



International Panel  
for Sustainable  
Resource Management

資源の持続可能な生産と利用に向けて



# バイオ燃料を 評価する



# 謝辞

本報告書の主な執筆者：  
Stefan Bringezu  
Helmut Schütz  
Meghan O'Brien  
Lea Kauppi  
Robert W. Howarth  
Jeff McNeely

UNEPのMartina Ottoは、本報告書の作成でまとめ役となり、有益な情報とコメントを提供した。

Ernest Ulrich von Weizsäcker氏、Yvan Hardy氏、Mercedes Bustamante氏、Sanit Aksornkoae氏、Anna Bella Siriban-Manalang氏、Jacqueline McGlade氏およびSangwon Suh氏からは有益なコメントをいただき、資源パネルと運営委員会のメンバーらとは有意義な議論を持てたことに感謝したい。技術的な性質に関する追加コメントは、運営委員会に参加している一部の政府から受け取ることができた。

2008年9月にドイツのグンマースバハで開催されたSCOPE バイオ燃料短期評価ワークショップ (SCOPE Biofuels Rapid Assessment Workshop) に参加し、価値の高い論文と本報告書の主要部分に関する議論で貢献した諸氏には、特に感謝申し上げる。同様に、ブッパタール研究所の仲間であるManfred Fishedick氏とJustus von Geibler氏による旧バージョンへの有益な情報提供、Sorèn Stager氏による相関分析の再検討、そしてMartin Erren氏による技術支援に対してそれぞれ謝意を表したい。また、本報告書の仕上げのレイアウト段階において、貴重な助力をいただいたUNEPのPunjanit Leagnavar氏に感謝申し上げる。

UNEP事務局とともにMarina Fischer-Kowalski氏によって効率的かつ建設的に調整されたピアレビュー・プロセスでは、4人のレビュアーから匿名で有益なコメントを頂いた。

本報告書の作成では、様々な会合における多くの研究者仲間との議論から恩恵を受けたが、誤りに関する主な責任は執筆者に帰する。

Copyright © United Nations Environment Programme, 2009

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form foreducational or nonprofit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source.

No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from the United Nations Environment Programme.

Creative concept: Martina Otto (UNEP); photos: istock (cover, p. 10, p. 12), CleanStar India (cover), Shutterstock (cover, p. 6, p. 18, p. 24, p. 29), Still Pictures (p. 1, p. 4, p. 9, p. 14, p. 20, p. 30, p. 33, p. 35), UNEP (cover)

## Disclaimer

The designations employed and the presentation of the material in this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the United Nations Environment Programme concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning delimitation of its frontiers or boundaries. Moreover, the views expressed do not necessarily represent the decision or the stated policy of the United Nations Environment Programme, nor does citing of trade names or commercial processes constitute endorsement.

ISBN number of the full report: 978-92-807-3052-4  
Job Number: DT/1213/PA

UNEPは、世界規模でまた自らの活動において、環境的に健全な慣行を推進している。本出版物は、植物性インクと環境に優しい他の慣行を利用して、100%再生紙に印刷されている。われわれの配布方針は、UNEPのカーボン・フットプリントを削減することを目的としている。

(訳注：原文和訳をそのまま記載)



抜粋版レポート

資源の持続可能な生産と利用に向けて

# バイオ燃料を 評価する



作成者：持続可能な資源管理に関する国際パネル

本文書は、上記報告書の重要な調査結果を浮き彫りにしており、報告書全文と併せて読むべきものである。

本報告書を作成するに当たり参考とした研究と論評については、参考文献として、報告書全文に記載されている。

報告書全文は、[www.unep.fr](http://www.unep.fr)からダウンロード可能である。

または、CD Romを以下より注文することも可能である。

United Nations Environment Programme  
Division of Technology Industry and Economics  
15 rue de Milan, 75441 Paris CEDEX 09, France

# 序文

バイオ燃料が、政策、産業および研究の分野で注目を集めている。バイオ燃料を題材にした科学出版数は急増しており、また評論誌の数も急速に増加している。意思決定者にとって、確固たる参考資料と信頼できる指針を見出すのが困難になってきている。バイオ燃料の考え得る便益とリスクに関する研究結果の全体的な評価に対する不確実性が高まっている。

持続可能な資源管理に関する国際パネルは、こうした問題を取り上げており、自らの最初の報告書の中で、この広く議論されている分野に関するもう1つの論評を提供している。同パネルがこれを行ったのは、実質的な進展を遂げるには、バイオ燃料の生産と利用の範囲を越えた先進的手法が必要であると確信しているからであり、食糧、繊維および燃料を含めたバイオマスの競合する全ての用途を考慮に入れている。利用するバイオ燃料のタイプと需要成長によって決まる土地利用変化の潜在的影響に特に焦点を置いて、諸システムの広範な見識を採用している。

本報告書は、最近の出版物（主に2008年末までのものであるが、2009年6月までに発表された著名な論文も考慮している）の研究に基づいた徹底的なレビュー・プロセスと世界中の多くの専門家による関与の成果である。特に、本報告書は、全ての大陸から約75人の科学者の参加を得て、International SCOPEのバイオ燃料プロジェクトが2008年9月にドイツで開催した短期評価ワークショップでの情報交換とその後の会報の出版から大きな恩恵を受けており、バイオ燃料の分析と評価に関する幅広い多様な観点を反映している。

本報告書の作成は、資源パネルのバイオ燃料作業グループによって主導された。ゼロ草稿（Zero Draft）は、2008年11月のサンタバーバラ会議での議論のため

に作成された。この会議での議論と、資源パネルと運営委員会でのその後の意見に基づいて、本文は、第一稿（First Draft）の作成に向けて執筆者チームがさらに加筆した。第一稿は、2009年3月に資源パネルに提供され、レビュー・プロセスに進むための承認が求められた。4人のレビュー担当者のコメントは、4月にピアレビュー・コーディネーターによって執筆者に提供され、第二稿（Second Draft）の作成に向けた改訂の基準となった。第二稿については、同年6月にパリで資源パネルと運営委員会によって議論され、承認された。その後、運営委員会と関与した専門家の最終コメントを考慮に入れて、出版に向け仕上げが行われた。

本報告書は、バイオ燃料の環境的・社会的な費用便益の評価に関する政策関連の情報を提供することを目的としている。本報告書では、決定的な発展に関する関心事について考察するとともに、バイオマスの持続可能な利用のための選択肢と資源生産性を高めるための選択肢について説明している。第一世代バイオ燃料に焦点が置かれているため、最新技術とデータの信頼性が反映されている。それでもなお、本報告書は、技術と政策の動向を大局的に捉え、不確実性を示すとともに、研究開発や先進的なバイオ燃料に関しても、その必要性を上げている。そのように進めつつ、本報告書は、最終決定的なものではないが、現在ある知識を集約して、持続可能な《バイオ経済》に向けた意思決定と将来の科学的作業を支援することを目的としている。

**Ernst U. von Weizsäcker教授**

持続可能な資源管理に関する国際パネル共同議長

**Stefan Bringezu博士**

バイオ燃料作業部会長

# 序文

バイオ燃料は、政策立案者と一般の人々の間で、はっきりと見方が分かれるテーマである。

バイオ燃料は、一部では、気候変動への対処で中心的な技術となる万能薬とみなされている。

一方で、バイオ燃料は、必要とされる厳格な気候変動緩和措置からの転換、あるいは食糧安全保障にとっての脅威、つまり貧困問題におけるミレニアム開発目標の達成にとっての重大な問題となると批判する者もいる。

持続可能な資源管理に関する国際パネルによるこの最初の報告書は、利用可能な最善の科学に基づき、この問題に対するライフサイクルアプローチを提示している。本報告書では、次々とバイオ燃料を追い求めることのメリットを判断する際に、広範で相互作用的な要素を考慮する必要があることを明確にしている。

様々な作物が気候変動にもたらす貢献とは何か、そして、利用可能な多様な選択肢による淡水や生物多様性まで考慮した農業や耕作地に及ぼす影響はどのようなものなのか。

本報告書はまた、バイオ燃料以外の手段による輸送部門の温室効果ガス排出量を削減するための選択肢を含めて、広範な気候変動問題におけるバイオ燃料の役割を明確に示している。自動車の燃費基準およびハイブリッド車と電気自動車の開発はその好例である。

一方、評価においては、作物または作物廃棄物を液体燃料に転換することに対する代替手法として、専用発電所および熱電併給施設でバイオマスからエネルギーを生成するための選択肢を概説している。

特に、本報告書は、このテーマの複雑性に注目しており、単純化した手法が、持続可能なバイオ燃料産業

を実現することも、気候変動の課題と農家の生活向上に寄与することも、ないかもしれないことを示している。

この評価は規範的なものではないが、様々なバイオ燃料の選択肢の実験的かつ科学的な分析は、バイオ燃料部門の将来の発展に向けて明確な基準点をいくつか提示している。

バイオディーゼルの生産のために熱帯雨林を伐採することは、特に泥炭地において、自動車で利用される化石燃料をバイオ燃料で代用することで削減される量をはるかに上回る炭素排出量をもたらすことになる。

