the poor. *IFPRI Forum* (June), <http://www.ifpri.org/pubs/newsletters/ifpriforum/if15.pdf> (accessed 8 February 2008).
- Hooda, N., and V.R.S. Rawat. 2006. Role of bio-energy plantations for carbon-dioxide mitigation with special reference to India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11 (2):437-459.
- Hooijer, A., M. Silviu, H. Wösten, and S. Pag. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Rotterdamseweg: Delft Hydraulics, Wetland International, Alterra Wageningen.
- Hu, Z., G. Pu, F. Fang, and C. Wang. 2004. Economics, environment, and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China. *Renewable Energy* 29 (14):2183-2192.
- Iijima, M. 2007. Baiomasu yurai nenyro no fukyu ni muketa shiseku no genjo to tenbo [The present conditions and the prospects of introducing biofuels for transport]. *Shigen Kankyo Kenkyu (Journal of Resources and Environment)* 43 (8):68-72.
- Inoue, N. 2007. DME production from biomass. Paper read at 4th Asian DME Conference, 12-14 November 2007, at Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, Japan.
- International Energy Agency. 2004. Biofuels for transport: An international perspective. Paris: International Energy Agency.
- Koizumi, T. and K. Ohga. 2007. Biofuels policies in Asian countries: Impact of the expanded biofuels program on world agricultural markets. *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization* 5 (2), <http://www.bepress.com/jafio/vol5/iss2/art8/> (accessed 13 March 2008).
- Kojima, M., D. Mitchell and W. Ward. 2007. *Considering trade policies for liquid biofuels*. Washington, DC: World Bank, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).
- Kolesnikov-Jessop, S. 2007. Singapore strives to lead next round of biofuels race. *International Herald Tribune*, 29 October.
- 京都市. 2007. バイオディーゼル燃料化事業
<http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000001904.html> (accessed 9 January 2008).
- Lang, S. 2005. Cornell's ecologist's study finds that producing ethanol and biodiesel from corn and other crops is not worth the energy. *Cornell University News Service*, July 5.
- Laur, N. E. 2006. Jatropha planting pushed. *Manila Times*, 4 June.
- Legowo, E. H. 2007. Indonesian policy and effort to develop biofuel. Paper presented at the East Asia Summit Biofuel Seminar, October 11, in Makuhari, Japan.

- Leow, C. 2008. Palm oil rises to record as Indonesian taxes may curb supply. *Bloomberg.com*. 5 Feb. <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601087&sid=a4wxtklmOVB0&refer=home> (accessed 5 May 2008).
- Lunjew, M. D. 2007. Malaysia's efforts for biofuel introduction and utilisation. Paper presented at the East Asia Summit Biofuel Seminar, October 11, in Makuhari, Japan.
- Macedo, E.D.C., M.R.L.V. Leal, and J.E.A.R.D. Silva. 2004. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil. São Paulo: Secretariat of the Environment, Government of the State of São Paulo.
- Mahr, K. 2007. When biofuel is bad for the environment. *TIME*, 28 November.
- Makhijani, A. 1990. Draft Power in South Asian Food Grain Production: Analysis of the Problem and Suggestions for Policy. Maryland: Institute for Energy and Environmental Research.
- Marasigan, M. C. 2007. Philippine biofuels industry: Development initiatives. Paper presented at the East Asia Summit Biofuel Seminar, 11 October, at Makuhari, Japan.
- Mason, J. 2007. EU to require biofuels cut emissions 10pct. *Reuters*, November 22.
- Ministry of Petroleum and Natural Gas. 2005. Bio-diesel purchase policy. New Delhi: Government of India.
- Msangi, S., T. Sulser, M. Rosegrant, R. Valmonte-Santos, and C. Ringler. 2006. Global scenarios for biofuels: Impacts and implications. Rome: International Food Policy Research Institute.
- Mustapha, N. 2008. Top news in Malaysia. In *2007 Top News on the Environment in Asia*, edited by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama, Japan: IGES
- Nagarajan, M. 2008. Biofuel development in Malaysia. Paper presented at the International Symposium on Agricultural and Biofuel Policy, 25 February, in Bangkok, Thailand.
