

# 地球温暖化対策検討部会だより



地球温暖化対策検討部会では、発足当初から農業農村整備による温室効果ガスの収支について定量的に把握するため調査を行うとともに、温暖化緩和策の検討を行っています。本号は、昨年度、調査を委託した（財）北海道農業近代化技術研究センターの業務担当者である高木優次氏に、業務内容の温室効果ガス排出量評価について寄稿していただきました。

## 農業農村整備に係る温室効果ガス排出量評価の取組

### 取組の概要

近年、地球温暖化が環境や農業等社会に与える影響が懸念されています。このため、地球温暖化の原因とされる温室効果ガス<sup>注1</sup>（以下、GHGという。）の排出量削減の取組が重要となっています。

農業農村整備の分野でも地球温暖化への影響を考慮し LCA<sup>注2</sup>手法により、水田のほ場整備をモデルに GHG 排出量を新たな視点で評価する試みが平成 20 年度から北海道農政部にある地球温暖化対策検討部会で実施されています。

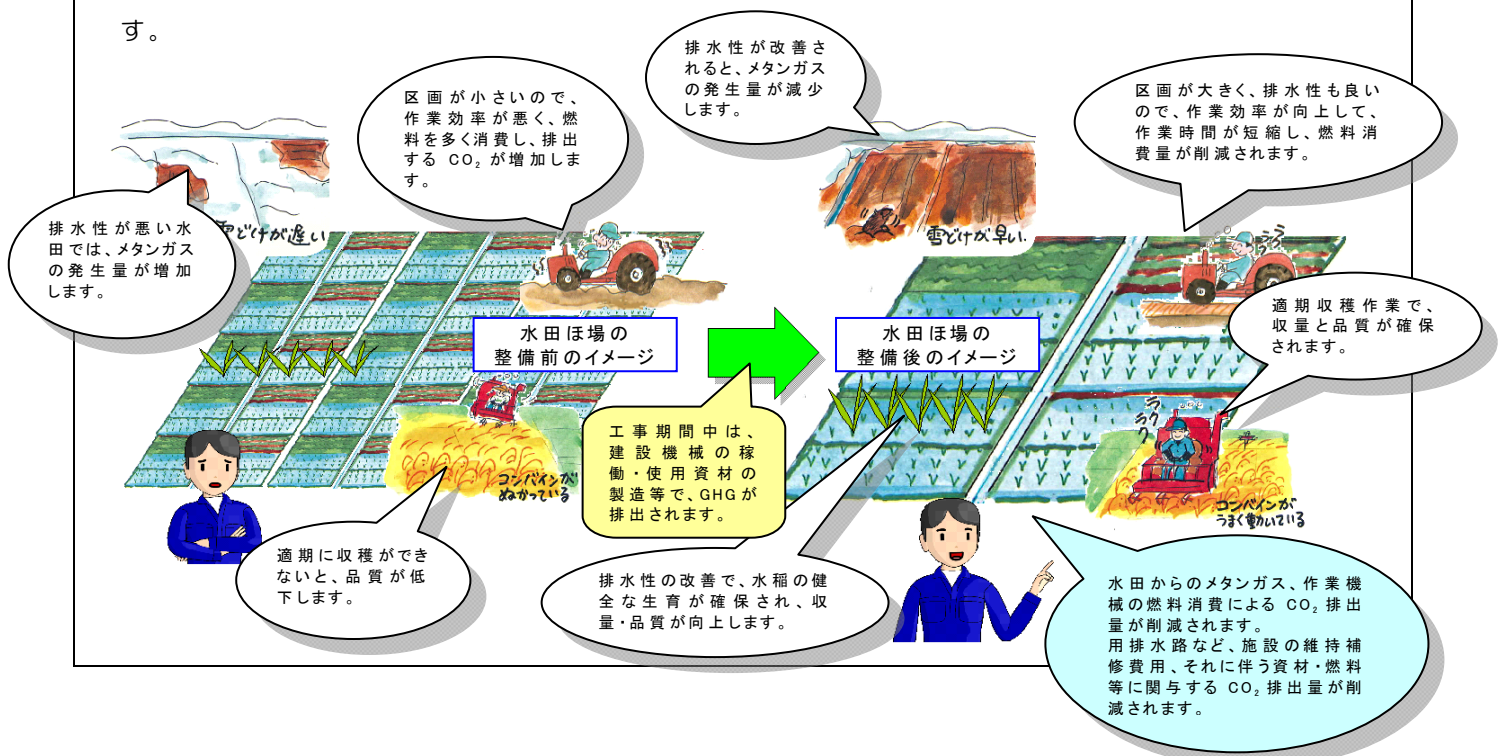
この部会の活動の一つとして農業農村整備事業 LCA マニュアル<sup>注3</sup>（以下、マニュアルという。）策定があり、（財）北海道農業近代化技術研究センターが本策定業務に関わっているところです。