Ernst von Weizsäcker教授が議長を務めるこのパネルは、現行世代のバイオ燃料に焦点を置いており、次世代技術については部分的に目を向けているにすぎない。研究者らは既に、藻類や木材を糖類に分解するためにシロアリが利用する天然酵素といった資源から得られる先進的なバイオ燃料を研究している。これら第二、第三世代の技術には、独自のライフサイクルアセスメントが必要となる。

私は、最新のバイオ燃料に関するこの評価と、これによって説明される選択肢は、各国政府が追求している政策議論と政策措置に大きく寄与するはずと信じている。

本報告書は、直ちに取り組む必要がある追加評価と優先研究課題を示す一方で、バイオ燃料に関するいくつかの重要な課題への答えを探求している。

**Achim Steiner**

国連事務次長・国連環境計画（UNEP）事務局長



## 目的と範囲



# に関して

## 持続可能な資源管理に関する国際パネルおよび 本報告書の目的と範囲

経済成長と環境悪化を切り離す方法（decoupling）についてより深く理解できるようにする。

エネルギー目的のバイオマスの持続可能な生産と利用に向けた主要な問題と見通しの概要を示す。

### 持続可能な資源管理に関する国際パネル

資源パネルは、自然資源の持続可能な利用と、特にライフサイクル全体にわたるその環境影響に関して、独立した政策的観点及び一貫した権威ある科学的評価を提供するために設立された。同パネルは、経済成長を環境悪化から切り離す方法（decoupling）についてより深く理解できるようにすることを目的としている。

本報告書「持続可能な生産と資源の利用に向けて：バイオ燃料を評価する」は、様々なテーマに関する一連の報告書の一部である。

### 本報告書の目的と範囲

本報告書は、最新の主要な論評と世界中の著名な専門家による幅広い様々な見解を考慮しつつ、広範な文献調査に基づいている。

本報告書は、エネルギー目的のバイオマスの持続可能な生産と利用に関する主要な問題と展望に関する概観を提示している。特に、本報告書では、バイオマスのより効率的で持続可能な生産と利用に関する選択肢を検討している。資源生産性を向上するという全体的な背景において、本報告書は、熱電併給や輸送用液体バイオ燃料に利用されるバイオマスなど、エネルギー目的の《近代的なバイオマス利用》を取り上げており、それを食糧および原料目的のバイオマス利用に関連付けている。バイオマスの生産効率の向上は、持続可能性を強化する上で一定の役割を果たすが、最終的には生物（および非生物）資源の効率的な利用（自動車の燃費向上などを含む）によって進展状況が決ま

る。ただし、この目的に向けた全ての関連戦略（例えば動物性食品の多い食事を変えることや、食糧損失を減らすこと）を完全に考慮することは、本報告書の範囲外である。

本報告書では主に、「いわゆる第一世代の」バイオ燃料を対象としているが、今後の開発分野についても検討している。これは、2008年末までの最新データが入手可能であるためである。第二・第三世代バイオ燃料（「先進的バイオ燃料」と称する方が好ましい）の潜在的便益と影響は、部分的に記述されており、後に個別報告書の対象となる可能性がある。

本報告書は、地域的な差異を認識しながら、世界的な状況に焦点を置いている。

最後に、本報告書では、不確実性に留意し、研究開発の必要性を強調している。

バイオ燃料生産の大幅な拡大は「過ぎたるは及ばざるが如し」となるのではないかという重大な疑問を提起している。

エネルギー構成の一部を



バイオ燃料の動向



# 占めるバイオエネルギー

これまでのところ大部分が従来型バイオマスの利用という形をとるバイオエネルギーは、エネルギー構成の一部を占めている。

従来型バイオマスの利用は現在、世界の最終エネルギー需要の13%を占めている。

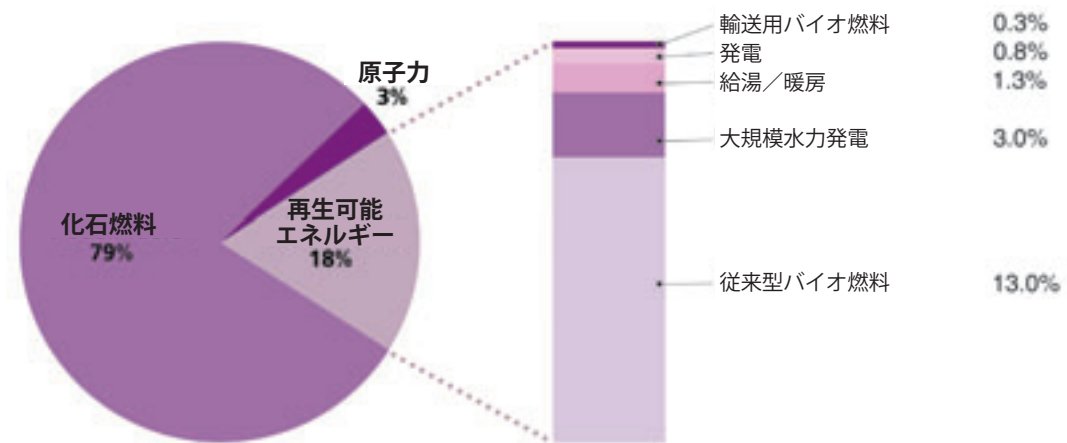
従来型バイオマスの利用は現在、世界の最終エネルギー需要の13%を占めている。途上国では、現在も5億世帯以上が調理や暖房に従来型バイオマスを利用している。しかし、こうした傾向は変化しており、既に2,500万世帯は、バイオガスで調理し、屋内照明を行っている。また、小規模なバイオガス・ダイジェスターからプロセス熱と原動力を得る小規模産業（農産物加工を含む）が増えてきている。

バイオマスは2006年に、世界の合計発電容量（4,300 GW）の約1%に寄与した。欧州諸国およびブラジルなどの途上国での最近の増加によって、熱電併

給（CHP）施設向けの採用が増えている。

多くの国は、再生可能エネルギーに関する政策目標を設定しているが、バイオマスの役割を明確にしていない国はわずかである。

図1:2006年の世界の最終エネルギー消費量(GFEC)に占める再生可能エネルギーの割合



出所:REN21(2008)

バイオ燃料の動向

## エネルギー構成の一部を占めるバイオエネルギー

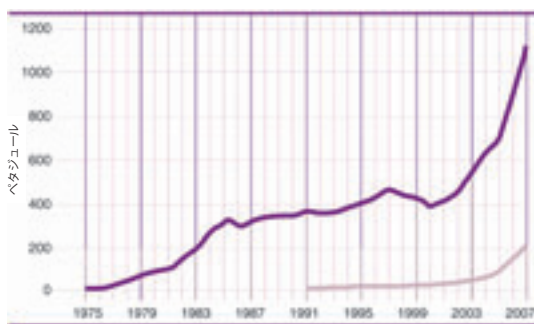
液体バイオ燃料は2007年に、エネルギー価で見ると世界の輸送燃料の1.8%を占めた。

輸送燃料向けの世界のエタノール生産量は、2000～2007年に170億リットルから520億リットル以上と3倍増を記録し、バイオディーゼルは、10億リットル弱から約110億リットルと11倍も拡大した。これにより、液体バイオ燃料は2007年に、エネルギー価で見ると世界の輸送燃料の1.8%を占めることになった。2008年の最新の推定値は、エタノールが645億リットル、バイオディーゼルが118億リットルに達しており、2007年から（エネルギー含量で）22%増加している。2005～2007年（の平均値）から2008年まで、世界のガソリン・タイプの燃料に占めるエタノールの割合は、3.78%から5.46%まで上昇し、世界のディーゼル・タイプの燃料利用に占める割合は、0.93%から1.5%に上昇すると推定された。

輸送用バイオ燃料の主な生産国は、米国、ブラジルおよびEUである。

各国の主な生産品は、米国がトモロコシ由来エタノール、ブラジルがサトウキビ由来エタノール、そして

図2: バイオエタノールとバイオディーゼルの世界の生産量 (1975～2007年)



出所: REN21 (2008)

て欧州連合が菜種由来バイオディーゼルである。燃料エタノールを生産している他の国は、オーストラリア、カナダ、中国、コロンビア、ドミニカ共和国、フランス、ドイツ、インド、ジャマイカ、マラウイ、ポーランド、南アフリカ、スペイン、スウェーデン、タイおよびザンビアなどがある。バイオディーゼル生産は、東南アジア（マレーシア、インドネシア、シンガポールおよび中国）、中南米（アルゼンチンとブラジル）および南東欧（ルーマニアとセルビア）で急速に拡大した。

主に目標と混合割合 (blending quotas) の設定による政策は、バイオ燃料需要の拡大を誘発した。自動車の燃料にバイオ燃料を混合する義務は、2006年までに行政レベルで少なくとも36の行政区、国家レベルで17の国において、制定された。大半の義務は、ガソリンに10～15%のエタノールを混合するか、またはディーゼル燃料に2～5%のバイオディーゼルを混合することを義務付けている。さらに、様々な国における最近の目標は、より高い水準でのバイオ燃料利用を定めている。

