

## (2) バイオ燃料の展開と課題～光と影～

第6回 研究会（2008年4月11日）

農林水産政策研究所 主任研究員

小泉 達治

### はじめに

バイオ燃料の自動車燃料としての使用は、エネルギー問題、環境問題等への対応から米国、ブラジル以外にも中国、インド、EU、タイ、日本をはじめ世界中で普及しており、今後、その拡大が予想される。バイオ燃料の導入は、エネルギー問題、環境問題の改善に効果が期待できるほか、農業・農村の振興、地域における「循環型社会」の構築のための効果等も期待できる。その一方で、現行のバイオ燃料は主原料を農産物としているため、世界的にも注目されている。本報告では、バイオ燃料の世界的導入・普及状況と国際農産物需給に与える影響について紹介したい。

### 1. バイオ燃料の普及状況

バイオエネルギー（Bioenergy）とは、エネルギーとして見たバイオマスを化学反応させて得られるエネルギーを意味する。自動車用燃料として使用できるバイオ燃料としてはバイオエタノール、バイオディーゼルが普及している。バイオエタノールとは、さとうきびのような糖質原料やとうもろこしのような澱粉質原料を発酵・蒸留して製造されるものである。バイオディーゼルとは、ディーゼルエンジン用軽油の代替燃料として植物油等の原料をメチルエステル化すること等により製造されている。

バイオ燃料はエネルギー問題、環境問題、地域開発の目的から世界中で導入・普及が進められている<sup>(1)</sup>。特に、最近の国際原油価格の高騰により、代替エネルギーとしてのバイオエタノールに世界的な関心が集まっていることに加え、京都議定書の発効により、地球規模での温暖化対策として二酸化炭素抑制に効果のあるバイオ燃料に世界的関心が集まっている。バイオエタノールの世界生産量は、1998年の3,142万キロリットルから2007年の6,413万キロリット

ルへと増大している。世界最大の生産国は米国の 2,601 万キロリットル、次いでブラジルの 2,255 万キロリットルであり (F.O. Licht 2008)、ブラジルと米国で世界の生産量の 7 割 (75.7 パーセント) を占めている。1998 年から 2007 年にかけては、ブラジルの年平均 5.0 パーセントの増加に対して、米国は同 17.3 パーセントの増加であり、急速に生産量が拡大している。バイオディーゼルの世界生産量については、2000 年の 72.1 万トンから 2006 年の 541.6 万トンへと急速に拡大している。最大の生産国であるドイツやその他の欧州の生産量が増加している他、米国の生産量も 2005 年以降、急速に増加している。バイオエタノールの原料は澱粉質原料と糖質原料が主である<sup>②</sup>。ブラジルではさとうきびからバイオエタノールを生産、米国ではとうもろこしから、中国ではとうもろこしおよび小麦等からバイオエタノールを生産している。また、バイオディーゼルについても、なたね油、パーム油、大豆油といった植物油を主原料として生産されている。

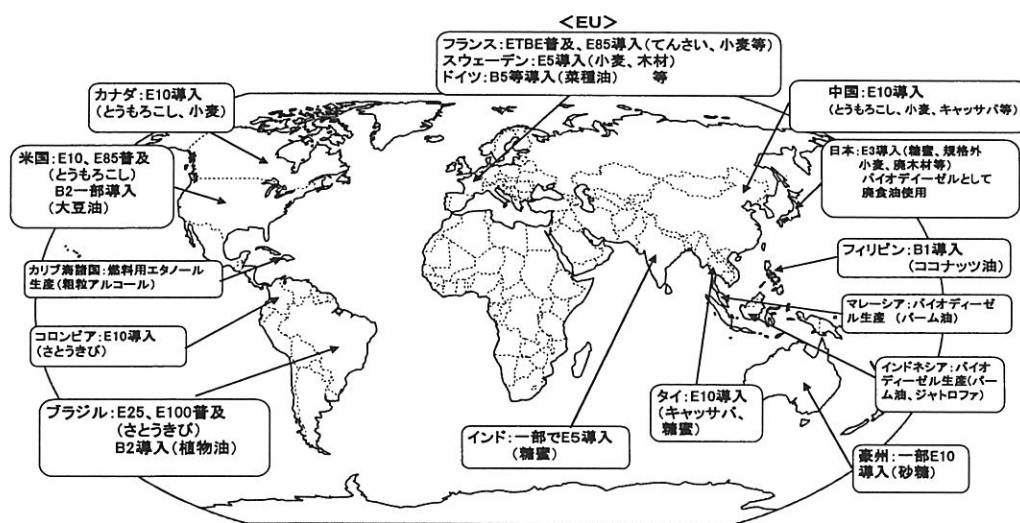


図 1 世界主要国・地域におけるバイオ燃料導入・普及状況 (2008 年 4 月)

