Original Paper

Environmental effects associated with the use of waste biomass: A Case Study of the Miura Biomass Center

Masahiro TSURUGAI*¹, Aya HEIHO*¹, Yuki KUDOH*^{2*3}, Hiroki HONDO*²

(Received February 14, 2013)

廃棄物系バイオマスの利活用に伴う環境影響

—三浦バイオマスセンターを事例として—

鶴谷昌洋*¹, 兵法 彩*¹, 工藤祐揮*^{2*3}, 本藤祐樹*²

Efforts to make effective use of biomass resources on a regional basis have been promoted in Japan. Although it is expected that these efforts have positive influences on environment and socio-economic aspects, the sound methodologies to evaluate the impacts in objective manners are yet to be proposed. In addition, in terms of the projects utilizing waste biomass, which is general case in Japan, the characteristics of waste biomass should be taken into consideration of the evaluation methodology. This study aims at providing methodology to evaluate environmental impacts suitable for waste biomass projects. Fossil fuel consumption, GHG emissions and final waste volume are chosen as environmental indices and their estimation methodologies are proposed based on input-output tables. The methodology proposed is applied to the waste biomass project at Miura Prefecture as a case study. The results reveal that the project has positive effects on all the indices. In addition, a scenario analysis is carried out to evaluate GHG emissions associated with the waste treatment of unused amount of fertilizer that is produced from the target project, whose result indicates that emissions by incineration of surplus fertilizer does not affect to the total GHG reduction of the project.

全国的に地域単位でバイオマス資源を有効利用する取組が推進されており、地球温暖化の防止や廃棄物の削減、さらに社会経済への効果が期待されている。一方で、これらの事業実施に伴う影響や効果が的確に把握されておらず、客観的・定量的に明らかにすることが課題とされている。その取り組みの一例として、既往の研究では、サトウキビ廃糖蜜を用いた地域単位のバイオマス事業の環境・社会経済への効果影響の分析・評価する方法論を提示している。しかし、国内のバイオマス利活用は廃棄物系バイオマスが中心であることから、廃棄物系バイオマス事業に適した評価手法についても検討する必要がある。

本研究では、廃棄物系バイオマス利用による影響の中で特に環境面に着目し、廃棄物系バイオマスに適した環境影響評価方法を提案することを目標とした。化石燃料消費量、GHG排出量及び廃棄物最終処分量を環境面の評価指標として設定し、評価手法として積み上げ法と産業連関法のハイブリッド法を使用するとともに、廃棄物埋立処分量の推計には、既往研究で用いられていなかった廃棄物産業連関表を使用した。また提案した評価手法を用い、神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマス事業をケーススタディとして実施した。その結果、対象事業は特に廃棄物最終処分量に削減の効果があり、また化石燃料消費量、GHG排出量でも削減の効果があることを明らかにした。また、ケーススタディ対象事業で課題となっている、生産される肥料の利用率に対するシナリオ分析を実施した結果、肥料の利用率にかかわらず、GHG排出量は削減されることが明らかとなった。

Key Words

Waste biomass, Environmental impact, GHG emissions, Final waste volume, Input-output table

- * 1 Graduate School of Environment and Information Sciences,
Yokohama National University
79-7, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
240-8501, Japan
- * 2 Graduate School of Environment and Information Sciences,
Yokohama National University
79-7, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
240-8501, Japan
- * 3 Research Institute of Science for Safety and Sustainability,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
16-1, Onogawa, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8569, Japan

- * 1 横浜国立大学大学院環境情報学府
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7
- * 2 横浜国立大学大学院環境情報研究院
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7
- * 3 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門
〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1

1. はじめに

わが国ではバイオマス・ニッポン総合戦略¹⁾やバイオマス活用推進基本計画²⁾により、地域単位でバイオマス資源を有効利用する事業が増加してきている³⁾。これらの事業実施は、地球温暖化対策や化石燃料消費量の削減だけでなく、新規事業やそれに伴う雇用の創出など、社会経済にも様々な効果を与えることが期待されている。またわが国のバイオマス資源として幅広い利用が進められている廃棄物系バイオマスについては、これらに加えて廃棄物最終処分量削減にも貢献することが期待されている。しかし、これらの施策では、効果や影響の評価指標、推計方法、並びに数値目標が規定されていないため、事業者が事業実施による効果や影響を事業実施前の計画段階で把握し、事業実施の判断を検討することが容易ではないという課題が指摘されてきた⁴⁾。

これらの課題に対応するため、バイオマス事業実施による効果を分析・評価する様々な研究がこれまでに実施されてきた^{5)~13)}。これらの研究の多くは、環境影響を定量化する指標として温室効果ガス (GHG) 排出量、あるいは二酸化炭素 (CO₂) 排出量が採用されているが、その算出にあたってはバイオマス事業実施に伴うエネルギー消費由来の影響のみを対象としているものが多く、設備機器の製造、建設、事業で用いる消耗品の製造など、事業のライフサイクル全体にわたる包括的な評価が十分に行われていないと言っても過言ではない。

バイオマス事業のライフサイクル全体での評価を行うために、菊地ら¹⁴⁾は地域単位のバイオマス利活用による影響をGHG排出量、化石燃料消費量、雇用量の面から評価する手法を提示し、沖縄県宮古島市におけるサトウキビ廃糖蜜を用いたバイオエタノール実証事業に適用し、その効果や影響を定量的に評価している。この評価手法はわが国で実施されているその他のバイオマス事業にも適用できるが、わが国のバイオマス事業の資源として一般的な廃棄物系バイオマスを利用する場合には、既存の廃棄物処理方法に対するエネルギー利用の効果や、廃棄物埋立処分量に与える影響を考慮する必要がある。

そこで本研究では菊地らの研究で提示された評価手法に基づき、廃棄物系バイオマス事業の評価に適した実際的な手法を提案することを目的とした。具体的には、環境面の評価指標として採用されているGHG排出量、化石燃料消費量に加え、廃棄物埋立処分量をライフサイクルの観点から評価対象に含めた。また提示した評価手法を用いて、神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマス事業のケーススタディを実施した。

2. 評価手法

本研究では、GHG排出量、化石燃料消費量は菊地ら¹⁴⁾と同様のハイブリッド法を、また廃棄物埋立処分量は廃棄物産業連関法¹⁵⁾を用いたハイブリッド法により評価した。