バイオ燃料生産設備への投資は、2007年には世界で総額40億ドルを上回り、急速に成長しているものと思われる。政府の支援を受けて、産業は、先進的なバイオ燃料の開発にも多額の投資を行っている。

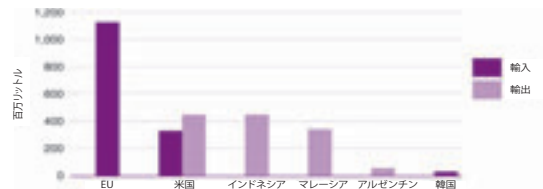
エタノールとバイオディーゼルの国際取引は、これまでのところ小規模であるが、成長すると予想されている。

図3: エタノールの国際取引 (2006年)



出所: F. O. Licht's (2008) に従ってOECDからまとめたデータ (2008)

図4: バイオディーゼルの国際取引 (2007年)



出所: LMC (2007) に従ってOECDからまとめたデータ (2008)

エタノールとバイオディーゼルの国際取引は、これまでのところ小規模であるが (2006年と2007年でそれぞれ年間約30億リットル)、2008年に燃料としてのエタノールの輸出量が過去最高の約50億リットルを記録したブラジルなどの国では急成長すると予想されている。

短中期の予測では、バイオマスと廃棄物は、2015年に56 EJ/年そして2030年に68 EJ/年を提供するとされている。バイオエタノールとバイオディーゼルの世界全体の利用量は、2005~2007年から2017年までの期間でほぼ倍増すると予測される。この増加の大半は、米国、EU、ブラジルおよび中国でのバイオ燃料利用によるところが大きい。一方、インドネシア、オーストラリア、カナダ、タイおよびフィリピンなどの他の国もバイオ燃料の消費量を大幅に増やす可能性がある。

世界の長期的なバイオエネルギー・ポテンシャルに



関する推定値は、特に非食糧生産のための農地の利用可能性などの想定次第で大きく変動する。最も楽観的な想定は、200~400 EJ/年またはそれ以上の理論的なポテンシャルに達するとしているのに対して、最も悲観的なシナリオは、有機性廃棄物と残渣の利用のみに依存しており、最低40 EJ/年を提供するとしている。環境的制約を考慮したより現実的な評価では、2050年までに40~80 EJ/年の持続可能なポテンシャルを推定している。また、比較のために、現在の化石エネルギー利用量は合計388 EJである。

# バイオ燃料を



## 世界的な課題

# 大局的に捉える

バイオエネルギー部門の長期的な持続可能性は、**人口増加、収量の向上、栄養摂取パターンの変化および気候変動**を含めた広範な世界的動向を考慮に入れた健全な政策と計画によってはじめて達成することができる。

## 増加する人口

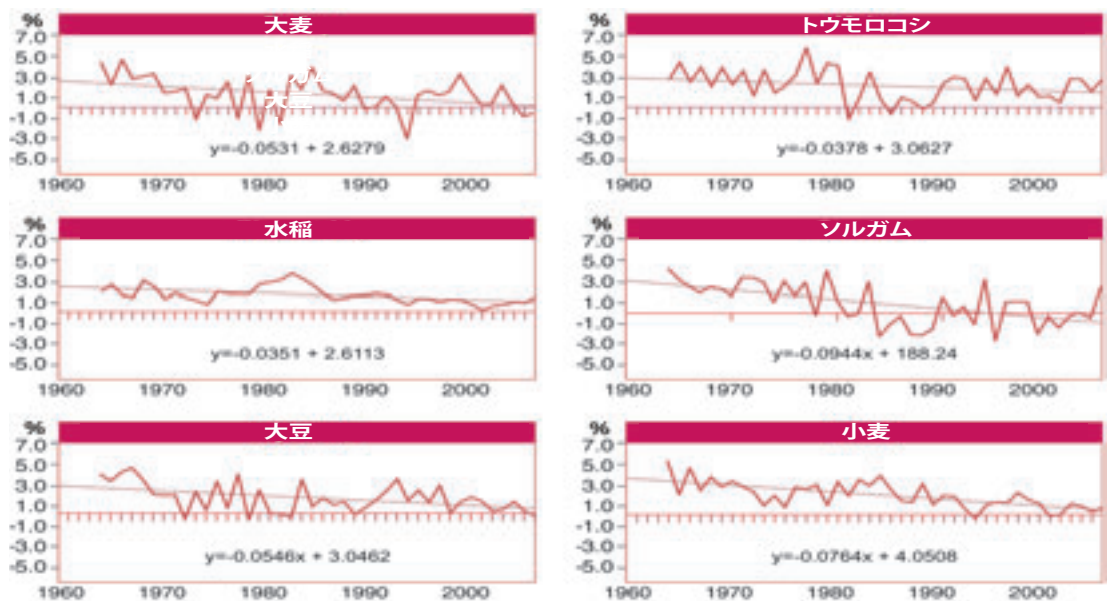
世界人口は、2000から2030年の間に36%増加して、61億人から83億人になると予想されている（UN/FAOの中間予測）。途上国は、この増加の最大の要因となり、途上国の総人口は、同じ期間に47億人から69億人に増加する（45%のプラス）。

## 農業収量の推移

FAOのデータによると、過去10年間の相対的な収量増加は全般的に小規模であった。1961～2005年のデータは、6種類の農作物の年間平均収量の増加率が小さかったことを示している。

世界平均の穀物収穫量は、総人口とほぼ同じペースで増加すると予想されている。

図5:世界の作物収量の成長率推移(%、5年移動平均)



注: 回帰用のt統計値: 大麦:-2.61\*\*; 水稻:-3.70\*\*\*; ソルガム:-4.32\*\*\*; 大豆:-3.06\*\*\*; 小麦:-5.82\*\*\*. \*\*\*と\*\*はそれぞれ、両側1%および5%の信頼区間の有意性を示している。  
出所: FAOSTAT online data (2008) に基づく

世界的な課題

## バイオ燃料を大局的に捉える

最新の調査結果は、気候変動により、既に平均作物収量が減少していることを示している。

世界の農業収量の将来的な推移によって、既存の耕作地から供給できる食糧と非食糧用バイオマスの需要規模が決まる。商品価格は、将来の収量の推移によって多大な影響を受ける可能性が極めて高い。全体的な推移はかなり不明確であると思われるが、様々な影響（水の供給、気候変動、環境的制約、農業市場の進展など）により、ここ数十年間の成長率が世界規模で維持される可能性はむしろ低いと推測される。主要作物の年間収量増加率が減少する傾向は、ここ数十年間にわたり観測されている。

収量が向上する大きな可能性は、途上国、特にアフリカで共通して見られる。しかし、途上国における将来的な穀物の収量の増加は、近年の世界平均率の低迷つまり、年間約1%に近くなると、FAOは想定している。今後10年間の世界の収量に関する国際機関のもつ

ともらしい推定値では、穀物が年間1~1.1%、小麦および粗粒穀物が年間1.3%、根／塊茎が年間1.3%、そして油料種子および植物油が年間1.7%となっている。これらの増加率は、過去40年間の平均をはるかに下回っている。

最新の調査結果では、気候変動により、既に平均作物収量が減少している。今後の動向によっては、特に半乾燥地域の生産能力の低下と温帯地域の生産能力の上昇により、先進国と途上国の格差を広げてしまう可能性がある。異常気象の頻度が高まれば、さらに不確実性が増すと予測される。



燃料用作物の土地需要は、食糧需要に伴う土地需要にさらに追加される。

## 食糧需要の推移

これまで、農業収量は、世界人口を上回るペースで増加し、既存の耕作地でより多くの食糧を生産することができた。将来的な動向では、平均的な作物収量によって人口増加を補うことはできるが、増加する動物性食品の需要を補うことができないため、それほど希望的なものにならない恐れがある。2000～2030年に、平均作物収量は、人口増加と同じペースで増えると予想されている。

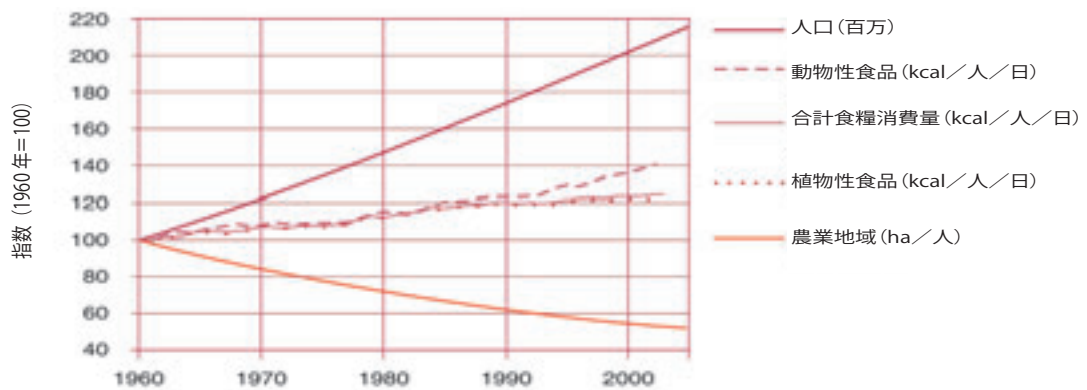
しかしながら、同時に、特に食肉消費量が低かった途上国の食糧需要は、動物性食品の割合が上昇するという形で変化している。FAOの予想では、2000～2030年の世界人口の1人当たり消費量は、食肉が22%、牛乳／乳製品が11%、および植物油が45%で、それぞれ増加する。穀物、根／塊茎および豆類など必

