

第2章 L C A評価に基づく持続可能な農業生産システム の開発

第2章 LCA評価に基づく持続可能な農業生産システムの開発

1. LCAの作物別農業生産技術への適応

(1) 野菜作におけるLCAの農業生産技術への適応

キャベツ栽培におけるLCAの農業生産技術への適応

担当：野菜茶業研究所・葉根菜研究部・作型開発研究室

要 約：キャベツ栽培において機械化一貫栽培体系は、効率的な専用作業機の導入により、汎用作業機を用いる慣行栽培体系によりエネルギー消費量が少なく、環境負荷物質の排出量も少ない。また、機械化一貫栽培体系では緩効性肥料の利用による施肥量の削減により、畑地に残存する栄養塩類や、畑地からのN₂Oの発生量が低減する。一方、農薬の種類・量に両体系で違いは小さく、環境負荷物質の排出量も同程度であった。

1. 背景と目的

キャベツは重量露地野菜であるにもかかわらず、生産現場では手作業が大部分を占めていた。しかし近年、全自動移植機や収穫機などが開発されて機械化進んできており、現行の慣行栽培から作業体系が大きく変化してきている。一方、消費者の環境汚染、食の安全・安心への関心の高まりから、農業生産も環境問題に前向きに取り組まざるを得なくなっている。そこで持続可能なキャベツ機械化一貫生産システムの開発を図るため、夏まき冬どりキャベツについて、慣行栽培体系と先進的な機械化一貫栽培体系の二つの栽培体系を取り上げ、環境負荷物質の収支を明らかにする。

2. 研究方法

LCA手法に基づき以下の方法で評価を加えた。

(1) 目的の設定(Goal Definition)

持続可能なキャベツ機械化一貫生産の体系確立に資するため、先進的な大規模キャベツ産地の一つである中部地方平野部を対象とし、慣行栽培体系（以下、慣行体系）、機械化一貫栽培体系（以下、機械化体系）のそれぞれについて、育苗から出荷までの範囲で評価をする。環境負荷物質収支の評価単位は10a当たりとする（目標収量を別途明記し、生産物単位に換算可とする）。収穫物に吸収された物質は固定されたものと見なしてアウトプットとして扱い、作物残渣については、キャベツ栽培では通常、全量が圃場に鋤込まれるため、吸収量は明記するがアウトプットとはしない。また、作物残渣からの一酸化二窒素（N₂O）等の発生については、後作物や処理法により大きく変わるため、範囲には含めない。

(2) インベントリ分析(Inventory analysis)

インベントリデータの前提条件として播種から圃場整備までとし（図1）、慣行体系は“地床育苗—

半自動移植—汎用トラクタ管理—手取り収穫—運搬台車搬出”、機械化一貫栽培体系については“セルトレイ育苗—全自動移植—専用作業車管理—機械収穫”とした（詳細については巻末付表参照）。作業機器類、投入資材やエネルギー消費等などは文献調査や聞き取りを行い、キャベツによる二酸化炭素（CO₂）吸収や養分収支、N₂Oの発生量は実測した。

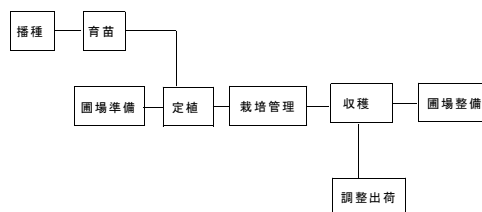


図1 キャベツ栽培のインベントリーのフロー図

(3) 環境影響評価(Impact analysis)

環境影響項目はエネルギー消費、地球温暖化、土壤汚染等への寄与にカテゴリー分けをし、環境への影響影響の度合いを評価する。

(4) 改善評価(Improvement)

機械化一貫栽培体系による、環境負荷物質の増減を明らかにし、改善すべき点を明らかにする。

3. 結果と考察

キャベツ慣行体系、機械化体系の投入資材量と環境負荷物質収支については巻末の集約表、インベントリ表にまとめた。

(1) 育苗行程では、慣行体系は地床育苗、機械化体系はエブ&フロー育苗装置を用いたセルトレイ育苗で、使用エネルギー・資材は共に少なかった。両体系で大きく異なる点は、慣行体系では苗床の土壌

消毒を行うことあり、機械化体系では育苗にアンダートレイ（ポリプロピレン（PP）、耐用年数10年）40枚/10aとセルトレイ（ポリエチレンテレフタレート（PET）、耐用年数3年）40枚/10aを用いることであった。以前は塩化ビニルやポリスチレンなど、リサイクルが困難な材料が用いられ、耐用年数を過ぎた物は廃棄されていたが、現在ではリサイクル可能資材のPPやPETなどへの切り替えが進んでいるため、廃棄物の排出量は0kg/10aとした。

（2）耕うん、有機物施用等の圃場準備行程では、両体系に違いはなく、用いられるトラクタの馬力やエネルギー消費量の違いにより若干異なる程度で、エネルギー消費に伴う環境負荷物質の排出量は、慣行体系でCO₂：21.2kg/10a、窒素酸化物（NO_x）：146.9g/10a、硫黄酸化物（SO_x）：50.9g/10a、機械化体系でCO₂：22.2kg/10a、NO_x：154.3g/10a、SO_x：53.4g/10aと機械化体系がわずかに上まわった。

（3）施肥・畦立行程では、機械化体系で畦立同時施肥機の利用による率化により、エネルギー消費量が低下し、環境負荷物質の排出量は、慣行体系でCO₂：17.7kg/10a、NO_x：89.0g/10a、SO_x：19.0g/10a、機械化体系でCO₂：10.32kg/10a、NO_x：35.6g/10a、SO_x：0g/10aと、機械化体系で大きく低下した。

投入資材の肥料については、圃場準備段階で投入した有機質肥料や単質肥料は、両体系で投入量はほぼ同じであった。複合肥料では機械化体系で畦立同時施肥機の導入によるCDU化成やコーティング肥料等の緩効性肥料の畦内条（局所）施用で、基肥の施肥量削減が図れ、かつ追肥が不要となった。したがって土壌負荷物質の総投入量では慣行体系の窒素47.8kg/10a（内、化学肥料分29.7kg）、リン酸38.1kg/10a（同28.8kg）、カリ48.7kg/10a（同29.5kg）から、機械化体系ではそれぞれ窒素29.4kg/10a（同11.2kg）、リン酸23.6kg/10a（同14.4kg）、カリ30.4kg/10a（同11.2kg）へと、約4割削減できた（図2）。

