

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510043

研究課題名(和文) 中国におけるバイオマスエネルギーの地域需給バランスに関する研究

研究課題名(英文) Study on regional energy balance of biofuel in China

研究代表者

白川 博章 (Hiroaki, Shirakawa)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：50393038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：中国におけるバイオ燃料の生産は世界第3位であり、今後も再生可能エネルギーを推進していく上で、バイオ燃料は重要な位置づけられている。しかし、バイオ燃料は食料と競合するなどの問題も指摘されている。本研究では、中国におけるバイオ燃料の需給バランスを地域別に検討した。研究の対象としたのは、農業残渣である稲わら、麦わらを対象にした。分析の結果、安徽省などの農業地帯ではバイオエタノールの供給ポテンシャルは、ガソリン需要を上回ることなどを明らかにした。また、黄河流域を対象として、バイオ燃料の導入に関して生じる水需要の変化に対応するために水利権の取引など制度設計についても検討した。

研究成果の概要(英文)：China is the third largest biofuel producer, and biofuel is set as a very important factor for the promotion of renewable energy policy in China. However, there are concerns that the promotion of biofuel will cause several problems such as competition with food. This study evaluated the gap between the potential production of bio-ethanol made from agricultural residuals (rice straw and wheat straw) and the energy demand at a provincial level. The results show that the potential production of biofuel will be larger than gasoline demand in the rural area, such as in Anhui Province. Moreover, the study examined the policy, like the one regarding the water right trading to avoid water shortage caused by the promotion of biofuel in the Yellow River Basin.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：中国 バイオ燃料 農業残渣

## 1. 研究開始当初の背景

中国は 1980 年から実質年平均成長率が 8.2% という高い経済成長を遂げる一方、それともなう地域間格差と環境問題も深刻化しており、環境と経済の両立に向けて様々な議論が行われている。バイオ燃料の開発と規制に関する議論もその一つである。

現在、中国は、ブラジル、アメリカに次ぐ、世界第 3 位のバイオ燃料生産量を誇っている。中国でバイオ燃料の生産が増加した背景には、1) エネルギーの安全保障、2) 地域間格差の是正、3) 環境対策の 3 つの要因があることが知られている。エネルギーの安全保障に関しては、中国では 1990 年代半ばに原油の輸入量が国内生産量を上回り、その後も国内需要に占める原油の輸入割合は増加の一途をたどっている。この結果、国際原油価格の変動が経済活動に大きな影響を与えるため、バイオ燃料の生産拡大に対する取り組みが加速した。また、中国のバイオ燃料の開発は、当初、古くなったトウモロコシなど、本来廃棄処分すべき穀物を有効利用することが目的であった。廃棄トウモロコシをバイオ燃料生産に利用することは、政府が食糧在庫を処分する上でも、貧困農家の救済や増収を図る上でも恰好の方法と見なされた。さらに、中国では経済成長ともなう CO<sub>2</sub> 排出量の増加が著しく、地球温暖化対策が緊急の課題になっている。以上の背景として、バイオ燃料の生産量は、2000 年から 2006 年にかけて約 30% 増加した。

しかし、米国においてトウモロコシがエタノール生産に大量に使用されるようになった 2007 年になって、トウモロコシの国際価格が上昇し、状況は一変した。2007 年に 9 月に OECD は、バイオ燃料の開発が食品価格の高騰や環境破壊をもたらす可能性があるとして、各国政府に対しバイオ燃料への補助金を停止するよう警告した。中国でも、穀物系エタノール燃料の新規プロジェクトは規制するという方針を打ち出した。現在、中国政府は、サトウキビ、キャッサバ、甘コーリヤン等、非穀物系の作物をバイオ燃料とする方針を打ち出している。

これまで、中国におけるバイオ燃料の需給については、穀物を原料とすることを前提に行われたものが多く、非穀物系を原料とした場合については、まだ十分な検討が行われていない。さらに、これまでの研究では中国全体を対象としたものがほとんどで、地域別の需給バランスについては考慮していない。中国は自然的条件、社会的条件が地域によって大きく異なる。したがって、バイオ燃料の利用がもたらす便益とリスクは地域によって異なると考えられるが、これまで十分な検討が行われていない。

