研究論文

環境保全型の水稲栽培における
エネルギー消費量と環境負荷削減効果の推計

黒澤 美幸・山敷 庸亮・手塚 哲央

Estimation of Energy Consumption and Environmental Impact Reduction
by Introducing Sustainable Agriculture to Rice Paddy Field Cultivation

Miyuki KUROSAWA, Yosuke YAMASHIKI and Tetsuo TEZUKA

Synopsis: Public interests on introducing sustainable agriculture have recently been increasing especially in Shiga prefecture, Japan, where the green payments program for certified eco-farmer started in 2004. It is essential to introduce a comparable method so that we can evaluate an environmental improvement brought by the alternative practices. In this study, we compare the environmental impact induced by conventional and by sustainable rice paddy field cultivation that reduces the use of fertilizer and water consumption. The inventory analysis is applied throughout the cultivation process and the fertilizer production process for nitrogen, phosphorus, energy consumption, carbon dioxide, methane and nitrous oxide. Furthermore, we specified those substances in eutrophication of water system impact, global warming impact and energy consumption indices. By each of specified indices, environmental impacts of both agricultures are evaluated quantitatively. As a result, it is clarified that large part of energy consumption in rice paddy field cultivation results from agrochemical and fertilizer production process, therefore, the reduction of agrochemical and fertilizer application is effective to decrease energy consumption. In addition, the reduction rates of energy consumption, eutrophication potential and global warming potential are estimated quantitatively. This result clearly shows that introduction of water conservation method can mitigate not only eutrophication potential of water system but also global warming potential and energy consumption.

Key Words: Rice paddy field, Water conservation, Eutrophication, Global warming, Energy consumption

1. 背景と目的

環境保全の重視が謳われた「新たな食料・農業・農村基本計画」が閣議決定され、また滋賀県では環境保全型農業を採用する農家に対して環境直接支払いが開始されるなど、環境保全型農業への要請がますます高まっている。環境保全型農業の普及政策が広く検討されている中、その基本的な情報として環境保全型農業を導入することによる環境改善効果を定量的に評価することが必要である。しかし、環境保全型農業として採用される技術を導入することによって、逆に環境負荷が生じている場合もある^{脚注1)}。したがって、環境保全型農業の環境負荷の評価は、様々な側面の環境影響について総合的に評価することが求められている。

農業からの環境負荷を評価する手法としてLCAの積上げ法を用いた推計方法があり、農業環境技術研究所によっ

てLCA手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル²⁾としてまとめられている。鶴田他³⁾は標準的な水稲の栽培方法で単位面積あたりのメタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、二酸化炭素(CO₂)、窒素、リン、化学的酸素要求量(COD)、農業について環境影響を評価している。また、小倉他⁴⁾は、水稲栽培の単位面積あたりの環境影響を移植栽培方法と直播栽培の2つの営農方法について比較している。慣行的な栽培方法と環境保全型の栽培方法についての検討については、三島他¹⁾が全国の化学肥料と有機質肥料の流通量から畑地での養分収支を推計している。しかしながら、LCAの手法を用いて複数の環境項目に関して水稲栽培で慣行農業と環境保全型農業との環

脚注1) 化学肥料の使用量を抑えるために有機質肥料および堆肥に切り替えたことで土壌に過剰な養分が蓄積している可能性が推計されている¹⁾。

黒澤 美幸／(独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター／〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

山敷 庸亮／日本大学理工学部／〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14

手塚 哲央／京都大学大学院エネルギー科学研究科／〒606-8501 京都市左京区吉田本町

Miyuki KUROSAWA / NARO, National Agricultural Research Center / 3-1-1 Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8666

Yosuke YAMASHIKI / College of Science and Technology, Nihon University / 1-8-14 Kanda-surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8308

Tetsuo TEZUKA / Graduate school of Energy Science, Kyoto University / Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501

環境影響を比較した研究はなく、環境影響を総合的に調査することが必要となっている。

本研究では、環境保全型農業の一環として水質保全を目的とした水稻生産に関して、窒素、リン、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、エネルギー消費量を推定し、さらに3つの指標に特性化して評価することを目的とする。特性化の項目は水系の富栄養化、地球温暖化、エネルギー消費量である。