しかし、緩効性肥料は、慣行体系で用いられる通常の化学肥料に比べ高価で、総購入価格は両体系で差は小さく、産業連関法に基づけば、肥料の生産行程でのCO₂の発生量は、慣行体系149.7kg/10a、機械化体系134.6kg/10aとなり、機械化体系で約1割の削減にとどまった。

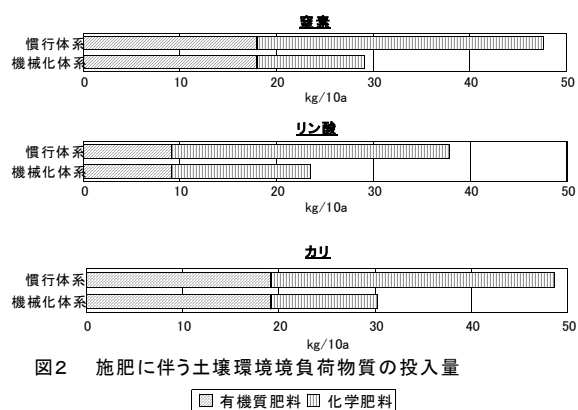


図2 施肥に伴う土壌環境負荷物質の投入量

（4）定植作業行程では、慣行体系の半自動型移植機や歩行型管理機、汎用トラクタと作業機の組合せに比べ、機械化体系の全自動移植機や専用作業機は作業能率が高く、環境負荷物質の排出量は、慣行体系でCO₂：11.4kg/10a、NO_x：49.8g/10a、SO_x：7.0g/10a、機械化体系でCO₂：9.3kg/10a、NO_x：34.2g/10a、SO_x：1.3g/10aと機械化体系で低下した。

（5）肥培管理行程のうち、追肥作業については上述したように、機械化一貫栽培体系では緩効性肥料を用いるため、相応分の環境負荷物質の輩出が削減された。培土作業においても、慣行体系の歩行型管理機に比べ機械化体系の乗用管理作業車の能率が高く、エネルギー消費量とそれに伴う環境負荷物質の排出量が低下し、肥培管理全体では、慣行体系でCO₂：33.6kg/10a、NO_x：131.5g/10a、SO_x：10.1g/10a、機械化体系でCO₂：14.1kg/10a、NO_x：49.2g/10a、SO_x：0g/10aであった。

（6）病虫害防除行程においては、両体系共に使用農薬の種類は多い（表1）が、作業機による使用農

表1 キャベツ栽培における農薬の使用量と毒性

使用農薬(単位)	使用量		急性毒性(甲殻類) ミジンコL050
	慣行体系	機械化体	
クロロピクリン99.0%剤 (mL)	1500	0	0.91
アセフェート5.0%粒剤 (g)	3000	3200	—
アセフェート50.0%水和剤 (g)	110	100	—
カルタップ50.0%水和剤 (g)	110	110	33
フルスルファミド0.1%粉剤 (g)	30000	30000	—
トリフルラリン44.5%乳剤 (mL)	300	300	10.56
エトフェンブロックス20.0%乳剤 (mL)	100	100	40
フルフェノクスロン10.0%乳剤 (mL)	50	50	—
パチルス・チューリンゲンシス生菌10.0% (g)	100	100	—
メソミル45.0%水和剤 (g)	100	100	0.025
PAP50.0%乳剤 (mL)	100	100	—
エマメクチン安息香酸塩 (mL)	100	100	0.0015
テフルベンズロン6.0% (mL)	50	50	—

—：不明

薬、散布回数に差は認められず、用いる作業機の使用燃料の違いにより、慣行体系でCO₂ : 4.8kg/10a、NO_x : 33.0g/10a、SO_x : 11.4g/10a、機械化体系でCO₂ : 5.12kg/10a、NO_x : 17.7g/10a、SO_x : 0g/10aで慣行体系ではNO_xやSO_xの排出量が、機械化体系ではCO₂の排出量が若干多くなった。また総散布量が多くなるため、農薬生産に伴うCO₂の発生量が多く、慣行体系で97.9kg/10a、機械化体系で92.6kg/10aとなり、慣行体系で地床育苗の苗床の土壌消毒に用いた農薬分の排出量が増加した。

総使用農薬の毒性は甲殻類（ミジンコ）のLC50を用いた急性毒性の特性価値で、慣行体系は36780.0、機械化体系では苗床消毒が不要となるため35148.1となった。

キャベツ栽培では農薬生産、薬剤散布作業に伴うCO₂の発生量が多く、また、急性毒性の特性価値も高い。機械化が進められても慣行体系とこれらの点は変わらず、改善すべき点が多いため、IPM技術の早急な確立が求められる。

（7）収穫・出荷行程においては、収穫作業で慣行体系は手取り収穫となるが、圃場外への搬出には動力運搬台車を用いている。機械化体系の収穫作業機は運搬車も兼ねており、収穫・搬出にかかるエネルギー消費量は軽油2.6L/10aと、慣行体系の動力運搬台車のガソリン4.5L/10aより少なく、環境負荷物質の排出量は慣行体系でCO₂ : 10.6kg/10a、NO_x : 36.9g/10a、SO_x : 0g/10a、機械化体系でCO₂ : 6.9kg/10a、NO_x : 47.6g/10a、SO_x : 16.5g/10aであった。出荷作業においては両体系とも同じ作業機を用いた体系であり、環境負荷物質の排出量は共にCO₂ : 3.2kg/10a、NO_x : 22.0g/10a、SO_x : 7.6g/10aであった。また、出荷用段ボール箱500個（紙400kg）、ステープ4000本（鉄12kg）が使用されるが、リサイクルされるとみなし、廃棄物の排出量は0kg/10aとした。また、機械化体系では、出荷行程で折りたたみ式の通いコンテナの導入が容易で、段ボールやステープルからの切り替えることにより、リサイクルに必要なエネルギー削減が図られると考えられる。

（8）収穫後の圃場整備や、日々の細々とした管理は両体系で同一であり、環境負荷物質の排出量は共に、圃場整備でCO₂ : 6.6kg/10a、NO_x : 45.8g/10a、SO_x : 15.9g/10a、その他管理でCO₂ : 4.2kg/10a、NO_x : 29.3g/10a、SO_x : 10.1g/10aであった。

（9）キャベツ機械化体系は、慣行体系に比べ専用作業機の導入による効率化が進み、総作業時間は慣行体系の70時間から32時間へと大幅に短縮され

た。

（10）全作業行程における総所要エネルギー量は、慣行体系のガソリン25.0L/10a、軽油20.8L/10aに対し、機械化体系ではガソリン16.3L/10a、軽油16.5L/10a、電力0.18kwと機械化体系で少なく、機械作業に伴う環境負荷物質発生量も、機械化体系で減少した（図3）。

