

アジアにおけるバイオ燃料の 現状と課題

2010年10月1日 日本LCA学会講演会
財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)
林 信濃

概要

第1部: バイオ燃料をめぐる現状とアジア

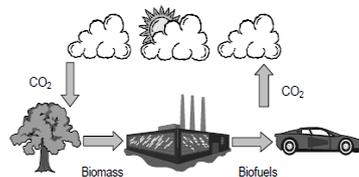
第2部: アジアにおけるバイオ燃料利用の現状について
(アジアの具体例)



第1部

バイオ燃料をめぐる現状とアジア

- バイオ燃料とは
- バイオ燃料利用の背景にある複数の目的
- バイオ燃料の世界における生産量
- バイオ燃料導入のため政策例
- 第一世代バイオ燃料の問題点
- 第二世代への期待と課題



バイオ燃料の種類と原料

エタノール

- 作物(サトウキビ、トウモロコシ、小麦、甜菜、ソルガム、キャッサバなど)をアルコール発酵して生産、いわゆる「**第一世代**」バイオ燃料
- セルロース系原料・廃棄物(わら、茎、材木の廃棄物、藻など)を前処理後アルコール発酵して生産、いわゆる「**第二世代**」バイオ燃料
- ETBE(エチルターシャリーブチルエーテル):バイオエタノールから合成される添加剤



バイオディーゼル

- 作物(ヤシ、大豆、ココナッツ、ナタネなど)の抽出油、いわゆる「**第一世代**」バイオ燃料
- 非食用油種子(ジャトロファ/ナンヨウアブラギリなど)の抽出油
- 食用廃油
などをメチルエステル化(脂肪酸メチルエステル(FAME)、軽油に近い物性)した燃料



バイオ燃料の利用

- **バイオ燃料は輸送部門で利用**
 - **エタノール**はガソリンに混合して利用
 - 日本ではごく一部、大阪府と沖縄県宮古島の一部でE3(ガソリンに3%エタノール混合)、東京都近郊の一部でETBE 3%混合ガソリンの販売、普通のガソリン自動車で可能
 - 海外ではE10やE100(ブラジル)もあるが、エンジンや装備に改良が必要
 - **バイオディーゼル**は軽油(ディーゼル)に混合して利用
 - 日本では、ごく一部でB20等(ディーゼルに20%のバイオディーゼルの混合、京都市等)
 - B5までは普通のディーゼル自動車で可能と言われている



バイオ燃料の温暖化ガス削減効果

Fuel	Country	CO ₂ (% reduction)	Source
Corn ethanol	US	2 (for E10) to 23 (for E85)	(Wang 2005)
Corn ethanol	US	-30	(Pimentel 2001) as quoted by International Energy Agency (2004)
Cassava	Thailand	63	(Nguyen et al. 2007)
Sugarcane	Brazil	80	(International Energy Agency 2004)
Oil palm	Malaysia	60	(Zutphen 2007)
Jatropha	India	80	(Hooda and Rawat 2006)
Coconut	Philippines	60	(Pascual and Tan 2004)

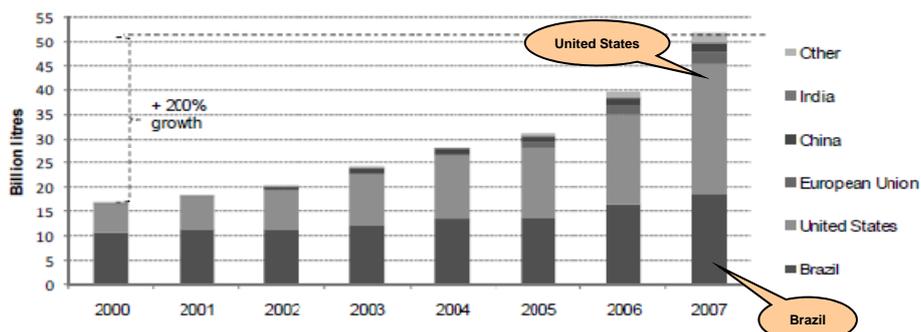
- IGES白書「アジア太平洋の未来戦略：気候政策と持続可能な開発の融合を目指して」第五章より抜粋