2.1 ハイブリッド法

ライフサイクル全体での環境負荷を定量化するライフサイクルインベントリ (LCI) 分析で用いられる手法は、主に積み

上げ法と産業連関法に大別される。積み上げ法とは、分析対象製品などの全ライフサイクルの生産、使用、廃棄などの各プロセスの環境負荷の入出力を算出し、合算することで全体的な入出力を求める手法である。積み上げ法は各プロセスの項目別に環境負荷を推計するため詳細に分析を行うことができるが、各プロセスの間接的・波及的な影響を推計するためには多大な労力が必要となる。

産業連関法は国内の経済の流れを一つの行列形式で表現した産業連関表を用いるものであり、経済活動に伴う直接間接の影響を容易にかつ網羅的に把握することができる。その一方で、経済活動に含まれない影響の分析ができないことや、部門数が限定され、部門ごとの平均値を用いていることから推計誤差が生じることが指摘されている。

このように、これら二つの手法は一長一短であるが、推計誤差が大きくなり得るプロセスには積み上げ法を、それ以外のプロセスには産業連関法を用いることで、推計誤差を小さくし、かつ分析に要する労力も少なくするという、両手法の長所を組み合わせた推計手法がハイブリッド法である。

本研究では、ハイブリッド法を用いたLCI分析を用いた環境影響評価を行った。以下に、本研究で採用した産業連関表、積み上げ法の分析方法を示す。

2.1.1 産業連関法

GHG排出量と化石燃料消費量の推計は、公表されている産業連関表の最新版である2005年産業連関表¹⁶⁾の生産者価格表を用いて推計する。推計方法は式(1)に示すように、レオンチェフ逆行列を用いて算出した生産額に各影響の直接係数 (GHG排出係数、化石燃料消費係数) を乗じて直接・間接の各影響を求める。

$$E = e^T(I-A)^{-1}f \quad (1)$$

ここで E : 各影響 (GHG 排出量, 化石燃料消費量), e : 直接係数ベクトル, I : 単位行列, A : 2005 年産業連関表における投入係数行列, f : 最終需要ベクトル, T : 転置である。

式(1)の最終需要ベクトル (最終需要額), すなわち各プロセスの財・サービスの投入産出金額は、主にヒアリングと現地調査で得られた値を用いる。

本研究では産業連関表の生産者価格表を用いているが、ヒアリングなどで得られる価格は商業・運輸マージンを含んだ購入者価格であり、また購入年が必ずしも2005年とは限らない。そこで、得られた購入者価格のデータをGDPデフレーター¹⁷⁾を用いて2005年の価格に換算し、商業・運輸マージン率を用いて購入者価格を生産者価格に変換する。なお、その変換と同時に算出される商業・運輸マージンもそれぞれ最終需要額として式(1)に与える。

推計に用いる直接GHG排出係数は、産業連関表に基づく環境負荷原単位である3EID¹⁸⁾のGHG排出係数を用いた。また直接化石燃料消費係数も、3EIDの部門別エネルギー消費量の石油系、石炭系、天然ガス系原燃料種の化石燃料消費係数を用いた。

2.1.2 積み上げ法

本研究では積み上げ法を用いて、各プロセスの化石燃料消

Table 1 Heat value of energy

Heating value (Higher heating value)	
Heavy fuel oil A	40.0 GJ/kL
Diesel fuel	37.9 GJ/kL
Kerosene	36.7 GJ/kL
Gasoline	34.6 GJ/kL
Electricity	5.1 MJ/kWh

Table 2 GHG emission factors of energy

GHG factors of fuels and electricity	
Heavy fuel oil A	2.8 t-CO ₂ eq./kL
Diesel fuel	3.2 t-CO ₂ eq./kL
Kerosene	2.5 t-CO ₂ eq./kL
Gasoline	2.9 t-CO ₂ eq./kL
Electricity	0.3882 kg-CO ₂ /kWh

費（燃焼）・電力消費（発電）、廃棄物の埋立・保管により生じるメタン（CH₄）、輸送（一部は産業連関法で推計）、各プロセスから生じる直接の廃棄物埋立処分量を推計した。各プロセスに投入する財・サービスの投入産出金額は、ヒアリング・現地調査によって得られたデータを用いた。本研究で用いたGHG排出係数および各種燃料の発熱量を、それぞれTable 1, Table 2に示す。

Table 1, Table 2のGHG排出量及び化石燃料消費量については過去5年間の平均値を用いた。A重油、軽油、灯油、ガソリンの発熱量及びGHG排出係数は、2006年から2010年の日本国温室効果ガスインベントリオフィス¹⁹⁾の5年平均値を用いた。電力由来のCO₂排出量と各種燃料の発熱量は、後述のケーススタディを行うことを踏まえ、2006年から2010年までの東京電力実績値²⁰⁾に基づく5年平均値を用いて推計した。また廃棄物の保管・埋立処分由来のCH₄排出量は、文献²¹⁾の計算方法に従い推計した。

一方、輸送については改良トンキロ法²²⁾の車両・燃料種毎の燃費と、日本国温室効果ガスインベントリオフィスの排出係数を用いて推計した。また廃棄物埋立処分量は、各プロセスで生じる廃棄物埋立処分量を直接推計した。

2.2 廃棄物産業連関法

廃棄物埋立処分量の推計には、産業連関表で廃棄物発生や処理・再資源化部門を拡張した廃棄物産業連関表¹⁵⁾を用いた。この勘定モデルを用いることにより、社会経済活動や廃棄物の処理によって直接・間接的に生じる廃棄物埋立処分量は式(2)で推計できる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A_o & -A_z \\ -S G_o & I - S G_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_x \\ S f_x \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 A_o :動脈係数部門の投入係数、 A_z :動脈部門から廃棄物処理部門への投入係数、 G_o :動脈部門からの廃棄物発生係数、 G_z :廃棄物処理部門からの廃棄物発生係数行列、 X :動脈部門の生産額ベクトル、 S :廃棄物を廃棄物処理に対応させる配分行列、 Z :廃棄物処理量ベクトル、 f_w :最終需要部門か

らの廃棄物量発生量ベクトル、 f_x :最終需要ベクトルである。

式(2)の f_x に各プロセスの最終需要を、 f_w に廃棄物処理量を与えることにより、各プロセスの廃棄物埋立処分量が Z で算出される。

なお、本研究で用いた廃棄物産業連関表は、公表されている最新版である2000年版(WIO2000 version 0.06b)である。そこで2.1.1と同様に、得られた購入者価格のデータをGDPデフレータ¹⁷⁾を用いて2000年の価格に換算した上で、商業・運輸マージン率を用いて購入者価格を生産者価格に変換した。また商業・運輸マージンもそれぞれ最終需要として式(2)に与えた。