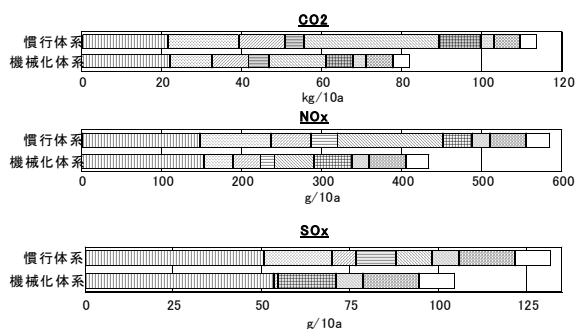


図3 機械作業によるエネルギー消費に伴う環境負荷物質の排出量
 育 苗 □ 施肥・畦立 □ 病害虫防除 □ 収穫・調整 □ 圃場整理
 圃場準備 □ 定植 □ 肥培管理 □ 出荷 □ その他管理

（11）キャベツ栽培における機械化体系は、確立の途にあり、大規模産地においても、一部機械の導入から最新機械の利用まで、様々な段階が見受けられる。特に手作業から機械化体系への過渡期に当たる慣行体系では、従前の地床育苗に対応した効率の悪い半自動型移植機や、現有の汎用型トラクタの利用により、エネルギー消費量が高い。専用管理作業車や収穫機においても改良が加えられ、本研究に着手した3年前と比較しても効率性が向上し、機械化が進むほどエネルギー消費量が低下する傾向にある。キャベツ栽培においては、機械化進めることが、作業行程に伴う環境負荷物質の低減につながる。

（12）CO₂の総排出量は慣行体系で361.5kg/10a、機械化体系では309.3kg/10aとなった。一方、キャベツによるCO₂吸収量は、収穫部 : 378.3kg/10a、残渣 : 218.4kg/10aであった。温暖化エネルギー収支CO₂はキャベツによる吸収量を収穫物に限定すると、慣行体系 -16.7kg/10a、機械化体系では -68.9kg/10a、残渣を含めた地上部全体とすると、慣行体系 -235.0kg/10a、機械化体系では -278.3kg/10aとなった（図4）。

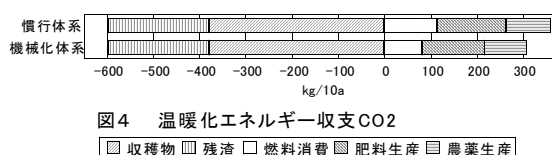


図4 温暖化エネルギー収支CO₂

□ 収穫物 □ 残渣 □ 燃料消費 □ 肥料生産 □ 農薬生産

キャベツによるCO₂固定量は普通畑作物に比べ

低いものの、温暖化エネルギー収支 CO₂ では、慣行、機械化両体系とも負となっており、機械化体系でより環境保全的である。しかし、全 CO₂ 排出量に占める直接的な燃料消費に関わる部分は、慣行体系で 32 %、機械化体系では 27 %に過ぎず、残りは肥料・農薬生産に関わる部分であり、作業機の効率化による排出量削減の余地は小さい。したがって、作物残渣に由来する有機物循環を利用した施肥量削減や、上述したような IPM 技術利用による、農薬散布量の削減による CO₂ 排出量抑制が求められる。

(13) キャベツによる養分吸収量は両体系で同じと見なし、収穫部の結球葉で、窒素：16.4kg/10a、リン酸：5.5kg/10a、カリ：22.6kg/10a、残渣の外葉で、窒素：10.5kg/10a、リン酸：3.0kg/10a、カリ：11.9kg/10a であった(図4)。機械化体系では施肥量の削減が図られているため、圃場に残存する負荷物質も低減した。

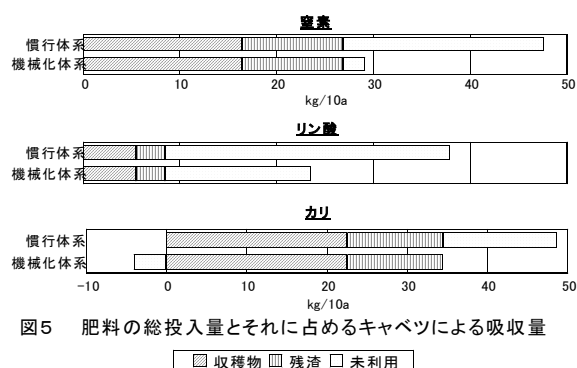


図5 肥料の総投入量とそれに占めるキャベツによる吸収量

(14) 施肥窒素に由来する圃場からの N₂O の発生量は、機械化体系では施肥量の削減と緩効性肥料の利用により 80.2g/10a で、慣行体系の 150.8g/10a に比べ半減し、施用窒素単位量当たりの発生量も低減した。

(15) 温暖化土壌面収支は、目的設定で述べたように、範囲を育苗から出荷・圃場整備までとし、残渣から発生する N₂O を含めないため、栽培期間中の N₂O 発生量に温暖化係数 310 を乗じた CO₂ 相当量では、慣行体系 46.7kg/10a、機械化体系 24.9 kg/10a となった。

(16) キャベツは普通畑作物に比べ、施肥量は多いが吸収量は少なく、土壌・水環境への窒素負荷や施肥窒素由来の N₂O の発生が問題となる。局所施肥や緩効性肥料の利用は、施肥量の削減が図れることに加え、削減比例分以上に N₂O の発生量を抑えることができ、環境負荷物質排出の抑制効果が高い方法である。

(17) 本 LCA では範囲外としたキャベツの残渣は、地上部乾物重の約 40 %を占めるが、藁・稲類に比べ可搬性や利用価値が低く、ほとんどが鋤込まれている。加えて易分解性で C/N が低く、鋤込まれた残渣から速やかな養分の放出が始まる。また、残渣からは、地球温暖化係数の高い N₂O の発生量が高くなり易い。N₂O の発生量は土壌水分や微生物相に左右されるが、鋤込み深度が深まるほど発生量が高ま傾向にある。また、土壌鎮圧により発生量が高まる。これらのことを踏まえ、作付体系に配慮する必要があると考えられる。

4. 今後の問題点

今回、範囲外とした落葉及び収穫後の残渣についての評価法を確立する必要がある。また、N₂O の発生を抑える肥培管理技術や、施肥量削減のための残渣の有機資源化技術、薬剤散布回数・量の低減化が図れる IPM 技術を早期に確立する必要がある。

(生駒泰基)