- National Biodiesel Board. 2005. Response to David Pimentel Biodiesel Life Cycle Analysis. <http://eerc.ra.utk.edu/etcfc/docs/pr/PimentelStudy-NBBDetailedResponse-July05.pdf> (accessed 12 December 2007).
- National Farmers Union. 2006. The economics of biofuels. Warwickshire: National Farmers Union. <http://www.nfuonline.com/x9764.xml> (accessed 10 January 2008).
- Nguyen, T.L.T., S.H. Gheewala, and S. Garivait. 2007. Energy balance and GHG-abatement cost of cassava utilization for fuel ethanol in Thailand. *Energy Policy* 35 (9):4585-4596.
- 日本経済新聞. 2007. バイオ燃料、税で後押し. 6 December.
- . 2008. バイオ燃料:アジアで生産協力. 7 January.
- 日刊工業新聞. 2008. 国産バイオ燃料普及へ新法. 8 January.
- OECD. 2007. Biofuels for transport: Policies and possibilities. OECD Policy Brief, November 2007. OECD: Paris.
- OECD-ITF Round Table. 2007. Biofuels: Linking support to performance. Summary and Conclusions. OECD and ITF: Paris.
- Pascual, L.M., and R.R. Tan. 2004. Comparative life cycle assessment of coconut biodiesel and conventional diesel for Philippine automotive transportation and industrial boiler application. Paper read at InLCA/LCM 2004, 11-24 July 2004, at <http://www.lcacenter.org/InLCA2004/> (Online conference) (accessed 8 December 2007).
- Pearce, F. 2005. Forests paying the price of biofuels. *New Scientist*, November 22.
- Pimentel, D. 2001. Limits of Biomass Utilization. In *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. San Diego: Academic Press.
- . 2003. Ethanol fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research* 12 (2):127-134.
- Pimentel, D., T. Patzek, F. Siegert, M. Giampietro, and H. Haberl. 2007. Concerns over notes on biofuels in IPCC AR4 Mitigation report and SPM. Geneva, 30 October 2007.
- Pruesakorn, K., and S. K. Gheewala. 2006. Energy and greenhouse gas implications of biofuel production from *Jatropha curcas* L. Paper read at The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment, 21-23 November 2006, at Bangkok, Thailand.
- Quirin, M., S.O. Gartner, M. Martin, and G. A. Reinhardt. 2004. CO₂ mitigation through biofuels in the transportation sector: Status and perspectives. Heidelberg: Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg).
- Rajagopal, D., A. Khan, and K.J. Yoo. 2005. India's unique sources of fuel for electricity and transportation. Paper read at RAEL Lunch Talk, 26 October 2005, at UC Berkeley.
- Rajagopal, D., S. E. Sexton, D. Roland-Holst, and D. Zilberman. 2007. Challenge of biofuel: Filling the tank without emptying the stomach? *Environmental Research Letters* 2:doi: 10.1088/1748-9326/2/4/04400.

- Rajagopal, D., and D. Zilberman. 2007. Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels. *Policy Research Working Paper*. Washington D.C.: The World Bank.
- Regmi, A., ed. 2001. *Cross-country analysis of food consumption patterns*. Edited by A. Regmi. 1 vols, *Agriculture and Trade Report*. Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- Reuters. 2007a. Green group wary of plans for "eco-friendly" palm. 26 November.
- . 2007b. Japan eyes affordable cellulosic ethanol, November 21.
- . 2007c. Palm oil industry moves closer to "green" labelling. 26 November.
- . 2007d. S. Korea May Bring Forward 5 Pct Biodiesel Rule. *Reuters*, 6 July.
- Roundtable on Sustainable Palm Oil. 2004. *Press statement: New global initiative to promote sustainable palm oil*. [http://www.rsपो.org/resource_centre/RSPO_Press_Statement_\(final\).pdf](http://www.rsपो.org/resource_centre/RSPO_Press_Statement_(final).pdf) (accessed 18 October 2007).