資料: 筆者作成

注: 1. E10 とはバイオエタノール 10% 混合ガソリン、E85 とはバイオエタノール 85% 混合ガソリン、E5 とはバイオエタノール 5% 混合ガソリン、E3 とはバイオエタノール 3% 混合ガソリン、B5 とはバイオディーゼル混合 5% ディーゼル、B2 とはバイオディーゼル混合 2% ディーゼル、B1 とはバイオディーゼル混合 1% ディーゼルである。

2. ( ) は原料名である。

米国では 1970 年代後半から、エネルギー、環境問題そして余剰農産物問題への対応から、とうもろこしを主原料としたバイオエタノールの生産およびガソリンへの混合が実施されている。特に、1990 年以降は改正大気浄化法施行や MTBE（メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）<sup>④</sup> の代替によりバイオエタノールの需要が増加した。また、現在の米国におけるバイオエタノール需要の拡大は、「中東からの石油依存」からの脱却というエネルギー安全保障問題を強いインセンティブとしている。

表 1 セルロース系原料からのバイオエタノール生産(米国エネルギー省関連)

企業名	州名	原料名	生産量 (万ガロン)	補助額 (万ドル)	工場建設完成 予定年
Abengoa Bioenergy	カンザス州	とうもろこし葉・茎、麦わら、スイッチグラス、マイロ切り株	1,140	7,600	2011年
ALICO	フロリダ州	木材残渣、植物残渣	1,390	3,300	2010年
BlueFire Ethanol	カリフォルニア州	植物性廃棄物、木材残渣	1,900	4,000	2009年末
Broin	アイオワ州	とうもろこし繊維(穂軸・茎)	3,125	8,000	2010年
Iogen	アイダホ州	麦わら、稲わら、とうもろこし葉・茎、スイッチグラス	1,800	8,000	2010年
Range Fuels	ジョージア州	木材残渣、木質エネルギー作物	4,000	7,600	2011年

資料: Eidman (2007) より作成。

表 2 米国におけるセルロース系バイオエタノール生産コスト

(単位: ドル/ガロン)

	とうもろこし原料バイオエタノール	セルロース系原料バイオエタノール (2006年現在)	セルロース系原料バイオエタノール (2010-12年: エネルギー省目標値)
原料コスト	1.17	1.00	0.33
副産物収入	-0.38	-0.10	-0.09
酵素コスト	0.04	0.40	0.10
その他コスト	0.62	0.80	0.22
資本コスト	0.2	0.55	0.54
合計	1.65	2.65	1.10

資料: Conklin (2007) より作成。

「2005年エネルギー政策法」(Energy Policy Act of 2005)では、バイオエタノールを中心とする「再生可能燃料基準」の義務目標が2012年に75億ガロン(約2,840万キロリットル)とされた。さらに、2007年12月19日に成立した「2007年エネルギー法」(Energy Independence And Security Act of 2007)では、「再生可能燃料基準」(Renewable Fuel Standard)によるバイオ燃料使用量を2022年までに360億ガロン(13,626万キロリットル)まで拡大することを決定した。このうち、150億ガロン(5,678万キロリットル)はとうもろこしを原料とするバイオエタノールとし、210億ガロン(7,949万キロリットル)はとうもろこし以外のセルロース系原料からのバイオエタノール等としている。