2.3 環境面の評価指標

本研究では、GHG排出量、化石燃料消費量、廃棄物埋立処分量を環境面での評価指標とした。GHG排出量は文献²³⁾に掲載されているCO₂、N₂O、CH₄、HFCs、PFCS、SF₆の100年GWP値を用い、単位はCO₂ eq.とした。化石燃料消費量は、消費される化石燃料の熱量（電力は発電に用いられる化石燃料の熱量）をGJ単位で推計し、また廃棄物埋立処分量は、廃棄物が処理された後に埋め立てられる重量をt単位で推計した。

2.4 前提条件

その他の本研究の前提条件は以下の通りである。

- (1) 事業評価の機能単位は1年とした。
- (2) 施設・設備の建設・製造による影響は、実際には建設・製造時に短期的に生じるが、本研究ではこれらの影響を施設・設備の耐用年数（15年）で一律に配分した。
- (3) 残渣や汚泥の保管や汚泥の埋立によりCH₄が発生する。通常、廃棄物は埋立・保管してから数年かけて消化されCH₄が生じるが、本研究では生じるCH₄全量を、廃棄物が埋立・保管された年に帰属させる。
- (4) バイオガスに含まれるCO₂と、バイオガスの燃焼時によるCO₂はカーボンニュートラルを想定し、排出量はゼロとした。
- (5) 輸送は、往路は積載率100%、復路は0%と仮定し改良トンキロ法²³⁾で推計した。
- (6) 施設・設備の更新、新規建設による旧施設・設備の解体・廃棄、新規建設・製造される施設・設備の耐用年数経過後の解体・廃棄については、評価範囲から除外した。
- (7) ヒアリング・現地調査によって得ることができなかったデータに関しては、統計値や先行研究の値を参照した。

3. ケーススタディ

3.1 対象地域

前章に示した評価指標を用いて、神奈川県三浦市で実施されている廃棄物系バイオマス事業のケーススタディを実施した。

三浦市は神奈川県三浦半島の先端に位置する市で、主な産業は農業、漁業、観光業である。三浦市は財政的に逼迫している中で、老朽化した尿・浄化槽汚泥処理施設である三浦市衛生センター（以下、衛生C）の建て替え、農作物残渣の

不法投棄対策、下水道汚泥の搬出・処理の県外企業への委託に伴う費用負担などの行政的な課題が存在した。

これらの課題に対処するために、2005年にバイオマスタウン構想²⁴⁾を提出し、民間会社と共に第3セクターの三浦地域資源ユーズ株式会社を2006年に設立するとともに、バイオマス事業を実施する「三浦バイオマスセンター（以下、MBC）」を建造し、2010年より操業を開始している。MBCではこれまで別々に処理が行われていた農作物残渣、水産物残渣、し尿・浄化槽汚泥、下水道汚泥を収集・処理してバイオガスと肥料を製造する。バイオガスは場内で発電・熱利用され、製造された肥料は希望者に対し無料で頒布している。

3.2 評価対象システム

本研究では、MBC事業実施により用いられる農作物残渣、水産物残渣、し尿・浄化槽汚泥、下水道汚泥を収集し処理・再資源化するまでを評価範囲とし、MBC事業の実施前後のシナリオごとの評価対象システムを設定した。

MBC事業実施前の三浦市で発生する汚泥・残渣処理システ

ムを基にしたシナリオ（以下、従来型シナリオ）の評価対象システムを、Fig. 1 に示す。

農作物残渣は各農家から市有地の共同置場（縦穴）で保管し、自然分解される。水産物残渣は市内の三崎港で発生し、県外の企業に引き取られ飼料化される。市内各地から収集されたし尿・浄化槽汚泥は衛生Cで脱水処理された後に、市内の埋立地に輸送され埋立処分される。下水道汚泥は市内の浄化センターへ下水道を通じ収集され脱水処理し、県外企業に処理を委託し肥料化される。

なお、衛生Cは老朽化が進んでおりそのまま継続しての稼働が不可能であったため、従来のシステムを継続させる場合には衛生Cの建て替えが行われると仮定した。

次に、MBC事業実施後の三浦市で発生する残渣・汚泥処理システムを基にしたシナリオ（以下、MBC事業シナリオ）の評価対象システムを、Fig. 2 に示す。

このシナリオでは、市内で発生した残渣・汚泥はMBCに輸送され、前処理された後に嫌気性発酵によりバイオガスを製造する。このバイオガスは、MBC内でガス発電・ボイラー用

Fig. 1 System boundary of conventional scenario

Fig. 2 System boundary of MBC scenario

Table 3 Functional units of conventional and MBC scenarios

Inputs	Unit	Outputs	Unit
Agricultural residue	7,300.0 t/year	Fertilizer (N:3.9%)	28.5 t/year
Marine products residue	182.5 t/year	(P:9.1%)	66.4 t/year
Septic tank sludge	23,615.5 t/year	(K:0.29%)	2.1 t/year
Sewage sludge	1,423.5 t/year	Feed	36.5 t/year

燃料として利用する。肥料として使用できる発酵残渣は、希望者に頒布し利用される。

従来型シナリオとMBC事業シナリオの廃棄物処理方法としての環境面での比較は、例えば処理する廃棄物量が同じ場合のGHG排出量、化石燃料消費量、廃棄物埋立処分量の違いなどによって評価可能である。しかし次節で詳述するように、MBC事業シナリオでは水産物残渣を飼料化しないこと、また廃棄物処理の結果として得られる肥料の量が異なるため、選択するシナリオによって地域での廃棄物処理に付随する活動量とそれに伴う環境負荷も異なってくることが想定される。

そこで本研究ではTable 3を機能単位として採用し、従来型シナリオとMBC事業シナリオの入力値である廃棄物量だけでなく、廃棄物処理の結果として発生する飼料・肥料の生産量

も統一し、一方のシナリオで算出される製品の不足分を、他方のシナリオではシステム拡張して新規に生産することを想定した^{脚注1)}。

3.3 両シナリオのプロセス

Table 4に両シナリオ全体の入出力を、またTable 5, Table 6に、それぞれのシナリオの評価対象システムを構成するプロセスに入出力される財・サービスやエネルギー、物質に関するデータの詳細を示す。