マニュアルの策定目的は、計画担当者が事業計画段階において GHG 排出量の算定を容易に行えることや事業実施担当者が施工方法を考えるうえで GHG 排出量を抑制した工法の選択を行うなど地球温暖化対策に配慮した実務を行うためとしています。

本報告では、マニュアルの構成項目の内、農業農村整備事業における工種や工法毎の GHG 排出量の原単位（ha 当りや直接工事費当りの CO<sub>2</sub> 排出量など）について紹介します。

### 農業農村整備事業における整備効果と温室効果ガス削減の関係

農業農村整備事業における整備効果と温室効果ガス削減のイメージを下図に整理しています。



整備後の水田ほ場では、排水性の改善による作物の健全な生育の確保、適期収穫作業による収量・品質の安定、区画の大規模化・排水性の改善などによる農作業効率の向上などが図られます。また、用排水施設においては、整備後の維持管理作業が、これまでの老朽化した施設の維持管理に比べ大きく減少し、維持補修に関わる資材、燃料の消費が削減されます。

このことから、P1のイメージ図のように、農業農村整備事業における水田のほ場整備では、整地工・暗渠排水・用排水施設の整備などの工事によって、一時的にGHG排出量が増大するものの、長期にわたって営農による農作業機械や水利施設の維持補修にかかるCO<sub>2</sub>排出量のほか、水田からのメタンガス排出量の削減が期待されます。

## 農業農村整備事業における温室効果ガスの排出

### 1 農業農村整備工事における工種別 GHG 排出量

農業農村整備の工事におけるGHG排出量を、A地区をモデルに整地、道路、用水路、排水路、暗渠排水の5工種に区分し算定しました。

GHGの主な排出源は、整地ではブルドーザの燃料である軽油が**69%**、道路では砂利・採石の製造段階の排出が**69%**、用水路・排水路ではトラフなどのセメント製品の製造段階の排出が**54%**、暗渠排水ではプラスチック板・管・棒の製作で**61%**となることから、農業農村整備工事関係の工種別GHG排出割合（図1）からわかります。

これらのGHGの排出源である軽油、資材などを、従来の整備機能を維持しながら工法・使用資材の変更などにより、排出量の少ないものに変更することが可能であれば、工事におけるGHG排出量の削減につながります。