2. インベントリー分析

水稻栽培の環境影響を評価するために、ライフサイクルアセスメント (LCA) のインベントリー分析手法とインパクト評価の手法を用いる。

2.1 システム境界

対象範囲は投入資材（肥料、農薬）の製造から、栽培、施設への輸送、乾燥・調製までとし、破線で囲んだ農業機械と建物の製造段階、および生産物の流通、廃棄段階は単純化のため取り扱わない (Figure 1)。同様に、稲体による CO_2 の吸収も考慮しない。

2.2 対象範囲と機能単位

慣行農業と環境保全型農業について、単位面積あたり (1ha) の1年間の環境負荷とエネルギー消費量を推定する。エネルギー消費量、資材（肥料、農薬）の投入量は農作業ごとに推計し、窒素、リンの負荷量の推計では稲の生育ステージごとに必要な水収支を計算して濃度と乗じて計算する。

2.3 慣行農業と環境保全型農業の作業体系

本研究では農業機械学会の報告書⁵⁾で設定されている標準的な作業体系（稚苗移植、中型機械化体系）を慣行農法と設定し、使用機械とその燃料消費量の値について同じ値を用いる。環境保全型農法については、「水管理を厳密に行いかつ肥料を節減できる施肥体系」と設定し、両方の農法を導入しても収穫量が慣行農業と同程度見込まれ、労

働力の負担が増加しないような技術を取り上げて検討する。水系への環境負荷を削減する営農技術のうち、収量と労働力が慣行と同程度のものに限って分析する理由は、環境保全型農業を農業者が採用し広く普及するための条件として重要であるためである^{脚注2)}。

2.3.1 強制落水防止

濁水、肥料の流出量は、排水量と排水中の水質濃度に左右されることから、排水量と排水中の水質濃度をそれぞれ抑えることで水質改善が見込める。代かきを浅水で行い、田植え前と中干し前に強制落水を行わない農法では地表排水量を削減でき、水質を改善する。滋賀県の調査⁷⁾では、この方法により地表排水量を4、5月は45%、6月は56%削減できると報告されている。これをもとに環境保全型農法の地表排水量を慣行より4、5月は45%、6月は56%削減して計算する。

2.3.2 緩効性肥料の施用

緩効性肥料は肥料効率が高いため肥料の使用量を削減することができ、水田から流出する栄養塩が減少する。実験圃場において、慣行の作業体系では肥料を3回（速効性肥料全層施肥、追肥、穂肥）施すところ、環境保全型農業では被覆肥料側条施肥と穂肥の2回で同量の収量が確保できると報告されている⁸⁾。環境保全型農業での肥料の使用量について、この滋賀県での値を採用する。

2.4 窒素・リン収支の推計

農地に対する窒素とリンは、外部循環系からは大気降下（乾性沈着、湿性沈着）、灌漑水（窒素については、この他に微生物による窒素固定）によって天然から供給され、化学肥料、堆肥、きゅう肥などによって人為的に供給される。一方、農地から外部循環系へは、表面流出、地下浸透（窒素については、この他に脱窒）によって排出され、収穫による持ち出しや焼却によって人為的に除去される。水田における窒素やリンの流れは一般にFigure 2のように表現され、本研究では単純化のため乾性沈着を除く図中の収支について計算する。収穫物（稲体）は持ち出しとして支出に含むが、収穫物のうち稲わらは田に鋤き込むことを想定して収入に入れる。Figure 2のうち、灌漑水、湿性沈着、表面流出、地下浸透による窒素とリンの量は水稻の栽培ステージ期間ごとに推計する。

Figure 1. System boundary.

脚注2) 農林水産省が農協の指導者に対して行ったアンケート調査⁶⁾によると、農家レベルでの環境保全型農業の取り組みが不十分な理由として、次の点が指摘されている。(1)技術が確立していない(49%)、(2)販路確保と価格に問題がある(48%)、(3)農家の取り組みへの関心が低い(44%)、(4)単収が低く収量が不安定(42%)、(5)生産に労働力が多くなる(35%)。

Figure 2. Flow of nitrogen and phosphorus.