バイオ燃料利用の背景にある目的

- **石油依存の低減（先進国&途上国）**
 - エネルギー需要の増加、石油価格の上昇に対応
 - エネルギー保障の向上
 - 再生可能エネルギーとしてのバイオ燃料
- **温室効果ガスの削減や大気環境の改善（先進国）**
 - 化石燃料に比べて二酸化炭素の排出が少ない(より‘カーボン・ニュートラル’)
 - 化石燃料に比べて硫黄酸化物(SOx)および粒子状物質(PM)の排出が少ない
- **経済、地域発展を促進し雇用を創出（途上国）**
 - 農業生産や農家所得の増大
 - 特に発展途上国で期待大
- **廃棄物の活用（先進国&途上国）**
- **その他（途上国での小規模運用）**
 - より良い生活スタイル(コンロ使用、室内大気改善など)
 - 地域生態系保全



世界の燃料用エタノール生産量の推移

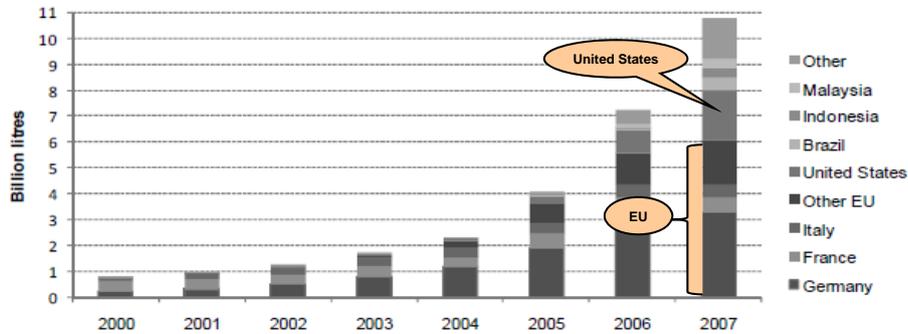


Source: Data from F.O.Licht (2007).

出所: Biofuel Support Policies: An Economic Assessment. OECD 2008

- バイオエタノールの生産量は7年間で2倍に伸びている

世界のバイオディーゼル生産量の推移



Source: Data derived from EBB (2008), F.O.Licht (2007), EIA (2008) and Agra-Infoma (2008). 2007 data are rough estimates only.

出所: Biofuel Support Policies: An Economic Assessment. OECD 2008

- バイオディーゼルの生産量はバイオエタノールに比べて小さいが急速に伸びている

世界の主要バイオ燃料生産国

Biofuel production by country, 2007

COUNTRY/COUNTRY GROUPING	ETHANOL		BIODIESEL		TOTAL	
	(Million litres)	(Mtoe)	(Million litres)	(Mtoe)	(Million litres)	(Mtoe)
Brazil	19 000	10.44	227	0.17	19 227	10.60
Canada	1 000	0.55	97	0.07	1 097	0.62
China	1 840	1.01	114	0.08	1 954	1.09
India	400	0.22	45	0.03	445	0.25
Indonesia	0	0.00	409	0.30	409	0.30
Malaysia	0	0.00	330	0.24	330	0.24
United States of America	26 500	14.55	1 688	1.25	28 188	15.80
European Union	2 253	1.24	6 109	4.52	8 361	5.76
Others	1 017	0.56	1 186	0.88	2 203	1.44
World	52 009	28.57	10 204	7.56	62 213	36.12

出典: The State of Food and Agriculture, FAO, 2008

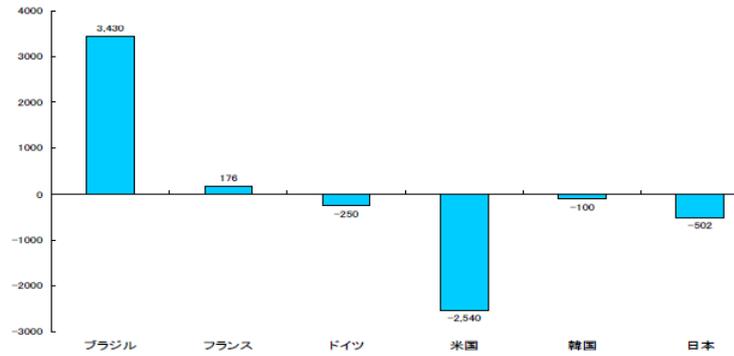
Note: Data presented are subject to rounding.

