

食物の環境効率指標の提案

津田 淑江, 原 奈都子

Trial calculation of food environmental efficiency indices

Toshie TSUDA and Natsuko HARA

The purpose of this study is to propose that the indices for the sustainability of food should be determined by the environmental efficiency which is the ratio of the Life Cycle carbon dioxide emission (environment load) of food and the total evaluation of food value. The environmental efficiency indices in the food research field are derived from dividing the evaluation of food value by the environment load.

In the study, the environmental load (Life Cycle carbon dioxide emission) produced from cooking certain food and menu was compared with the food value obtained from them. The actual measurement of Life Cycle CO₂ emission of the food was conducted, and an eco-efficiency indices of food were calculated from quantified environmental load and food value evaluation.

First, the evaluating factor of food was selected for the practical use of the environmental efficiency index. Its value was used as the numerator of the function for calculating the environmental efficiency. Next, food menu for evaluation was selected and created. Then, the environmental load was measured.

The evaluating factor was assumed to be a nutritive evaluation of food. The nourishment evaluation items include energy, protein, lipid, calcium, iron, vitamin A, vitamin C, dietary fiber, salt, and vegetable. The denominator of the function for calculating the environmental efficiency is the environment load of the food. The environmental load was assumed by calculating CO₂ emissions per meal from the stages of producing, transporting, cooking and disposing.

It became clear that the environmental efficiency indices provide important information in order to continue a sustainable food lifestyle as considering the environment without ruining health effect or taste of food.

キーワード : Environmental load : 環境負荷, CO₂ emission : CO₂排出量, environmental efficiency : 環境効率, nutritive evaluation : 栄養評価, sensory evaluation : 官能評価

I. はじめに

本研究の目的は持続可能な社会の実現とい

う観点から、食生活の見直しを行う際、食物の価値を評価し、環境負荷量に対する割合を環境効率として算出することを検討した。

二酸化炭素 (CO₂) 排出量削減に向け国や自治体などによる規制や規則が必要となる一方で、家庭においても資源を考えた行動を起こすことが重要となってきた。食生活における質の向上を目指す中で環境負荷削減への取り組みは、さらに重要な課題といえる。豊かな食生活を実現させるためには、食物の機能や質を向上させつつ、環境負荷を低減させる政策が必要条件となる。既に著者らは、献立における環境負荷量をライフサイクルアセスメント (LCA) 手法を用い、ライフサイクルで排出される CO₂ 量として定量化することを行ってきた^{1)~5)}。そこで本研究においては、ライフサイクルで排出される CO₂ 量と食物の価値の総合評価得点の割合を環境効率で表し、食物・献立に関するライフサイクル全体の環境影響評価を実施し、食物から得られる価値や満足度を表現する一指標を開発した。環境効率については田原⁶⁾ 梅田⁷⁾ 高橋⁸⁾ の環境効率の概要、または価値の評価等の研究報告がある。田原らは食品の価値の定量化に29項目の栄養摂取量を対象にスコア化しているが、基準量として推定平均必要量や耐容上限量、食品充足率による評価を行っている。推定平均必要量⁹⁾ は当該集団に属する50%の人が必要量を満たさないと推定される摂取量であり栄養素摂取不足からの回避を目的とした食事改善の実施に用いる量である。また耐容上限量は栄養素の過剰摂取からの回避を目的とした食事改善実施時に用いる値である。推定平均必要量や耐容上限量の値を用いて栄養の価値をスコア化し、評価することは栄養過多や栄養不足の場合でも食生活が良いとみなされやすい。また食品充足率でメニューの良否を一概に評価することは難しく、食品充足率を100以上摂取すべき栄養素と、充足率が100より低い方が良いとされる栄養素がある。一概に食品充足率で食品を判断することはできない。例えば砂糖や油脂類のように充足率100にならなくとも良い栄養素もあるからである。