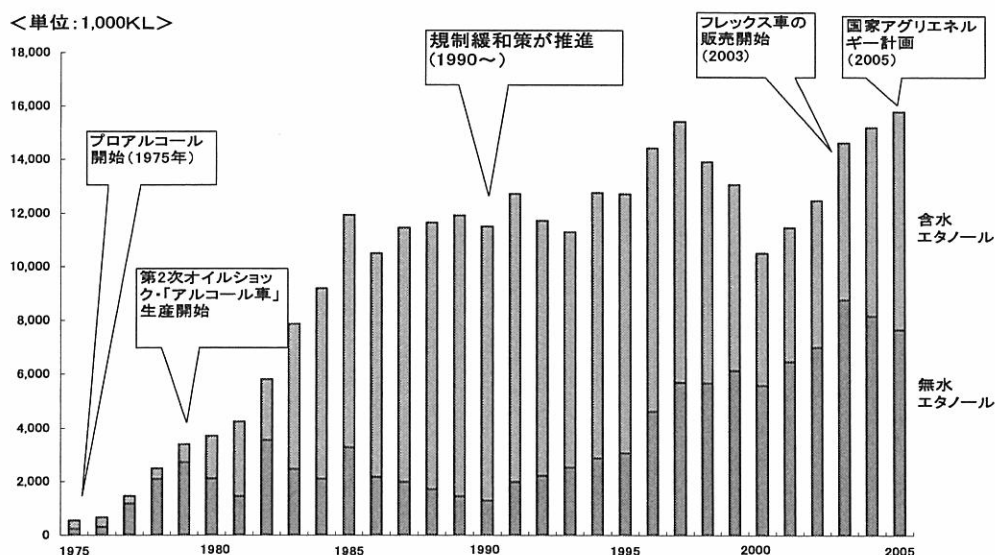


図2 アメリカにおけるバイオエタノール生産量の推移

資料: Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento (2007)より作成

ブラジルでは、1930年代以降、さとうきびからのバイオエタノール生産及びバイオエタノールのガソリンへの混合が実施されている。ブラジルでは石油輸入を抑制し、ガソリンの代替燃料としてのバイオエタノール普及を主目的とした「プロアルコール政策」が1975年に導入されて以降、バイオエタノールの需要・生産が拡大した。

ブラジルにおけるバイオエタノール・砂糖生産における大きな特徴は、バイオエタノール・

砂糖両方を生産できる工場の割合が全体の8割以上を占めていること及びさとうきびの半分以上がバイオエタノール生産に仕向けられており、バイオエタノール政策・需給動向が砂糖生産に大きな影響を与えている点である。ブラジル国内では「フレックス車」<sup>(4)</sup>の増加により、含水エタノールを中心に国内バイオエタノール需要が増加傾向にある。また、中長期的にはバイオエタノールの輸出拡大も図る方針である。