- 世界総量6, 221万キロリットルで、世界の輸送用燃料の約1%に相当
- 上記のうち約85%がエタノール。その約90%がアメリカ(トウモロコシ由来)とブラジル(サトウキビ由来)で生産
- アジアでは中国とインドでエタノール、インドネシアとマレーシアでバイオディーゼル

バイオ燃料の輸出入

・ 世界主要国におけるバイオエタノール純輸出量の比較 (2006年)

<単位: 1,000キロリットル>



(資料) F.O.Locht (2007), "F.O.Locht World Ethanol & Biofuels Report".

アジアにおけるバイオ燃料導入政策

国	数値目標	混合義務		経済的優遇策	
		エタノール	ディーゼル	エタノール	ディーゼル
中国	輸送エネルギーの15% (2020年)	10%(一部地域、試験導入)		○	○
インド	20%(2017年目標)	5%(一部地域)	2.5% 5%	○	○
マレーシア	5%(全国規模)		5%(一部地域)		○
インドネシア	B20 E15	公共交通 3% その他交通 5%	5%	○	○
タイ	自動車用燃料消費の20% (2012年)	義務ないがE10、E20販売中	5%	○	
フィリピン	E10(2011年) B5(2010年)	10%(一部地域)	3%	○	○
韓国			0.5% 3%(2012年)		○
日本	原油換算50万kL (2010). ガソリンの3%相当 (2020)	混合上限3%	混合上限5%	○	

バイオ燃料から期待される便益: 実現可能なのか?



期待された効果(石油依存の低減、温室効果ガスの削減や大気環境の改善、経済・地域発展や雇用の創出、廃棄物の活用など)はあるのか?

それとも...

第一世代バイオ燃料の問題点

- **バイオ燃料生産のための資源には制約要因があること**
 - 土地や水、労働力
 - バイオ燃料は化石燃料消費のごく一部のみ代替可能
 - 仮に、世界のすべての食用作物耕作可能地でバイオ燃料作物を生産したとしても、現在の生産量とエネルギー変換効率などから化石燃料需要全体の**約57%程度**しか満たせない
 - ⇒ 石油依存低減や温室効果ガスの削減等への限られた効果
 - バイオ燃料作物栽培拡大による直接・間接の土地利用の変化(特に熱帯雨林の消失や泥炭地の耕作地への転換)を考慮すると、**最終的なライフサイクルにおける温室効果ガスの排出は増える**という報告
 - ⇒ 温室効果ガスの削減には逆効果

第一世代バイオ燃料の問題点

➤ 食料と燃料の競合

- OECDやFAOの報告は食料価格の上昇や貧困に与える影響に対し警鐘
⇒ 経済・地域発展、食糧保障へ逆効果
- 非食用バイオ燃料作物(ジャトロファなど)の潜在的な問題点
限界耕作地や荒廃地で育つ長所の反面、市場が巨大化した場合、耕作地への侵出、食用作物生産への圧迫の可能性
⇒ 経済・地域発展、食糧保障へ逆効果の可能性

出典 Friend of the Earth



第一世代バイオ燃料の問題点

➤ 大規模なモノカルチャーの導入

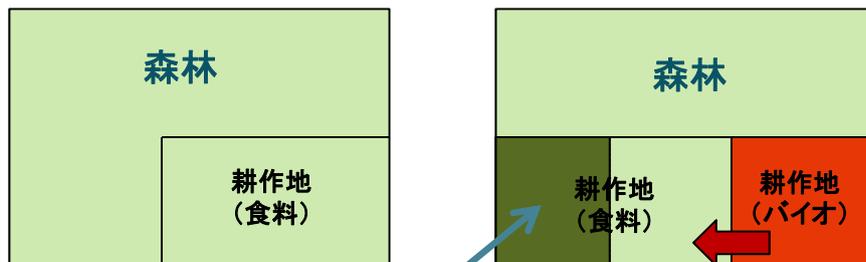
- 森林破壊、生物多様性の喪失
⇒ 新たに引き起こされる環境問題
- 大規模プランテーション等による資本集約的な生産によるバイオ燃料作物生産者への影響
- あいまいな土地所有制度
- 土地なし農民の増加
- 劣悪な労働条件、など
⇒ 経済・地域発展へ逆効果、あらたな社会問題の可能性