（２）畑作におけるＬＣＡの農業生産技術への適応

２－１ 大規模畑作地帯におけるＬＣＡの農業生産技術への適応

担当：北海道農業研究センター・畑作研究部・生産技術研究チーム

要約：北海道十勝地域の大規模畑作にＬＣＡ手法を適用し、慣行栽培と簡易耕起栽培による環境負荷を比較した。５つのインパクトカテゴリのうち、簡易耕起栽培では、温暖化エネルギー収支において環境負荷低減効果がみとめられたが、温暖化土壌面収支、農薬、廃棄物では慣行栽培よりも負荷が大きくなった。簡易耕起栽培は、環境に対して正負両方の効果があることが示された。

１．背景と目的

北海道十勝地域の畑作生産は、秋まき小麦、豆類（小豆、菜豆、大豆）、てんさい、ばれいしょの輪作からなる。一戸あたりの栽培面積が 30ha を超える大規模経営であり、ほとんどの作業が機械化されている。また、それぞれの作物に対応して、施肥や防除などの作業が慣行的に行われ、化石燃料、化学肥料、農薬などの資材が消費される結果、地球温暖化や硝酸態窒素による水系の汚染などの環境負荷を引き起こしている。この研究では、土壌浸食の軽減や燃料節約を目的として導入が期待される簡易耕起栽培を取り上げ、耕起を含む栽培体系が環境に及ぼす影響をＬＣＡ手法により評価した。

２．研究方法

評価の対象となる作物は、秋まき小麦、小豆、てんさい、ばれいしょおよび近年導入が進んだキャベツである。栽培体系は、慣行耕起体系（春の整地 2 回と秋のプラウ耕起 1 回）と簡易耕起体系（春の整地 1 回と非選択性除草剤散布 1 回）であり、そのほかの作業は共通とした。前提収量を表 2 に示し、両耕起体系間に差はないとした。

（１）温暖化エネルギー収支

CO₂ の直接排出量は、トラクターによる圃場作業、収穫物および資材のトラック輸送、子実乾燥における化石燃料（軽油、ガソリン、灯油）と電力の消費量から求めた。トラクターによる圃場作業は、石灰散布、整地、播種、移植、施肥、農薬散布、中耕・培土、収穫、プラウ耕起などを含み、作業の種類、回数およびトラクターのサイズからヘクタールあたりの軽油消費量を計算した（１，表 1）。

収穫物の輸送については、圃場から目的地までの距離を 10km と仮定し、トラックの積載量や燃費（２）、前提収量から軽油消費量を計算した（表 2）。農家と圃場間の資材（苗、肥料など）の輸送は、その距離を 1km と仮定し、資材輸送を要する作業の回数から求めた（表 3）。そのほか、秋まき小麦の子実乾燥（前提収量 5t/ha）には、灯油 29.5L/t と電力 44.4kWh/t（３）、てんさい移植苗の準備に 49.5kWh/ha の電力、秋まき小麦、てんさいの融雪剤散布にガソリン 1.8L/ha を要するとした（１）。

軽油、ガソリン、灯油 1L の燃焼から発生する CO₂ 量はそれぞれ 2.64、2.36、2.53kgCO₂ であり、電力 1kWh の消費から発生する CO₂ 量は、0.38kgCO₂ とし

表 1 慣行および簡易耕起体系の圃場作業における軽油消費量（てんさいの例）

作業	機械	トラクター 消費率 (馬力)	燃料 消費率 (l ha-1)	慣行耕起体系		簡易耕起体系	
				回数	消費量 (l ha-1)	回数	消費量 (l ha-1)
石灰散布	ライムソー	50	6.0	1	6.0	1	6.0
砕土・整地	ロータリーハロー	80	20.7	2	41.3	1	20.7
施肥	総合施肥播種機	60	9.5	1	9.5	1	9.5
移植	ビート移植機	60	17.0	1	17.0	1	17.0
除草剤散布	ブームスプレヤー	80	1.9	1	1.9	2	3.8
中耕	カルチベーター	50	5.7	3	17.2	3	17.2
殺菌剤・殺虫剤散布	ブームスプレヤー	80	1.9	5	9.6	5	9.6
収穫	ビートハーベスター	60	32.5	1	32.5	1	32.5
収穫物積み込み	フロントローダー	80	9.0	1	9.0	1	9.0
プラウ耕起	はつ土板プラウ	80	29.8	1	29.8	0	0.0
資材配置	トラック		1.0	10	10.0	11	11.0
合計消費量					183.8		136.3

表2 収穫物の輸送に消費される軽油量

作物	出荷先	収量 (t ha ⁻¹)	トラック 積載量 (t)	燃費 (km l ⁻¹)	燃料 消費率 ^a (l km ⁻¹ ha ⁻¹)	輸送距離 (km)	燃料 消費量 (l ha ⁻¹)
秋まき小麦	乾燥施設	5.0	4	5.5	0.45	10	4.5
てんさい	製糖工場	60.0	10	3.5	3.43	10	34.3
小豆	集荷場	2.5	4	5.5	0.23	10	2.3
ばれいしょ	集荷場	40.0	4	5.5	3.64	10	36.4
キャベツ	集荷場	40.0	4	5.5	3.64	10	36.4

^a 燃料消費率 = 2 × 収量 / トラック積載量 / 燃費

表4 十勝地域の畑作における燃料・電力消費量（まとめ）

作物	耕起体系	軽油			ガソリン		灯油		電力 kWh ha ⁻¹
		圃場作業	収穫物輸送	資材輸送	L ha ⁻¹	L ha ⁻¹	L ha ⁻¹	L ha ⁻¹	
秋まき小麦	慣行	130.8	4.5	2.8	1.8	147.5	222.0		
	簡易	83.3	4.5	3.0	1.8	147.5	222.0		
てんさい	慣行	183.8	34.3	2.5	1.8			49.5	
	簡易	136.3	34.3	2.8	1.8			49.5	
小豆	慣行	156.9	2.3	1.5					
	簡易	109.4	2.3	1.8					
ばれいしょ	慣行	241.4	36.4	2.0					
	簡易	193.9	36.4	2.3					
キャベツ	慣行	214.6	36.4	2.5					
	簡易	167.1	36.4	2.8					

た（４）。燃料・電力の総消費量を表４にまとめた。

肥料、農薬、農業機械の消費に伴う間接 CO₂ 排出量は、産業連関表（５）を用いて生産費から計算した。肥料、農薬、農業機械に関する購入者価格ベースの排出原単位は、それぞれ 5.2525、3.1185、2.6653 gCO₂/円を用いた。（農業機械の排出原単位については購入者価格ベースの数値が掲載されていなかったため、生産者価格ベースの排出原単位に 30%減じた数値を独自で採用した。）生産費は、農業経営統計調査（帯広統計情報事務所）の平成 11 年から 13 年の平均値を用いた（表５）。簡易耕起栽培で使用する非選択性除草剤（ラウンドアップ）の価格は、11,078 円/ha とした。

