

地球温暖化対策検討部会だより



東日本大震災以降、日本では、原子力発電への依存度を減らすための様々な代替エネルギーへの関心が高まっています。今回は、小水力やバイオマスなどの再生可能エネルギーに関する研究を行っている茨城大学農学部教授の小林久氏に『再生可能エネルギーを評価する視点』について寄稿していただきました。

再生可能エネルギーを評価する視点

はじめに

東日本大震災、福島第一原発の事故は、わが国のエネルギー、とくに電力供給のあり方に大きな一石を投じた。例えば、原発の安全性や健康に対するリスクへの不安から、温室効果ガス削減のための中核的政策であった原発推進は、中長期的にかなり難しくなったといえる。そのような状況の中、国産の自然エネルギー（再生可能エネルギー）に対して注目が集まっている。再生可能エネルギーの発電設備導入を促進するために、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーで発電した電力の全量を、一定期間、一定価格で買取る義務が電気事業者課される「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（再生可能エネルギー促進法）も、先の国会で成立した。このような再生可能エネルギーの利用を推進する流れの中で、わたしたちはどのような立場でエネルギーを考えるべきであろうか。ここでは、エネルギー生産の効率、環境負荷に着目して、再生可能エネルギー評価のいくつかの視点を紹介する。

1. エネルギー収支からエネルギーを評価する

石油は、使い勝手のいいエネルギー資源である。少ない量で高いエネルギーが得られるからである。1リットルの石油（ガソリン）で、10%勾配の道を10分で10km走行する自動車は少なからずある。現在では、1リットルで20km以上走る車もある。車の重量を1トンとすると、1リットルの石油は1トンの鉄の塊を10分間で1,000mもち上げたことになる。石油は、エネルギーの塊といってよいだろう。

しかし、石油が重宝がられる理由は他にもある。実は、こちらの方が本質的な理由かもしれない。それは、同じ量のエネルギーを得るために必要とする費用やエネルギーが、他の燃料に比較して、圧倒的に安く、少なくて済むからである。どういうことかということ、1トンの鉄の塊を10分間で1,000mもち上げるために必要なエネルギーを、150円程度で買うことができ、その燃料を100kgの鉄の塊を10分間で数mもち上げるエネルギーでつくり出すことができる、そのようなエネルギー資源が石油だということである。

（1）エネルギー収益率

必要とするエネルギー（出力エネルギー）を得るために、どのくらいのエネルギー（投入エネルギー）が必要かを表す指標に、EPR（Energy Profit Ratio）がある。EPRは、ライオンがシマウマを捕まえて生きているとき、シマウマをつかまえるために使うエネルギーよりシマウマを食

べて得るエネルギーの方が小さいのなら、寝ている方がましである、ということを示すような指標である。EPRが1.0なら、かろうじて生きながらえることができるが、1.0以下ならシマウマを捕まえるためのエネルギーを使うとライオンは生きてゆけないということを示すことができる指標である。

表 1 発電方式別のエネルギー入出力比

		出典	エネルギー 入出力比 (R3)	生産出力に 対する入力%
水力	ケベック州	内山 1996	50	2.0
		Held et al 1977	43	2.3
		Gagnon et al 2002	205	0.5
原子力 (遠心分離濃縮)	PWR/BWR	世界原子力協会, 2004	59	1.7
		Kivisto 2000	59	1.7
	PWR	政策科学研究所 1977*	46	2.2
	BWR	政策科学研究所1977*	43	2.3
	BWR	内山ほか 1991*	47	2.1
原子力 (ガス拡散濃縮)	PWR/ BWR	世界原子力協会, 2004	21	4.8
		Held et al 1977	20	5.0
		Kivisto 2000	17	5.8
	PWR	内山1996	24	4.2
		Oak Ridge Assoc.Univ. 1976*	15.4	6.5
		Oak Ridge Assoc.Univ. 1976*	16.4	6.1
BWR	内山ほか 1991*	10.5	9.5	
石炭火力	unscrubbed	Kivisto 2000	29	3.5
		内山 1996	17	5.9
		内山ほか 1991*	16.8	6.0
		Gagnon et al 2002	7	14
		Kivisto 2000	34	2.9
天然ガス火力	パイプライン	Kivisto 2000	26	3.8
	パイプライン 2000 km	Gagnon et al 2002	5	20
	LNG	内山ほか 1991*	5.6	17.9
	LNG (57% capacity factor)	内山1996	6	16.7
太陽光発電	屋上	Held et al 1997	10.6	9.4
	地上	Alsema 2003	12-10	8-10
	アモルファス シリコン	Alsema 2003	7.5	13
風力発電		Kivisto 2000	3.7	27
		Resource Research Inst.1983*	12	8.3
		内山1996	6	16.7
		Kivisto 2000	34	2.9
Gagnon et al 2002	80	1.3		