窒素とリンの量の計算に必要となる灌漑期における純用水量（灌漑水量）は、次式により表わされる⁹⁾。

灌漑水量 = 浸透水量 + 蒸散量 + 栽培管理用水量

$$- \text{田面有効降水量} \quad (1)$$

$$\text{田面有効降水量} = \text{降水量} - \text{無効降水量} \quad (2)$$

$$\text{地表排水量} = \text{栽培管理用水量} + \text{無効降水量} \quad (3)$$

浸透水量とは水田の耕盤を通して地中深く流下する降下浸透量と畦畔の下を通る畦畔浸透量のことである。栽培管理用水とは、水稻の栽培期間中農作業に合わせて用水を落水したり、田面貯留水深を調節したりするために水田の落水口から意図的に落水される用水である。

式（1）の田面有効降水量とは、田面に降下した降水のうち畦畔によって貯留され、水田で有効に利用される水量を表し、式（2）によって計算される。地表排水とは、人為的に落水口から排水した水（栽培管理用水）と、無効降水とよばれる降水時における一定水深以上の落水（表面流出）から成り、式（3）で計算される。

以上、作付期間中の水収支について述べたが、非作付期間中の水収支は次式により表わされる⁹⁾。

$$\text{降水量} = \text{浸透水量} + \text{蒸発散量} + \text{地表排水量} \quad (4)$$

窒素とリンの収支を計算するために本研究で用いた数値は以下の通りである。浸透水量は、灌漑期、非灌漑期ともに小倉他⁴⁾の値、浸透水中の窒素とリンの濃度は関矢¹⁰⁾の値を用いる。降水量は滋賀県近江八幡市でのアメダス観測結果（1979～2000年の22年間）の月毎平均の実測値を使用する。有効降水率は栽培管理用水量の実態について全国の試験圃場で調査した文献¹¹⁾より、年間平均値の68.3%を採用する。降水中に含まれる窒素とリンの濃度は関矢¹⁰⁾の値を使用し、文献で用いられている窒素とリンの濃度は5～10月の平均値のものであるが本研究では年間を通じてこの値を用いる。作付け期間中の蒸発散量については、日本各地の地方別の蒸発散量の信頼しうる実測値（旬別平均値、単位：mm/day）が文献¹²⁾に記載されており、水稻の生育が滋賀県に近い近畿の蒸発散量の値を適用する。非作付期間の平均蒸発散量は文献より⁹⁾1.1mm/dayとする。栽培管理用水量、地表排水中の窒素・リンの濃度は、関矢¹⁰⁾の値を用いる。以上から求めた灌漑水量、降水量、地表排水量、浸透水量について農作業時期ごとに結果を示す（Table 1参照）。窒素固定量については、渡辺¹³⁾が長期間の実験から1ha当り20～50kg Nが固定されるとしている。関矢¹⁰⁾は1ha当り20kg Nを用いて推定している。一方、農地における窒素収支を推定するためのデータベースを整備している松本他¹⁴⁾の文献では、Yatazawa¹⁵⁾の研究成果をもとに、水稻の窒素固定量を1ha当り40kg Nとしている。2つの値は2倍以上の差があるが、本研究では松本ら¹⁴⁾にならない40kg Nとして計算する。脱窒量については、小菅¹⁶⁾が湛水士壤での脱窒に関して、既存の論

Table 1. Water volume for each stage

(m³/ha)

	Period	Common to both agriculture		Conventional agriculture		Sustainable agriculture	
		Precipitation (input)	Percolating water (output)	Irrigation water (input)	Drainage water (output)	Irrigation water (input)	Drainage water (output)
Planting period	(5/1-9/12)						
Soil puddling/ rice planting	5/1-5/10 10days	537	2,000	3,610	1,672	3,495	1,672
Root taking stage	5/11-5/30 20days	1074	3,000	3,740	844	3,648	844
Active tillering stage	5/31-6-19 20days	1453	2,000	2,100	465	2,012	465
Soil drying stage	6/20-6-29 10days	726	0	0	232	0	232
Panicle initiation stage	6-30-7/29 30days	2006	4,500	5,750	1,142	5,364	1,142
Ear emergence/ blooming	7/30-8/18 20days	763	2,000	2,620	244	2,571	244
Drainage of ponded water/ harvest	8/19-9/12 25days	1286	0	0	412	0	412
Non- planting period	9/13-4/30 230days	7322	1,932	0	1988	0	1,988
Total		15167	15,432	17,820	6,999	17,090	6,999