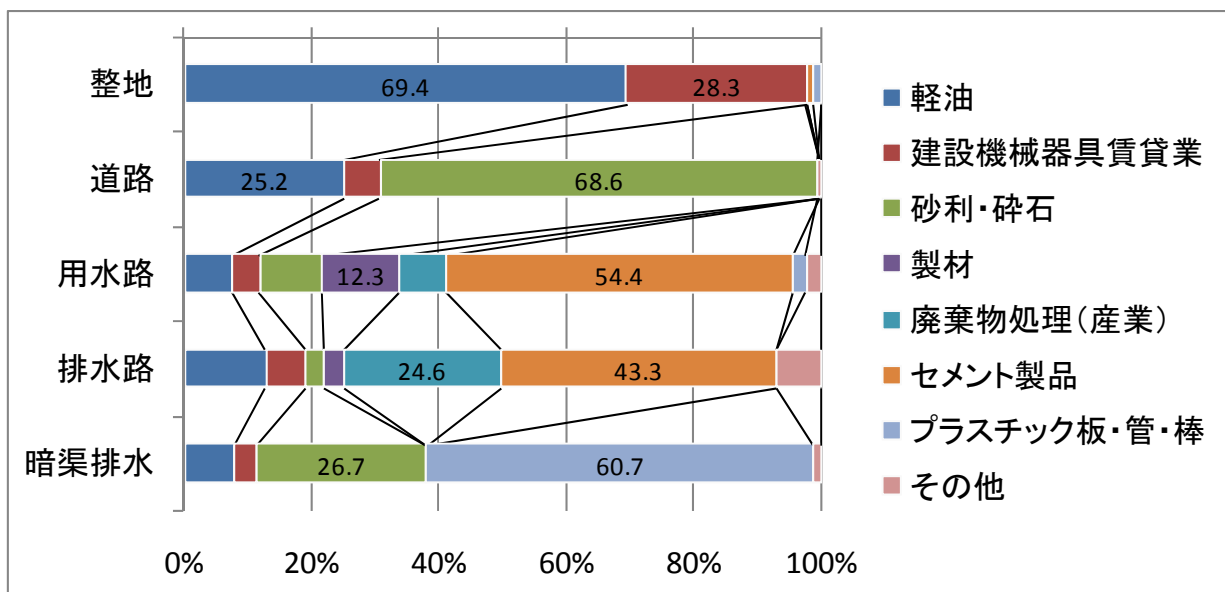


図1 農業農村整備工事関係の工種別 GHG 排出割合（A地区の事例）

### 2 工種別の直接工事費当り GHG 排出量の原単位

前述の工種別のGHG排出量は、工事費用を積算するための設計書をもとに、資材・燃料等を集計して算定しました。この手法は、その都度、設計書を紐解く必要があり、時間と労力がかかります。そのため、容易にGHG排出量を算定できる手法として、各工種の直接工事費とGHG排出量の相関を調べたところ、有意な結果となりました。このことにより精度は多少落ちるものの、工種別の直接工事費からGHG排出量を算定することも可能であり、事業実施による環境負荷の目安を容易に

把握することができるようになりました。

ここでの検討には、空知総合振興局管内の実施地区（4 地区）と上川総合振興局管内の実施地区（1 地区）のデータを用いて算定しました。GHG 排出量は、設計書の各燃料資材の金額に LCA 指針の金額時の GHG 原単位を乗じて算定しました。

結果を図 2 から図 6 に示します。用水路では、管路と開水路で差がありました（図 3）。暗渠排水では、管種・疎水材・施工方法・配線方法の違いによる差があるため決定係数は少し小さくなっていきます。このように、使用資材、施工方法による原単位の検討、実態の把握が重要であることがわかります。