3.3.1 従来型シナリオ

(1) 水産物残渣、下水道汚泥、し尿・浄化槽汚泥輸送

水産物残渣、下水道汚泥、し尿・浄化槽汚泥輸送プロセスは、三崎港で発生する水産物残渣と市内の浄化センターで発

Table 4 Summary of inputs and outputs of the two scenarios

Scenario	Conventional scenario	MBC scenario
Category	Unit	Unit
Inputs		
Energy		
Electricity	1,513.3 MWh/year	1,198.5 MWh/year
Diesel fuel	20.2 kL/year	0.5 kL/year
Heavy fuel oil A	53.9 kL/year	-
Gasoline	-	6.5 kL/year
Kerosene	-	17.6 kL/year
Material		
Agricultural residue	7,300.0 t/year	7,300.0 t/year
Marine products residue	182.5 t/year	182.5 t/year
Septic tank sludge	23,615.5 t/year	23,615.5 t/year
Sewage sludge	1,423.5 t/year	1,423.5 t/year
Goods and services	161.2 million yen/year	270.4 million yen/year
Outputs		
Material		
Feed	36.5 t/year	36.5 t/year
Fertilizer		
Fertilizer (N:1.95%,P:4.55%,K:0.145%)	275.0 t/year	-
Fertilizer (compound fertilizer)	34.4 t/year	-
Fertilizer (ammonium sulfate)	101.9 t/year	-
Fertilizer (superphosphate of lime)	307.1 t/year	-
Fertilizer (N:3.9%,P:9.1%,K:0.29%)	-	730.0 t/year
Dehydrated sludge	729.0 t/year	-

脚注 1) この考え方は「製品バスケット法」²⁵⁾と呼ばれ、プラスチックリサイクルのLCAなどで採用されている方法である。

Table 5 Detailed inputs and outputs of conventional scenario

Process	Unit	Process	Unit
Transport		Sanitation Center management	
Inputs		Inputs	
Energy		Material	
Diesel fuel	20.2 kL/year	Septic tank sludge	23,615.5 t/year
Goods and services		Goods and services	
Waste disposal services (industrial)	60.4 million yen/year	Industrial soda chemicals	9.1 million yen/year
Outputs		Other industrial organic chemicals	0.1 million yen/year
Material		Non-life insurance	1.4 million yen/year
Marine products residue	182.5 t/year	Real estate rental service	4.1 million yen/year
Sewage sludge	1,423.5 t/year	Railway transport (passengers)	0.0 million yen/year
Feed production		Car rental and leasing	0.1 million yen/year
Inputs		Repair of machine	12.5 million yen/year
Material		Judical, financial and accounting services	0.2 million yen/year
Marine products residue	182.5 t/year	Civil engineering and construction services	8.9 million yen/year
Energy		Other business services	11.8 million yen/year
Heavy fuel oil A	9.1 kL/year	Office supplies	0.5 million yen/year
Outputs		Energy	
Material		Electricity	1,461.3 MWh/year
Feed	36.5 t/year	Heavy fuel oil A	41.7 kL/year
Fertilizer production		Outputs	
Inputs		Material	
Material		Dehydrated sludge	729 t/year
Sewage sludge	1,423.5 t/year	Landfill disposal	
Energy		Inputs	
Electricity	52.0 MWh/year	Material	
Heavy fuel oil A	3.1 kL/year	Dehydrated sludge	729 t/year
Outputs		Goods and services	
Material		Waste disposal services (public)	2.58 million yen/year
Fertilizer (N:1.95%, P:4.55%, K:0.145%)	275.0 t/year	Waste yard storage	
Sanitation Center replacement		Inputs	
Inputs		Material	
Goods and services		Agricultural residue	7,300 t/year
Refrigerators and air conditioning apparatus	0.06 million yen/year	Chemical fertilizer (Alternate production)	
Pump and compressors	0.61 million yen/year	Outputs	
Chemical machinery	39.17 million yen/year	Goods and services	
Other general machines and parts	0.02 million yen/year	Fertilizer (compound fertilizer)	34 t/year
Copy machine	0.03 million yen/year	Fertilizer (ammonium sulfate)	102 t/year
Other office machines	0.02 million yen/year	Fertilizer (superphosphate of lime)	307 t/year
Other industrial electrical equipment	0.02 million yen/year		
Wired communication equipment	0.02 million yen/year		
Trucks, buses and other cars	0.38 million yen/year		
Other photographic and optical instruments	0.02 million yen/year		
Analytical instruments, testing machine, measuring instruments	0.11 million yen/year		
Non-residential construction (non-wooden)	9.28 million yen/year		

Table 6 Detailed inputs and outputs of MBC scenario

Process	Unit		Process	Unit	
Transport			MBC construction		
Inputs			Inputs		
Energy			Goods and services		
Gasoline	6.5	kL/year	Plastic product	0.7	million yen/year
Diesel fuel	0.5	kL/year	Tires and inner tubes	0.0	million yen/year
Goods and services			Steel pipes and tubes	1.2	million yen/year
Waste disposal services (industrial)	58.6	million yen/year	Metal products for construction	0.4	million yen/year
Outputs			Other metal products	0.1	million yen/year
Material			Boilers	0.5	million yen/year
Agricultural residue	7,300.0	t/year	Conveyors	5.9	million yen/year
Marine products residue	182.5	t/year	Refrigerators and air conditioning apparatus	0.1	million yen/year
Septic tank sludge	23,615.5	t/year	Pump and compressors	2.7	million yen/year
Sewage sludge	1,423.5	t/year	Other general industrial machinery and equipment	4.8	million yen/year
MBC management			Chemical machinery	27.5	million yen/year
Inputs			Vacuum equipment, vacuum device	0.3	million yen/year
Goods and services			Rotating electrical equipment	1.3	million yen/year
Industrial soda chemicals	4.8	million yen/year	Other industrial electrical equipment	6.1	million yen/year
Other industrial inorganic chemical	11.0	million yen/year	Electric lighting fixtures and apparatus	0.5	million yen/year
Methane derivatives	1.3	million yen/year	Analytical instruments, testing machine, measuring instruments	0.2	million yen/year
Other industrial organic chemicals	4.3	million yen/year	Non-residential construction (non-wooden)	48.3	million yen/year
Repair of constructions	6.2	million yen/year	Other civil engineering and construction	4.6	million yen/year
Industrial water supply	0.6	million yen/year	Waste disposal services (industrial)	0.2	million yen/year
Non-life insurance	1.2	million yen/year	Non-life insurance	0.1	million yen/year
Car rental and leasing	2.2	million yen/year	Other business services	6.4	million yen/year
Repair of machine	59.5	million yen/year	Office supplies	0.2	million yen/year
Other business services	8.5	million yen/year			
Energy					
Electricity	1,198.5	MWh/year	Feed (Alternate production)		
Kerosene	17.6	kL/year	Outputs		
Outputs			Material		
Material			Feed	36.5	t/year
Fertilizer (N:3.9%, P:9.1%, K:0.29%)	730.0	t/year			