文を調査した。小菅¹⁶⁾によれば、ポット試験の結果からは水稻を栽培した場合に施肥窒素のうち25%から30%が脱窒したと推定され、また、水田圃場に容器をかぶせて、重窒素でラベルした肥料からの脱窒を捕集した結果によると、水稻栽培区で24.1%と、ポット試験と似通った数値が得られているとの結論を得ている。そこで本研究では施肥窒素量の25%を脱窒量として推計する。

2.5 エネルギー消費量、及びCO₂、CH₄、N₂O排出量の推計

2.5.1 エネルギー消費量

(1) 燃料消費量

慣行農業での使用機械による燃料消費量の値については、農業機械学会の報告書⁵⁾で設定されているものと同じものを用いる。燃料別と電気の発熱量の原単位はTable 2を用いる^{17, 18)}。Table 2中の混合油の発熱量の値は、ガソリンと潤滑油を25:1で混合するとして計算する¹⁹⁾。水質保全型農業については、追肥を1回省略できると想定し、慣行栽培でのエネルギー消費量から追肥1回分の作業にかかるエネルギー消費量を引いて計算する。

(2) 肥料と農薬の生産時に消費されるエネルギー

投入資材の生産時に消費されるエネルギーは、Table 3に示すように産業連関表に基づいて推計された石油換算発熱量(kJ/円)²⁰⁾と、1haあたりの肥料、農薬の使用額と乗じて推計する。肥料、農薬の使用額については滋賀県の平成17年産米の生産費の10a当り費用²¹⁾を1haに換算して用いる(Table 4)。

2.5.2 CO₂排出量

農業機械の利用による二酸化炭素発生量は、農業機械学会の報告書⁵⁾で設定されている燃料の消費量にCO₂原単位(Table 2)を乗じて計算する。混合油のCO₂原単位に

ついては、潤滑油のCO₂原単位はB重油とほぼ等しいとされる²²⁾ことから、ガソリンとB重油の原単位に混合率を乗じて計算する。水質保全型農業からのCO₂排出量については、慣行農業から追肥1回分で排出される二酸化炭素の排出量を差し引くことにより推計する。

2.5.3 CH₄排出量

水田からのCH₄排出量は、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令²³⁾に記載されている単位面積あたりのメタン排出原単位(kg CH₄/m²)を用いて計算する。したがって、慣行農業と水質保全型農業との間に違いは生じない。

2.5.4 N₂O排出量

N₂Oの排出量は、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令²³⁾に記載されている水稻栽培での窒素1トンあたりの使用にともなうN₂O排出原単位(N₂O kg/ N t)に、窒素施肥量をかけることにより求める。

3. インパクト評価

地球温暖化の特性化係数は地球温暖化対策の推進に関する法律施行令²³⁾に記載されている重み付け係数を用い、CO₂換算の温室効果ガスの排出量(gCO₂/ha・年)で評価する。

水系の富栄養化の特性化係数は、Hauschildら²⁴⁾が提案したNutrient Enrichment Potential: EF(ne)を用いる。EF(ne)とはそれぞれの物質がどれだけ富栄養化現象に寄与しているかということを、レッドフィールド比を用いて硝酸態窒素換算で表現した値である。本論文では表面排水と浸透水中に含まれる窒素とリンが水系の富栄養化に影響を与えるものと考え、その排出量に特性化係数を乗じて水系の富栄養化への影響を評価する。

Table 2. Unit energy consumption and unit CO₂ emission of fuel and electricity

	Light oil per liter	Gasoline per liter	Mixed oil per liter	Kerosene per liter	Electricity per kwh
Unit energy consumption (MJ) (Gross heat value)	38.2	34.6	34.8	36.7	3.6
Unit CO ₂ emission (g CO ₂)	2619	2322	2410	2489	378

Source: Reference 17,18.