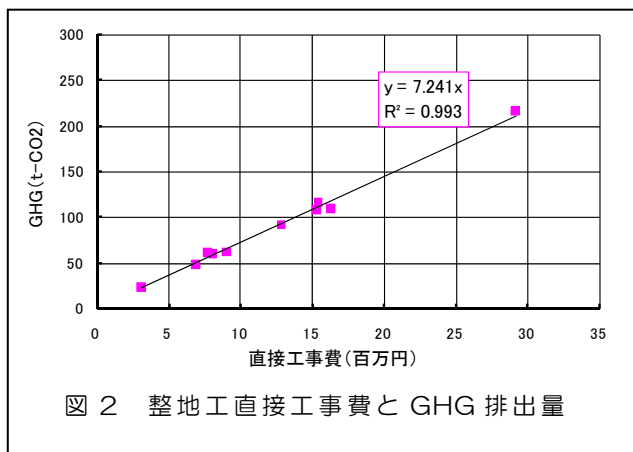


図 2 整地工直接工事費と GHG 排出量

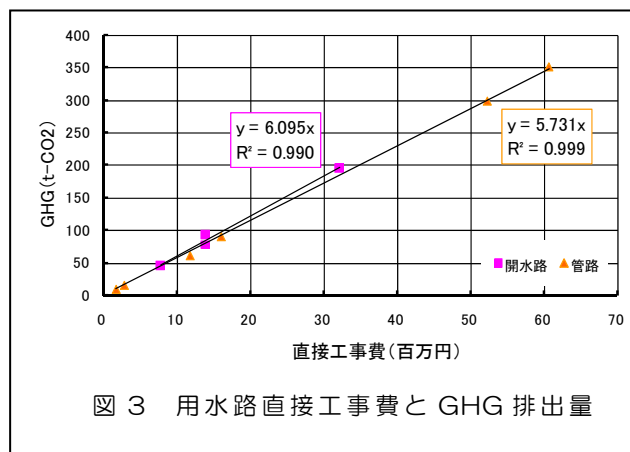


図 3 用水路直接工事費と GHG 排出量

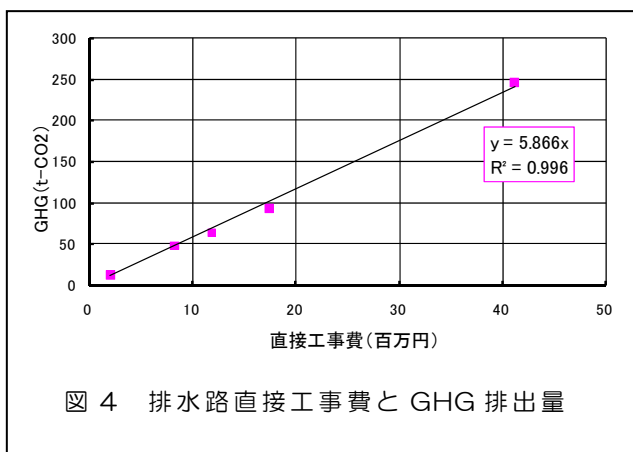


図 4 排水路直接工事費と GHG 排出量

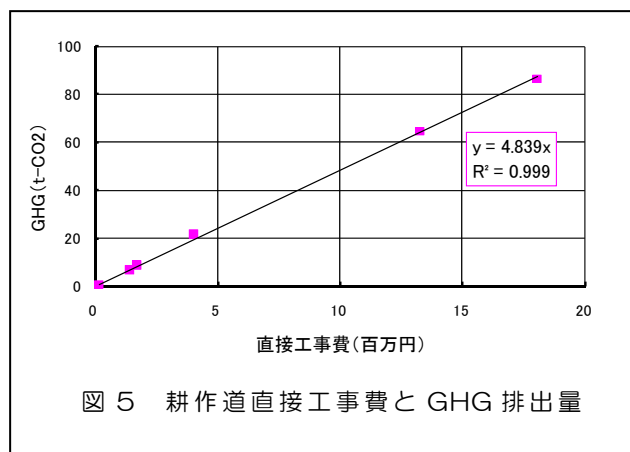


図 5 耕作道直接工事費と GHG 排出量

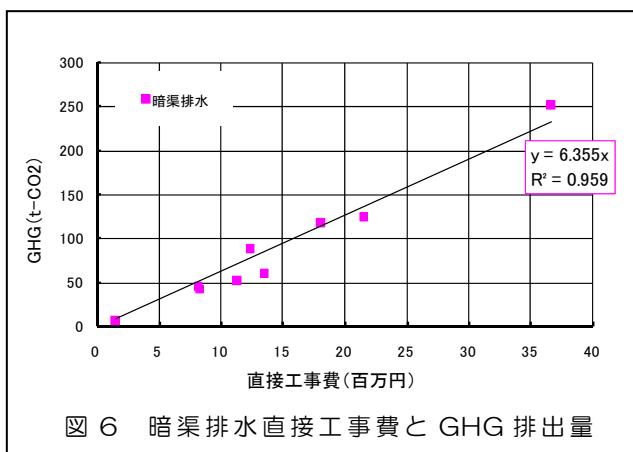


図 6 暗渠排水直接工事費と GHG 排出量

## 整地工・暗渠排水工 施工時の燃料消費量の事例

整地工では、GHGの大部分が燃料（軽油）からの排出であり、これを削減することが重要であることから、平成 22 年度は、水田ほ場整備における整地工のほか、参考として暗渠排水で消費される燃料（軽油）の量を調査しました。

なお、整地工では、反転均平工法と標準ブル工法を対象として、「畦畔撤去・仕上・築立」は集計から控除し、暗渠排水では、ほ場内作業分（掘削、資材運搬・敷設、疎水材ほ場内運搬・投入、埋戻し）を対象として調査しました。

### 1 整地工

工事 1ha 当たりの燃料消費量は、標準ブル工法（2,566 ㍓/ha）に対し、反転均平工法（444 ㍓/ha）は 2,112 ㍓/ha 少なく（▲83%）、GHG 排出量に換算すると 6.4t-CO<sub>2</sub>/ha 削減されることとなります（図 7）。これは、米生産費調査に基づいた CO<sub>2</sub> 排出量では、1ha 当たり約 3.5t-CO<sub>2</sub>/ha・年と試算（部会だより第 7 号コラムから引用）されていることから、1 年間の米生産に係る CO<sub>2</sub> の排出量以上に相当します。