要な土地面積が小さい商品は、1人当たりの量が低い割合で増加するだろう。

収量が増加しても、食糧需要の増加と変化に追いつかず、耕作地は、世界人口を養うためだけに拡大する必要がある。これまでのところ、変化する食糧需要により引き起こされる世界的な土地利用変化に関する明白な予測は入手困難である。Gallagher reportによると、2020年には、144～334 Mhaの食糧用耕作地が世界で新たに必要になると推定している。

例えば、燃料用作物の追加的な土地需要は、この食糧需要に伴う土地需要にさらに追加されることになる。

図6:世界人口と1人当たりの農地および消費量の推移(1960～2005年)



出所: UN population statistics online; FAOSTAT online

# 全てのバイオ燃料が

## ライフサイクル





# 同等とは限らない

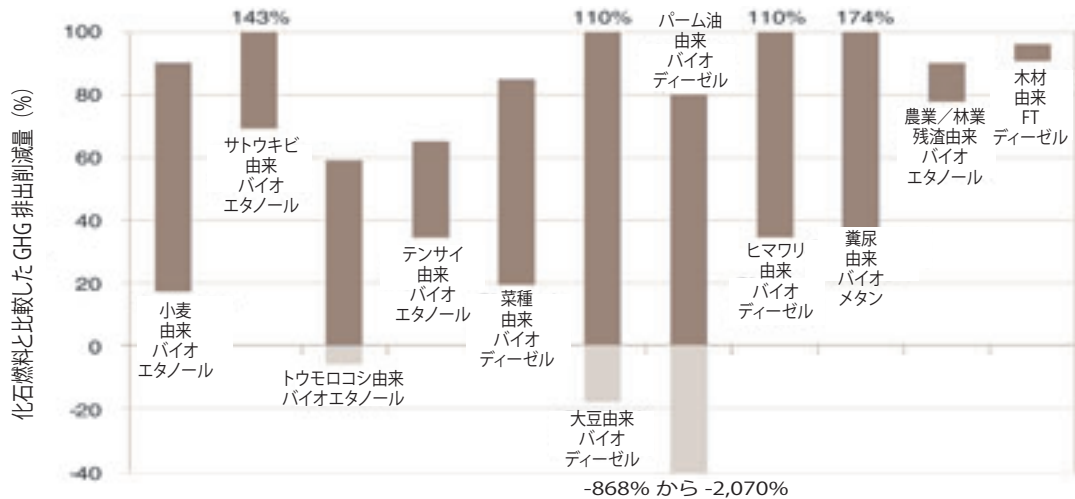
バイオ燃料は、追求されている様々な政策目標の達成という点で影響を及ぼすかもしれない。しかし、気候、エネルギー安全保障そして生態系への影響の観点から、全てのバイオ燃料が同じように十分な機能を果たすわけではない。**ライフサイクル全体を通じて、環境的・社会的影響を評価する必要がある。**

## バイオ燃料の温室効果ガス収支

バイオ燃料のライフサイクルアセスメント（LCA）によれば、化石燃料と比較した正味の温室効果ガス収支は、広い範囲にまたがっている。これは、原料と精製技術だけでなく、方法論上の想定を含めた他の要素によって決まる。エタノールに関して、最も高いGHG削減を記録したのはサトウキビである（70～100%超）、一方、トウモロコシは最大60%削減することができるが、GHG排出量が5%増える可能性もある。最

も大きな差異は、パーム油由来と大豆由来のバイオディーゼルで観測された。削減量の増加は、前者の場合は収量の大きさ、後者の場合は副産物のクレジットによる。自然地在が転換され、それに伴い炭素ストックの移動が生じる場合に、特に、マイナスのGHG削減量（つまり排出量の増加）が発生する可能性がある。GHG削減量が多いのは、糞尿由来バイオガス、農業・林業残渣由来エタノールおよび木材由来バイオディーゼル（BtL、実験プラントに基づく）と記録されている。

図7: 化石燃料とバイオ燃料の温室効果ガス削減量の比較



出所: バイオエタノールとバイオディーゼルについてはMenichetti/Otto 2008、サトウキビ由来エタノールについてはIFEU (2007)、トウモロコシ由来エタノールについてはLiska et al. (2009)、そしてバイオメタン、残渣由来バイオエタノールおよびFTディーゼルについてはRFA 2008からのデータに基づいて独自に編集された。

## 全てのバイオ燃料が同等とは限らない

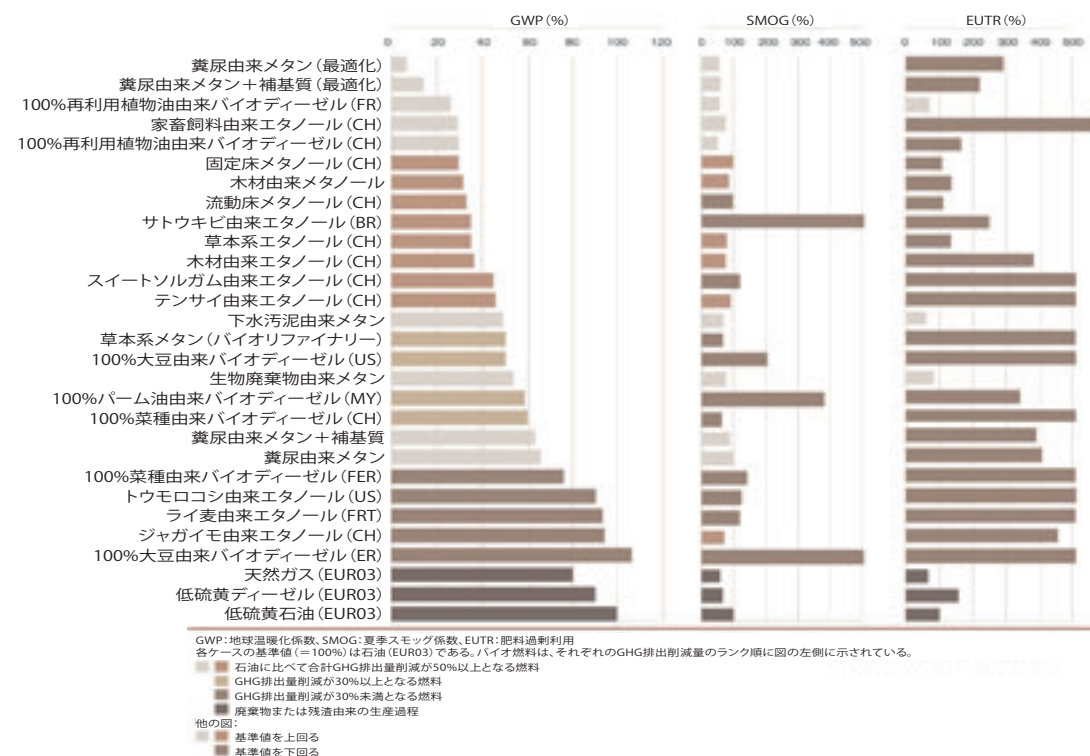
LCAは、土地利用変化によるGHG排出量、水および生物多様性について説明しなければならない。

### 利用可能な LCA では十分に把握できない影響

GHG排出量以外に、バイオ燃料が水や生物多様性などに及ぼす他の影響は、既存のLCAではほとんど考慮されていない。また、実際に関連性があり、かつ既に一部地域の環境の質の著しい悪化の一因となっている富栄養化や酸性化などの影響を考慮する必要がある。しかし、ライフサイクルアセスメントから得られ

る結果は、これらの問題に関して大半のバイオ燃料が化石燃料よりも環境負荷が高いという事実にもかかわらず、限定的であるように見受けられる。バイオ燃料に関するLCA調査の代表的なサンプルのうち、酸性化と富栄養化の結果を示すのは3分の1以下、潜在的毒性（人的毒性または生態毒性のいずれか、あるいは双方）、夏季のスモッグ、オゾン層破壊または非生物資源破壊係数の結果を示しているのは少数、そして生物

図8:異なる環境圧力ごとの化石燃料とバイオ燃料のライフサイクル影響評価の比較



LCAでは、富栄養化や酸性化を説明する必要がある。

N<sub>2</sub>O排出量に関しては不確実性が存在する。

減価償却期間は結果に影響を及ぼす。

多様性についてはゼロであった。富栄養化が進むのは、化石燃料と比較した場合、エネルギー作物由来のバイオ燃料の重要な特徴である。ライフサイクル全体に及ぶ養分の排出量は、バイオ燃料の原料生産時の肥料の施用量と損失量に大きく左右される。

### 結果に影響を及ぼす方法論上の制約

LCAは、異なる技術と生産方法を比較する上で有益な指針を提供する。しかし、結果を解釈する際には、LCAの結果に広範なばらつきを生じさせる様々な前提と方法論上の制約に注意しなければならない。