解決策は？



例: バイオ燃料による間接効果

* バイオ燃料の生産拡大が、既存の耕作地を圧迫し、“間接的に”森林伐採を促す結果になるケース



直接的には耕作地の拡大が森林伐採を引き起こしたものの、しかし、バイオ燃料の生産拡大が間接原因。

第二世代バイオ燃料への期待と課題

- **第2世代バイオ燃料は第1世代バイオ燃料に比べて多くの利点**
 - 食糧と燃料の競合を回避
 - 大幅な温室効果ガス削減の可能性
 - 一般にエネルギー収支や二酸化炭素等の温室効果ガスの排出総量はよいと言われている
 - 広範な原料から製造可能
 - 農業、森林、都市からの廃棄物や未利用資源
 - 多収性草木系植物の利用
 - 微細藻類(第3世代)の利用

現在、

◆ 稲わら原料を使って、秋田、北海道、兵庫で商用化の試み

◆ NEDO(新エネルギー産業技術総合開発機構)プロジェクトとして木質バイオマスのエタノール化の試み



第二世代バイオ燃料への期待と課題

➤ しながら実証段階で商業生産を模索中

- 生産技術が未熟、生産コストが高い
- 糖化のための前処理などの技術的な難しさ、など
- かさばる原料の農村・山間から工場への輸送コスト
- 全般的なLCAは不明
- セルロース系廃棄物の利用ではなく、多収性草木系植物を利用する場合、化学肥料等の投入が必要
- 更なる研究や技術開発のための投資が必要



第2部

アジアにおけるバイオ燃料利用の現状について

- アジアにおける具体例(インドネシア、インド、中国、日本)
- アジアでの持続可能なバイオ燃料生産と消費の阻害要因
- アジアで求められるバイオ燃料とは？
- 持続的バイオ燃料のための新たな取組み



アジアにおけるバイオ燃料生産と政策

インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> ●石油産出国にして輸入国 ●パーム油生産、マレーシアを抜いて世界一位 ●キャッサバとサトウキビからの精蜜、スイートソルガム、とうもろこし使用のエタノール生産も奨励
インド	<ul style="list-style-type: none"> ●エタノール生産、アジアでは中国に次ぐ。 ●非食品系バイオマス(セルロース系バイオマス)である、とうもろこしの芯やサトウキビの搾りかすを原料としたバイオエタノールを検討
中国	<ul style="list-style-type: none"> ●バイオエタノール生産は世界第三位、アジアでは第一位。 ●食用作物がバイオ燃料原料となるのを禁止 ●キャッサバ、ジャトロファに注目
日本	<ul style="list-style-type: none"> ●現行では、廃油、廃棄物、サトウキビ、甜菜、規格外穀物などを使用。 ●セルロース・藻などの次世代バイオ燃料技術確立を目指す

アジアにおけるバイオ燃料導入政策

国	現行の混合比率	目標値
インドネシア	E1-E5 B1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2025年までに段階的引き上げ予定(B15-B20) ・ 2025年までに段階的引き上げ予定(E10-E15) ・ 2009年から5年間に220億ドルを投入し普及を図る
インド	E10 (一部)	<ul style="list-style-type: none"> ・ エタノール、ディーゼル共に、20%(2017年目標)
中国	E10 (一部)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2020年までにエタノール20%混合を達成
日本	上限 E3 B5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2010年に原油換算で50万キロリットル(京都議定書目標達成計画) ・ 2020年に全国の高ソリンの3%相当以上(エネルギー基本計画) ・ 2030年最大限の導入拡大(エネルギー基本計画)

インドネシアのバイオ燃料利用:現状

- **石油純輸入国、世界最大のパーム油生産国**
 - 2004年、石油純輸入国
 - 2007年、パーム油生産でマレーシアを追い抜く
- **パーム油:バイオ燃料の原料としての可能性**
 - 既に食用油、化粧品などの原料として利用
 - パーム油増産のため、直接的、間接的森林伐採の懸念
 - パーム油の食用品、加工品需要が高く、輸出規制もされている
⇒政府はパーム油を原料としたバイオ燃料に対して懸念
- **ジャトロファ(ディーゼル)、キャッサバやサトウキビ(エタノール)の可能性**
 - 非耕作地で、食料と競合しないことが必須
 - 小規模、地産地消型の運用
- **国営の石油会社、電力会社は消極的**
 - コストと安定供給への懸念のため

インドネシアにおけるバイオ燃料:政策

- **高い目標:混合比率目標(2025年までにB20およびE15)を達成する予定**
 - フレームワークなど実行のための準備がない
- **食料との競合、直接的・間接的な土地使用の問題(森林伐採)への懸念**
- **地域的な、小規模開発への関心が高まる:エネルギー地産地消プログラム(ESSV)**
 - 現地調査によると、ジャトロファを原料とした圧搾植物油の利用が500ヶ村で行われている。
 - しかし、あるプロジェクトでは技術の導入や定着に問題が。
例: ジャトロファ作付のための資材は横流し、住民は依然として薪拾い