食事計画を立てる場合⁹⁾、栄養素量の活用の

面からみると生活習慣病の一次予防を目的とした食事改善実施には「推奨量」または「目標量」を用い、摂取量が「推奨量」または「目標量」の範囲に入る者または近づく者の割合を増やすことを目的としている。本研究の目的である食物の環境効率を考えると、まず食物の価値をどのように評価することが適しているかが重要である。そこで食物の3機能¹⁰⁾ について着目した。農林水産省の示した食物の3大機能は第1次機能：栄養機能、第2次機能：嗜好機能、第3次機能：生体調節機能であることから、栄養機能を指標とした。食物の評価目的を生活習慣病の予防に置き、「推奨量」または「目標量」を基準値として食物を評価した。消費者に身近な指標を作成するため、食物の機能・質を「食品の栄養素の種類と量」に焦点を当て、メニュー別の栄養評価を行った。メニュー形式としたのは、食事バランスガイド¹¹⁾ にもあるように、何をどれだけ食べたらよいのか、バランスの良い食事にするにはどのようにすればよいのかを考慮し、一汁三菜の基本を取り入れ、食物の価値を評価するためである。

本研究では食の価値を考慮し、食生活の質を維持した食分野の環境効率指標を算出し、環境に配慮した食生活への提言を行うことを目的とした。飽食の時代を鑑み、環境を考慮しつつ健康とおいしさを確保した発展可能な豊かさを持った食生活を送るためには、この研究が必要であると考えた。

II. 研究方法

「環境効率」は、対象とする食物を作るための環境負荷量 (ライフサイクル CO₂ (LC-CO₂)) と、その食物から得られる価値の総合評価得点の割合を比較する方法である。食分野における環境効率指標は「食の環境効率 = 食の機能・価値 / 食の環境負荷量」で示される⁸⁾。家庭において環境・資源を考えた行動を起こすことが重要になってきていることから、食物の機能・価値を失わずに環境負荷削減を考えなけ

食物の環境効率指標の提案

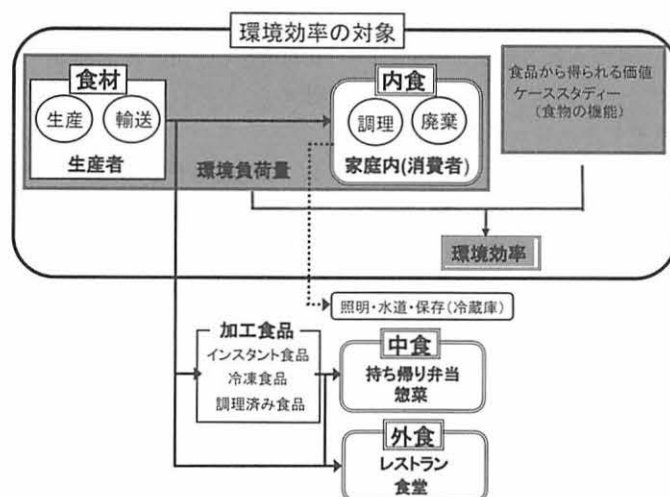


図1 環境効率の対象

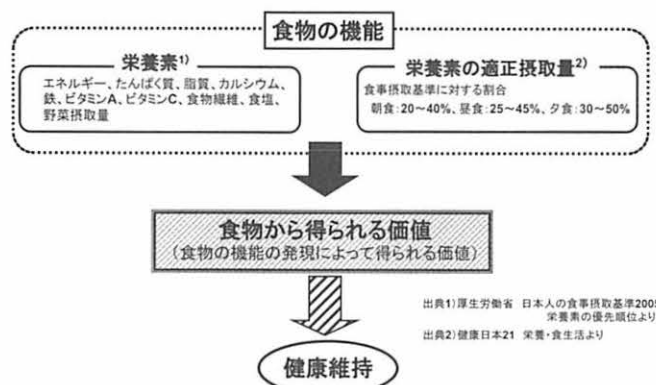


図2 食物から得られる価値（食物の機能）

ればならない。本研究の対象を図1に示した。食物はその食べ方により、家庭内で作られ食される「肉食」、市販の惣菜や調理済み食品など家庭に持ち帰り食する「中食」、レストランや食堂などで食する「外食」に区分されている。本研究においては「肉食」を対象とし、家庭内で食される食物の食材（生産・輸送）、調理・廃棄における環境負荷量を対象とした。しかし家庭での照明、水道、食品を保存するための冷蔵庫における環境負荷量は対象外とした。

提案する環境効率指標の実用化に向けて、食

物の機能・質を評価項目として図2に示すように10項目の栄養素とその栄養素を適正範囲内で摂取しているかどうかを検討した。

1. 環境効率を求める式の分母の設定

提案する指標の基本概念として食物の環境効率指標を式（1）に表した。

$$\text{環境効率} = \frac{1 \text{ 食分の食物から得られる価値 (V}_{1\text{食}})}{\text{食物の環境負荷量 (A)}}$$