さらに、特に強力なGHGである亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）排出量に関する不確実性によって、大きなばらつきが生じる。多くのライフサイクル分析は、N<sub>2</sub>Oフラックスを推定するためにIPCCの評価方法論を用いてきた。この方法論は、肥料に適用される窒素に関して、1%をやや上回るにすぎない推定値を提示する傾向がある。

しかし、Crutzen氏らによる大気バランス計算では、合計排出量の範囲が3~5%になる可能性があることが分かった。これらの値が裏づけされた場合、大半のLCA調査の結果を再考する必要が生じる。

LCAの結果を比較する上で考慮すべきもう1つの要素は、土地転換に関連する影響が起因する方法である。例えば、転換された自然林にパーム農園が設立され、それに付随する排出量を100年にわたって減価償却した場合、GHG削減量は、1ヘクタール単位で毎年生じる可能性がある。減価償却期間として30年を適用すると、排出量が増えてしまう。プランテーションが熱帯の休閑地（放棄地）で展開された場合、一般的には有益な価値が生じる。

プロダクトチェーンに基づくライフサイクル手法の

改善は必要であると思われ、現に改善が行われている。しかし、基本的な欠陥は、空間的・社会経済的な背景の中でバイオ燃料の全体的な影響を把握するために補完的な分析手法の利用によってはじめて克服することができる。このことは、特に需要増によって引き起こされる土地利用変化の間接的影響を説明するために必要である。

水：



水

# 制限要因の一つ

- 水質
- 水の消費

プロジェクトおよび地域規模での影響評価が必要である。

作物の種類、生産方法および転換技術は、現地の条件に合わせる必要がある。

## 水質

プロジェクトレベルでのライフサイクル影響評価によって推定される環境影響と地域規模の水質問題には関連性がある。例えば、ミシシッピ川流域では、バイオ燃料生産の成長に伴う作付面積と肥料施用量の増大によって、小川、河川、湖沼および沿岸地域（特にメキシコ湾北部と拡大している生産地域の下流域の大西洋沿岸地域）において窒素の増加とリンの減少が生じることが明らかになっており、深刻な低酸素問題（酸素不足）をもたらしている。関連する原料作物の農業手法を変えることによって、圧力のある程度軽減することができるかもしれないが、水質などの地域的な環境条件を改善するにはやはり十分ではないだろう。

## 水の消費

現在、農業は世界の淡水のおよそ70%を使用しており、バイオ燃料が拡大すれば、その使用量はさらに増えるだろう。水の消費量は、原料として利用される作物の種類、生産方法および転換技術で増減する。水が乏しい地域でのバイオ燃料用の原料生産には灌漑が必要であり、これは、食糧生産との競合と水資源にその回復能力以上の圧力をもたらす可能性がある。

気候変動による異常気象（浸水、干ばつ）は、利用可能な水資源の不確実性を増やす可能性がある。

# 土地利用変化が



## 土地利用

# 及ぼす影響

世界のバイオ燃料需要は将来増加すると予想されるため、**土地需要**も増加するだろう。

## 作物生産のための実際の土地利用と土地利用計画

主に食用作物の土地でのバイオ燃料作物の生産が世界的に増加している。バイオ燃料作物の生産は、世界の耕作地のうち、2004年が約0.9%（13.8 Mha）、2007年が約1.7%（26.6 Mha）を占めていたが、2008年には約2.3%（約36 Mha）を占めた。バイオ燃料需要が高まるにつれて、特に高い収量を得る上で自然条件が有利である熱帯諸国で、バイオ燃料生産のための耕作地拡大が進行している。こうした動きは、土地利用計画よりも出来高目標を理由に生じている。ブラジルでは、サトウキビの作付面積は、2008年には900万haを占めた（2007年から27%の増加）。現在、ブラジルの総耕作地面積は、約60 Mhaに及んでいる。バイオディーゼルへの利用が増えている大豆の総作付面積は、2005年の23 Mhaから約100 Mhaに拡大する可能性がある。面積拡大の大半は、牧草地とサバンナ（セラード）で生じると予想されている。東南アジアでは、食用および非食用のパーム油生産の拡大は、熱帯雨林破壊の大きな原因の1つであるとみなされている。インドネシアでは、アブラヤシを植えるために、少なくとも6 Mhaの既存ストックと比べて、さらに20 Mha拡大することが計画されている。インドネシアにおけるパーム油生産のための現在の耕作地拡大の3分の2は熱帯雨林の転換、3分の1は旧耕作地またはこれまでの休耕地の転換である。転換した熱帯雨林地域の内、4分の1には炭素含有量の高い泥炭土が含まれており、アブラヤシを植えるために干拓した場合はGHG排出量が特に多くなる。2030年には、GHG排出量は、泥炭土からの割合が50%になると予想されている。現在の傾向が続いた場合、インドネシアの熱帯雨林の総面積は、2030年には2005年比で29%減少し、

こうした動きは、土地利用計画よりも出来高目標を理由に生じている。

1990年の原面積のわずか49%程度になってしまうだろう。

## 予想されるバイオ燃料利用に対する土地需要

将来のバイオ燃料に関する土地需要の推定値には大きなばらつきがあり、これは主に原料の種類、地理的な位置、および投入量水準と収量増加に関する基本的な想定によって決まる。需要を一層刺激するための追加的な政策は導入されないだろうという想定に基づいて基準ケースとして作成された、バイオ燃料の生産と利用の緩やかな増加を予測する控えめな曲線がいくつかある。これらの曲線は、2020年には35~166 Mhaの範囲に及ぶ。バイオ燃料生産の可能性に関して様々な推定があり、耕作地需要が2030年の53 Mhaから2050年には1,668 Mhaに達すると計算している。2030年には世界の輸送燃料需要の10%を第一世代バイオ燃料で賄うには、およそ118~508 Mhaが必要になるだろう。これは、永久耕作を含めて現在の耕作地の8~36%に相当することになる。

## 土地利用変化が及ぼす影響

バイオ燃料用作物のための土地転換は、**生物多様性の低下や GHG 排出量の増加**などの帰結を含めたマイナスの環境影響をもたらす可能性がある。

自然植生の一掃は、貯蔵炭素を放出し、炭素債務を生じさせる可能性がある。

自然植生の一掃は、貯蔵炭素を放出し、炭素債務を生じさせる可能性がある。このことは、向こう数十年間にわたって、バイオ燃料のGHG緩和効果全体を疑わしいものにしかねない。世界のディーゼルとガソリンの消費量の10%がもたらす合計CO<sub>2</sub>排出量は、2030年には0.84 Gt CO<sub>2</sub>になると推定された。このうち、0.17～0.76 Gt CO<sub>2</sub>をバイオ燃料で代用することができる一方で、直接的な土地転換だけによる年間CO<sub>2</sub>排出量は、0.75～1.83 Gt CO<sub>2</sub>になると推定されている。干拓した泥炭地に設立されたパーム油プランテーションでバイオ燃料が生産された場合、排出量はさらに増加する可能性がある。

現行のバイオ燃料政策の目的は、最小限のGHG削減量を義務付ける生産基準を実施し、最近になって転換した自然林、または炭素貯蔵もしくは生物多様性を理由に高い価値のある他の土地が生産地に含まれないようにすることである。しかし、EUやドイツなどの純消費地域／国に関しては、バイオ燃料の利用が増加すると、世界の絶対的な耕作地需要が全体として増加することがモデルによって示された。このことは、バイオ燃料が既存の耕作地で生産される場合、特に収量を増やす能力を上回る食糧需要を満たすための、他の生産は別の地域に移動することを示唆する（《間接的な土地利用変化》）。

農業ベースの消費量を満たすために必要となる世界の耕作地が拡大し続ける限り、移動による影響、土地転換、およびそれに関連する直接的／間接的影響は、バイオ燃料の特定の生産基準では回避することはできないだろう。

バイオ燃料生産の増加は、今後数十年間において生物学的多様性に大きな影響を及ぼすと予想され、その多くは、生息地の消失、侵入生物種の増加および養分汚染によって引き起こされる。生息地の消失は主に、耕作地の拡大によって生じる。将来のバイオ燃料の原料として提案されている植物種と遺伝子型は、侵略種として危険をもたらすおそれがある。燃料目的の過剰な作付けによりもたらされる水と大気への養分の排出は、水生系と地球系の種組成に影響を及ぼすだろう。