* IAEA 1994, TecDoc 753より

出典：世界原子力協会(<http://world-nuclear.org/info/inf11.htm>),(財)
エネルギー総合工学研究所(2005)

エネルギー資源やエネルギー技術も、EPRが1.0以上でないと生産し、供給することはエネルギーの無駄遣いということになる。EPRは、エネルギー資源や技術の価値を、共通の「ものさし」で計ることができる指標といえ、様々なエネルギーの有効性の比較や評価に用いることができる。

表 1 は、エネルギー入出力比として、様々な発電方式の EPR をまとめたものである。この表によれば、原子力発電（遠心分離濃縮）は「1」の投入で「50」程度のエネルギーが生産できるが、太陽光発電は「1」の投入で「10」程度の生産しかできないことになる。なお、日本の発電方式別の EPR としては、石炭火力 6.55、石油火力 7.90、原子力 17.40、中小水力は 15.30、太陽光 2.00、風力 1.90 という推計がある（天野治、日本経済新聞、2006/7/2）。

（2）エネルギーペイバック率

同じ表記の EPR には、エネルギーペイバック率（Energy Payback Ratio）というものもある。これは、施設建設、燃料としてのエネルギー消費、運転保守など、エネルギー生産プラントの生涯にわたるエネルギー消費量（ライフサイクル・エネルギー消費）に対する、プラントの総エネルギー生産量の割合を表す指標である。ヨーロッパ小水力発電協会（ESHA）によれば、太陽光発電の“Energy Payback Ratio”は「3～5」、風力発電のそれは「10～30」、小水力発電は「80～100」である（表 2）。また、北米のプラントを対象とした推計では、原子力「16」、石炭火力「11」、石油火力「5」などに対して、水力は桁違いに大きく「200」を超える施設が多い。

表2 再生可能電源のエネルギーペイバック率

発電方式	EPR
小水力発電（1万kW以下）	80～100
大水力発電	100～200
太陽光発電	3～5
風力発電	10～30

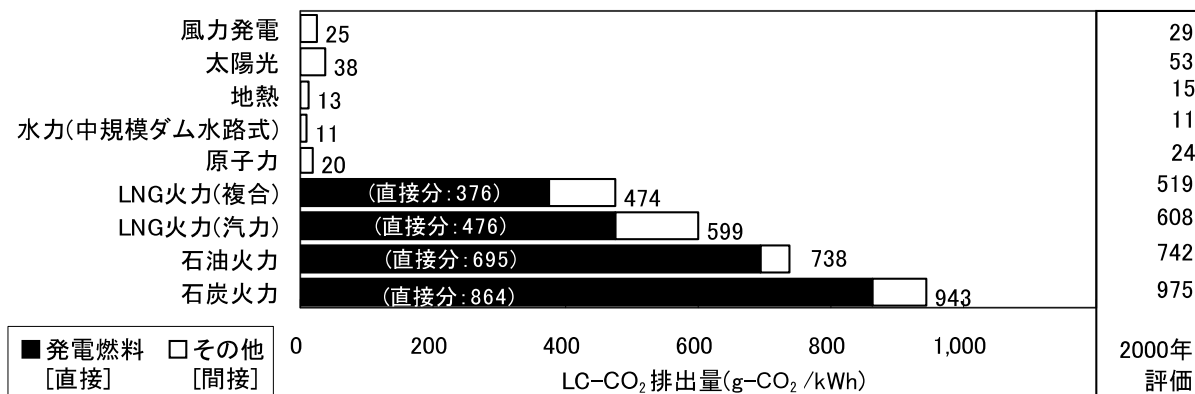
ESHA（2010）“The Role of Small Hydropower in the EU-27”

2. ライフサイクル CO₂ 排出

再生可能エネルギーの電力は、燃料が要らないので、石油、石炭、天然ガスに起因する温室効果ガスを発電時に排出しない。燃料燃焼にともなう直接排出がないからである。ただし、発電設備・機器の製作や発電所の建設時には各種の車両や機械が動くために燃料が使われ、コンクリートなどが消費される。これら施設・設備整備、維持管理に必要なエネルギーや物資の消費にともなって排出される温室効果ガスを間接排出という。図 1 は、発電方式別の直接排出と間接排出に分けた 1kWh 当たりの CO₂ 排出量である。原発に関しては廃棄段階の温室効果ガス排出が適正に見積もられていないなどの指摘もあるが、原発と再生可能エネルギーの排出量が圧倒的に小さいことが分かる。