生する脱水済下水汚泥を処理事業者まで、し尿・浄化槽汚泥を収集し衛生Cまで輸送するプロセスである。

ヒアリング調査から、水産物残渣は三浦市から埼玉県まで2tトラックで、また下水汚泥は栃木県まで10kLタンクローリーで輸送されるものとした。し尿・浄化槽汚泥輸送はバキューム車が市内各所を収集し、衛生Cまで輸送している。これら輸送に関する環境負荷は、ヒアリングで得られた情報から推計した。

(2) 水産物残渣飼料化

水産物残渣を委託企業で飼料化するプロセスである。このプロセスは「廃棄物処理」として金銭の取引が発生していないため、処理金額から推計を行うことができない。そこで、水産物残渣の処理量から菱沼ら²⁶⁾の値と文献²⁷⁾を用いて、処理量から生産される飼料量と飼料化による影響を推計した。

(3) 下水道汚泥肥料化

下水汚泥が堆肥化工場で肥料化されるプロセスである。肥料化については橘ら²⁸⁾の値を用い、また生産される肥料の重量当たりの成分量については公表値^{29)～32)}に基づき、MBCで生産される肥料の50%と仮定した。

(4) 衛生C建替え

老朽化した衛生Cに替わって、同性能の施設を新規に建設すると仮定したプロセスである。衛生Cと同一の施設・設備が建設・製造されるものとし、ヒアリング調査で得た従来の衛生Cの建設・製造金額を2005年（GHG排出量、化石燃料消費量）、2000年価格（廃棄物埋立処分量）に換算したものを推計に用いた。新設する衛生Cの耐用年数は、三浦市の生活排水処理基本計画³³⁾に基づき15年とした。

(5) 衛生C運営

衛生Cを稼働し、収集されたし尿・浄化槽汚泥を処理するプロセスである。ヒアリングにより得た衛生Cの運営に関するデータを用いるが、し尿・浄化槽汚泥処理量は年によって異なるため、2005～2009年度の値の平均値を用いて推計した。

(6) 脱水済し尿浄化槽汚泥埋立

衛生Cで処理されたし尿・浄化槽汚泥を、市内埋立地に輸送し処理するプロセスである。汚泥の性状、埋立処分量、輸送距離と手段、埋立処分価格は、ヒアリングより得た値を用いた。

(7) 農作物残渣・共同置場保管

各農家から、市内各所にある縦穴状の共同置場に農作物残渣を保管するプロセスである。ヒアリングにより、共同置場で農作物残渣が嫌気性消化し CH_4 が発生している可能性が示唆されたため、文献²¹⁾の推計方法に従い CH_4 排出量の推計を行った。

(8) 化学肥料代替生産

機能単位を統一するため、従来型シナリオのシステムを拡張したプロセスである。

従来型シナリオで生産される肥料窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の比率は、下水道汚泥と同様にMBC事業シナリオで生産される肥料の50%とした。また生産される肥料の量もMBC事業シナリオと比較が少ないため、化学肥料の生産をシステムに追加し、両シナリオの機能単位を統一した。化学肥料の種類・成分量・購入価格は、統計値³⁴⁾により推計する。化学肥料は一般的に利用されている(多量に生産・販売されている)肥料種を選択し、固形肥料(N:5%, P:5%, K:5%), 硫酸(N:21%), 過磷酸石灰(P:17%)の生産を想定した。

3.3.2 MBC事業シナリオ

(1) 残渣・汚泥輸送

MBC事業の残渣・汚泥の収集段階の輸送のプロセスである。農作物残渣、水産物残渣、下水道汚泥、輸送地点、輸送車種等については、ヒアリングで得たデータを用いて推計した。MBCと衛生Cが隣接していることから、ここではし尿・浄化槽汚泥の輸送距離に変化がないとし、従来型シナリオと同様に推計した。

(2) MBC建設

MBC事業により新たに建設された施設・設備の建設・製造

プロセスである。三井造船環境エンジニアリング(株)(以下、MKE)へのヒアリングで得られた、MBC設備・施設の建設・製造の金額内訳より推計した。

(3) MBC運営

収集された各種残渣・汚泥のバイオガス化・肥料化を行うプロセスである。製造されたバイオガスは、MBCで全量が発電・熱利用される。肥料も全量頒布し利用されるものとして推計した。このプロセスの推計に用いるデータは、MKEへのヒアリングより得た計画値である。

(4) 飼料代替生産

MBC事業シナリオでは従来型シナリオで生産されている飼料が生産されていないため、機能単位を統一するために追加したプロセスである。ここでは配合飼料を生産すると仮定し、配合飼料の価格を統計資料³⁵⁾から求め推計した。

4. 結果と考察

4.1 GHG排出量

Table 7に、従来型シナリオとMBC事業シナリオのGHG排出量を示す。

プロセスごとに見ると、建設や運営プロセスではMBC事業シナリオの方がGHG排出量は大きい。しかし、従来型シナリオでは農作物残渣の共同置場への保管、汚泥の埋立処分後発生する CH_4 の寄与が大きい(これらだけで従来型シナリオのGHG排出量の33%を占めている)、排出量全体としては従来型シナリオの3,220 t-CO₂eq./年に対し、MBC事業シナリオは1,911 t-CO₂eq./年と、約41%少なくなる。