バイオ燃料生産の増大は、生物多様性に大きな影響を及ぼすと予想されている。

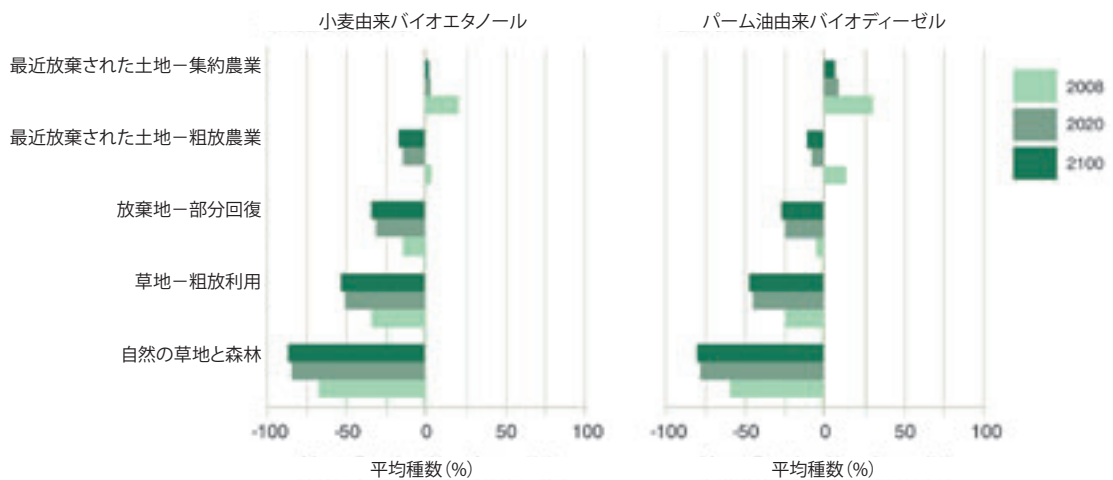


放棄地または劣化地を利用すれば、土地への圧力を減らす一助となる。

様々な土地における多様な作物の将来的な生物多様性のバランスのモデル化によって、バイオ燃料生産によるGHG削減量は、数十年間という時間枠でも、土地転換の増加による生物多様性の低下を補完するには十分ではないことがよくあることが分かった。

生物多様性に対する有益な影響は、放棄地、過去に集約的に利用された農地、またはやや劣化した土地が利用された場合という一定の条件下でのみ認められた。こうした土地では、利用する生産システム次第でバイオ燃料生産によって生物多様性を増大させることもできる。

図9: 土地利用変化の生物多様性のバランス: 小麦生産とパーム油生産に関する土地利用変化と気候変動対策の対比



出所: Eickhout et al. (2008)

土地利用

圧力の



**資源効率を高めるための  
選択肢**

# 軽減

バイオマスの効率的かつ持続可能な生産をもたらし、それによって環境圧力を軽減するために利用できる手法が存在する。

収量の増加、農業生産の最適化および旧劣化地の回復などバイオマス生産の効率を改善するための措置から、廃棄物／生産物残渣の利用を含めたバイオマスの有効利用、バイオマスのカスケード利用、バイオエネルギーの定置型利用、さらには例えば鉱物ベースのソーラー・エネルギー・システムの検討など異なる方法の検討まで、選択肢は多岐にわたる。

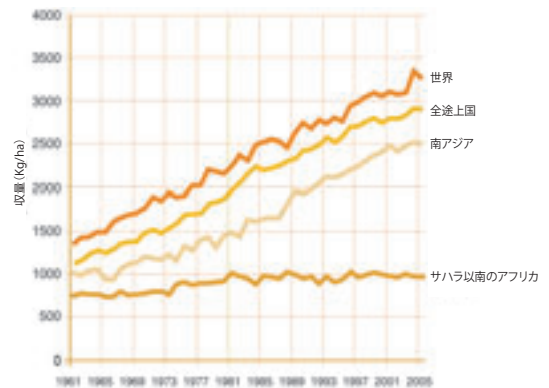
## バイオマス生産の向上

### 収量の増加と農業生産の最適化

収量増加の可能性は地域によって異なる。途上国では、作物と土地の生産性は、既存の耕作地の生産量を増やすことで改善できる。収量増加の可能性が大きいのは、サハラ以南のアフリカであると思われる。ここでは、農業技術の利用と制度の双方が改善された場合に進展が見られた現地の事例があった。しかし、バイオ燃料への投資を増やすことは、農業生産性を高め、それが食糧生産にまで波及する可能性があるが、これは現在も証明されておらず、食糧対燃料の議論を悪化させるという懸念が残る。作物収量水準が高い国では、重要性の高まりの制約要因となっているのは、養分汚染の水準の上昇である。作物と耕作方法を現地条件に合わせることは、効率を高め、環境負荷を減らすことにつながる。遺伝子操作によって、第二世代バイオ燃料向けのリグノセルロースの収量を増やすことができるが、生態系に及ぼすリスクは依然として不確実であり、予防原則を検討すべきである。要するに、世界レベルでの全体的な動きは、農業収量が緩やかに増加する程度にとどまる可能性がある。

作物の選択と耕作方法は、現地条件に合わせる必要がある。

図10: 穀物収量の世界的傾向 (地域別、1961~2005年)



出所: Hazel & Wood (2008) (FAOSTAT 2006から改作)

資源効率を高めるための選択肢

## 圧力の軽減

実際の生産ポテンシャルを明確にするために、研究が必要である。

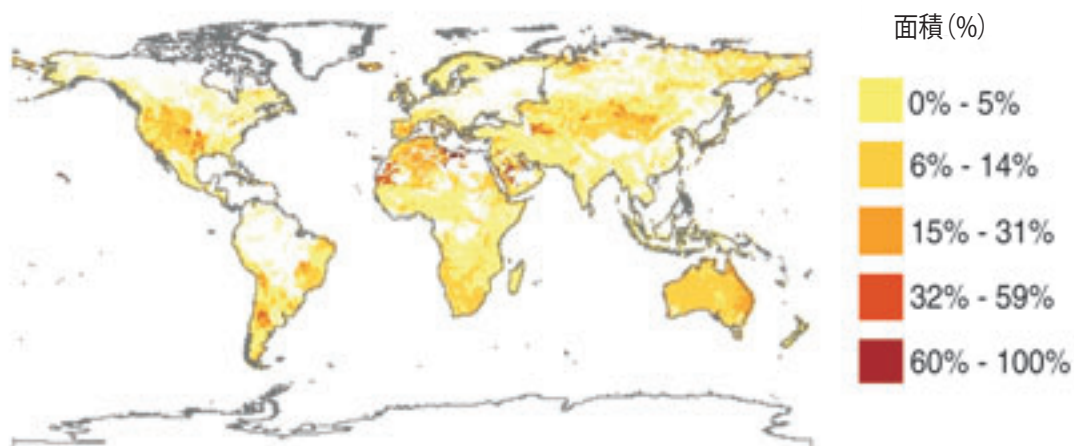
### 旧劣化地の適正回復

土地利用をめぐる紛争を回避するために、劣化地、「限界」地および放棄地をバイオ燃料生産に利用することができる。スイッチグラスなどの特定の作物は、劣化地の生産性を回復させる可能性さえある。生産で得られる利益は少なくなるかもしれない一方で、ヤトロファを使用するような小規模なバイオ燃料プロジェクトでは、現地のエネルギー供給の可能性が実証されている。それでもなお、特に収量の見込み量、必要投入量および水と生物多様性への副次的作用に関して、作物と立地に特有の課題と懸念が存在する。劣化地と放棄地の双方に関して、大きな可能性を有する地域が提案されたが、実際の生産ポテンシャルを明確にし、特に土地転換と自然再生に関する環境費用・便益を比

較する上で、土地管理に関する指針を提供するには、さらなる研究が必要であると思われる。例えば、現在「限界」地に分類されている一部の地域は、実際には高い水準の生物多様性を有している可能性もある。

また、一部の放棄地域では、バイオ燃料用の作物を定着させるよりも自然環境を再生するほうが環境的な観点からすれば有益である場合がある。

図11: 世界における放棄地のポテンシャル



出所: Campbell et al. (2008)

草原または森林に残すべき残渣とエネルギー需要を賄うために採取する量との適切なバランスを見極める必要がある。

バイオマスの利用と資源需要に関して、カスケード利用の可能性を見極める必要がある。

## バイオマスを効率的に利用する

### 廃棄物／生産物残渣の利用

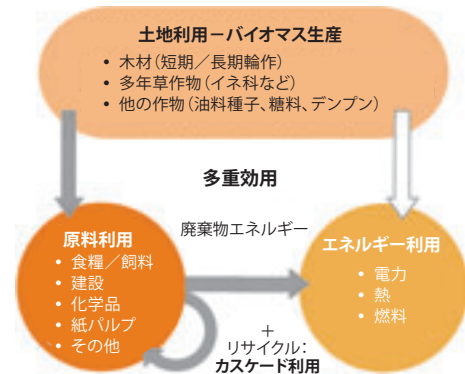
廃棄物と残渣からエネルギーを回収することは、新たに土地を必要とせず、GHG排出量を大幅に削減することができる。具体的には、都市の有機性廃棄物、農業（作物生産と畜産の双方）および林業から出る残渣は、大きな潜在的エネルギーを持ち、その大部分は現在も未利用のままである。環境的な観点からすると、有機性廃棄物と残渣は、直接的な土地利用は必要としないが、廃棄物の焼却により発生する排出物と森林や草原から持続的に採取しうる残渣の量は、考慮すべき問題点である。土壌肥沃度と土壌の炭素含有量を維持するために草原や森林に残すべき残渣と、エネルギー目的で採取することができる量との適切なバランスを見極めるために、またエネルギー回収後の資源のリサイクルについて、さらなる研究が必要である。