なかでも、水力発電の排出量は最も少ない。これは、水力発電所が長持ちするからである。一般的に、原子力発電や地熱発電は、施設規模が桁違いに大きく、スケールメリットにより間接排出を小さくすることができる。対して、水力発電所は、規模よりも稼働時間の長さで、間接排出を小さくしている。たとえば、最も古い RPS 認定施設は、1897 年に運転を開始した中部電力の岩津水力発電所（140kW）である。長野県安曇野にある宮城（みやしろ）第一発電所の水力発電機 1 号機は、1904 年に安曇野電気（株）により運転を開始してから今も現役で電気を送り続けている。広島水力電気（株）が 1907 年に建設し、現在は中国電力（株）が管理する川内発電所も、まだ現役である。これらの水力発電所は、いずれも数 100kW 出力である。小規模で、原発や火力発電所に比較して年間発電量は著しく少ないが、100 年以上発電し続けることで、ライフサイクルの発電量を多くして、1kWh 当たりの温室効果ガス排出量を少なくしている。

このように、EPRのような指標は、技術内容が全く異なるエネルギー生産の客観的な比較や評価に、きわめて便利である。



注) 原子力は、使用済燃料再処理、プルサーマル利用、高レベル放射性廃棄物処分等を含めて算出。

出典：今村・長野（2010）「日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価 -2009年に得られたデータを用いた再推計-」，電中研研究報告 YO9027.

図 1 電源別平均 LC-CO₂ 排出量

おわりに

温暖化，資源枯渇，そして想定外の被害とともに明らかになった大規模電力システムの甚大な潜在リスクと脆弱性などの問題から，再生可能エネルギーが注目されている。しかし，わたしは，再生可能エネルギー開発や未来のエネルギー供給に関する議論が，必ずしも合理的な評価に基づいていないように感じる。当然，経済性や産業としての波及効果，供給の安定性や制御性なども評価して，多面的側面からより妥当なエネルギー資源やエネルギーミックスを検討すべきである。環境への影響や技術の地域受容性も重要な視点かもしれない。しかし，貴重な石油系資源を多消費しない，エネルギー収益率が一定水準以上である，ライフサイクルにわたるエネルギー生産が大きいなど，エネルギー収支の評価視点は最も重視されなければならない，と思う。とくに，農林産物という太陽エネルギーと水の産物，再生可能資源を生産する農業や農村地域には，最も重要な視点だといえる。いままで，農業分野は湯水のようにエネルギーを消費する生産体系の道を前へ，前へと進んできた。今回の東日本大震災と原発事故は，その行く先に疑問を投げかけたのかもしれない。これを機会に，少し立ち止まって，エネルギーの視点で，未来の農業や農村をデザインし直すことがあってもよいかもしれない。

小林 久 国立大学法人 茨城大学農学部 地域環境科学科 教授

略 歴

1977年新潟大学理学部卒業。1996年東京農工大学院連合農学研究科博士課程修了後，茨城大学で研究に従事し，現在に至る。研究テーマは，地域資源計画，再生可能エネルギーシステム，小水力利用・水車発電システム，農業・農村活動のLCA・物質フロー分析，参加型開発の評価・計画など。

◇本部会の情報収集・発信WG◇

北海道農政部農村振興局農村計画課 農地計画グループ

部会へのご意見お待ちしております

Tel 011-231-4111(内線 27-425)

E-mail nosei.keikaku1@pref.hokkaido.lg.jp

温暖化の科学

2011.10.17

本部会の取組をより身近に考えるきっかけとして、T 部会長からのコラムを掲載しています。今回は「**排出責任は直接排出者か最終消費者か**」をお届けします。

1. 電気・熱の排出責任

排出責任といっても原発放射能のことではない。CO₂をはじめとした温室効果ガス（GHG）の排出についての責任を誰が負うべきかという意味である。

例えば、地球温暖化対策推進法に基づく GHG 排出量の報告義務は、直接排出者（つまり、化石燃料を消費した主体）が行うこととなっている。これを直接排出量という。一方、発電や熱供給に伴う GHG 排出については、実際に電気や熱を生産するのに GHG を排出している部門ではなく、電気や熱を購入して使用した者が報告することとなっている。これを間接排出量という。