式（1）

A (環境負荷量) : LC-CO₂排出量

$V_{1\text{食}}$ (1食分の食物から得られる価値)

環境効率を求めるモデルメニューを設定し、食する食物それぞれのインベントリーデータを収集した。メニュー1食あたりの食材から調理・廃棄(生産、輸送、調理、廃棄)するまでの家庭内調理時のCO₂排出量を算出し、この値を環境負荷量(A)とし、「環境効率」の分母とした。

環境負荷量はLCA手法を用い、調理法別のライフサイクルで排出されるCO₂量として定量化を行った⁵⁾。食料の生産において排出されるCO₂量は、食材の重量にCO₂排出係数を乗じ、積算することからLC-CO₂を算出した。CO₂排出係数(g-CO₂/unit)は3-EIDをベースとした「味の素グループ版「食品関連材料CO₂排出係数データベース」1995年度版」¹³⁾に基づいた。

輸送によるCO₂排出量の算出は、用いた食材のパッケージに表示されていた産地から東京まで輸送する場合のCO₂排出量を算出した。CO₂排出量は「環境省温室効果ガス排出量算定に関する検討結果(平成14年8月)」¹⁴⁾に基づいたCO₂排出係数を用いた。CO₂排出係数は、船(重油)71.6(g-CO₂/MJ)、トラック(ディーゼル油)68.8(g-CO₂/MJ)、飛行機(ジェット燃料)67.1(g-CO₂/MJ)を用いた。

調理はガスレンジで行い、ガス消費量を測定した。都市ガス消費量は、ガスコンロにガスメータを取り付けて測定し、調理時間の測定を同時に行い、調理段階ごとにガス消費量を測定した。測定に使用した機器は東京ガスHR-T028-MCCHL 11-052-01-0058を、ガス消費量測定はシナガワ乾式ガスメータDC-2型を用いた。ガス消費量に都市ガス係数を乗じ調理時のCO₂排出量とした。都市ガスCO₂排出係数は、環境省温室効果ガス排出量算定に関する検討結果(平成14年8月)¹⁴⁾をもとに、2.15kg-CO₂/m³とした。廃棄によるCO₂排出量は都市ゴミの処理によるCO₂排出量を評価している論文¹⁵⁾

を参考に、都市ゴミと食品残渣を同様と考え、0.119kg-CO₂/kg-食品残渣とし、CO₂排出量を求めた。

2. 環境効率を求める式の分子の設定

— 食物の機能を評価対象とした環境効率 —

分子は1食分の食物から得られる価値($V_{1\text{食}}$)とし、食することから得られる評価項目を用いることとし、食物の機能・質を「食品の栄養素の種類と量」に焦点を当てた。食物の評価目的を生活習慣病の一次予防に置き、推奨量または目標量を基準値として食物を栄養評価した。分子には家庭において食材から調理する場合を想定したモデルメニューを設定し、メニューから得られる食物の機能を評価対象とした環境効率指標の実用化に向けた検討を行った。

1) 環境負荷研究対象メニューの作成

環境負荷研究対象メニューの作成には、主食・主菜、副菜、汁物の出現頻度上位品目とその形態を参照に、①家庭において出現頻度が高いメニュー、②種々の調理法を網羅していることを条件にして料理を選んだ。その際、MRS(メニューセンサス)出典のメニュー出現頻度調査の過去3回分(1999, 2001, 2003年)¹⁶⁾の平均値により算出した。MRSとは、2年に1度季節ごとの上位メニューを100世帯当たりの1日平均出現頻度で発表する機関である。評価対象のモデルメニューは表1に示した。

朝食はパン食、ご飯食、昼食は麺類とし、夕食は和風、洋風、中国風を作成した。また、厚生労働省が示した「食事バランスガイド」を参照に分量の想定を行った。

本研究では、調理単位を4人前とし、調理形態は手作りに限定した。

2) 食物の機能評価方法

栄養摂取状態の評価を行う場合、対象とする個人の特性を設定しておくことが重要となる。ここでいう特性とは、性別、年齢、身体活動レベルである。本研究では対象を30~49歳、身体活動レベルふつつ(Ⅱ)の女性の食品摂取基