- . 2007. *RSPO Statement: Sustainable palm oil certification and trading systems*. [http://www.rsपो.org/resource_centre/Sustainable%20Palm%20Oil%20Certification%20and%20Trading%20Systems%20\(June%202007\)_1.pdf](http://www.rsपो.org/resource_centre/Sustainable%20Palm%20Oil%20Certification%20and%20Trading%20Systems%20(June%202007)_1.pdf) (accessed 8 January 2008).
- Roundtable on Sustainable Biofuels. 2007. The Roundtable on Sustainable Biofuels: Ensuring that biofuels deliver on their promise of sustainability. Paper presented at the Regional Stakeholder Meeting 13-14 November, in Shanghai, China.
- Runge, C. F., and B. Senauer. 2007. How biofuels could starve the poor. *Foreign Affairs* 86(3): May/June 2007. Available from <http://www.foreignaffairs.org/20070501faessay86305/c-ford-runge-benjamin-senauer/how-biofuels-could-starve-the-poor.html> (accessed 13 December 2007).
- Runge, C.F. 2007. The international biofuels craze: Bonanza or boondoggle? Paper read at Biofuels, Carbon, and Trade: Leadership challenges for the Interdependent Americas, 22-23 October 2007, at Minneapolis, Minnesota.
- Sato, S. 2007. バイオエタノール・ジャパニ関西(環境主義拜見:拠点ルポ). *化学工業日報*, 28 November.
- Schmitz, A., J. L. Seale, Jr., and T. G. Schmitz. 2003. Sweetener-ethanol complex in Brazil, the United States and Mexico: do prices matter? *International Sugar Journal* 105 (1259):505-513.
- Searchinger, T. D., R. Heimlich, R. A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, and T. Yu. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels Increases greenhouse gases through emissions from land use change *Science* 319 (5867):1238-1240.
- Seo, J.A. 2008. Agriculture and biofuel policy in Korea. Paper read at the International Symposium on Agricultural and Biofuel Policy, 25 February, in Bangkok, Thailand.
- Shapouri, H., J. A. Duffield, and M. Wang. 2002. The energy balance of corn ethanol: An update. Argonne: United States Department of Agriculture.
- Steenblik, R. 2007. Subsidies: The distorted economics of biofuels. In *Discussion Paper*. Geneva, Switzerland: OECD, International Transport Forum, Joint Transport Reserach Center.
- Subramanian, V. 2007. Biofuel policy in India. Paper read at the East Asia Summit Biofuel Seminar, October 11, in Makuhari, Japan.
- Sun, X. 2007. Non-staple crops new source for ethanol. *China Daily*, 14 June.
- Tan, R. R., A. B. Culaba, and M. R. I. Purvis. 2004. Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector. *Biomass and Bioenergy* 26 (6):579-585.
- Tobin, J. 2005. Life cycle assessment of the production of biodiesel from *Jatropha* (MSc Thesis, Energy Group, School of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading).
- Tono, Y., H. Miyafuji, M. Shibata, and S. Saka. 2007. Characterization of Inorganic Constituents in Oil Palm (*Elaeis guineensis*) by SEM-EDXA. *Journal of the Japan Institute of Energy* 86 (12): 973-977.
- UNCTAD. 2007. Report of the ad hoc expert group meeting on biofuels: Trade and development implications of present and emerging technologies. Geneva: UNCTAD.
- United States Department of Agriculture. 2007. Feed grains database: Yearbook tables of corn prices in US. Washington: United States Department of Agriculture, Economic Research Service. Available from <http://www.ers.usda.gov/data/feedgrains/> (accessed 5 January 2008).
- USDA Foreign Agricultural Service. 2007a. China, People's Republic of: Bio-fuels annual 2007. *GAIN Report (CH7039)*, 1 June, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200706/146291348.pdf> (accessed 8 August 2007).
- . 2007b. Indonesia: Biofuels Annual 2007. 13 June, *GAIN Report (ID7019)*, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200706/146291372.pdf> (accessed 12 August 2007).
- . 2007c. Korea, Republic of: Bio-Fuels Production Report 2007. *GAIN Report (KS7052)*, 8 August, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200708/146292125.pdf> (accessed 18 August 2007).

- . 2007d. Malaysia: Biofuel bill passed on April 16, 2007. *GAIN Report (MY7014)*, 20 April, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200704/146280889.pdf> (accessed 15 September 2007).