また、調査対象ほ場では田差（≒切盛土量）に差があるので、土量 1m<sup>3</sup> 当たりで試算すると、反転均平工法の削減率は 78%となることがわかりました。

このように、反転均平工法は、地球環境にもやさしい工法であるといえます。適応条件を満たす場合には、反転均平工法を選定すると良いでしょう。

### 2 暗渠排水

暗渠排水は、配線形状、管材、疎水材のタイプが多様です。

配線方式がフォーク型の場合、一方向での工事延長が長くなるため施工効率が高く、作業時間、消費燃料が少ない傾向があり、また、疎水材はモミガラの場合、ピリ砂利に比べ施工機械の作業時間、燃料消費は少なく、人力が多くなる傾向があります。整地工に比べると、燃料消費量・GHG 排出量が少ないことがわかります（図 8）。

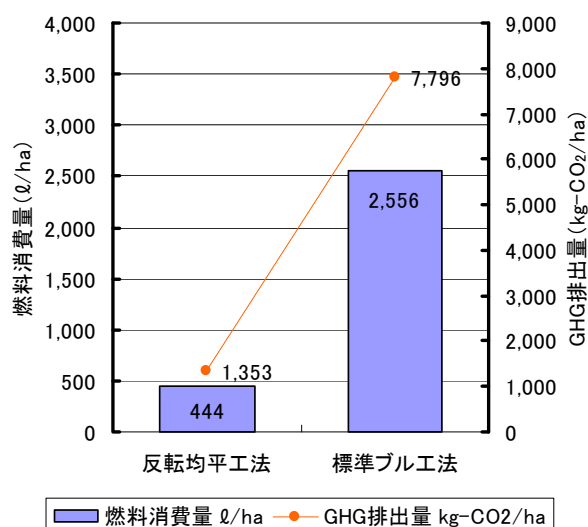


図 7 整地工における消費燃料・GHG 排出量

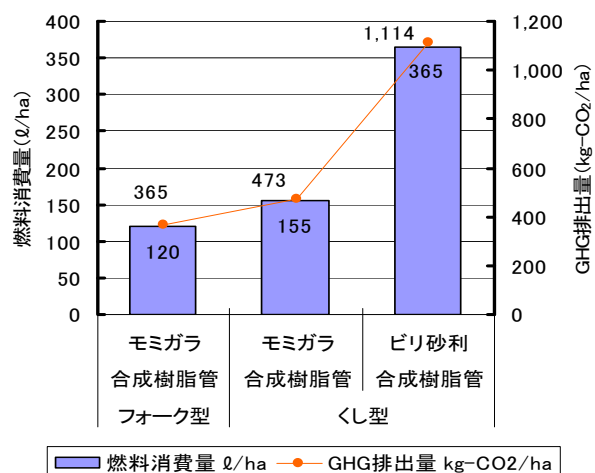


図 8 暗渠排水工における消費燃料・GHG 排出量

【データの取扱いについて】整地工のうち、反転均平工法は 3 ほ場分、標準ブル工法は 4 ほ場分のデータを使用しています。暗渠排水工のうち、フォーク型は 2 ほ場分、くし型モミガラは 2 ほ場分、くし型ピリ砂利は 3 ほ場分のデータを使用しています。

現段階では、サンプル数が少なく施工ほ場の面積、区画形状、整地工における切盛量等に差があるため、参考事例として捉えていただきたいと思います。今後もこのようなデータを蓄積し、工事に関する燃料消費量、GHG 排出量の評価を実施していく予定です。

#### 注記

注1) 温室効果ガス：グリーン・ハウス・ガス (Green House Gas)。大気中の二酸化炭素やメタンなどの太陽からの熱を地球に封じ込め、地球を暖める働きがあります。温室効果ガスは大気中に極微量存在しており、地球の平均気温は 15 度に保たれていますが、仮にガスがないと -18 度になってしまいます。1998 年に制定された「地球温暖化対策推進に関する法律」の中で、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、代替フロン等の 6 種類のガスが温室効果ガスとして定められました。(宮崎県 温暖化防止情報から引用)