## 2. 研究の目的

中国におけるバイオ燃料はその利用に対する期待と悲観的な見解が混在している。バ

イオ燃料は、エネルギーの安全保障、地球温暖化対策、農村振興等へ貢献することが期待されると同時に、食料との競合、農業用水需要増大による渇水の危険性等が懸念されている。しかし、このようなバイオ燃料の利用がもたらす便益とリスクは地域によって異なると考えられるが、これまで十分な検討が行われていない。本研究では、バイオ燃料の地域需給バランスを推計し、バイオ燃料利用の意義と限界を地域別に検討することを目的とする。

## 3. 研究の方法

まず、省レベルを対象として、統計資料を用いて、バイオ燃料の需給バランスを検討した。その際、食糧との競合を考慮し、原料は賦存量の多い農業残渣(稲わら、麦わら)とし、バイオ燃料はバイオエタノールを対象とした。

次に、省レベルでの検討を踏まえ、工業化や経済成長で水需要が増加し、渇水の危機が懸念されている黄河流域において、バイオ燃料導入のために必要な制度設計を検討した。

## 4. 研究成果

中国におけるバイオ燃料生産の現状

第 12 次五カ年計画(2011-2015)では、2015 年までに再生可能エネルギーの消費を 11.4% まで引き上げる目標を掲げており、バイオ燃料は重要な位置にある。政府の計画では、16 省でバイオエタノール製造計画が策定されているが、稼働しているのは、吉林省、黒竜江省、河南省、安徽省、広西自治区である。

2011 年における世界のバイオエタノールの生産量は約 8,700 万 kl であり、中国はその約 3% に当たる 200 万 kl を生産している(US EIA 資料より)。他方、バイオディーゼルの世界の生産量は 2400 万 kl で、中国の生産量は約 48 万 kl である。中国におけるバイオ燃料の生産は大幅に拡大しており、2005 年と 2011 年を比較すると、バイオエタノール、バイオディーゼルともに、約 2 倍増加した。

バイオエタノールのガソリンへの混合率は 10% であり、供給している地域は、吉林省、黒竜江省、遼寧省、河南省、安徽省、広西自治区の 6 省である。当初は小麦、トウモロコシなどの穀物が原料として用いられていた。しかし、原料の多様化も進みつつあり、現在は、キャッサバ、スウィート・ソルガム(コーリヤン)が原料として用いられている。特に、広西自治区ではキャッサバが原料として用いられている。他方、バイオディーゼルの原料は、パームオイルなどである。

しかし、食糧との競合を避けるため、トウモロコシを原料としたバイオエタノールの製造は制限されている。また、キャッサバについても国内の増産には限界があり、ベトナムからの輸入に頼らざるを得ない状況にある。したがって、従来の原料ではバイオ燃料の増産を図るが難しく、食糧と競合しない原

料を用いたバイオ燃料の開発が必要になっている。

### バイオ燃料の地域需給バランス

#### (1) 農業残渣を活用したバイオ燃料の供給ポテンシャル

ここでは中国における主食で生産量の多い、米、及び小麦の農業残渣である、稲わら、麦わらの供給ポテンシャルを検討した。分析結果を図1に示す。稲わらの賦存量は米の収量に対して1~1.5倍と考えられており、ここでは1を採用した。また、麦わらの賦存量は3t/haとした。稲わら、麦わらとも含水率は15%とし、エタノール収率は0.2kl/tとした。

2010年に米の生産量が多いのは、湖南省(2,506万t)、江西省(1,858万t)、黒竜江省(1,844万t)などである。小麦の生産量が多いのは、河南省(3,082万t)、山東省(2,059万t)、河北省(1,230万t)である。