食物の環境効率指標の提案

表1 モデルメニュー

朝食1	トースト、目玉焼き、サラダ、ヨーグルト、コーヒー
朝食2	ごはん、みそ汁、アジ開き、大豆五目煮
昼食1	ラーメン、みかん、ウーロン茶、ブラマンジェ
昼食2	インスタントラーメン、みかん、ウーロン茶、ブラマンジェ
昼食3	インスタントラーメン人参もやし抜き、みかん、ウーロン茶、ブラマンジェ
昼食4	スパゲティミートソース、野菜スープ、サラダ
夕食1	ごはん、具だくさん味噌汁、焼き魚（サバ）、茶碗蒸し、ほうれん草浸し
夕食2	炊き込みごはん、すまし汁、サバ味噌煮、いんげん胡麻和え
夕食3	ごはん、搾菜肉絲湯、八宝菜、鶏の唐揚げ、デザート
夕食4	ご飯、白菜肉丸子湯、回鍋肉、牛乳羹
夕食5	ごはん、コーンポタージュ、ハンバーグ、ポテトサラダ

準量¹⁷⁾とした。1食分の環境負荷研究メニューの栄養摂取量を30～49歳身体活動レベルふつう（Ⅱ）の女性の食品摂取基準量¹⁶⁾と比較した。栄養評価の対象栄養素は食事摂取基準を活用する場合の栄養素の優先順位¹⁷⁾を参考に日本人が不足しがちとされているカルシウム、鉄、食物繊維、野菜摂取量を考慮して、エネルギー、タンパク質、脂質、カルシウム、鉄、ビタミンA、ビタミンC、食物繊維、食塩、野菜摂取量の10項目とした。厚生労働省は健康日本21（栄養・食生活）¹⁸⁾において、人々の健康で、良好な食生活の実施のためには適正の栄養素（食物摂取）が必要であることから、栄養素摂取レベルを推奨し、朝食、昼食、夕食の摂取状況の適正範囲を述べている。朝食・昼食・夕食別の栄養素の摂取基準量との比（％）として、朝食20～40％、昼食25～45％、夕食30～50％を、各食の“適正量”と定義している。本研究では、この数値を用い、モデルメニュー中の栄養素量が、朝食では20～40％、昼食では25～45％、夕食では30～50％の適正量以内となる栄養素の項目数を、そのメニューの栄養評価値とした。例えば、夕食メニューにおいて10項目の栄養素が全て30～50％の範囲内であれば10単位、脂質が50％を超えており、カルシウムが25％で

あった場合は8単位となる。メニューから得られる適正量範囲以内の栄養素の項目数を食物の機能評価値とし、環境効率指標の分子とした。

3) 環境効率の算出法

式（1）と同様に環境効率を算出した。

Ⅲ. 結果および考察

1. 対象モデルメニューの栄養評価

その結果、表2に示すように、栄養評価の項目数の最も多かったのは夕食1（ご飯、具沢山みそ汁、焼き魚（サバ）、茶碗蒸し、ほうれん草浸し）の和食では、エネルギー、脂質、カルシウム、鉄、ビタミンC、食物繊維、野菜摂取量の7単位であった。また最も少なかったのは昼食3のエネルギー、脂質の2単位であった。

2. 環境負荷量

モデルメニューの食材生産・輸送・調理・廃棄におけるLC-CO₂排出量を求めた。用いられた食材の生産季節を夏・冬に変え、また露地栽培であるかハウス栽培であるか、国産または輸入、輸送手段、調理方法の違いなどを想定し、CO₂排出量を算出した。その結果、表3に示すような環境負荷量（CO₂排出量）を得た。

表2 モデルメニューの栄養評価

モデルメニュー	エネルギー	たんぱく質	脂質	カルシウム	鉄	レチノール当量	ビタミンC	食物繊維総量	食塩	野菜摂取量	栄養評価項目数
	kcal	g	g	mg	mg	μg	mg	g	g	g	
朝食1	495	17.0	26.0	194	1.7	186	17	2.9	1.7	130	6
(朝食20～40%)	○	○		○		○			○	○	
朝食2	751	38.1	17	195	6.4	40.5	3.0	11.8	4.41	70	6
(朝食20～40%)	○		○	○	○			○		○	
昼食1	585	22.3	8.1	167	2.4	203	61	5.1	4.4	47	5
(昼食25～45%)	○	○		○		○		○			
昼食2	535	12.4	18.5	309	1.3	171	46	4.2	4.6	60	3
(昼食25～45%)	○		○			○					
昼食3	525	11.6	18.5	297	1.0	99	45	3.1	4.6	60	2
(昼食25～45%)	○		○								
昼食4	646	27.8	16.4	71.0	2.6	140	28.0	6.5	2.45	120	6
(昼食25～45%)	○		○				○	○	○	○	
夕食1	663	35.7	15.0	222	5.5	455	33	5.4	4.8	146.6	7
(夕食30～50%)	○		○	○	○		○	○		○	
夕食2	773	35.7	20.0	205	4.4	156	10.0	6.3	3.6	90	4
(夕食30～50%)	○		○		○				○		
夕食3	923	48	31.5	128	3.8	448	50	6.6	6.1	255.5	4
夕食30～50%	○				○		○	○			
夕食4	866	22.5	28.5	122	2.5	42	108	6	3.4	163	6
(夕食30～50%)	○	○					○	○	○	○	
夕食5	1108	30.2	48.3	176	4.5	662	46	6.7	4.1	183.6	3
(夕食30～50%)					○		○	○			