注2) LCA：ライフサイクル・アセスメント (Lifecycle assessment) の略。製品を作るために必要な原料が採掘される段階から、製造、輸送、廃棄されるすべての段階 (サイクル) において、環境への影響の可能性を評価する方法。LCA は、1969 年米国のコカ・コーラがミッドウエスト研究所に依頼して実施したのが最初と言われる。(HP から引用)

注3) 農業農村整備事業 LCA マニュアル：農政部内の技術検討組織の一つとして H20 年度に地球温暖化対策検討部会が発足。活動内容により、情報収集・発信、緩和策、適応策の 3 検討分野に区分。農業農村整備事業 LCA マニュアルは、緩和策分野の活動として行われている。内容は、農業農村整備事業における温室効果ガスに関する排出量の算定手法やその軽減策、事業効果算定等についての作業方針を定めたもの。

高木優次 (財)北海道農業近代化技術研究センター 企画研究グループ技師

略 歴

2004 年 北海道大学農学研究科修了

2004 年 (財)北海道農業近代化技術研究センター勤務

水田ほ場、畑地ほ場のかんがい排水・土層改良等に関わる調査・解析、農地保全に関わる調査・解析業務を担当。

日本土壌肥料学会 (2010) で、『LCA 手法による圃場整備に関わる温室効果ガス発生量の評価』をポスター発表。

◇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

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いたします。今回は「**発電コストを考える**」をお届けします。

## 1. はじめに

“白い雲 友の行方を知らないか”

朝日新聞に掲載された宮城の方の句である。今回の震災・津波で行方不明になった友人の行方を探し回り、精も根も尽き果てたのだろう。ふと上空の雲は友の行方を知っているのではと問うた句である。思わず号泣してしまった。

子供の頃から、地震や津波の恐ろしさについては父母から聞かされて育った。祖母の兄弟が昭和三陸大津波（1933年）の時に電柱に登って九死に一生を得たことや、田老町（現宮古市）の津波防波堤は、どんな津波が来ても大丈夫だと自負していたことなどを。

2万人以上の死者・行方不明者を出している東日本大震災は、想像を絶する大津波や原発事故による放射能汚染の拡大などで収拾の目処さえ立っていない。岩手出身の私は、連日報道される震災報道を身が震える思いで聞いている。実家は海岸から30kmほど離れた山村のため、被害は地震による軽微なものだったが、ふるさと岩手の被害の大きさと復興の困難さを考えると、何が出来るのか自問自答している毎日である。

今回の震災を巡る議論の中で、福島第一原発の事故とその後の放射能による汚染は、国内はもちろんのこと世界にも大きな影響を与えている。原子力発電はこれまで、我が国の電気エネルギーの供給や地球温暖化対策を考える上で中核的技術と考えられてきたが、今回の事故の深刻さを踏まえて国民的議論が巻き起こりそうな気配である。

昨年の温暖化部会だより第8号のコラムで発電に伴うCO<sub>2</sub>排出量のことを書いたが、その中で原子力発電は火力発電と比較してCO<sub>2</sub>排出量が少ないことを紹介するとともに「原子力発電は、放射性廃棄物の処理や放射能事故の恐怖など様々なリスクも指摘されている。また電源別の発電コストの検討も必要である。これらも含めた総合的な検討が求められる。」と記述した。

そこで、今回は、この震災で大きな注目を集めている、原子力をはじめとした発電のコストについて触れてみたい。

## 2. エネルギー白書の電源別発電コスト

発電コストで良く引用されるのが、2004年の総合資源エネルギー調査会の試算である。2008年のエネルギー白書にも引用されている（以下、政府試算という）。政府試算は、原発のバックエンド費用（使用済み燃料の再処理、放射性廃棄物処理、廃炉費用等）を原子力発電のコストに含めて他電源とのコスト比較を行ったものである。発電原価は、資本費・燃料費・運転維持費の合計を期間中の発電電力量で除して算出している。資本費は、電源別の各モデルプラントにおける減価償却費、固定資産税、水利使用量（水力）、廃炉費用（原子力）などの合計。燃料費は単位燃料価格に必要な燃料量に乗じた値、運転維持費は各電源別の修繕費、諸費、給料手当、事業税等である。モデルプラントの運転年数は、40年と法定耐用年数（火力15年、原子力16年、水力40年）の二通りで試算を行っている。また設備利用率は原子力発電との比較の観点から、70%、80%の試算を全電源種について行うとともに各電源種の実績等を踏まえた試算を行っている。この他、為替レート、燃料価格、燃料価格上昇率を仮定、また将来費用を現在価値に換算する割引率は0%、1%、2%、3%、4%を想定して試算している。結果の一部を表1に示した。