稲わらと麦わらを合わせたバイオエタノールの供給ポテンシャルが最も大きいのは、湖南省(260万kl(ガソリン換算))であり、次いで江蘇省(250万kl)、安徽省(217万kl)、河南省(213万kl)と続いた。

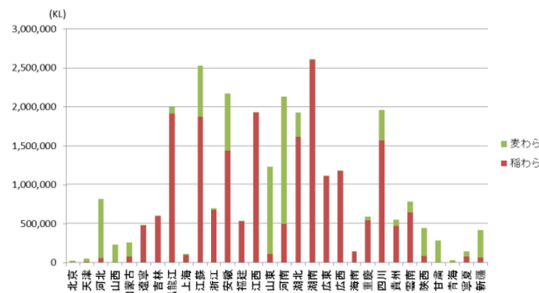


図1 農業残渣バイオエタノール供給ポテンシャル

#### (2) バイオ燃料の需給ギャップ

稲わら、麦わらによる2010年における供給ポテンシャルは、約2,000万kl(ガソリン換算)であり、これはガソリン需要の約40%に相当する。(チベットはガソリン消費に関する統計がないため、分析から除外した)

地域別に見ると、需給ギャップが非常に大きいのが、多くの省でガソリンに対して10%以上の供給ポテンシャルを有している(図2参照)。供給ポテンシャルが需要を上回っているのは、安徽省、江西省、湖南省の3省で有り、それぞれ、需要に対する供給ポテンシャルは、186%、168%、134%である。他方、10%に満たないのは、北京、天津、上海である。中国における北京、上海に並ぶもう一つの重要な経済圏の中心地である広東省においても、ガソリン需要の14%の供給ポテンシャルを有している。

ただし、稲わらや麦わらは、燃料や肥料などに活用しており、全量をバイオ燃料に利用することはできないが、農村部や低開発地域で有望な供給ポテンシャルを有していると考えられる。

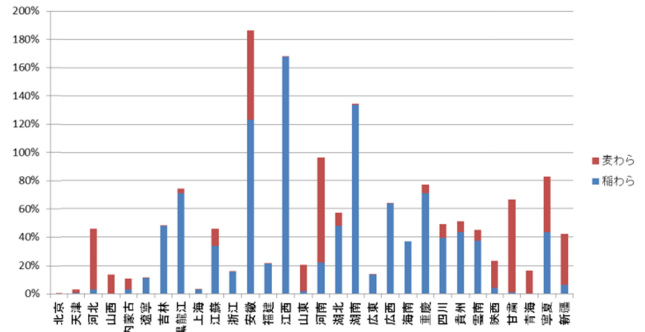


図2 地域別バイオエタノール需給ギャップ

黄河流域における農業用水の効率的な利用によるバイオ燃料需給バランスの変化

中国において農業用水の効率的な利用を実現するにあたり、a)流域内の省・自治区間の水資源配分、b)同流域内の各省・自治区内のセクター別水資源配分、及びc)上記水資源配分における渇水リスクへの対応、について検討する必要がある。ここでは、90年代後半に黄河断流に代表される深刻な水不足を経験し、現在、実質的な水資源供給制約下にある黄河流域を対象に、上記のa)、b)、c)における検討を踏まえ、同流域におけるバイオ燃料作物の生産確保に向けた効果的な政策コンセプトを示した。また、西安市を中心都市とし、黄河流域最大の支流流域を形成する渭河流域は、水環境悪化、急速な地下水位低下など、水資源管理において特に深刻な課題を抱えている。このため、特に西安市都市部と農村部の効果的な連携による水資源管理の改善・バイオ燃料作物の確保に関する検討をベースに、西安市を対象とした上記政策コンセプトの有効性について評価するとともに、その実践のための制度設計についても併せて検討した。