3. 環境効率算出

モデルメニューから栄養評価の項目数と、生産地、輸送手段、季節など条件を変えたCO₂排出量を算出し、環境効率を求めた。結果は表3に示した。朝食1（トースト、目玉焼き、サラダ、ヨーグルト、コーヒー）を例とすると、トマトやキュウリなど旬の野菜を使用した場合の環境効率は4.11、加温ハウスの野菜を使用した場合は2.46であった。夕食の環境効率は夕食2を例とすると、サバ国産の場合の環境効率は1.67、ノルウェー産（船輸送）では1.49、ノルウェー産（飛行機輸送）では0.34であった。食分野の環境効率指標を向上させるには、高い栄

養評価価値を保ちながら環境負荷量の低減が必要である。多様な食材を組み合わせる調理をすること、また食材を選択するときは、国産物、旬の物、輸送距離が短い食材を取り入れると、環境効率指標が高い傾向にあるといえる。数式化をすることにより、栄養評価とともに環境負荷をどのように考慮すべきか、旬産旬消、地産地消を環境効率の指標から優位性を数値で示すことが可能となった。

IV. まとめ

本研究では、消費者が選択する食物から得られる価値を求めた。環境効率を求める式の分母

食物の環境効率指標の提案

表3 モデルメニューの栄養評価による環境効率

モデルメニュー	モデルメニュー	栄養評価項目数	環境負荷量 (kg-CO ₂)			環境効率		
			夏	冬		夏	冬	
朝食1 (トースト、目玉やイ、サラダ、ヨーグルト、コーヒー)	朝食1	6	1.46	2.44		4.11	2.46	
朝食2 (ごはん、みそ汁、アジ開き、大豆五目煮)	朝食2	6	国産・圧力鍋	国産・鍋	輸入・鍋	国産・圧力鍋	国産・鍋	輸入・鍋
			2.35	2.43	12.88	2.55	2.47	0.47
昼食1 (ラーメン、みかん、ウーロン茶、プラマンジェ)	昼食1	5	夏	冬		夏	冬	
			1.91	1.95		2.62	2.56	
昼食2 (インスタントラーメン人参もやし入り、みかん、ウーロン茶、プラマンジェ)	昼食2	3	夏	冬		夏	冬	
			0.77	0.76		3.90	3.95	
昼食2' (インスタントラーメン人参もやし抜き、みかん、ウーロン茶、プラマンジェ)	昼食3	2	夏	冬		夏	冬	
			0.66			3.03		
昼食3 (スパゲティーミートソース、野菜スープ、サラダ)	昼食4	6	露地もの	ハウスもの		露地もの	ハウスもの	
			2.72	2.84		2.21	2.11	
夕食1 (ごはん、具だくさん味噌汁、焼き魚(サバ)、茶碗蒸し、ほうれん草浸し)	夕食1	7	夏	冬		夏	冬	
			2.61	2.57		2.68	2.72	
夕食2 (炊き込みごはん、すまし汁、サバ味噌煮、いんげん胡麻和え)	夕食2	4	国産	船	飛行機	国産	船	飛行機
			3.60	4.04	12.86	1.67	1.49	0.34
夕食3 (ごはん、搾菜肉絲湯、八宝菜、鶏の唐揚げ、デザート)	夕食3	4	夏	冬		夏	冬	
			4.70	4.91		0.85	0.81	
夕食4 (ご飯、白菜肉丸子湯、回鍋肉、牛乳羹)	夕食4	6	国産	飛行機		国産	飛行機	
			1.56	1.00		3.35	1.41	
夕食5 (ごはん、コーンポタージュ、ハンバーグ、ポテトサラダ)	夕食5	3	夏	冬		夏	冬	
			3.51	3.88		0.85	0.77	