インドネシアのバイオ燃料: 考察

➤ バイオディーゼルの将来性

- パーム油を原料にした大規模生産は、食料との競合や土地の直接的・間接的利用拡大による森林伐採から問題がある。
- 耕作可能な土地の大きさや所有権の問題も懸念要因
- 地域開発のための小規模プロジェクト(ジャトロファを原料)は可能性が高いが、設備の供給や技術の定着に問題がある。

➤ バイオエタノール

- サトウキビの増産は可能か？
⇒ 土地の集約、機械化に問題あり
- キャッサバ、スイートソルガムを導入すべきか？
⇒ 可能な土地があるかどうかによる



インドのバイオ燃料利用: 現状

エタノール

- 原料は、サトウキビ由来の廃糖蜜。
- 灌漑水の大量消費が求められる。水資源の乏しい地域での栽培。
- 土地の制約。サトウキビの作付拡大は困難。
- 現在、粗糖は輸入(食用、アルコール飲料、工業用など、付加価値の高い製品の原料)。コスト高。

バイオディーゼル

- 非食用作物(特にジャトロファ)への期待。
- 荒地での栽培とはいえ、水・労働力、肥料などの制約条件により大規模生産の可能性は薄い。
- 間接的土地利用による森林伐採も。

インドにおけるバイオ燃料: 政策とその考察

- 非現実的な混合比率目標(2017年までに、エタノール、ディーゼルともに20%)
- 目標値の設定など、バイオ燃料に対する展望は楽観できない。
- 土地および水資源の利用可能性が著しく低い。
- 糖蜜によるバイオ燃料生産において、食料(砂糖)との競合は深刻。
- 小規模の地産地消型の生産への転換
- 新たなバイオ燃料作物(スイートソルガムやポンガミア)の試行



中国のバイオ燃料利用: 背景と現状

- **固形・ガス状バイオ燃料の利用が盛ん**
 - 農村における電化や熱供給
- **エタノールが中心**
 - もともとは、古い穀物の処分・有効利用として始まった
 - 生産量は世界第3位、原料はトウモロコシや小麦
 - 政府企業4社によるコントロール生産
 - ⇒ 国内外への穀物価格への影響を懸念
 - ⇒ 2007年、穀物からのエタノール生産拡大を停止(食物との競合を避けるため)
 - ⇒ 混合義務も生産地近傍の都市や省に限定
 - 国家発展改革委員会が発表した中・長期計画や5カ年計画でも、食糧から燃料を作らないことを明言
 - 広西省ではキャッサバからのエタノール生産が許可、同省内でも混合義務
 - ⇒ まだフル稼働ではない



中国のバイオ燃料利用: ジャトロファ生産

- **バイオディーゼル生産はまだ小規模**
 - 石油公社の投資や海外企業資本によるジャトロファ生産
- **雲南省におけるジャトロファ生産の例**
 - 農地には植えない(食糧との競合回避)
 - 「緑化」事業の一部として扱われており、森林局が管理
 - 森林を伐採して植えているわけではない
 - ⇒ 利用されていない丘の斜面に植樹
 - ⇒ 大規模生産には程遠い現状
 - ⇒ 農家にとっては、農地における農作業(本業)に加えての作業(副業)
 - ⇒ 市場が確立していない(工場未建設)などリスクが大きく、消極的
 - ⇒ ジャトロファ生産による影響は現状ではまだ小さい
- **総じて、まだ実証プロジェクト実施の段階**
- **都市部への労働力移転により、収穫期には労働力不足の可能性も?**



日本におけるバイオ燃料政策

- **エタノールが中心**
 - 地域利用モデル事業やエコ燃料利用促進補助事業
 - 大型化プラントの整備やエタノール製造施設の整備に対する補助
 - 生産能力は3万キロリットル程度まで拡大(2008年度の生産量は200キロリットル)
 - 揮発油等の品質の確保等による法律により混合の上限は現在3%
 - ETBEについては、日本では石油連盟が輸入
 - 2010年度目標21万キロリットル(原油換算)にむけて販売を拡大
 - バイオガソリン販売サービスステーション数: 約1530箇所(2010年9月10日時点)
- **バイオディーゼルは地方地自体による小規模な取組み**
 - 廃食用油の再利用
 - 地方自治体による取組みでは、京都市(年間1,500キロリットル)が先進的な取組み、ゴミ収集車や市バスで利用
 - 地域利用モデル実証事業では、新宮市(年間2,000キロリットル見込み)等
 - 食用油の原料となるナタネを生産する事業では、滋賀県東近江市の「菜の花プロジェクト」が1998年から開始、等
 - 生産量は1万キロリットル程度(2008年度)