#### (1) バイオ燃料作物(第1世代、第2世代)生産のための水資源確保の課題

バイオ燃料作物生産のための水資源確保について検討する際、基本的には農業用水を如何に効果的に確保するかが鍵となる。本研究において対象とする黄河流域では、黄河水利委員会による流域内の各省・自治区への水資源配分を経て、それぞれの省・自治区が各行政区内の各セクター(農業、工業、生活)に水資源配分を実施する仕組みとなっている。ここでは、既存研究のレビューに基づき、黄河流域における水資源管理政策について述べるとともに、各省・自治区におけるセクター間の水資源配分の現状とその課題を明らかにした。

#### 1) 黄河流域における水資源管理政策

90年代後半に深刻化した黄河断流は、流域内各省・自治区の自区域内における経済成長を優先させた過度の取水に起因している(石

ら、2007)。また、この時期において工業用水価格等は適正価格に比しかなり低く設定されていたが、このことが各省・自治区の過度の取水を可能とした主な要因であることが、白川ら(2005)による山西省のケーススタディにより明らかにされている。さらにこうした経済優先のあり方は、排水処理インフラの整備を遅らせ、水環境の悪化を招いた(東ら、2003)。このため、2000年代に入り、過度な取水に対する罰則の適用など、黄河水利委員会を中心とした水資源管理体制が強化されるとともに、主に工業セクターの水資源の再生利用等に対するインセンティブ強化に向け、適正な水資源の価格体系の構築が図られている(石ら、2008)。

一方、楊ら(2004)は、黄河流域における分布型水文モデルを構築し、過去50年における気象状況の変化と観測点ごとの河川流量との関係性を評価したが、その中で、近年、年間降水量と河川流量の減少傾向が比較的顕著であることが示されている。これは今後の気候変動により、黄河流域の河川流量はさらに減少する可能性があることを示唆するものであり、流域内の各省・自治区は、引き続き節水型システムの構築に向けた努力が求められる。

## 2) セクター間の水資源配分の現状と課題: 水権取引の観点から

黄河流域では農業用水が全体の水需要の8割程度を占めている。一般的に、黄河流域では中国の西北部に位置する上流、中流域において農業用水の需要が大きく、東部の下流域に近づくにつれ、都市用水、工業用水の需要が伸びる傾向にある(大西ら、2006)。このため、流域全体の経済発展のみを優先した場合、上中流域の生産効率の低い農業セクターへの水供給を削減し、余剰分を下流域の工業生産増に企てる、ことが効果的であると考えられる(奥田ら、2005)。しかし、このあり方では、食糧安全保障、地域間経済格差等の課題に対し、明確な回答を見いだせない。また、先の1)の議論から、水資源配分の公平性の観点からも疑問が残る。

省レベルにおける各セクター間の効果的な水資源配分の取組として、水権取引がある。以下に同制度の導入の契機となった内蒙古自治区の事例を示す。

内蒙古自治区では、黄河からの水資源分配量は年間56.8億t(過去の渇水期における実質分配水量は年間48億t)であるが、現在、同自治区での使用量はすでに分配量の上限に達している。また、制度上、今後、エネルギー増産のために黄河から新たな水資源を獲得することは困難である。一方、内蒙古自治区におけるセクター別の水利用量は、農業用水が全体の94%を占めるが、灌漑効率は40%程度と低い。こうした背景から、内蒙古自治区は、発電セクター(石炭火力発電所)が農業セクターに節水灌漑インフラ整備のため

の投資を行い、農業セクターは節水による余剰水を発電セクターに提供する、水権取引制度を新たに確立した。これにより、水供給制約下における黄河流域の発展の可能性が見出された。

ここで、石ら(2007、2009)は同制度の地域経済への波及効果について定量的に評価したが、一方で同自治区において水権取引が活性化した場合の社会環境的リスク(CO<sub>2</sub>排出増、電力送付先である東部沿岸域との地域間収入格差の拡大等)についても明らかにした。東ら(2013)はこうした結果をふまえ、内蒙古自治区におけるバイオマス資源を中心とした再生可能エネルギーの導入促進が、水権取引による地域産業の活性化と環境負荷の抑制に寄与することを示した。しかし、この実践に向けた制度設計に対する議論が未だ不十分である。ここでは、こうした議論をさらに深め、持続可能な地域開発実現に寄与するバイオ燃料用作物の生産確保のためのより包括的な政策コンセプトを提示する。