4.2 化石燃料消費量

Table 8に、従来型シナリオとMBC事業シナリオの化石燃

Table 7 Comparison of the GHG emissions of the two scenarios

Conventional scenario		MBC scenario	
Sanitation Center replacement	149 t-CO ₂ eq./year	MBC construction	370 t-CO ₂ eq./year
Sanitation Center management	960 t-CO ₂ eq./year	MBC management	1,024 t-CO ₂ eq./year
Waste yard storage	401 t-CO ₂ eq./year	Transport	510 t-CO ₂ eq./year
Chemical fertilizer (Alternate production)	437 t-CO ₂ eq./year	Feed (Alternate production)	7 t-CO ₂ eq./year
Transport	563 t-CO ₂ eq./year		
Fertilizer production, Feed production	54 t-CO ₂ eq./year		
Landfill disposal	657 t-CO ₂ eq./year		
Total	3,220 t-CO ₂ eq./year	Total	1,911 t-CO ₂ eq./year

Table 8 Comparison of the fossil fuel consumption of the two scenarios

Conventional scenario		MBC scenario	
Sanitation Center replacement	1,882 GJ/year	MBC construction	4,430 GJ/year
Sanitation Center management	12,606 GJ/year	MBC management	13,275 GJ/year
Waste yard storage	0 GJ/year	Transport	2,485 GJ/year
Chemical fertilizer (Alternate production)	3,197 GJ/year	Feed (Alternate production)	71 GJ/year
Transport	3,110 GJ/year		
Fertilizer production, Feed production	987 GJ/year		
Landfill disposal	162 GJ/year		
Total	21,943 GJ/year	Total	20,261 GJ/year

Table 9 Comparison of the final waste volume of the two scenarios

Conventional scenario			MBC scenario		
Sanitation Center replacement	81	t/year	MBC construction	211	t/year
Sanitation Center management	51	t/year	MBC management	93	t/year
Waste yard storage	0	t/year	Transport	43	t/year
Chemical fertilizer (Alternate production)	31	t/year	Feed (Alternate production)	2	t/year
Transport	45	t/year			
Fertilizer production, Feed production	0	t/year			
Landfill disposal	731	t/year			
Total	939	t/year	Total	350	t/year

料消費量を示す。

プロセスごとでは、MBC事業シナリオの建設や運営の化石燃料消費量は大きくなるが、従来型シナリオでは化学肥料の生産による化石燃料の消費が大きいため、従来型シナリオ全体では21,943 GJ/年、MBC事業シナリオ全体では20,261 GJ/年と、MBC事業シナリオの方が約8%小さくなった。

4.3 廃棄物埋立処分量

Table 9 に、2つのシナリオの廃棄物埋立処分量を示す。

従来型シナリオの埋立処分量は939 t/年であるが、そのうち衛生Cの直接処分量は全体の約78%であり、残りの22%は施設建設段階や消耗品の生産段階などで生じる間接的な処分量である。このことから、廃棄物埋立処分量についてはその波及的な影響を含めて効果を推計する必要があることが示唆される。一方、MBC事業シナリオの廃棄物埋立処分量は350 t/年と、従来型シナリオと比較し約63%小さく、本研究で採用した環境面の評価指標の中では最も効果が大きいことがわかる。

4.4 MBC事業で生じる肥料の利用率の変化

MBC事業シナリオでは、生産した肥料はその全量を利用するという前提で評価を行っている。しかし三浦地域資源ユーズ株式会社の資料³⁶⁾によると、2010年12月17日～2011年11月30日に生産された肥料の利用率は61.6%である。この

38.4%の未利用肥料は廃棄物として処理する必要があるため、その処理量によっては結果が変動する。そこで、MBC事業シナリオの肥料利用率の変動がGHG排出量に与える影響に関してシナリオ分析を実施した。MBC事業シナリオの肥料が廃棄される場合のシナリオ(以下、MBC事業シナリオ(肥料廃棄))の評価対象システムは、Fig. 3 に示すとおりである。

前述の通り、MBC事業シナリオ(肥料廃棄)では生産された肥料の38.4%が処理されると仮定している。MBCで生産される肥料には下水道汚泥が含まれている。そのため、一般廃棄物として脱水後に埋立処分することができず、産業廃棄物として処理した後に処分する必要がある。また三浦市へのヒアリングによると、MBCにおける産業廃棄物の現実的な処分方法としては、焼却処分が妥当であるとのことであった。よってMBC事業シナリオ(肥料廃棄)では、消費されなかった肥料は焼却処分されるものとし、システム内に肥料の焼却処分プロセスを拡張した。ここで、焼却処分は近郊に存在する焼却処分場で処分を行うものとし、その輸送距離は約58.6 kmであると仮定した。

ここで、生産される肥料を一部廃棄するため、従来型シナリオと比べ生産される肥料量が変化する。そこでMBC事業シナリオ(肥料廃棄)では、化学肥料製造プロセスを追加してシステム拡張し、肥料の成分量(N・P・K)で機能単位を統一した。焼却処分によるGHG排出量はCFP³⁷⁾の原単位を用い

Fig. 3 System boundary of MBC scenario (Fertilizer disposal)

たが、この値には廃棄物の燃焼によって生じる CH_4 や N_2O 排出量などが考慮されていない。そこで本研究では、温室効果ガス排出量算定に関する検討結果²¹⁾の一般廃棄物の焼却に伴うGHG排出(CH_4 , N_2O)の値をCFPの原単位に加えた値(Table 10)を、廃棄物燃焼1tあたりのGHG排出原単位として推計を行った。なお、焼却処分プロセスについては日本の主な焼却処分施設である連続燃焼式焼却施設で焼却処分するものとした。

Fig. 4に、MBC事業シナリオ(肥料廃棄)の推計結果を記す。

Fig. 4内の縦線が現状の肥料消費のMBC事業シナリオ(肥料廃棄)のGHG排出量を示している。MBC事業シナリオ(肥料廃棄)のGHG排出量は2,223 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /年であり、従来型シナリオのGHG排出量は3,220 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /年である。この結果より、肥料の利用量が現状の通りでもMBC事業シナリオ(肥料廃棄)の方がGHG排出量は約31%少なくなることが示された。

また肥料が全く使用されず、全量焼却処分した場合でも、GHG排出量は約2,724 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /年である。このことから、肥料を全量焼却処分した場合でも、GHG排出量はMBC事業実施により少なくなり、MBC事業がGHG削減策として有効であることが示された。

5. おわりに

本研究では、廃棄物系バイオマス事業に伴う環境影響を波及的な影響も含めたライフサイクル思考に基づいて定量的に評価するために、GHG排出量、化石燃料消費量、廃棄物埋立処分量の3つの指標から構成される手法を提案した。そして、この評価手法を用いて、神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマス事業のケーススタディを実施した。その結果、MBC事業は本研究で用いた全ての評価指標でプラスの効果が期待できることが明らかとなった。また、本研究で得られた知見として、廃棄物埋立処分量については、従来型シナリオでは推計した