（２）温暖化土壌面収支

2001 年 5 月から 2002 年 8 月までに北海道農研畑作研究部（芽室町）内の長期耕起・不耕起試験圃場において対象作物を栽培し、クロズトチャンバー法により定期的にサンプリングしたガスの濃度変化から、畑土壌表面における N₂O と CH₄ の年間フラックスを求めた（表 6）。施肥量は、北海道の施肥標準にしたがった。N₂O と CH₄ による地球温暖化ポテンシャルは、温暖化係数（CO₂=1、N₂O=310、CH₄=21）を用いて CO₂ ベースに換算した。

（３）栄養塩類（硝酸性窒素溶脱のポテンシャル）

圃場における窒素のインプットとアウトプットから窒素収支を計算し、土壌に残留する窒素量を硝酸性窒素溶脱のポテンシャルとした（表 7）。

（４）農薬

前提条件として、この地域で一般的と思われる除草剤、殺菌剤、殺虫剤の組合せを選択した。それらの薬剤の圃場への投入量を有効成分の重量ベース

表3 農家・圃場間の資材輸送に消費される軽油量

作物	燃費 (km l ⁻¹)	燃料 消費率 ^a (l km ⁻¹ ha ⁻¹)	距離 (km)	慣行耕起体系		簡易耕起体系	
				回数	燃料 消費量 (l ha ⁻¹)	回数	燃料 消費量 (l ha ⁻¹)
秋まき小麦	8	0.25	1	11	2.8	12	3.0
てんさい	8	0.25	1	10	2.5	11	2.8
小豆	8	0.25	1	6	1.5	7	1.8
ばれいしょ	8	0.25	1	8	2.0	9	2.3
キャベツ	8	0.25	1	10	2.5	11	2.8

^a 燃料消費率 = 2 / 燃費

表5 十勝地域の畑作における資材費（平成 11～13 年の平均）

作物	耕起体系	肥料 円 ha ⁻¹	農薬 円 ha ⁻¹	農業機械 円 ha ⁻¹
秋まき小麦	慣行	78,850	49,980	61,370
	簡易	78,850	61,058	61,370
てんさい	慣行	185,570	102,430	114,830
	簡易	185,570	113,508	114,830
小豆	慣行	69,150	63,360	115,340
	簡易	69,150	74,438	115,340
ばれいしょ	慣行	70,010	60,780	85,910
	簡易	70,010	71,858	85,910
キャベツ	慣行	153,340	24,760	80,150
	簡易	153,340	35,838	80,150

で算出した（図 2）。

（５）廃棄物

農薬および化学肥料の使用に伴って発生するプラスチック、ビニール製の袋や容器の重量を前提条件に基づいて計算した。例えば、農薬の 500mL 容器は 54g、肥料袋（20kg 入り）は 80g であった。

3. 結果と考察

トラクター作業を中心とする圃場作業では、耕起（整地、プラウ耕起）および収穫作業における軽油消費の割合が大きく、簡易耕起栽培を導入することにより、47.5L/ha の軽油の節約が可能となった（表 4）。慣行体系では、圃場作業から発生する CO₂ 量は、総 CO₂ 発生量の 22～43% を占めた（図 1）。てんさい、ばれいしょ、キャベツのような重量作物では、収穫物の輸送にある程度の軽油消費があり（表 2）、これに伴い発生する CO₂ 量は、総 CO₂ 発生量の 4～6% であった。農家と圃場間の資材輸送では、燃料消費

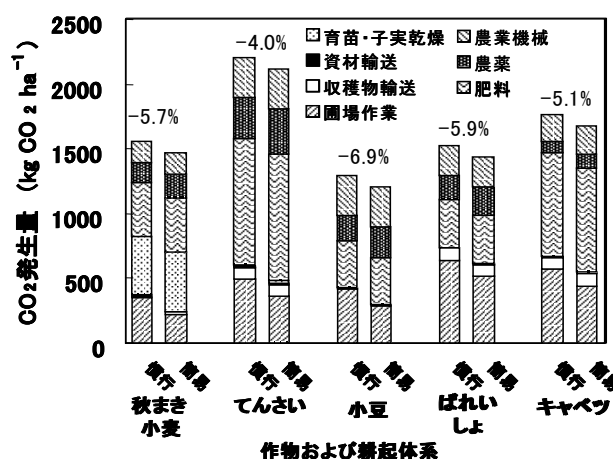
図1 慣行および簡易耕起体系における総CO₂排出量

表6 亜酸化窒素とメタンの年間フラックスとその温暖化ポテンシャル

作物	耕起体系	N ₂ O g ha ⁻¹	CH ₄ g ha ⁻¹	温暖化ポテンシャル kg CO ₂ ha ⁻¹
無作付け	慣行	-36.7	-1302.9	-38.7
	簡易	201.8	-2367.6	12.8
秋まき小麦	慣行	872.5	-846.8	252.7
	簡易	834.8	-2494.0	206.4
てんさい	慣行	535.6	-1487.9	134.8
	簡易	3709.5	-2524.1	1096.9
小豆	慣行	300.4	-1806.3	55.2
	簡易	488.0	-2037.2	108.5
ばれいしょ	慣行	148.4	-1444.1	15.7
	簡易			
キャベツ	慣行	1293.6	-1607.0	367.3
	簡易			

が小さく（表3）、CO₂の発生もわずかであった。秋まき小麦では、子実乾燥において灯油と電力の消費が大きく（表4）、そのCO₂発生量は、総CO₂発生量の29%となった。

一方、資材消費から間接的に排出されるCO₂量は、肥料由来が最も大きく、総CO₂発生量の24~46%を占めた（図1）。簡易耕起体系では、非選択性除草剤を1回使用するの、農薬消費から発生するCO₂量が大きくなった。

直接および間接CO₂発生量を合計すると、慣行耕起体系では、1293（小豆）~2206（てんさい）kgCO₂/haのCO₂が発生し、簡易耕起体系を導入することにより、4~7%のCO₂量を削減できることが明らかとなった（図1）。燃料消費や肥料の使用から発生するCO₂の割合が高いことから、燃料節約や減肥は農業分野での地球温暖化を軽減する有効な手段となることが裏付けられた。

慣行耕起栽培におけるN₂Oの年間発生量は、148（ばれいしょ）~1294（キャベツ）gN₂O/haであり、窒素施用量と強い相関（ $r=0.914$ ）があった。収穫残渣を土壌表面に留置した簡易耕起栽培では、土壌水分が高くなった3月中下旬の融雪時期に極めて大きなフラックスがあり、秋まき小麦を除いて、N₂Oの年間発生量は慣行耕起栽培と比べて大きくなった。CH₄について、まとまった降雨の直後を除き、