表1の運転年数は全電源とも40年で算定している。設備利用率が高く、割引率が小さいほど発電単価が安くなっている。試算条件により、発電単価は異なるものの、原子力、石炭、LNGが比較的安価で水力、石油、風力が高価となっている。また太陽光発電は非常に高価となっているが、現在ではこのコストは半分程度になっていると言われている。

表1 発電方式別の発電原価試算結果  
（1kWh当たりの発電費用）

発電方式	発電単価 （円/kWh）	設備利用率 （%）
水力	8.2～13.3	45
石油	10.0～17.3	30～80
LNG	5.8～7.1	60～80
石炭	5.0～6.5	70～80
原子力	4.8～6.2	70～85
太陽光	46	12
風力	10～14	20

注) 設備利用率(%) = 1年間の発電電力量 / (定格出力 × 1年間の時間数) × 100%

## 3. 大島教授の電源別発電コスト

政府試算に対し、立命館大学の大島堅一教授は、原子力発電のコストが安いというのはごまかしがあると主張している。大島教授は、原子力発電のコストは、発電費用とバックエンド費用に加えて政府の財政支出、事故に伴う被害費用の合計で構成されるべきだと主張する（以下、大島試算という）。大島試算では、政府試算の問題は実績ではなく仮定に基づいたモデリングで、それぞれの電源のコストを想定してはじき出した数字のため信用出来ないとし、電力会社自身の有価証券報告書をもとに計算しているのが第一の特徴である（表2）。

これによると、原子力発電は期間通算（1970年～2007年）で8.64円/kWh

表2 電源ごとの発電単価

単位：円/kWh

	原子力	火力	水力	一般水力	揚水	原子力+揚水
1970年代	8.85	7.11	3.56	2.72	40.83	11.55
1980年代	10.98	13.67	7.80	4.42	81.57	12.90
1990年代	8.61	9.39	9.32	4.77	50.02	10.07
2000年代	7.29	8.90	7.81	3.47	41.81	8.44
1970-2007	8.64	9.80	7.08	3.88	51.87	10.13

注：電力各社の「有価証券報告書」を基礎に算定。

と、政府試算と比較して大幅にコストアップする。また、火力、水力と比較してもコストの乖離は大きくない。

大島試算の第2の特徴は、水力を一般水力と揚水発電に区分し、揚水と原子力をセットで考えていることである。揚水発電とは電気の余る夜間の電力で水をくみ上げて上部調整池に水をためておき、需要の多い昼間に落水して発電する方式である。原発は常に一定の出力で発電するため夜間に電気が余る。揚水発電はその有効活用策である。従って原子力発電とセットでコストを考えるのが妥当であるというのが大島教授の主張である。「原子力+揚水」のコストは期間通算で10.13 円/kwh と、他の発電方式と比較して最も高価となっている。また、揚水を除いた一般水力のコストが3.88 円/kwh と最も安価となっていることも明らかになっている。

大島試算の第3の特徴は、政府の財政支出を発電コストに含めていることである。原発は、政府からの資金投入をたくさん受けている。この資金投入を発電量当たりの支出として算定すると、「原子力+揚水」が2.1 円/kwh、火力が0.1 円/kwh、水力が0.2 円/kwh となっており、圧倒的に原子力に関する支出が多い。有価証券報告書からの実績値と政府支出の合計をもとに計算した発電コストを表3に示した。「原子力+揚水」発電は、期間通算では、12.23 円/kwh と最もコストが高くなっている。

表3 電源別の単価(総合)

	単位: 円/kWh					
	原子力	火力	水力	一般水力	揚水	原子力+揚水
1970年代	13.57	7.14	3.58	2.74	41.20	16.40
1980年代	13.61	13.76	7.99	4.53	83.44	15.60
1990年代	10.48	9.51	9.61	4.93	51.47	12.01
2000年代	8.93	9.02	7.52	3.59	42.79	10.11
1970-2007	10.68	9.90	7.26	3.98	53.14	12.23