Table 3. Unit energy consumption and unit CO₂ emission of agrochemicals and fertilizer

(Producer price (I-A)⁻¹type, 2000)²⁰⁾

	CO ₂ (g-CO ₂ /Yen)	Energy(TOE) (J/Yen)
Agrochemicals	4.86	73,410
Fertilizer	8.28	117,240

Table 4. Cost of fertilizer and Agrochemical

	Yen/ha
Agrochemicals	61,182
Fertilizer	98,080

Source: Reference 21.

4. 結果

4.1 窒素、リンの排出量

窒素、リンについて慣行農業と環境保全型農業との収支を算出した結果をTable 5に示す。窒素についてみると、慣行農業では収入が支出を上回っているのに対して環境保全型農業では収支がほぼ均衡している。この理由は、投入肥料が減少したのと、強制落水による田面からの窒素の流出が減少したためである。収入から支出を差し引いた窒素分は土壌に蓄積されると考えられるが、その窒素分は将来的に水系へ流出する可能性があり、水質保全のためには収支を均衡させることが望ましい。次に、田面水と浸透水中の窒素負荷量が水系に流出するとし、水環境への負荷を評価する。田からの正味の排出負荷量、即ち、田面水と浸透水の負荷量から灌漑水と降水の負荷量を引いた差引負荷量では、慣行農業で73kg/ha・年、環境保全型農業で56kg/ha・年の排出と計算される。慣行農業から環境保全型農業にすることで、23%の窒素の水系への流出が削減されている。

リンについては環境保全型農業を導入することで収支の差が減少しているものの、環境保全型農業でも土壌にリンが蓄積していると思われる。リンは土壌中の鉄などに吸着されやすいため、植物が取り込むことができない形で土壌に蓄積していると考えられる。水系へ流出する正味のリンの排出量は、慣行農業で0.27kg/ha・年、環境保全型農業で-0.1kg/ha・年と計算される。環境保全型農業によって、水系へのリンの排出が慣行農業より0.37kg/年・ha削減されることとなる。本研究で設定した環境保全型農業では、灌漑水や降水から流入するリンを浄化すると考えられる。

4.2 エネルギー消費量

農作業別の燃料消費によるエネルギー消費量をTable 6に示す。農業用機械によるエネルギー消費と、肥料と農薬の製造段階でのエネルギー消費量をTable 7に示す。慣行農業では肥料の製造段階におけるエネルギー消費量が46%と大部分を占めており、肥料製造でのエネルギー消費が大きいことがわかる。環境保全型農業については、農業機械を用いる追肥作業の省略により削減できるエネルギー量は、慣行農業全体に対して1%にも満たない。それに対して、肥料使用量の削減によって、慣行農業と比較しておよそ20%のエネルギーが削減されている。水稻栽培においてエネルギーを効果的に削減するためには、肥料の使用量を減少させることが有効であると考えられる。

4.3 CO₂、CH₄、N₂Oの排出量と地球温暖化に対する影響評価

CO₂、CH₄、N₂Oの排出量をg CO₂換算でTable 8に示す。地球温暖化に対する影響としては、3つの物質の中でCH₄が占める割合が最も高く、慣行農業の地球温暖化ガスのうち57%を占める。つぎがCO₂で30%、N₂Oは13%の順である。慣行農業と環境保全型農業とを比較すると、肥料の使用量削減によるN₂Oの発生量の減少と、肥料の製造段階でのCO₂発生量の減少が同程度であり、削減割合も大きい。一方、追肥作業の省略によるCO₂削減量は、慣行農業の温室効果ガスに対する割合は1%未満と小さい。

4.4 インパクト評価結果

エネルギー消費量、水系の富栄養化に対する影響、地球温暖化に対する影響について、慣行農業を基準とした場合の影響をFigure 3に示す。3つの指標のうち、エネルギー

Table 5. Nitrogen and phosphorus balance of conventional and sustainable agriculture