表 1 にわが国の部門別 CO₂ 排出量を直接排出法と間接排出法で算定したものを示した。¹

2008 年の CO₂ 排出量は合計で 12.1 億 t-CO₂ 余りである。このうちエネルギー転換部門（事業用発電、熱供給等）の排出量を直接法で算定すると 4.1 億 t-CO₂ 余りと、全体の 1/3 を占める。一方、間接法で算定すると、0.79 億 t-CO₂ 余りとなり、差し引きの 3.34 億 t-CO₂ は、電気・熱利用者である他産業に再配分されている。

再配分先で最も多いのが民生部門である。民生部門は直接排出 1.58 億 t が、間接排出では 4.05 億 t-CO₂ と 2.47 億 t 多くなっている。このうち、家庭での排出も間接排出のほうが直接排出より 1.12 億 t 多い。

間接法の特徴は、最終消費部門における電力を含むエネルギー使用量が把握できる反面、発電部門に起因する CO₂ 排出原単位の悪化の問題が、最終消費部門の排出増加として現れるなど、その責任の所在が曖昧になる場合がある。一方、直接法で計算すると電力・熱使用に伴う CO₂ 排出はエネルギー転換部門に計上されるので、最終消費者の節電努力が阻害されやすいという欠点がある。

表 1 2008年の部門別直接・間接CO₂排出量 単位:千t-CO₂

	直接排出	間接排出	差し引き
エネルギー転換部門	413,360	79,096	-334,264
産業部門	339,203	418,990	79,787
運輸部門	228,099	235,485	7,386
民生部門	157,779	404,870	247,091
うち家庭	59,023	171,027	112,004
うち業務	98,756	233,843	135,087
その他	74,812	74,812	0
計	1,213,253	1,213,253	0

出展: 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスのデータをもとに作成
<http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>

2. 移・輸出入に伴う排出責任

直接法と間接法に似たような考え方に、生産者責任法と消費者責任法がある。ここでの定義は以下のとおりである。なお、これは仮称であり、こうした言葉が認知されている訳ではない。

生産者責任法: 生産活動に伴う GHG 排出量は生産者が排出したと見なす方法

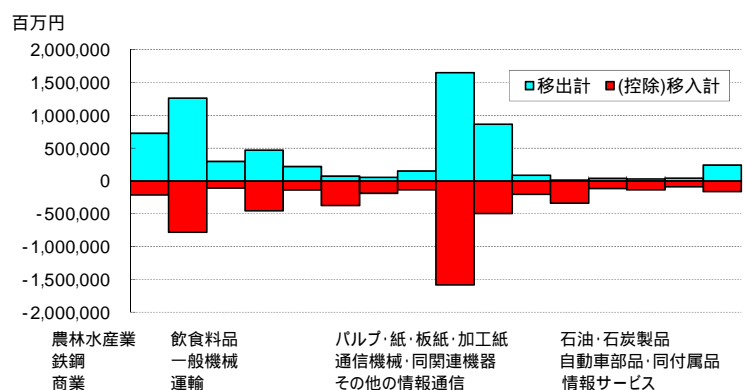
消費者責任法: 生産活動に伴う GHG 排出量は当該財及びサービスが消費されなければ生産されないはずだと考え最終消費者が排出したと見なす方法

これらの概念を農業生産に伴う GHG 排出で考えてみよう。

例えば、北海道の食料自給率はエネルギー換算で 200% に近い。即ち、農産物の半分は都府県の消費者等が購入していると考えても大きな間違いではない。この農業生産に伴う GHG 排出量を全量、北海道から排出したものととして算定する方法が**生産者責任法**である。一方、半分は都府県の消費者が購入・消費しているので、その分の生産に伴う排出責任は都府県が負うべきだというのが**消費者責任法**である。

後者の場合には、道民が購入している都府県の農産物については当然、北海道からの排出という扱いになる。農産物を含む商品の移出入に伴う GHG 排出は、生産者責任法に基づく場合と比較してどうなるのだろうか。平成 17 年北海道地域産業連関表では、移入額（82,600 億円）が移出額（69,250 億円）をかなり上回るの²、消費者責任法のほうが生産者責任法による GHG 排出量よりも多くなるのではないかと想定される。図 1 は、北海道の移出入額の大きいものを産業別に示した。ネット（差し引き）で移出の多いのは農林水産業、飲食料、パルプ類が多いことがわかる。

図 1 北海道の主な産業の移出入 (H17 北海道産業連関表より)