出所:京都市ホームページ



日本におけるバイオ燃料政策

- **エネルギー保障向上への貢献**
 - 短期的な国内バイオ燃料生産能力は限られている
 - 長期的なターゲットを達成したとしても(最新技術の導入を仮定した楽観的シナリオ)でも2030年に総エネルギー消費量の5%程度
 - ⇒ 効果は限定的

- **農村開発への貢献**
 - 第二世代は生産コスト高、技術革新の速度が鍵
 - 耕作放棄地などの利用、どこに何をどの規模で生産するかが鍵
 - ⇒ ある程度の効果への期待

- **資源循環型社会実現への貢献**
 - 第二世代バイオ燃料の技術開発が鍵
 - ⇒ ポテンシャルは大きい

- **総じて、次世代バイオ燃料および廃棄物を原料としたバイオ燃料への期待大**

アジア地域におけるバイオ燃料の展望: 供給1

アジアにおいてバイオ燃料の自給自足は可能なのか？

- 主な重要である輸送用燃料全体をまかなえるだけの生産能力を持つ国はない
- 混合比率目標を達成できるだけのバイオ原料生産能力を維持し続ける原料の確保は？
- 積極的なバイオ燃料導入目標を掲げる国は輸入に頼らざるを得ない

⇒ 輸入に依存可能？

アジア地域におけるバイオ燃料の展望：供給2

自給出来ないとしたら、輸入に依存できるのか？

- **主要輸出国の国内消費の優先度**
輸出インセンティブ(輸入国における混合義務/補助金)
対 輸出規制(輸出税)---費用と便益のバランス
- **輸出国における森林伐採と生態系破壊**
輸出向け生産拡大は森林伐採の原因に。
(インドネシアなど)
- **ブラジル**
輸出余地はあるが、世界中の需要を満たせるほどではない
⇒大規模な輸入に依存したバイオ燃料導入は非持続的

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)

アジア地域におけるバイオ燃料の展望

アジアで求められるバイオ燃料とは？

- **食料と競合しない**
 - 食料価格に影響を及ぼさない
- **直接・間接の土地利用増大を引き起こさない**
 - 森林伐採や生態系破壊を引き起こさない
- **水などの資源や既存の生産活動を妨げない**
 - 現在の生活基盤を壊さない
- **副収入・雇用の促進**
 - 新たな経済効果
- **より良い生活スタイル**
 - 家庭燃料の変化(まき⇒バイオ燃料のコンロ)
 - 室内環境の改善



持続的なバイオ燃料のための制度作り

- バイオ燃料の社会面・環境面での持続可能性を達成するための基準作りや持続性認証を試みる自主的なイニシアチブが活動している
- マルチステークホルダーが中心のイニシアチブとして
 - 持続可能なバイオ燃料のための円卓会議 (RSB)
 - 持続可能なパーム油のための円卓会議 (RSPO)
- G8+5が中心になったイニシアチブとして
 - 国際バイオエネルギーパートナーシップ(GBEP)

RSBが最終的に基準を決定した場合、EUがその基準を受け入れる可能性が大きい

問題点:

- 様々なステークホルダーが参加しているため利害関係が複雑
- したがってひとつの基準に収斂できるかが課題
- 自主的なイニシアチブなので、強制力がない
- 基準を遵守しているかを徹底させる術がない ⇒ 監視・監督があいまい

持続的なバイオ燃料のための制度作り

持続可能なバイオ燃料のための円卓会議 (RSB)

- 2010年4月European Biodiesel Board (欧州バイオディーゼル審議会)とeBIO (欧州バイオエタノール燃料協会)がRSB脱退。
- RSBの実効性が失われる？
- 持続可能な基準を作るという様々なステークホルダーが集まっているため、脱退は自らの利益を基準に反映できなくなるため、却ってEBBとeBIOの不利になる？
- 現在もRSBは拡大しており、活発な議論が重ねられている。



ご静聴ありがとうございました。