全廃棄物埋立処分量のうちの約22%、MBC事業シナリオでは推計した全廃棄物埋立処分量の全てが、間接的に生じていることが示唆された。このように、それぞれの指標の直接的・間接的影響を評価できることが、本研究で提案した手法の特徴である。さらに、MBC事業で課題となっている肥料の廃棄がGHG排出量に与える影響を把握するためにシナリオ分析を行ったところ、生産された肥料の全量を焼却処理した場合にも、MBC事業でGHG排出削減が期待できることがわかった。

本研究では、採用したそれぞれの指標の定量的評価手法として、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたハイブリッド法を用いたが、利用できるデータの制約上、2005年産業連関表と2000年廃棄物産業連関表を併用している。産業連関表は、経済活動に伴う財やサービスの取引を網羅的に把握できる一方で、わが国では産業連関表は5年に一度しか公表されないため、産業連関表が示す産業構造は分析時点の産業構造と完全には一致しないという前提に基づいて解析を行う。このような産業連関分析の制約があるものの、従来型シナリオとMBC事業シナリオの環境面は、本研究で提案した手法で十分に評価可能であると考えている。

その一方で、他の廃棄物系バイオマスの従来型の処理方法に対するエネルギー利用による影響は、本研究で採用したGHG排出量、化石燃料消費量、廃棄物埋立処分量に限らない。例を挙げると、廃棄物処理に期待される環境面の効果や影響に、害虫の発生や水質・土壌汚濁の抑制などの衛生環境面などがあり、BODや窒素、アンモニアなどの物質濃度などの指標によってその影響を評価できる。これらの評価を実施するにあたっては廃棄物の「量」だけでなく「質」も含めて評価を行う必要がある。本研究では、波及的な効果も含めた廃棄物の「量」に関する評価手法の提案を行ったが、廃棄物の「質」の評価についても、本研究で構築した評価の枠組みが適用できるものと考えられる。また廃棄物系バイオマス事業の展開

Table 10 GHG emission factors of waste incineration

GHG factors of waste incineration	
GHG factors of waste incineration ³⁶⁾	0.3337 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /t
CH_4 emission factor associated with the general waste incineration ²¹⁾	0.0002 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /t
N_2O emission factor associated with the general waste incineration ²¹⁾	0.0180 t- $\text{CO}_2\text{eq.}$ /t

Fig. 4 Scenario analysis of GHG emissions by fertilizer consumption

によって期待される様々なシナリオを想定し、環境面だけでなく誘発される社会経済システムの変化をも考慮したライフサイクルアセスメント (LCA), すなわち Consequential LCA へと展開させていくことも、必要であると考えられる。

謝 辞

ヒアリングや現地調査に御協力頂いた、三浦地域資源ユーズ(株)、三井造船環境エンジニアリング(株)、三浦市役所の皆様に謝意を表する。

なお、本研究の一部は、環境研究総合推進費(2-1302)の支援により実施された。

文 献 : References

- 1) Cabinet approval, Revised Biomass Nippon Strategy, (2006): 閣議決定, バイオマス・ニッポン総合戦略改訂版, (2006)
- 2) Cabinet approval, Biomass Katsuyo Suishin Kihon Keikaku, (2010): 閣議決定, バイオマス活用推進基本計画, (2010)
- 3) Ministry of Agriculture, Biomass-town Kouhyo Jokyo, (2011): 農林水産省, バイオマスタウン公表状況, (2011)
- 4) Ministry of International Affairs and communications, Biomass No Rikatsuyo Ni Kansuru Seisakuhyokasyo, (2011): 総務省, バイオマスの利活用に関する政策評価書本文, (2011)
- 5) Bespyatko, L.; Tada, C.; Yanagida, T.; Saga, K.; Bautista, E.; Fujimoto, S.; Minowa, T.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **88**(12), 1081-1094(2009): ベスパヤトコ・リュドミラ, 多田千佳, 柳田高志, 佐賀清崇, バスティスタ・エルマー, 藤本真司, 美濃輪智朗, 日エネ誌, **88**(12), 1081-1094(2009)
- 6) Morimoto, H.; Doi, K.; Hosino, S.; Yuyama, Y.; Kuki, Y.: *Journal of Rural Planning Association*, **27**, 317-322(2009): 森本英嗣, 土井和之, 星野敏, 袖山義人, 九鬼康彰, 農村計画学会誌, **27**, 317-322(2009)
- 7) Ikegami, M.; Niitsuma, H.: *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, **29**(5), 22-28(2008): 池上真紀, 新妻弘明, エネルギー資源学会誌, **29**(5), 22-28(2008)
- 8) Tada, C.; Yanagida, T.; Saga, K.; Bespyatko, L.; Bautista, E.; Fujimoto, S.; Minowa, T.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **88**(10), 869-876(2009): 多田千佳, 柳田高志, 佐賀清崇, ベスパヤトコ・リュドミラ, バスティスタ・エルマー, 藤本真司, 美濃輪智朗, 日エネ誌, **88**(10), 869-876(2009)
- 9) Yang, F.; Sagisaka, M.: *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, **5**(4), 501-509(2009): 楊翠芬, 匂坂正幸, 日本LCA学会誌, **5**(4), 501-509(2009)
- 10) Policy Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Bio Nenryo Donyu Ni Yoru Syokoka No Teiryō Teki Hyōka, (2009): 農林水産政策研究所, バイオ燃料導入による諸効果の定量的評価, (2009)
- 11) Kanri, Y.; Shinogi, Y.: *Technical report of the National Institute for Rural Engineering*, **204**, 211-219(2006): 東理裕, 凌祥之, 農工研技報, **204**, 211-219(2006)
- 12) Yang, C.; Hishinuma, T.; Kurishima, H.; Genchi, Y.: *Journal of Environmental Information Science*, **22**, 227-232(2008): 楊翠芬, 菱沼竜男, 栗島英明, 玄地裕, 環境情報科学論文集, **22**, 227-232(2008)
- 13) Torii, M.; Narita, N.; Ogawa, K.: *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, **5**(4), 473-485(2009): 鳥居雅隆, 成田暢彦, 小川克郎, 日本LCA学会誌, **5**(4), 473-485(2009)
- 14) Kikuchi, K.; Hondo, H.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **90**(7), 643-653(2011): 菊地克行, 本藤祐樹, 日エネ誌, **90**(7), 643-653(2011)
- 15) Waste Input-Output Table, Waseda University, Faculty of Political Science and Economics, Shinichiro Nakamura lab.: 廃棄物産業連関表, 早稲田大学 政治経済学術院 中村慎一郎研究室, 入手先http://www.f.waseda.jp/nakashin/WIO/wio2000sec103_0.06b.xls
- 16) Ministry of International Affairs and Communications, 2005 Input-Output Tables for Japan, (Zenkoku Tokei Kyokai Rengokai), (2009): 総務省編, 平成17年産業連関表 総合解説編 計数編(1)(2), ((財)全国統計協会連合会), (2009)
- 17) Cabinet Office: Statistical table (Annual Report on National Accounts), (2011): 内閣府, 統計表(国民経済計算確報), (2011)
- 18) Nansai, K.; Moriguchi, Y.: Embodied energy and emission intensity data for Japan using input-output tables(3EID): For 2005 IO table(Beta+version): 南斉規介, 森口祐一, 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 2005年表(β +版), http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/page/2005_beta.htm (2011/03/21)
- 19) Greenhouse Gases Inventory Office of Japan: National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN(2006-2010): 温室効果ガスインベントリオフィス, 日本国温室効果ガスインベントリ報告書(2006-2010)
- 20) Tokyo Electric Power Company: Suhyo De Miru Tokyo-Denryoku: 東京電力(株), 数表で見る東京電力(2012), <http://www.tepco.co.jp/company/corp-com/annai/shiryou/suhyou/pdf/suh-all-j.pdf> (2012/11/10)
- 21) Ministry of the Environment: Onshitu-Koka-Gasu Haisyuturyo Santei Ni Kansuru Kento-Kekka: 環境省, 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果(2006), <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1808/index.html> (2011/10/22)
- 22) Agency for Natural Resources and Energy: Logistics-Bunya Ni Okeru CO₂ Haisyutu-Ryo Santei Hoho Kyodo guideline (Ver3.0): 資源エネルギー庁, ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法共同ガイドライン(Ver3.0), <http://www.enecho.meti.go.jp/ninushi/pdf/guidelinev3.0.pdf>