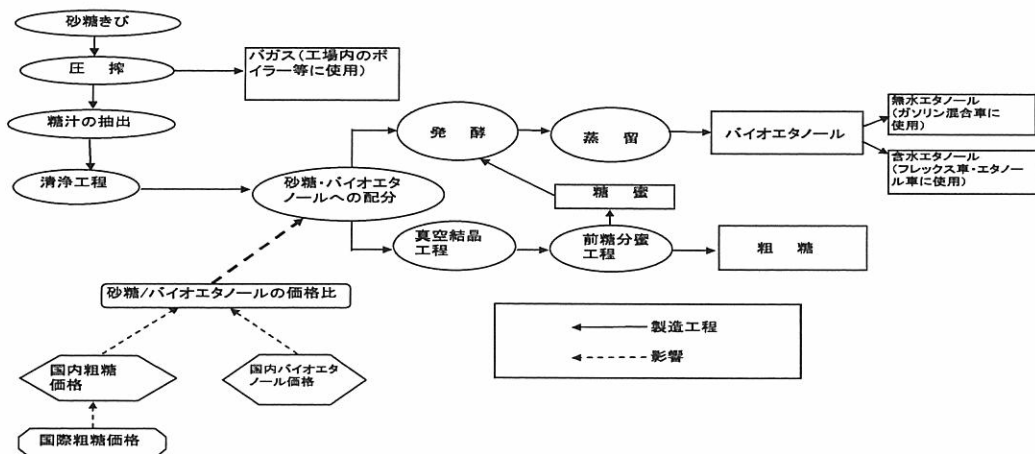


図3 ブラジルにおける砂糖・バイオエタノール生産工程

資料:筆者作成



図4 ブラジルにおけるサトウキビ生産の生産地域

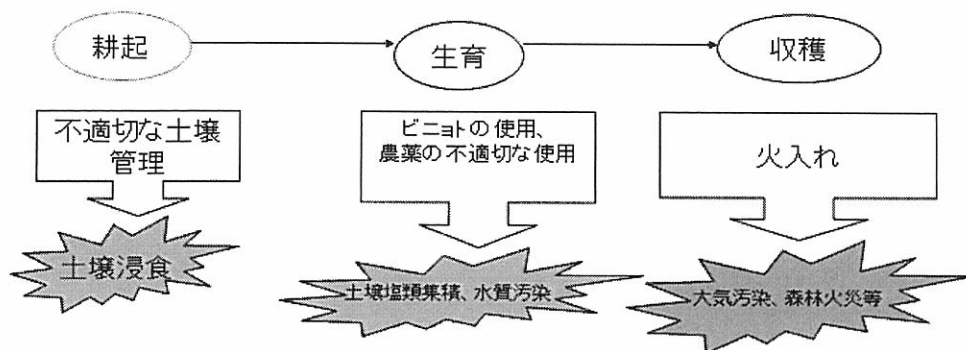


図5 さとうきび増産に伴う環境への影響

中国では、とうもろこしおよび小麦を原料とするバイオエタノールの生産が2002年より開始され、5省及び一部都市でバイオエタノール10パーセントがガソリンに対して混合使用されている。インドでは、さとうきびからの糖蜜を原料とするバイオエタノールの生産・普及が進められており、タイでもキャッサバ、糖蜜を原料とするバイオエタノールの生産・普及が進められている。EUでは、2020年までに輸送用燃料の10パーセントをバイオ燃料にするという義務目標の設置が合意された。日本でもバイオ燃料の導入や生産が行われている。また、EU、マレーシア、インドネシア、フィリピン等でも油糧作物からバイオディーゼルを生産しており、現在、地球規模でバイオ燃料政策が推進・拡大している。

## 2. バイオ燃料生産拡大が国際農産物需給に与える影響

### (1) バイオ燃料生産拡大と農産物需給

バイオ燃料生産に関しては、前節で論じたメリットのみでなく、いくつかの問題点も抱えている。まず、バイオ燃料はブラジルを除いてガソリンに比べて製造コストが高いことがあげられる<sup>(6)</sup>。また、バイオエタノールはガソリンとの親和性が低いことからガソリンに混合するにはコストがかかること<sup>(6)</sup>、エネルギーレベルが低いこと<sup>(7)</sup>、植物を主原料とするため供給に季節性があること、天候により原料生産が安定しないこと等があるが、バイオ燃料生産拡大の最大の問題点は、原料を農産物としている関係から食料と競合する点である。

米国のとうもろこし総需要量のうち、2007/08年度は28.5パーセントがバイオエタノール向けに使用されている（USDA 2008B）。また、ブラジルでは、2008/09年度のさとうきびの53.6パーセントがバイオエタノールに仕向けられている（USDA-FAS 2008）。