### バイオマスのカスケード利用

原料を生産するためにまずバイオマスを利用し、次いでそれによって生じる廃棄物のエネルギー含量を回収すれば、バイオマスのCO<sub>2</sub>削減の可能性を最大限高めることができる。再利用を通じて、より多くの化石燃料原料を少量のバイオマスで代用することができ、それにより、土地需要を減らすと同時にGHG緩和ポテンシャルを最大限にすることができる。このことは、バイオマテリアルの生産量が伸びると予想されているため、特に関連性があり、生産量が野放しで増加すれば、バイオ燃料と同様の土地利用変化に対する懸念と制約をもたらす可能性がある。カスケード利用

は、エネルギー用と原料用のバイオマスの間での競争を減らすかもしれないが、用途間の競争は、カスケード・チェーンの延長を阻止してしまう可能性もある。これは既に、特定の林業製品と木材エネルギーで見られる。バイオマスの利用（食糧、繊維、燃料およびプラスチック）と資源要件（土地、原材料およびエネルギー）に関して、カスケード利用の可能性を見極めるために、さらなる研究が必要である。

図12: バイオマスのカスケード利用



出所: Dornburgより加工して掲載(2004)

資源効率を高めるための選択肢

## 圧力の軽減

暖房／調理のために従来型バイオマス利用へ代替することで、エネルギー不足を克服し、衛生状態を改善する可能性がある。

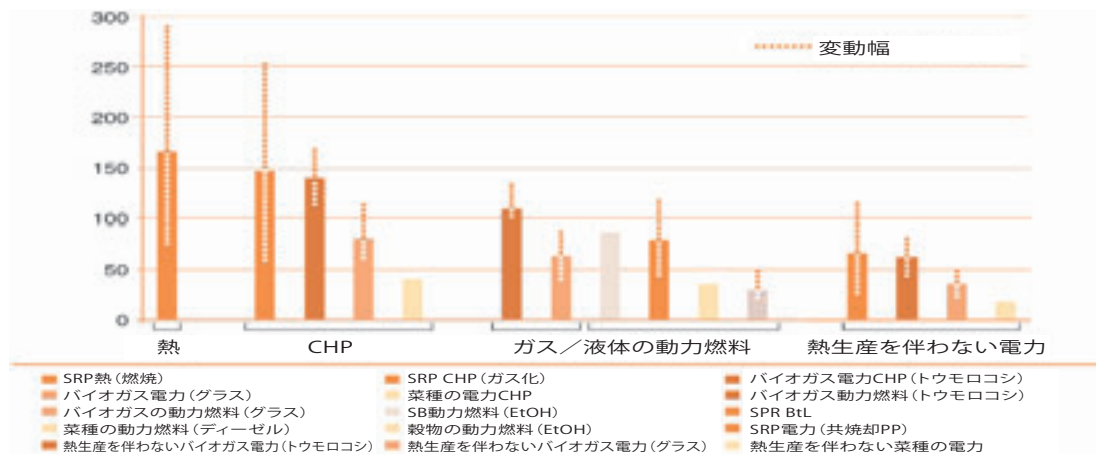
### バイオマスの電力と熱への利用

熱および／または電力を生産するためのバイオマスの定置型利用は通常、バイオマスを液体燃料に転換するよりもエネルギー効率が高い。また、低いコストでより多くのCO<sub>2</sub>削減量をもたらす可能性もある。実際、BtLなどの先進的なバイオ燃料を考慮する場合でも、電力と熱を生産するために化石燃料を木材で代用することは、GHG排出量をさらに削減する可能性がある。

定置型利用技術は、途上国における地域社会と家庭向けのエネルギー供給の有望な選択肢となる。例えば、暖房／調理のために従来型バイオマス利用への代替を行うことで、エネルギー不足を克服し、衛生状態を改善する可能性がある。先進国における最先端技術

は、多機能サービスを有しており、廃棄物処理とエネルギー供給を組み合わせるといった例が見られる。バイオガスの利用は、こうした定置型利用の好例である。特に廃棄物を利用した場合にはGHG削減効果が高い再生可能エネルギー源としての可能性が高い。それでもなお、バイオガスを得るためにエネルギー作物が利用された場合、生態学および土地利用に関する懸念を考慮する必要がある。

図13: 利用方法別再生可能原料のエネルギー収量(正味)(GJ/ha)



\*注: イネ科(タカノハススキ)を利用すると収量がSRPよりも約20%高くなるが、技術がまだ商業的に実現可能でないため、この可能性はここでは考慮されていない。熱、CHPおよび電力(熱生産を伴わない)に関しては、利用効率が含まれている。動力燃料に関しては、利用損失は含まれず、生産損失のみが含まれている。したがって、このデータの比較可能範囲は限定されている。自動車の燃料に利用すれば、エネルギー収量は一段と減少するだろう。SRP=短期輪作プランテーション、BTL=バイオマスから液体燃料、PP=発電所、CHP=熱電併給、EtOH=エタノール、SB=テンサイ出所:SRU(2007)(LfU 2004;Amorld et al. 2006;DENA 2006;FNR 2005, 2005b, 2006;Keymer & Reinhold 2006;Schindler & Weindorf 2006から改作)

鉱物ベースのソーラー・エネルギー・システムは、太陽放射熱を極めて効率的に利用可能なエネルギーに転換する。

## 異なるエネルギー供給システムの検討

### 鉱物ベースのソーラー・エネルギー・システム

バイオマスと同様に、ソーラー・エネルギー・システムは、極めて効率的に太陽放射熱を利用可能なエネルギーに転換する。特に、このシステムは、必要となる土地が非常に小さく、環境影響が少ないと考えられる。

ソーラー・エネルギーは依然として費用面で不利であるが、費用は今後低減すると予想されており、電力系統外での利用は既に経済的に実行可能である。さらに、太陽熱調理器などの技術は、途上国における「従来型バイオマス」の利用を代用することができる。これらの選択肢はバイオ燃料と同様の恩恵をもたらすため、ソーラー・エネルギーを、地域ごとの社会文化的・生態学的環境に潜在的により適した代替手段として利用することを検討すべきである。



資源効率を高めるための選択肢

科学に基づく

戦略と措置





# 政策

持続可能なバイオ燃料生産は、資源生産性を高めるための**戦略**を実施した場合に実現することができる。特定の**措置**は、天然資源に対する環境圧力を軽減し、社会的便益を提供することが可能である。

義務と目標は、科学的な裏付けが十分でない場合、厳しく見直されることとなる。

持続可能な土地利用パターンを促進し、持続可能な形で供給できる水準に需要を抑える政策手段が必要である。

## 義務、目標および基準

バイオ燃料産業の発展の大部分は、主にエネルギー安全保障を目的として、義務、目標および補助金などの多様な支援メカニズムを通じて各国政府によって刺激されたものである。バイオ燃料による環境へのマイナス影響が明らかになったため、科学的な裏付けが不十分であるとして、これらは見直されてきている。特に、気候変動を緩和することがバイオ燃料支援を推進する主な要因であるが、バイオ燃料の現在の削減ポテンシャルは、全体的にごくわずかであり、費用はこれまでのところ過度に高価であると考えられる。例えば、OECDによると、米国、カナダおよびEUにおける補助金の額は、これらの国で回避されるCO<sub>2</sub>換算1トン当たり960~1,700米ドルの範囲である。この水準は、欧州および米国の炭素市場の炭素価額をはるかに上回っている。これまでのところ取引は限定的であるが、大半の国が国内生産では達成することができない目標であるため、今後成長すると予想されている。

バイオ燃料の望ましくない副次的作用に対する関心の高まりに対処するため、一部の国は、持続可能なバイオエネルギー生産に関する持続可能性基準の推進を実施している。これらの基準と関連する認証制度は、プロジェクト・ベースのライフサイクルアセスメントによって決定され、プロダクトチェーンに沿った特定の影響のみを説明していることが多い。GHGの影響を十分考慮するだけでなく、富栄養化や酸性化など他の影響をより包括的に考慮するには、さらなる取り組みが必要である。ブラジルの社会的ラベルなどのような大規模なバイオ燃料生産における小規模農業の保護を

目的とした施策も必要であると思われる。バイオ燃料のライフサイクル全体にわたるパフォーマンスの向上（ミクロレベルでの「垂直の次元」）は、認証によって促進することができるが、こうした生産基準は、燃料用作物への需要の高まりに伴う土地利用変化（マクロレベルでの「水平の次元」）を回避するには不十分である。そのため、持続可能な土地利用パターンを促進し、持続可能な生産によって供給することができる水準に需要を抑える他の政策手段が必要となる。

- 関連するあらゆる環境的・社会的影響を考慮するために、バイオ燃料の生産基準と製品認証のさらなる開発
- バイオ燃料を十分に評価するための以下の双方に関する情報の考慮
  - － 特定の種類の製品と生産条件
  - － バイオマスの総消費量と土地利用
- 現行の政策的な義務、目標および割当ての再検討（持続可能な形で供給できる水準に需要を抑制する）
- 国別／地域別の資源管理プログラムの開発
  - － 気候と生物多様性の保護および食糧／エネルギー安全保障を含む
  - － 国内消費向けの土地利用の考慮（負担の転嫁を抑制する）。
- 資源生産性を高めるための経済的手段の使用（例えば、化石燃料の補助金を含めた補助金制度の改革）