- (2011/09/25)
- 23) IPCC: Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Technical Summary -IPCC Forth Assessment Report-, (2008), <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf> (2011/10/20)
 - 24) Miura-City: Miura Biomass-town Koso : 三浦市, 三浦市バイオマスタウン構想, http://www.city.miura.kanagawa.jp/chiikisaisei/files/009302_000001.pdf (2011/04/19)
 - 25) Plastic Waste Management Institute: Current Status and Issues of plastic recycling : (社)プラスチック処理促進協会, プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討, http://www.jcpa.or.jp/00oshirase/pdf/lca_kanzen.pdf (2013/04/19)
 - 26) Hishinuma, T.; Kurishima, H.; Yang, F.; Tabata, T.; Genchi, Y.; Arimoto, N.; Nagaki, M.: Dai-4-Kai Nihon-LCA-Gakkai Kenkyu Happyo-Kai Koen Youshi-Syu, 12-13(2009) : 菱沼竜男, 栗島英明, 楊翠芬, 田畑智博, 玄地裕, 有元暢紀, 永木正和, 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 12-13(2009)
 - 27) Ministry of the Environment: Dai-4-Kai Namagomi Nado No 3R Syori ni Kansuru Kento-Kai Gizi-Sidai Sanko-Shiryō2 : 環境省, 第4回「生ごみ等の3R・処理に関する検討会」議事次第, 参考資料2, http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/04/ref02.pdf (2011/07/11)
 - 28) Tachibana, R.; Kamahara, H.; Gotoh, N.; Fuzie, K.: Dai-3-Kai Nihon-LCA-Gakkai Kenkyu Happyo-Kai Koen Youshi-Syu, 26-27(2008) : 橘隆一, 蒲原弘継, 後藤尚弘, 藤江幸一, 第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 26-27(2008)
 - 29) Tomakomai-City Jogesuido-Bu: Do-Mu : 苫小牧市上下水道部, 「土有夢」(どーむ), <http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/jo-soumu/gesui/ge-syori/dome.htm> (2011/10/22)
 - 30) Kagoshima-City Suido Kokyo Gesuido: Satsuma-Soiru : 鹿児島市 水道・公共下水道, 「サツマソイル(汚泥発酵肥料)」http://www.city.kagoshima.lg.jp/suidou/index/s_sikumi/_31590/_31687/_31980.html (2011/10/22)
 - 31) Simoda-Shi: Eco-Taihi Wo Katsuyo Simasyo : 下田市, エコ堆肥を活用しましょう!, <http://www.city.shimoda.shizuoka.jp/form1.php?pid=345> (2011/10/20)
 - 32) Sapporo-City: Sapporo-Konposuto : 札幌市, 札幌コンポスト, <http://www.city.sapporo.jp/gesui/04chishiki/03conpo.html> (2011/10/23)
 - 33) Miura-City: Miura-City Seikatsu Haisui Syori Kihon Keikaku : 三浦市, 三浦市生活排水処理基本計画, http://www.city.miura.kanagawa.jp/mizukankyō/files/seikatuhaishuisyori20_9.pdf (2011/04/08)
 - 34) Hiryo Keizai Kenkyu-jo: Hiryo No Noka Konyu Kakaku Joho(2011) : (財)肥料経済研究所, 肥料の農家購入価格情報(2011), http://www.hi-kei-ken.jp/hiryou/price/h_price.html (2011/10/11)
 - 35) Agriculture & Livestock Industries Corporation: Haigo Shiryō No Kakaku Doko Noka Konyu-Sya Kakaku : (独)農畜産業振興機構, 配合飼料の価格動向 農家購入者価格, <http://lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/OldDate/7021aD.xls> (2011/09/28)
 - 36) Miura Regional Resources Use Co.,Ltd: Syokai page : 三浦地域資源ユーズ(株), 紹介ページ, <http://www.shigen-use.biz-web.jp/biomass%20center.pdf> (2011/03/30)
 - 37) Carbon Footprint of Products: CFP Database : Carbon Footprint of Products, CO₂換算量共通原単位データベース, <http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html> (2011/09/13)
-