前記の例は、国内の話なので大きな問題にはなっていないが、これが国際貿易上の問題となると簡単にはいかない。GHGの国際取り決めである京都議定書では、生産者責任法によっているため、地理的にその国で排出したGHGを当該国がIPCCに報告することになっている。しかし、最近、カーボンリーケージ（炭素の漏れ）が大きな問題となっており、最終消費責任法に基づく算定方法が注目を浴びている。

カーボンリーケージとは、先進国が自国のGHG排出量を減らすため、排出原単位の大きい鉄鋼やセメントなどの製造業を、削減義務のない途上国に移動させ、先進国自身のGHG排出量は減少させるものの途上国からの排出量は増加し世界的にはGHG排出量は少しも減少しないことをいう。このように生産者責任論に基づくGHG算定方法は、計測は容易ではあるが、カーボンリーケージを発生させる不都合な算定手法であることから、最終消費責任論に基づく算定方法が注目されている。

簡単な例を表2に示す。今、生産者責任法で算定した場合、CO₂を20億t排出している先進国Aと10億t排出している途上国Bがある。京都議定書に加入しているA国は排出量を減らすため輸入で8億t相当を輸入している。

表2 生産者責任法と消費者責任法に基づく排出責任 百万t-CO₂

国名	国内排出 (生産者責任)	うち輸出分	輸入分	消費者責任
先進国A	2,000	-200	800	2,600
途上国B	1,000	-800	200	400

B国はA国に輸出する製品を生産するのに国内で8億tのCO₂を排出している。一方、A国も同様に、輸出品を生産するために2億tのCO₂を排出している。この場合、消費者責任法に基づいて算定すると、先進国Aは26億t、途上国Bは4億tとなる。先進国Aの排出量は生産者責任法より6億tの増加となる。

国立環境研究所の南斉氏は、最終消費責任基準に基づき、日本の貿易に伴うGHG排出量の収支を算定している³。それによると、最終消費責任基準に基づく日本の国内最終需要により国内外で発生するGHGは、家計消費からの直接排出を含めて1,702Mt-CO₂eqとされている。一方、生産者責任基準排出量は1,419Mt-CO₂eqで最終消費責任基準のほうが283Mt-CO₂eq多い。消費者責任基準排出量のうち、国外排出量が569Mt-CO₂eqを占めている。主な国外排出誘発分野は、石油製品（国内で使用する石油製品における海外におけるGHG誘発分）、一般飲食店、非住宅建築、医療、衣服類などとされている。

同氏によれば、日本のように消費者責任基準の排出量が多い国は、輸入による国外排出が輸出による国内排出を上回っており、国際貿易の表現を借りれば“貿易赤字国”の状況であり、今後こうした貿易に伴うGHG排出に貨幣価値がつけば、国の負債に直結するとし、炭素貿易赤字の解消には、生産者責任基準と消費者責任基準の排出量の均衡が条件であるとしている。

3. 農業農村整備のLCAにおける排出責任

当部会が検討してきた農業農村整備のLCA（以下、NN-LCA）では、農業農村整備事業を整備した場合と整備しない場合のGHGの比較を行っているが、これは、事業の整備段階、施設の維持管理段階、営農段階などの各区分に従って積み上げてGHG排出量を算定している。（表3）

表3 NN-LCAにおける直接・間接の排出者

	直接排出者	間接排出者
整備段階の燃料消費	建設会社等	NN事業
整備段階の使用資材	メーカー等	NN事業
維持管理の燃料消費	土地改良区	NN事業
維持管理の使用資材	メーカー等	NN事業
営農時の燃料消費	農業者	NN事業
営農時の使用資材	メーカー等	NN事業
営農時の水田メタン	水田	NN事業

これは、事業実施主体の排出責任をより広く把握した結果と言える。一方、直接排出者を特定することも可能である。

このようにLCAでは、直接排出にも間接排出にも対応でき、関連する全ての環境影響を総合的に算定できるというメリットがある。

参考文献

- 1 北海道経済産業局：平成17年北海道地域産業連関表について 平成22年4月5日
<http://www.hkd.meti.go.jp/hoksr/h17renkan/h17list80.xls>
- 2 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス：日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2009年度確定値）
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2011/L5-6gas_2011-gioweb_J1.0.xls
- 3 南斉規介ほか：消費者責任論から見た日本のグローバルGHG排出量 第6回日本LCA学会研究発表会講演要旨集 2011年3月
http://www.jstage.jst.go.jp/article/ilcaj/2010/0/175/_pdf/-char/ja/