- . 2007e. Philippines Bio-Fuels, Annual. In *GAIN Report. GAIN Report (PR7029)*, 4 June, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200706/146291288.pdf> (accessed 22 September 2007).
- . 2007f. Thailand Bio-Fuels, Annual. *GAIN Report (TH7070)*, 4 June, <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200706/146291285.pdf> (accessed 24 September 2007).
- Valdes, C. 2007. Biofuels in the Americas: Policies and prospects. Paper read at Biofuels, Carbon, and Trade: Leadership Challenges for the Interdependent Americas, 22-23 October 2007, at Minneapolis, Minnesota.
- Wang, M. 2005. The debate on energy and greenhouse gas emissions impacts of fuel ethanol. Paper read at Energy Systems Division Seminar, 3 August 2005, at Argonne National Laboratory.
- Waranusantikul, T. 2008. Top news in Thailand. In *2007 Top News on the Environment in Asia*, edited by IGES. Hayama, Japan: IGES.
- World Business Council for Sustainable Development. 2007. Biofuels. *Issue Brief: Energy and climate focus area*. Conches-Geneva, Switzerland: World Business Council for Sustainable Development.
- Worldwatch Institute. 2007. *Biofuels for transport: Global potential and implications for sustainable energy and agriculture*. London/Sterling, VA: Earthscan.
- Wright, M, and R Brown. 2007. Comparative economics of biorefineries based on the biochemical and thermo-chemical platforms. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1 (4):49-56.
- Zah, R, H Böni, M Gauch, R Hischer, M Lehmann, and P Wäger. 2007. Executive summary of life cycle assessment of energy products: Environmental Assessment of Biofuels. Bern: Empa.
- Zutphen, H.V. 2007. The CO₂ and energy balance of Malaysian palm oil: Current status and potential for future improvements. Paper read at 2nd Symposium on Sustainable Resource Development, 6 June, at Brussels, Belgium.

注

- ¹ 1994年にノルウェーのオスロで開催された「持続可能な消費に関するシンポジウム」によれば、「持続可能な生産ならびに消費とは、基本的必要性を満たして生活の質を向上させ、同時に、将来の世代のニーズを脅かさないよう、そのライフサイクルにおいて、自然資源の使用、有毒物質、廃棄物・汚染物質の排出量を最小限に抑えるような財とサービスの使用である」(持続可能な消費に関するシンポジウム、ノルウェー、オスロ、1994年1月19日から20日)。
- ² ライフサイクル分析とは、生産から消費、さらに処分まで(ゆりかごから墓場まで)のライフサイクル全体を通じた製品の影響に関する総合評価を意味する。
- ³ ETBEはガソリンの燃焼効率を引き上げ、大気の質の改善が可能な含酸素燃料である。
- ⁴ これはエステル交換の過程で副産物としてグリセリンが作られるためである。
- ⁵ エネルギー収支(NEV)は、1リットルのバイオ燃料を生産するために消費したエネルギーについて必要な補正を加えた後に、バイオ燃料に含まれる正味エネルギー量を表す。
- ⁶ 既存の食用作物が燃料利用に転換される場合を含む。
- ⁷ バイオディーゼル1リットルに含まれるエネルギー量は、ディーゼルよりも8.65%低い。
- ⁸ バイオマス・ニッポン総合戦略によれば、未利用バイオマスには、農作物非食用部と林地残材が含まれる。
- ⁹ 2008年2月現在。
- ¹⁰ インド政府高官とのインタビュー(2008年2月)。
- ¹¹ 欧州連合の場合、B5 バイオディーゼル・ブレンドでは95%のディーゼルに5%のメチルエステルが混合され、パームオレインではない。
- ¹² 京都議定書目標達成計画(2005年)では、1910万キロリットル(191億リットル)の石油を「新エネルギー源」に切り替え、約4690万トン(46.9 Mt)のCO₂を削減する目標を設定している。この目標値で輸送用燃料が占める割合は2.6%である。
- ¹³ 持続可能なパーム油のための円卓会議は、パーム油生産の持続可能性を強化すると判断されたベストプラクティスに基づく8項目の原則を定めた。