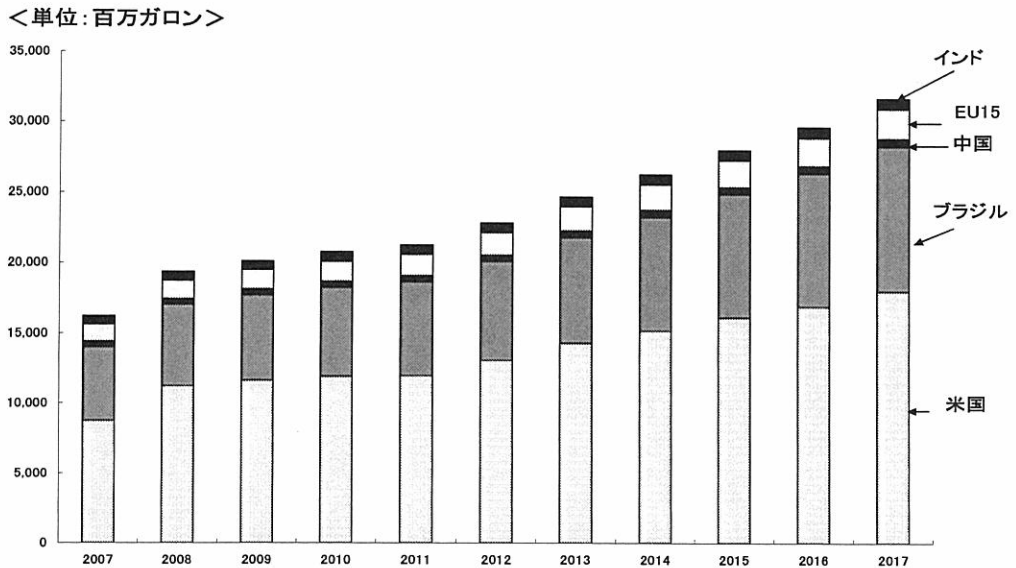


図6 世界のバイオエタノール生産量予測(FAPRI)

資料:FAPRI(2008)より作成

## (2) バイオ燃料増産に対する国際的批判

こうした状況下、世界各地でバイオ燃料が食料需給に与える影響についての危険性が指摘されている。2007年10月の国連人権委員会において、ジュネーブ大学のジューグラー教授が食料を原料とするバイオ燃料生産にモラトリアムの設定を主張した。2008年4月にはFAOのディウフ事務局長は、農地のバイオ燃料生産転換の危険性について指摘した。また、ワールドウォッチ研究所のレスターブラウン氏は、かねてからバイオ燃料増産は農産物価格を上昇させ、世界の飢餓を招くと主張している。EUでも、2020年までに輸送用燃料に占めるバイオ燃料比率を10%に引き上げる目標に対して、域内関係機関や各国でも慎重論が出ている。

### (3) バイオ燃料批判に対する主要国の反応

以上のような批判に対して、米国では今後、食料とは競合しない米国政府は中長期的にはセルロース系原料からのバイオエタノール生産を拡大していく方針を示しており、「新再生可能燃料基準」でも 2022 年までのバイオ燃料使用量のうち、全体の 44%に相当する 160 億ガロン（6,056 万キロリットル）をセルロース系原料からのバイオエタノールとすることにしている。こうした「第 2 世代型バイオ燃料」の増産を進めることにより、内外からの批判をかわしたい考えである。この他にも米国内では、バイオ燃料需要増大は食料価格には影響がないとのレポートが 2007 年後半以降、数多く発表されている。

また、ブラジルでは、バイオ燃料の原料となるさとうきびはブラジル全土の僅か 0.7%程度でしか作付けされておらず、バイオ燃料増産は食料需給には影響を与えないとしている（ブラジル農牧供給省）。また、ルーラ大統領は、2008 年 4 月の国連特別報道官の発言「バイオ燃料の大量生産は人道に対する罪である」という批判に対して、「バイオ燃料を排斥することこそが人道に対する罪である」として反論している。しかし、バイオ燃料が食料需給に与える影響について懸念している国（南アフリカ、メキシコ等）もいる。

### (4) バイオ燃料生産拡大が国際食料需給に与える影響

米国農務省が 2008 年 2 月に発表した“USDA Agricultural Baseline Projections to 2016”（USDA 2008A）では、平年並みの天候および現行の農業政策が、米国のみならず世界各国・地域において今後も継続する等の前提において、バイオエタノール用需要量の全とうもろこし需要量に占める割合が、2017/18 年度には 40.0 パーセントに拡大することが予測されている（表 3）。

このため、とうもろこしを主原料とするバイオエタノール需要量は、今後も増大することが見込まれるが、これはバイオエタノール向けと飼料用、糖化用、食用、その他工業用向けとの競合が今後も激しくなることを意味する。また、ブラジルにおけるバイオエタノール需要量拡大は、バイオエタノール価格上昇を通じて、さとうきびからバイオエタノール向け配分の増加により、バイオエタノール生産量が増加する一方で、砂糖生産量が減少することが考えられる。



表3 米国とうもろこし需給予測(USDA Agricultural Baseline Projections to 2017)

(単位:1,000トン)