は、モデルメニューを作成し、また即席麺および生麺を用いた即席麺を設定し、それぞれについてインベントリーデータを収集し、1食あたりの食材および家庭内調理時のCO₂排出量を算出した。

また分子には1食分の食物から得られる価値(V_{1食})とし、食することから得られる食物の機能を栄養評価とした。その結果、多様な食材を組み合わせる調理をすること、また食材を選択するときは、国産物、旬の物、輸送距離が短いものの食材を取り入れると、環境効率指標が高い傾向にあるといえる。数式化をすることにより、栄養評価からさまざまなメニューの環境効

率指標を現すことができると示唆された。

しかし環境効率だけで食生活の質を高めることはできない。なぜなら食のおいしさへの飽くなき追求を見逃すことはできないからである。故に蓋をする・火加減を変えるなど環境負荷量を削減する行為は考えなければならないが、今求められることは健康に配慮した食生活の質を高めつつ、環境負荷量を削減することが最良と考えられる。

食育基本法では、食べることを共に楽しむ共生の精神が求められている。環境負荷量の削減を考慮しつつ、いかに食生活の質を向上させるかが問題となってくる。本研究では肉食におけ

る環境効率を算出したが、食物の食べ方には中食、外食など食形態はさまざまである。今後は本手法の精度を上げつつ、食形態毎の評価項目、食物の価値を考慮し、環境に配慮した豊かな食生活を送るための提言できる一指標としての環境効率を構築していきたい。そして本手法を活用し食育推進の取組が進められることを期待する。

参考文献

- 1) 津田淑江, 井元りえ, 木下枝穂, 大家千恵子 (2005): 日本家政学会誌, 56, 541-551
- 2) 井元りえ, 大家千恵子, 津田淑江 (2005): 日本家政学会誌, 56, 633-641
- 3) 津田淑江, 大家千恵子, 瀬戸美江, 久保倉寛子, 稲葉敦 (2006): 日本 LCA 学会誌, 2 (3), 288-297
- 4) 津田淑江, 久保倉寛子, 辻本進, 上田玲子, 大家千恵子 (2007): 日本 LCA 学会誌, 3 (4), 157-167
- 5) 津田淑江, 堂園寛子, 大家千恵子 (2008): 日本調理科学会誌, 41 (5), 289-296,
- 6) 田原聖隆 (2007): 日本 LCA 学会誌, 3 (2), 122-126
- 7) 梅田靖 (2007): 日本 LCA 学会誌, 3 (2), 265-269
- 8) 高橋英二, 辻本進 (2008): 日本 LCA 学会食品研究会平成19年度報告書, 37-47
- 9) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定 (2010年度版): (第一出版)
- 10) 食品の基本的機能
入手先 <<http://www.nfri.affrc.go.jp/guidance/ryouiki/kinou/index.html>>, (2011-7-19)
- 11) 食事バランスガイド (2005): 農林水産省ホームページ, 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/balance_guide/index.html>, (2006-5-9)
- 12) 食育基本法: 文部科学省・厚生労働省・農林水産省制定 (平成17年7月15日施行)
入手先 <<http://www8.cao.go.jp/syokuiku/about/index.html>>, (2011-4-21)
- 13) “味の素グループ版「食品関連材料 CO₂ 排出係数データーベース」1995年度版” 味の素データーベース, 味の素ホームページ, 入手先 <<http://www.ajinomoto.co.jp/kankyo/pdf>>, (2006-8-21)
- 14) 環境省温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 (平成14年8月), 環境省ホームページ, 入手先 <<http://www.env.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1408>>, (2003-6-15)
- 15) 田原聖隆, 稲葉敦, 坂根優, 小島紀徳 (2004): 廃棄物学会, 15, 276-282
- 16) Data from marketing research service (1999.2001.2003), 株式会社マーケティング・リサーチ・サービス調査データ (1999.2001.2003)
- 17) 日本人の食事摂取基準 (2010): 「日本人の食事摂取基準」査定検討会報告, 厚生労働省ホームページ, 入手先 <<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/sessyu-kijun.html>>, (2010-7-6)
- 18) 「健康日本21」(2008): 厚生労働省ホームページ, 入手先 <http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b1f.html>, (2009-11-16)