## (2) バイオ燃料用作物の生産確保のための政策コンセプトの提示

コンセプトの提示において最も基本となる点は、まず、農地の確保、次にバイオ燃料用作物の生産、及びバイオ燃料生産に関する技術開発促進、ならびにバイオ燃料の需要促進、である。ここでは、様々なバイオ燃料用作物や、各種バイオマス資源(有機廃棄物等)の循環システムの構築が鍵となる。これにより、気候変動の緩和や食糧安全保障の強化などが期待できる。さらに、バイオ燃料用作物の生産確保に資する“セクター間の水資源の配分”、及び“各セクターにおける節水型システムの構築”が重要となる。ここでは、先に述べた水権取引のようなセクター間における効果的な水資源配分政策や、セクターごとの水資源のカスケード利用等の節水対策が挙げられる。ここでは西安市を対象として各課題への対応策について述べる。

### 1) 農地の確保(農村における収入の確保)

中国における農地面積は年々減少傾向にあり、西安市においても例外ではない。この土地利用変化の主な要因は都市化である。開発経済学の観点から、この都市化の要因の一つに収入格差増大による農村から都市への人口流入の増加、がある(東ら、2003)。対策として農村部における収入増への取組が重要となる。中国では三農問題が長きにわたって克服すべき重要課題として位置づけられてきたが、近年では農村部における小規模バイオガスダイジェスターの普及が農民の収入増に寄与し、同様の取組が各地で広がっていることが明らかとなっている(小林ら、2011)。これに第二世代バイオ燃料等の適正価格での供給システムの構築などが加われば、農村部の更なる経済発展につながり、農村部から都市部への人口流入の抑制、ひいて

は農地面積の確保に繋がっていくと考えられる。

2) バイオマス資源・バイオ燃料の生産促進  
途上国において、作物の生産量を確保する場合、化学肥料や農薬の過剰投入が共通の課題として挙げられており、作物の適正な生産管理の拡充が求められている。また黄河流域では灌漑用水管理に起因する塩害も課題となっている。バイオマス資源生産に関する上記の問題を克服するうえで、バイオ燃料の生産促進は効果的である。中村ら(2012)は、原料を家畜糞尿等とするバイオガス生産のメタン発酵プロセスにおいて発生する残さ(液肥)の成分について分析し、その実証試験を実施した結果、この液肥は作物の生産に非常に効果的であり、化学肥料とほぼ同様の役目を果たすことを明らかにした。バイオエタノール等の他の燃料の製造において残さとして発生する液肥についても同様のことが期待できる。また、バイオブリケットの燃焼後の残さは炭化により土壌改良材としての効果を発揮することが明らかとなっている(酒井ら、2013)。中国では大気汚染抑制や気候変動の緩和を目的とした石炭バイオブリケットの試験的導入が実施されている。導入コスト等の課題は残されているもの(酒井ら、2013)。こうした取組の広がり、黄河流域内の塩害の克服にも役立つと考えられる。外岡ら(2006)によると、西安市農村部の燃料はバイオマスや石炭がほとんどを締め、大気汚染等の要因となっていることが明らかとなっている。ここではバイオマスのペレット化等による燃焼効率の改善の必要性が示されており、上記の石炭バイオブリケットの導入は効果的であると考えられる。

### 3) 節水型システム構築と渇水への対応

中国大連市の事例では、清水建設(2003)による下水処理場へのバイオガス製造プラントの導入に関するCDM関連調査がある。西安市においても有機廃棄物、下水汚泥の処理の課題があるため、既存の集中型水処理インフラを活用した同様の取組が重要であると考えられる。また王ら(2008)によると、西安市中心部の水処理インフラは依然不十分であるが、今後、分散型水処理システムの導入が集中型に比し、費用便益の観点からより効果的であることが明らかとなった。中小都市への分散型水処理システムの導入による水資源のカスケード利用、農村部へのバイオガスダイジェスターの導入などの技術システムの構築が急務である。さらに馬場ら(2005)、東ら(2010)は西安市における渇水期の食糧生産の落ち込みについて定量的に評価した。渇水期における食糧生産量は、過去のトレンドに基づいた場合、平水期に比べ約2割の減少が認められる。この場合、農業用水をより優先的に確保するにあたり、バイオマス資源の利活用促進に基づく作物生産の経済的イ