戦略と措置

## 科学に基づく政策

### バイオマス生産のための持続可能な土地利用の促進

農業収量を増やすことは、食糧および非食糧の生産の双方にとって必要である。サハラ以南のアフリカなど、生産性の増進が遅れている地域のポテンシャルを集結することが鍵となる。現在ある制約を克服するには、いくつかの措置が必要となるが、バイオ燃料作物に対する外国投資の促進は、広範な進展につながる可能性がある。しかし、現地の人びとにとっての便益は依然として限定的となる可能性があり、監視する必要がある。

多年草の低投入栽培に関する調査が現在行われている。これは、土地、水および必要投入量への圧力を減らす一助となるものの、開発が耕作地または保全価値の高い土地で行われた場合、生物多様性と土地利用に関する懸念が残るだろう。

耕作地の拡大は、食糧または非食糧の生産にかかわらず、生態系のサービスに照らして考えても、価値の高い自然の生態系を犠牲にしてまで行うべきではない。こうした土地に対して、経済的価値を付与したり、または現在ブラジルのアマゾンで採用されている農業生態学的なゾーニングを行うなど、こうした土地を保護するための様々なメカニズムが開発されている。新規開拓を劣化地に限定することは、もう1つの重要な戦略であるが、潜在的な環境費用・便益に関してさらなる研究が必要である。

持続可能な資源利用のためには、農業、林業、入植地／インフラ／鉱業および自然保全を考慮する包括的な土地利用管理ガイドラインが、地域的、国家および国際的なレベルで必要となる。各国は、国家の資源

消費量が国内および世界（該当する場合）の環境に及ぼす影響を考慮しつつ、自国の実際のおよび潜在的な土地利用について監視する必要がある（誘発される世界の土地利用変化とそれに伴うGHG排出量を含む）。

- 遅れている地域の農業ポテンシャルを動員し、環境と社会に優しい方法での収量向上
- 環境と社会に対する潜在的影響に配慮した耕作地拡大の制限および劣化地の新規開発の誘導
- 富栄養化に歯止めを掛けるための多年草の低投入栽培に関する調査

包括的な土地利用管理ガイドラインが、地域的、国家および国際的なレベルで必要である。

## バイオマスのさらなる効率的利用の育成

将来的に、木材加工残渣、藁またはトウモロコシ茎葉に由来するセルロースバイオ燃料などの先進的なバイオ燃料は、バイオ燃料の資源効率を改善することができるかもしれない。しかし、実際の可能性、環境影響および土地利用要件に関してさらに研究する必要がある。

熱、電力およびCHP向けのバイオ燃料の定置型利用は、輸送用バイオ燃料よりも一般に資源生産性が高いため、政策は、前者への支援を優遇するものになるであろう。定置型利用のためのマイクロファイナンスは、途上国で頻繁に採用される政策的手法であり、固定価格買い取り制度は、一部の先進国で広く利用されている。特に、エネルギー利用のための林業製品の需要が伸びていることに関して、定置型利用の増加に伴って生じ得る世界的な環境影響について研究する必要がある。

様々な国で、再利用と廃棄物管理のエネルギー効率を推進するための政策が確立されている。固定価格買



い取り制度またはグリーン価格制度などの市場志向型の措置は、廃棄物と残渣によって生産された電力の市場参入を促進するために利用することができる。「グリーン」の構成要素についての基準は、漠然と定義されることがあるため、こうした政策は、非食糧用バイオマスの原料利用とエネルギー利用の双方を考慮する包括的なバイオマス戦略に基づくものでなければならない。

■ エネルギー用作物ではなく、残渣／廃棄物から得られるエネルギーの推進

■ バイオマスのカスケード利用の育成

■ 輸送用よりもバイオエネルギーの定置型利用の推進

固定価格買取制度またはグリーン価格制度などの市場志向型の措置が、廃棄物と残渣によって生産された電力の市場参入を促進するために利用することができる。

## 科学に基づく政策

化石燃料の利用の一定割合をバイオ燃料が担うことができるよう、消費水準を大幅に引き下げる必要がある。

資源をより生産的に利用するための奨励措置は、個別の技術を規制・促進するよりも効果的で効率的であるかもしれない。

### 輸送、産業および家庭におけるエネルギーと物質の生産性向上

全世界に存在する資源では、現在の消費パターンを維持しながら化石資源からバイオマスへと単純に移行することは不可能である。その代わり、化石燃料の利用の一定割合をバイオ燃料が担うことができるよう、消費水準を大幅に引き下げる必要がある。これを実現するには、原料、エネルギーおよび土地の単位当たりで提供されるサービスに関して資源効率を大幅に高める必要がある。この目的達成のために、様々な先進国、途上国および国際機関は、資源生産性を高めるためのゴールと目標を作成してきた（ファクターX）。

より生産的な資源利用のための奨励措置の設定による政策枠組みの設計は、個別の技術を規制・促進するよりも、持続可能な資源利用を促進する上で効果的で効率的である可能性がある。例えば、一部の国では、輸送燃料税などの経済手段によって燃料の総消費量とGHG排出量が削減された。

途上国は、エネルギー供給の増加と一方ではアクセスの拡大、そして他方では環境影響の増大との間で均衡点を見出すという課題を抱えている。エネルギーと物質の生産性を高めることで、こうした均衡点に近づくことが予想される。例えば、中国は、2005～2010年にエネルギー原単位を20%削減することで、エネルギー生産性を向上するという野心的な目標を設定した。

代替策を探求するには、代替燃料以外のことにも目を向ける必要がある。自動車産業は、自らが製造する自動車の燃料消費を大幅に減らすという課題に直面している。一部の国は、この目的のために規制基準を設けている。自動車産業はまた、自社製品の燃料消費と

GHG排出量を減らすことに関心を示している。

協調行動によって、持続可能性に向けた世界的な発展をより迅速に進めることができる可能性がある。世界の自動車産業が、今後数年間で自社製品のGHG排出量と全体的な資源使用量を大幅に削減し、モビリティ・サービスの提供に向かうことを自主的に取り組むことは、この目的を達成する上で決定的な手段となるだろう。

### ■ 特に、自動車の燃費の向上とモーダルシフトの育成によるバイオマスとエネルギーの全体的な需要の抑制

要するに、バイオマスおよび他の資源のより効率的で持続可能な利用に効果的に寄与する政策をさらに立案していくために、様々な戦略と措置を利用可能である。



## 略語、頭字語および単位

### 略語と頭字語

BtL	バイオマスから液体燃料
CHP	熱電併給
EU	欧州連合
FAO	国連食糧農業機関
FT	フィッシャー・トロプシュ法
GFEC	世界のエネルギー最終消費量
GHG	温室効果ガス
GWP	地球温暖化係数
IFEU	エネルギー・環境研究所
IPCC	気候変動に関する政府間パネル
LCA	ライフサイクルアセスメント
OCED	経済協力開発機構
RFA	再生可能燃料協会
RSB	持続可能なバイオ燃料のための円卓会議
SCOPE	環境問題科学委員会
UNEP	国連環境計画

### 単位

a	年
CO <sub>2</sub> eq	二酸化炭素換算
EJ	エクサジュール (10 <sup>18</sup> ジュール)
Gt	ギガトン (10 <sup>9</sup> トン)
GW	ギガワット (10 <sup>9</sup> ワット)
ha	ヘクタール
Mha	百万ヘクタール
p.a.	年間
t	トン

### 化学略語

CO <sub>2</sub>	二酸化炭素
EtOH	エタノール
N <sub>2</sub> O	亜酸化窒素



[www.unep.org](http://www.unep.org)

国連環境計画

私書箱30552 Nairobi, Kenya

電話: ++254-(0)20-762 1234

ファックス: ++254-(0)20-762 3927

電子メール: [unepub@unep.org](mailto:unepub@unep.org)



**本報告書は**、持続可能な資源管理に関する国際パネルのバイオ燃料作業グループによって作成された。本報告書は、バイオ燃料の持続可能な生産と利用に向けた主要な問題と展望に関する概観を提示している。また、最新の重要な論評を考慮しつつ、広範な文献調査に基づいている。いわゆる第一世代のバイオ燃料に焦点を置いているが、今後の開発分野についても検討している。

資源生産性の向上という全体的な背景において、バイオマスの一層効率的で持続可能な生産と利用のための選択肢が考察されている。特に、熱電併給および輸送用の液体燃料に利用されるバイオマスなど、エネルギー目的の「近代的なバイオマス利用」を取り上げており、食糧および原料目的のバイオマスの利用に関連付けている。バイオマスの生産効率の向上は、持続可能性の強化で一定の役割を果たすが、最終的には生物（および非生物）資源の効率的な利用（自動車の燃費向上などを含む）によって進展状況が決まる。ただし、この目的に向けた全ての関連戦略（例えば動物性食品が多い食事を変えることや、食糧損失を減らすこと）を完全に考慮することは、本報告書の範囲を越えている。