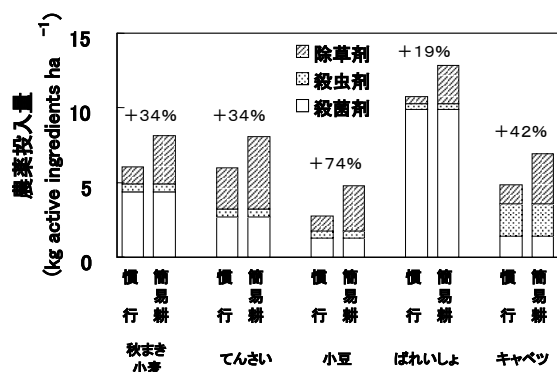


図2 十勝地域の慣行および簡易耕起体系における農薬の投入量

表7 硝酸性窒素溶脱のポテンシャル（窒素収支）

	秋まき小麦	てん菜	小豆	ばれいしょ	キャベツ
kg N ha ⁻¹					
インプット					
種子・種いも	1.7	0.0	1.1	4.1	0.0
化学肥料	110.0	150.0	40.0	60.0	220.0
降雨	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
窒素固定 ^a			99.7		
アウトプット					
収穫物	86.9	67.6	82.0	81.8	77.3
持ち出し残渣	5.8		22.3		
脱窒 ^b	6.6	9.0	2.4	3.6	13.2
残存量	22.5	83.5	44.2	-11.2	139.6

^a 窒素固定-N = 植物吸収-N - (種子-N + 化学肥料-N + 降雨-N)

^b 脱窒による窒素量は、施肥窒素量の6%とした。

ほとんどの期間で負のフラックスがみとめられた。その結果、大気中のCH₄は吸収され、慣行耕起栽培では、1年間あたり847（秋まき小麦）~1806（小豆）gCH₄/haの吸収量となった。簡易耕起栽培におけるCH₄吸収量は慣行耕起栽培よりも大きく、2037~2524 gCH₄/haであった。温暖化指数を用いて、この2種類のガスによる温暖化ポテンシャルを合算すると、CH₄吸収により地球温暖化を緩和する効果がみとめられたが、N₂Oの寄与が大きいため、どの作物においても温暖化土壌面収支は正となった。簡易耕起栽培では、N₂Oの発生が増大したので、温暖化土壌面収支も大きくなった。

栄養塩類について、窒素施用量が大きく、収穫残渣の圃場への還元量も大きかったてんさいとキャベツでは、土壌中に残る窒素量が大きく、地下水を汚染するリスクが高いことが示唆された（表7）。一方、ばれいしょでは、窒素収支はほぼ均衡しており硝酸性窒素汚染のリスクは小さいと考えられた。慣行と簡易耕起栽培では、施肥量や収穫量を同じと仮定したので窒素収支は同じとなった。しかし、耕起の違いは残渣の分解に影響するので、実際の窒素溶脱量には何らかの差が生じるとと思われる。

農薬散布により圃場に投入される成分量は、2.7~10.8kg/haであった（図2）。簡易耕起栽培では、雑草管理のため非選択性除草剤の散布を増やす前

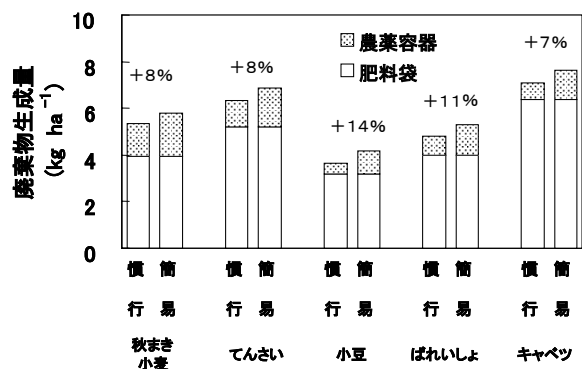


図3 十勝地域の慣行および簡易耕起体系における廃棄物の生成量

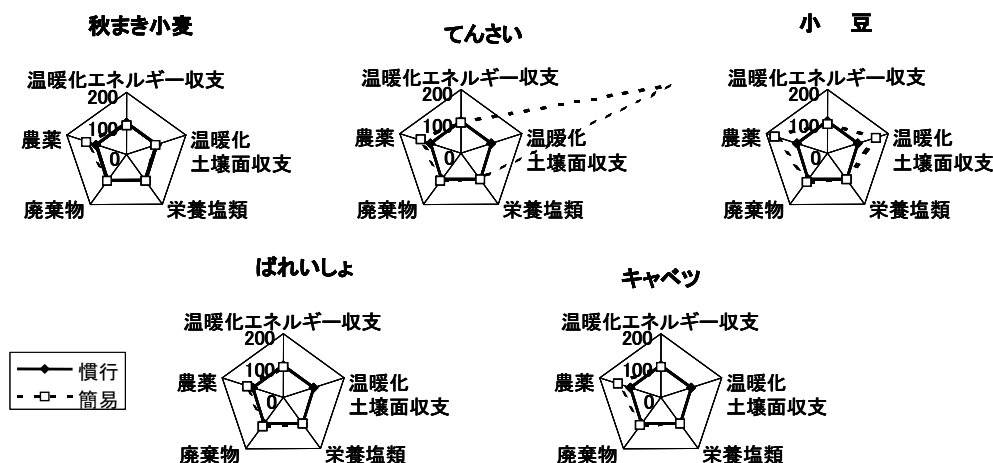


図4 十勝地域の慣行および簡易耕起体系における環境負荷の比較

提としたので、農薬成分の投入量は、慣行耕起栽培よりも大きくなった。

廃棄物について、簡易耕起栽培では、除草剤散布を増やす前提から、廃棄される農薬の容器が増えた(図3)。

以上の結果から、5つのインパクトカテゴリについて、慣行耕起と簡易耕起体系の比較を行った(図4)。LCAを簡易耕起栽培に適用すると、環境に対して正の効果を示すインパクトカテゴリは温暖化エネルギー収支のみで、温暖化土壌面収支、農薬、廃棄物において負の効果を持つことが明らかとなった。不耕起や簡易耕起栽培は環境保全的な栽培技術と考えられてきたが、LCAの観点から判断すると、必ずしも環境負荷低減効果があるとは言えないという結果が得られた。