		(kg/Year・ha)			
		Conventional agriculture		Sustainable agriculture	
		N	P	N	P
Input	Irrigation	5.5	0.07	4.1	0.07
	Precipitation	20.3	0.9	20.3	0.9
	Fertilizer	102	12.66	56	10.04
	Nitrogen fixation by plants	40	—	40	—
	Plow paddy straws down	30.6	2.62	30.6	2.62
	Total	198.4	16.25	151	13.63
Output	Drainage water*	50.3	0.98	31.7	0.61
	Percolation water*	48.6	0.26	48.6	0.26
	Rice absorption	56.6	7.2	56.6	7.2
	Denitrification	25.5	—	14	—
	Total	181	8.44	150.9	8.07
Balance		17.4	7.81	0.1	5.56

*Nutrients in these water cause eutrophication of water system.

Table 6. Energy consumption and CO₂ emission of farming process

Farming process*	Conventional agriculture		Sustainable agriculture	
	Energy consumption (MJ) *	CO ₂ emission (g CO ₂)	Energy consumption (MJ)	CO ₂ emission (g CO ₂)
Seed preparation	24.5	2,570	24.5	2,570
Seeding	1.4	151	1.4	151
Nursery	365.8	38,405	365.8	38,405
Management of field surroundings	183.4	12,571	183.4	12,571
Amendment application	226.7	15,506	226.7	15,506
Plowing	897	61,487	897	61,487
Soil puddling	809.8	55,523	809.8	55,523
Transplanting and application of fertilizer	276.8	18,576	276.8	18,576
Transportation of seedling	24.2	1,625	24.2	1,625
Herbicide	41.7	2,848	41.7	2,848
Agricultural pest control	62.5	4,276	62.5	4,276
Application of fertilizer	41.7	2,870	41.7	2,870
Application of fertilizer	41.7	2,870	0	0
Water management	173	11,610	173	11,610
Weeding of field surroundings (twice)	86.5	5,805	86.5	5,805
Harvesting	897.7	61,547	897.7	61,547
Transportation of rice husk	166.1	11,146	166.1	11,146
Dry	4,728.00	332,700	4,728.00	332,700
Total	9048.4	642,087	9006.7	639,217

* The data of these columns are extracted from Reference 5.

Table 7. Energy consumption and CO₂ emission of conventional and sustainable agriculture

	(MJ)	
	Conventional agriculture	Sustainable agriculture
Farming process	9,048	9,007
Fertilizer production	11,499	6,313
Agrochemical production	4,491	4,491
Total	25,038	19,811

Table 8. Global warming potential of conventional and sustainable agriculture

(g CO ₂ equivalent, g /ha · Year)		
	Conventional agriculture	Sustainable agriculture
CH ₄	3,360,000	3,360,000
N ₂ O	758,880	416,640
CO ₂ Fertilizer production	812,102	445,861
Agrochemical production	297,344	297,344
Farming process	642,087	639,217
Total	5,870,413	5,159,062

消費量と水系の富栄養化の削減割合が最も大きくどちらも約21%である。次に地球温暖化（12%）の順である。地球温暖化については、CH₄（CO₂換算）排出量の占める割合が57%と高いにも関わらず本研究で用いたCH₄の推計方法ではCH₄を政策変数として操作できないために、2つの農法による差が小さいと考えられる。しかしながら、本研究で検討した水質保全型農業を行うことによって、富栄養化の影響だけではなく、エネルギー消費量と地球温暖化への影響が同時に削減されることが定量的に示された。

Figure 3. Energy consumption, eutrophication impact to water system and global warming for conventional and sustainable agriculture

5. まとめ

水質保全を目的とした環境保全型農業の水稲栽培についてエネルギー消費量と環境影響を評価するために、窒素、リン、エネルギー消費量、CO₂、CH₄、N₂Oの排出量を推計した。さらに窒素とリンが富栄養化に及ぼす影響、CO₂、CH₄、N₂Oが地球温暖化に与える影響とエネルギー消費量について評価した。推計の結果、水稲栽培のエネルギー消費量は肥料の製造段階で大きく、肥料の削減が省エネルギーに効果的であることが確認された。また、環境保全型農業を行うことで、水系の富栄養化だけではなく、エネルギー消費と地球温暖化の影響を同時に小さくすることが定量的に示された。