ンセンティブの向上が必要となる。

4) 政策体系実施のための制度設計(まとめ)  
上記の政策をより体系的に実施するため、以下のような制度の活用が必要である。

- PPP: 分散型水処理システムの導入促進
- CDM: 農地確保(都市拡大によるCO2増加抑制)、バイオ燃料及びその製造時の発生残さ(有機堆肥等)の利活用によるCO2削減など
- Microfinance: バイオガスダイジェスターの導入等(多重債務を防ぐため、政府補助金、CDM等との組み合わせについて要検討)
- 水権転換: 灌漑効率の改善、工業・生活用水の確保
- 参加型開発: 人材育成、普及啓発

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Zhou, X. and Shirakawa, H.: Can Consumer Responsibility Help Address Carbon Leakage Concerns? An Analysis of Participation vs. Non-Participation in a Global Mitigation Regime, China-USA Business Review, Vol.11, No.3, pp.408-422, 2012.

[学会発表](計7件)

Osamu Higashi, Hiroaki Shirakawa, and Kazuo Oki.: Energy and Water Resource Management Based on Effective Biomass Utilization in Xi'an City, International Symposium on Agricultural Meteorology 2014(17-21 March 2014, Sapporo, Japan).

Osamu Higashi, Hiroaki Shirakawa, Kazuo Oki, Study on Water and Energy Policy System for Sustainable Local Development in Inner Mongolia, China, 3rd Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics (EAAERE), Feb. 20-22, 2013, China (Full paper, CD-ROM)

東修, 白川博章, 沖一雄, 中国の国家発展戦略に基づく内蒙古自治区の持続的な地域開発に関する研究, 第49回環境工学研究フォーラム講演集, pp.48-50, 2012

Hiroaki Shirakawa and Xin Zhou(2012) Block structural path analysis in a multiregional input-output system: An environmental application to Asia Pacific region, 20th International Input-Output Conference(25 - 29 June 2012, Bratislava Slovakia).

Shirakawa, H.: Interdependence of Economy and Environment in East Asia, The 2nd Research Workshop on Environmental Cooperation Model in

Asia(21 - 22 June 2011, Beijing, China).  
Zhou, X., Shirakawa, H. and Lenzen M: The Effects of Aggregation: A case of carbon footprint accounting by using Multi-Region Input-Output models, 19th International Input-Output Conference(13 - 17 June 2011, Alexandria, USA).

Zhou, X. and Shirakawa, H. : Can Consumer Responsibility Help Address Carbon Leakage Concerns? An Economic Analysis of Participation vs. Non-Participation in a Mitigation Regime, 19th International Input-Output Conference (13 - 17 June 2011, Alexandria, USA).

〔図書〕(計1件)

Osamu Higashi, Biomass Resources and Sustainable Regional Development, Case Study of Inner Mongolia, China, Wise Use of Biomass Resources for Realizing Low-Carbon Society, Part 1, Research and Educational Activities of WUBR Group - from the view point of biomass energy technology development and utilization -, pp. 1-29 - 1-42, Published by HICEC, March, 2013

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

特になし

取得状況(計0件)

特になし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

白川 博章 (SHIRAKAWA, Hiroaki)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号：50393038

(2)研究分担者

沖 一雄 (OKI, Kazuo)  
東京大学・生産技術研究所・准教授  
研究者番号：50292628

東 修 (Higashi, Osamu)

広島大学・国際協力研究科・准教授  
研究者番号：70464154

(3)連携研究者

特になし