4. 今後の問題点

- ・土壌への農薬投入による環境負荷の評価

5. 参考文献

- 1) 北海道農政部(2000)北海道農業生産技術体系(第2版)、北海道農業改良普及協会
- 2) 環境情報科学センター(1998)ライフサイクルインベントリー分析の手引き、化学工業日報社
- 3) 金子一也(1994)農業機械学会調査報告書：環境保全機能向上のための作業・作付体系、p103-113. 農業機械学会
- 4) 環境省(1999)温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン
- 5) 南齋規介ら(2002)産業連関表による環境負荷原単位データブック、国立環境研究所

6. 研究発表

口頭発表

- 1) 古賀伸久・鶴田治雄・辻博之・中野寛(2002). 北海道十勝の大規模畑作から排出される温室効果ガス(1)-機械作業、資材消費に伴うCO₂発生量-. 日本土壤肥料学会講演要旨集 48: 146
- 2) 古賀伸久・鶴田治雄・澤本卓治・西村誠一・八木一行・中野寛(2003) 北海道十勝の大規模畑作から排出される温室効果ガス(2)-畑圃場におけるN₂OとCH₄のフラックス-. 日本土壤肥料学会講演要旨集(発表予定)

誌上発表

- 1) Koga, N., Tsuji, H., Nakano, H. (2002), Assessing overall environmental impacts of arable land crop production in Hokkaido. Proceedings of The Fifth International Conference on EcoBalance. 183-186
- 2) Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji, H., Nakano, H. (2003), Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Agri. Ecosys. Environ.* (印刷中)
- 3) 古賀伸久(2003). 十勝地域の大規模畑作におけるLCA. LCA日本フォーラムニュース. 12月号

(古賀伸久)

2-2 茶栽培におけるLCAの農業生産技術への適応

担当：野菜茶業研究所・茶業研究部・土壌肥料研究室
野菜茶業研究所・茶業研究部・作業技術研究室

要約：LCA 手法でチャの生葉生産における二酸化炭素発生量を解析した。防霜で二酸化炭素発生量が大きく、作業による発生全量の 63～78 %を占めた。施肥窒素由来の亜酸化窒素発生を二酸化炭素に換算すると、直接生産過程の 3.5～7.5 倍に及ぶと推計された。

茶園管理作業による二酸化炭素発排出量の算出 $\text{g} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 、南九州地方で $330.7 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ であった(表 2)。防霜設備により排出され

1. 背景と目的

近年、茶栽培においては、施肥量の適正化や有機栽培など、環境調和型生産への取り組みが行われている。しかし、栽培過程全体における環境負荷量や改善技術の環境負荷削減の程度などを定量的に比較検討した例は見あたらない。そこで、産業界において導入されているLCA手法を用い、茶栽培における環境影響評価法を構築するため、モデル作業体系を設定し、年間のプロセス(栽培工程)を通したインベントリー表を基に、茶園管理により排出される年間CO₂量を試算する。

2. 研究方法

(1) LCAの対象とインベントリーの範囲：インベントリー分析の対象として緑茶生産量の多い東海地方、南九州地方を想定した。それぞれの地域において、農家規模は大規模、作業体系は標準的なものとした。インベントリーの範囲は通常茶園管理および加工工場までの運搬とした(表 1)。

(2) 対象とする資材と環境負荷物質：インベントリー分析の対象となるインプットは、作業機械の燃料、施設に使用する電力とし、アウトプットはCO₂とした。

(3) インベントリーデータの収集：算出に用いた基礎資料は、作物別技術原単位(静岡県農政部、1995)、茶生産指導指針(静岡県経済農業協同組合、1994)、農業機械による環境保全機能向上のための調査研究調査報告書(農業機械学会、1992)、主要作目の作業体系におけるエネルギー消費原単位(農林水産技術情報協会、1996)、実測並びに製造会社等からの聞き取りである。

3. 結果と考察

モデル作業体系において、茶園管理により排出されるCO₂量の試算結果は東海地方で $151.3 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$

表 1. LCAの対象の概要

地 域	農 家
東 海	経営茶園規模270a 男2・女1の家族労働、茶専作、共同工場 労働時間121 $\text{h} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 生葉生産量1580 $\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ (一番800kg・二番600kg・秋冬番400kg) 可搬型摘採機・歩行型管理機による作業体系 動力散布機による防除 防霜ファンによる防霜 圃場数10、通作距離それぞれ1.5 km
	経営茶園規模1000a 男2・女1の家族労働、茶専作、共同工場 労働時間は33 $\text{h} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 生葉生産量1800 $\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ (一番650kg・二番600kg・三番550kg) 乗用型摘採機・乗用型管理機による作業体系 スプリンクラーによる防除(4回) スプリンクラーによる防霜 圃場数5、運搬・移動距離それぞれ1.5 km
南 九 州	

るCO₂量の差が著しく大きかった。プロセスについてみると、両地方とも、防霜設備の使用($100 \text{ h} \cdot \text{year}^{-1}$)により排出されるCO₂量が総CO₂排出の大半(東海地方62.9%、南九州地方78.3%)を占めた。次いで、東海地方では年間10回の防除作業が $12.6 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 、年間3回の生葉運搬が $7.4 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 、南九州地方では年間6回の整枝作業が $21.8 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 、年間3回の摘採が $10.9 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ と多く、作業体系により異なった。

以上から、慣行茶栽培体系において排出されるCO₂量は、防霜設備の使用によるCO₂排出量が多い特徴があることがわかった。排出されるCO₂量を削減するためには、防霜設備の使用方法を検討することが効果的と考えられた。