注: 電力各社の『有価証券報告書』及び政府支出を基礎に算定。

大島氏は、政府試算について、原子力特有のバックエンド費用(使用済み燃料の再処理等)が含まれていること、そして実際に電気料金からも徴収されていること(平均的な世帯で2007年度には1月当たり240円)は評価しているものの、この金額は極めて過小評価であるとしている。例えばバックエンド費用で最も大きな割合を占める使用済み燃料再処理費用の算定では(バックエンド費用18.8兆円のうち

11兆円)稼働率は常に100%として計算されている(フランスのAREVA社の2007年の実績は56%)が、六ヶ所村再処理工場は日本の原発から出てくる使用済み核燃料の半分しか再処理出来ない規模の施設である。従って、例えば稼働率を50%に見積もり、再処理工場がもう一箇所必要と考えたと、それだけでも再処理費用は政府試算の11兆円の4倍の44兆円必要になる。大島教授自身は、バックエンドコストの試算は行っていないが、週刊東洋経済誌(2011.6.11)は、バックエンド費用合計は、政府推計の18.8兆円の約3.9倍の74兆円になるとしている。これを1kwhに換算すると、バックエンドコストは政府試算の1.23円/kwhから4.92円/kwh(割引率0%)と3.69円/kwh増加することとなり、更に高価となる。

#### 4. フルコストの試算が必要

それぞれの推計の正確性には、いずれの方法についても議論があるかもしれない。政府試算は、比較的新しいモデルプラントを対象にしたものであるため、大規模な修繕が必要となる古いプラントの場合には適合しない可能性がある。一方、大島試算は、有価証券報告書の実績値ではあるが、その場合でも評価範囲などで何らかの標準化は避けられない。例えば、揚水発電と原子力発電をセットで評価することについては異論があるかもしれない。また今後のエネルギー政策を検討するためには、過去のコストを比較するよりも今後のコストの比較が重要となる。発電コストの比較で最も重要なのは、発電に伴うフルコストを推計することである。例えば、今回の福島原発の事故による賠償金は数兆円になると言われているが、このコストは今回の試算には含まれていない。また放射線による生態系などの環境破壊の被害費用なども含まれていない。何れにしても、原子力発電は、今後の被害費用や安全対策費用の増加によって大幅なコスト増加は避けられないと思われる。

一方、火力発電はCO<sub>2</sub>を排出して地球環境に大きな悪影響を与えるため、発生する被害費用や温暖化対策の費用を考慮して発電コストを考えるべきであるが本試算には含まれていない。試みに温暖化促進の費用を試算してみよう。

電力中央研究所によると、石炭火力発電に伴って直接排出されるCO<sub>2</sub>量は、わが国の平均的な発電所で1kwh当たり0.864kgである。また、CO<sub>2</sub>の価格は排出権取引価格の1t-CO<sub>2</sub>当たり1500円程度から、限界削減費用の計算などで使用されている5万円/t-CO<sub>2</sub>程度まで非常に幅があるが、これを発電のコストに上乗せすると、1kwh当たり1.3円~43.2円になる。政府によると、石炭火力の発電コストは5.0円~6.5円/kwh程度、大島試算でも10円/kwh程度であるので、CO<sub>2</sub>排出による被害費用(又は対策費用)を上乗せすると、1kwhを発電するためのコストは増加することとなる。一方、風力や太陽光のような自然エネルギーは、比較的環境への影響は少ないと考えられる。

このようにフルコストの試算は容易ではないが、試算を精緻化することにより、比較が可能となり国民的議論に貢献できることを期待したい。

エネルギー白書2008: 経済産業省資源エネルギー庁

<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2008/index.htm>

コスト等検討小委員会から電気事業分科会への報告: 電気事業分科会コスト等検討小委員会

<http://www.enecho.meti.go.jp/denkihp/bunkakai/cost/cost-houkoku.pdf>

原発の本当のコスト: 大島堅一

[http://www.foejapan.org/infomation/news/110419\\_o.pdf](http://www.foejapan.org/infomation/news/110419_o.pdf)

日本の発電技術のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量評価: 中央電力研究所

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y09027.html>