この評価手法の問題点は、同一圃場から得られたデータではないため、土壌や気象などの違いによって推計値に誤差が含まれていると考えられることである。今後この推計値の誤差の幅を感度分析によって明らかにすることで、環境政策の評価尺度としての使用にも堪えるエネルギー消費量や環境負荷の評価が行えると思われる。また、環境影響について総合的な評価をさらに進めるためには、より多くの環境保全型栽培技術について検討し、農業の生態毒性などの本研究で扱っていない環境影響についても算定することが必要である。

(平成18年11月30日受付、平成19年7月31日採択)

引用文献

- Mishima S., Kimura R.: Journal of Agricultural Science, 59 (2), (2004), pp.87-89 (三島慎一郎, 木村龍介: 農業技術, 59(2), (2004), pp.87-89 [in Japanese])
- 農業環境技術研究所: “LCA手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアルー環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発研究成果報告書別冊”, (2003)
- 農林水産省農業環境技術研究所編, 鶴田治雄, 尾崎保夫, “農業におけるライフサイクルアセスメント”, 養賢堂, 東京 (2000), pp.72-83
- 農林水産技術情報協会, 小倉昭夫, 上路雅子, 尾崎保夫, 鶴田治雄: “平成9年度農林水産業に係るLCA適用方策の検討調査委託事業報告書”, (1998), pp.19-42
- 農業機械学会: “環境保全型農業技術の生産コスト”, (1995), p.51
- 農林水産省: “環境保全型農業耕種部門調査”, (1997)
- 滋賀県: “稲作技術指導指針”, (2001), p.80
- 滋賀県: “環境こだわり農作物生産技術集”, (2002), p.71
- 丸山利輔, “新編灌漑排水上巻”, 養賢堂, 東京, (1995), pp.44-105
- 関矢慎一郎: “農業技術大系土壌施肥編1土壌と根圏V”, (1987), pp.1-12
- Watanabe T., Maruyama T.: Journal of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, 52(11), (1984), pp.1007-1012 (渡辺紹裕, 丸山利輔: 農業土木学会誌, 52 (11), (1984), pp.1007-1012 [in Japanese])
- Nakagawa S.: Journal of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, 34 (2), (1966), pp.85-90 (中川昭一郎: 農業土木学会誌, 34 (2), (1966), pp.85-90 [in Japanese])
- 渡辺巖: “農業と土壌微生物”, 農山漁村文化協会, 東京 (1971), pp.199-200
- 松本成夫, 三島慎一郎, 織田健次郎: “農地における窒素収支の推定のためのデータベースの整備, 資源・生態管理科研究集録”, (12) (1996), pp.19-38
- Yatazawa M.: “Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems”, Elsevier, Amsterdam (1978), pp.167-182.
- Kosuge S.: Agriculture and Horticulture, 54 (4), (1979), pp.495-500 (小菅伸郎: 農業および園芸, 54 (4), (1979), pp.495-500 [in Japanese])
- 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編: “総合エネルギー統計”, (2002)
- 環境省: 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令(平成14年2月改正)
- 混合油の作り方(オンライン), 入手先<<http://shimanuki-farm.net/diy/mixoil/mixoil.html>>, (参照2006-10-30)
- 国立環境研究所 地球環境研究センター: “産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)”, 原単位データファイル2000年 (オンライン), 入手先 <http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/jpn/Table/embodied/f_embodied.htm>, (参照2007-2-1)
- 滋賀県: “平成17年度産滋賀県の米生産費(農家調査)”, (2006)
- 平成12年9月環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会: “燃料報告書”, 温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果, (オンライン), 入手先<<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1209/09.pdf>>, (参照2006-11-28)
- 環境省: 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令, (最終改正: 平成一八年三月二九日政令第八号)
- Hauschild M., Wenzel H. “Environmental Assessment of Products. Volume 2 Scientific background”, Chapman & Hall, London(1998)