	生産量	輸入量	輸出量	期末在庫量	需要量	需要量	
						うち飼料用 需要量	うちバイオエタ ノール用需要量
2006/07	267,589	305	53,975	33,122	230,784	142,189	53,772
2007/08	334,467	381	59,690	48,184	260,096	143,510	81,280
2008/09	317,881	381	54,610	33,706	278,130	138,430	104,140
2009/10	334,010	381	54,610	30,531	282,956	137,795	109,220
2010/11	346,329	381	53,975	35,611	287,655	140,335	111,125
2011/12	346,583	381	53,975	38,151	290,449	140,970	113,030
2012/13	346,710	381	54,610	36,754	293,878	142,240	114,935
2013/14	351,028	381	55,880	34,976	297,307	143,510	116,840
2014/15	357,378	381	57,150	34,849	300,736	144,780	118,745
2015/16	361,696	381	59,055	33,706	304,165	146,050	120,650
2016/17	365,887	381	60,960	32,055	306,959	146,685	122,555
2017/18	372,364	381	62,865	31,420	310,515	147,955	124,460
2006/07- 2017/18年度平 均増加率	2.8%	1.9%	1.3%	-0.4%	2.5%	0.3%	7.2%

資料:USDA(2008), "USDA Agricultural Baseline Projections to 2017"

この世界最大の砂糖生産国・輸出国における生産量・輸出量減少は国際砂糖需給に影響を与えることが考えられる。

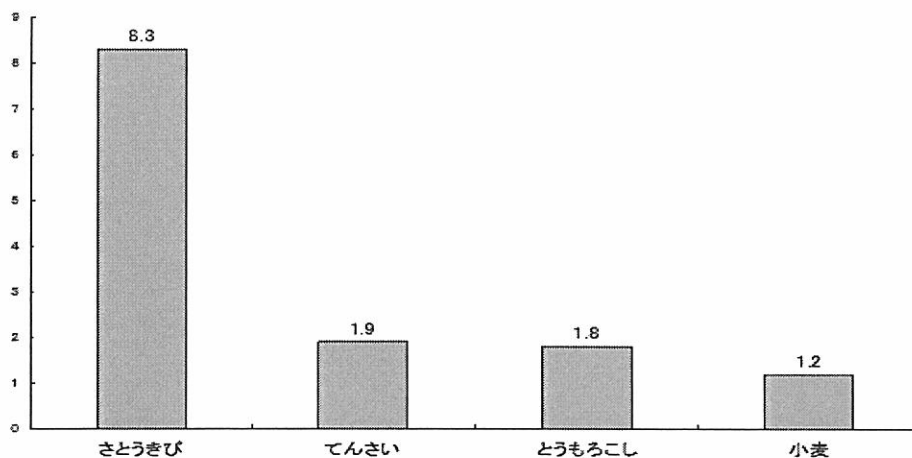


図7 バイオエタノール原料別エネルギー収支  
(産出エネルギー/投入エネルギー)の比較

資料:ICONE (2006)より作成。

## おわりに

バイオ燃料の自動車燃料としての使用は、エネルギー問題、環境問題への対応から米国、ブラジル以外にも中国、インド、EU、タイ、日本をはじめ世界中で普及しており、今後、その拡大が予想される。バイオ燃料の自動車燃料としての使用は、ガソリンの代替使用によるエネルギー自給率の向上、原油を輸入に依存している国の貿易収支の改善、カーボンニュートラルによる地球温暖化防止、大気汚染物質の削減、燃料としてのオクタン価向上、農業・農村の振興、地域における「循環型社会」の構築のための効果が期待できる。しかし、バイオ燃料生産の拡大は、原料を農産物としているため、食料とエネルギーとの競合という重要な問題を発生させる。これは、需要面のみならず、生産段階における農地や投入要素（水、肥料、農薬等）の競合をも発生させることを意味する。そして、この問題は、生産国におけるエネルギー向けとそれ以外の用途向けとの競合を加速化させるとともに、輸出量の減少を通じて国際農産物需給にも影響を与える。国際農産物価格上昇は農産物輸入国に負の影響を与え、特に、食料を輸入に依存するまたは援助に依存する開発途上国の食料安全保障に影響を与えることが考えられる。

一方、米国、日本及びEU等では中長期的に、さとうきびやとうもろこし等農産物からのバイオエタノール等の「第1世代型バイオ燃料」からセルロース系バイオマスを原料としたバイオエタノールを中心とした「第2世代型バイオ燃料」に移行する方針を示している。「第2世代型バイオ燃料」は主として食用農産物と競合しない資源を利用し、第1世代型に比べてより環境負荷が少ないというメリットがある<sup>(8)</sup>。しかし、「第2世代型バイオ燃料」は世界的にも商業的実用段階には到達しておらず、具体的にいつ到来するかは、現段階では技術開発次第といった課題がある。「第2世代型バイオ燃料」の商業的実用化が達成され、大規模生産が行われるまでは、「第1世代型バイオ燃料」が世界のバイオ燃料の主力とならざるを得ない状況が続くと思われる。このことは、今後も当面は食料からのバイオ燃料生産が行われ、食料需給にも影響を与えることを意味する。このため、世界のバイオ燃料生産の拡大が国際食料需給にも与える影響を「早期警戒的」に予測・分析するためのモニタリング体制を関係国連機関等により、早急に整備していくことが必要である<sup>(9)</sup>。

## 注

- (1) 詳細については、小泉 (2007) 序章を参照されたい。
- (2) この他に、木材や植物の茎から抽出したセルロース系原料からバイオエタノールを製造する技術が、米国、EU 及び日本で実証実験が行われているが、実用段階には至っていない。
- (3) MTBE (メチル・ターシャリー・ブチル・エーテル) とは、メタノール・イソブチレンから製造された含酸素燃料である。
- (4) ガソリンとバイオエタノールが任意の混合割合で走行できる乗用車のこと。
- (5) 米国におけるバイオエタノール生産コスト 0.25US\$/リットル (Shapouri Etc 2002) は、ガソリン生産コストの 0.22US\$/リットル (Rotterdam Regular Gasoline Price の 2005 年 9 月値) に比べて高い。
- (6) バイオエタノール混合対応費用について環境省の試算によると、精油所での対応が 590 億円、油槽所での対応が 1、680 億円、給油所での対応が 960 億円、蒸気圧調整設備に 90 億円、合計 3、320 億円が必要である (再生可能燃料利用推進会議 2003)。
- (7) バイオエタノールはガソリンよりも発熱量が低く、ガソリン 1ℓ と同量の熱量を得るためには E3 では 1.012ℓ が必要となる (再生可能燃料利用推進会議 2003)。
- (8) ただし、原料は食用農産物の生育に適さない土地で生産する必要がある。
- (9) 筆者は、「第 2 世代型バイオ燃料の国際共同研究体制の構築」および「バイオ燃料の拡大が国際食料需給に与える影響についてのモニタリング体制の整備」について、「FAO Expert Meeting on Bio Energy Policy, Markets And Trade And Food Security」(2008 年 2 月) において、提案を行った ([http://www.fao.org/fileAdmin/usEr\\_uploAd/foodclimAtEPREsEntAtions/EM56/Koizumi.pdf](http://www.fao.org/fileAdmin/usEr_uploAd/foodclimAtEPREsEntAtions/EM56/Koizumi.pdf))。その内容は「食料サミット」(世界の食料安全保障に関するハイレベル会合) に“Key Messages”として報告され、本会合において議論された。

## 引用文献

- F.O.Licht (2007), *F.O.Licht World Ethanol & Biofuels Report*, Vol. 6, No 17.
- 小泉達治 (2007), 「バイオエタノールと世界の食料需給」, 筑波書房, pp15-30.
- IFPRI (2008), “Biofuels and Grain Prices: Impacts and Policy Responses”,  
<http://www.ifpri.org/pubs/tEstimony/rosEgrAnt20080507.Asp>.
- 再生可能燃料利用推進会議 (2003), 「バイオエタノール混合ガソリン等の利用拡大について (第 1 次報告)」, 環境省地球環境局長諮問会議.
- Shapouri, H. etc (2002), *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update*, Agricultural Economic Report, USDA, AER-813.
- U.S. Department of Agriculture (2008A), *USDA Baseline Projections to 2016*, OCE-2008-1, 2008.
- U.S. Department of Agriculture (2008B), *World Agricultural Supply And Demand Estimates, WASDE-454*,  
<http://usdA.mAnnliB.cornEll.Edu/MAnnUsdA/viEwDocumEntInfo.do?documEntID=1194>.
- USDA-FAS (Foreign Agricultural Service U.S. Department of Agriculture), (2008), *Brazil Sugar Annual Report*, <http://www.fAs.usdA.gov/gAinfiles/200504/146119522.pdf>.

(おわり)