表2 年間のプロセス、インプット、アウトプットおよびCO₂排出量

地域	プロセス	回数	作業機械			械利用時間 [h・10a ⁻¹ ・year ⁻¹]	消費量 [L・10a ⁻¹ ・year ⁻¹] *[kW・10a ⁻¹ ・year ⁻¹]	CO ₂ 排出量 [kg・10a ⁻¹ ・year ⁻¹]
			出力	燃料	燃料消費量			
			[kW] *[kW・10a ⁻¹]		[L・h ⁻¹] **[kW・h ⁻¹]			
東 海	施肥	7	1.8	ガソリン	0.7	2.33	1.545	3.643
	耕うん	7	2.6	ガソリン	0.7	3.50	2.516	5.933
	整枝	4	0.9	ガソリン	0.5	4.00	1.935	4.563
	摘採	3	1.5	ガソリン	0.8	3.50	2.975	7.014
	生葉運搬	3	96.9	軽油	2.8	1.00	2.800	7.403
	土壌改良材散布	1	1.8	ガソリン	0.7	0.33	0.221	0.520
	深耕	1	1.8	ガソリン	0.7	0.67	0.479	1.130
	防除	10	4.5	軽油	1.4	3.33	4.750	12.559
	敷き草刈り	1	0.9	ガソリン	0.5	2.50	1.209	2.852
	防霜(防霜ファン)	1	*2.5	電力	**2.5	100.00	*250.000	95.250
	茶園巡回	15	31.3	ガソリン	1.6	0.83	1.333	3.144
	通作(機械運搬)	35	31.3	ガソリン	1.6	1.94	3.111	7.336
	全プロセス							151.348
南 九 州	施肥	2	20.9	軽油	4.0	0.26	1.040	2.750
	施肥(スプレインクレー)	4	*6.8	電力	**6.8	4.00	*27.200	10.363
	耕うん	2	20.9	軽油	4.0	0.22	0.888	2.348
	整枝	6	20.9	軽油	4.0	2.06	8.256	21.829
	摘採	3	20.9	軽油	4.0	3.50	4.128	10.914
	生葉運搬	3	96.9	軽油	2.8	1.00	2.800	7.403
	土壌改良材散布	1	20.9	軽油	4.0	0.13	0.500	1.322
	深耕	1	20.9	軽油	4.0	0.13	0.500	1.322
	防除A	5	11.0	軽油	2.5	0.75	1.875	4.958
	防除B	2	11.0	軽油	2.5	0.54	1.355	3.583
	敷き草刈り	1	0.9	ガソリン	0.5	2.50	1.209	2.852
	防霜(スプレインクレー)	1	*6.8	電力	**6.8	100.00	*680.000	259.080
	茶園巡回	15	31.3	ガソリン	1.6	0.11	0.180	0.424
	通作(機械運搬)	28	96.9	軽油	2.8	0.21	0.588	1.555
全プロセス							330.696	

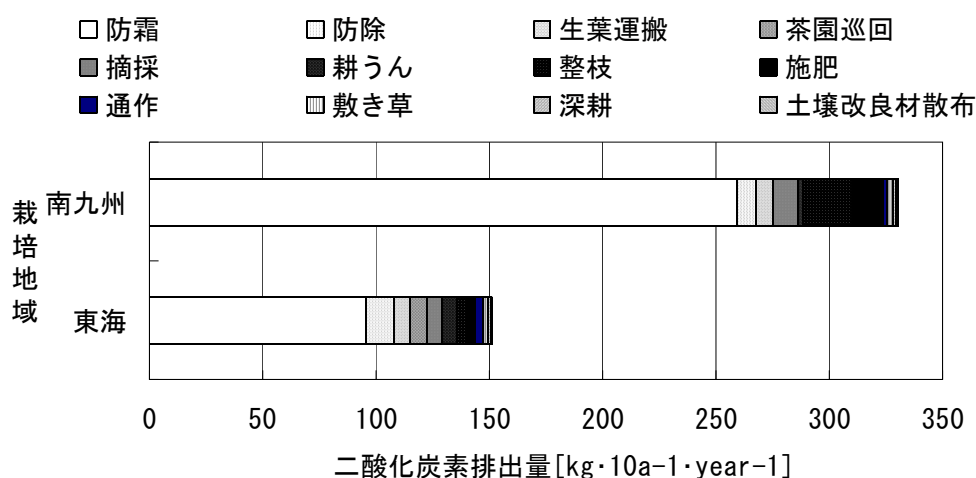


図1 茶園管理による二酸化炭素排出量

茶園窒素施肥による環境負荷物質発生量の評価

1 背景

チャは、新芽を収穫対象とする常緑の木本性作物である。収量となる新芽の生育量や加工後の茶品質と密接に関連する遊離アミノ酸含有量は、新芽に含まれる窒素含有率と密接に関連するため、チャの栽培では多量の窒素肥料が施用されている。ところが、窒素多肥が続くと、土壌の強酸性化および肥料に含まれる塩類による土壌ECの上昇が発生してくる。そのような状態では、塩類障害によって茶樹の吸収根が次第に衰退して施肥した肥料が効きにくくなり、その対応策としてさらなる多肥に陥るという悪循環がおこりやすくなる。その結果として、樹体が吸収する窒素が年間最大でも30 kg/10a以下であるのに、茶園への窒素施肥量が窒素成分で年間100kg/10aを越えている、という状況が、ここ20年以上全国各地の茶園で続いてきた。茶樹に吸収されなかった窒素肥料は最終的に硝酸イオンに変化し、降雨に流されて系外に流出し地下水ははじめ公共水域に硝酸性窒素による水質汚染を発生させる。公共水域の硝酸性窒素は水域で脱窒されるが、その過程で温室効果ガスである亜酸化窒素が発生する。また、茶園土壌中で窒素肥料が硝酸イオンになって茶園の土壌微生物によって脱窒されると、その一部が温室効果ガスである亜酸化窒素として大気中に揮散するので、茶栽培の環境負荷はかなり大きいと考えられてきた。また、茶園の肥料施用部位は、葉層がない畝間約30cmの部分が中心で、茶園全面積比に換算すると約16%（畝間30cm÷条間180cm）なので、肥料施用部位の局所的な実質濃

度は10aあたり施用量の約6.3倍にも達する。

茶園におけるこのような多量の窒素施肥が、温室効果ガス発生を通じた環境負荷を、既存データを元に見積もった。

2 研究方法

(1) 茶園作土から亜酸化窒素の発生量の試算

渡部ら¹⁾によって牧ノ原台地赤黄色土のライシメータ実験で得られた施肥窒素量別の窒素収支実測データを用い、茶園土壌から亜酸化窒素の発生率は日本土壌協会の調査結果²⁾を適用して、施肥窒素量 40,60,80,100kg/10a とした場合の亜酸化窒素発生量を補間して試算した。

(2) 茶園浸透水が地下水となって湧出する場合発生する亜酸化窒素

野菜茶業研究所金谷茶業研究拠点付近の牧ノ原台地の斜面に湧出する湧水について、含有される亜酸化窒素量をほぼ年間実測した中島のデータ³⁾から、先のライシメータ試験による施肥窒素量別の浸透水硝酸性窒素濃度をもとにして地下水湧出に伴う亜酸化窒素放出量を試算した。なお、亜酸化窒素から二酸化炭素への換算は、温室効果ガスの係数である 310 を用いて換算した。

3 結果と考察

年間の 10a 当たり窒素施肥量別に窒素施肥に由来する亜酸化窒素発生を試算した結果を表 3 に示した。

実際の農家茶園における年間窒素施用量の実測データは得られていないので、以下の記述は推定であるので留意願いたい。窒素施肥量 40kg は、茶の主産地では約 40 年以上前の施肥レベ

表 3. 年間窒素施肥量別にみた茶園からの亜酸化窒素 (N₂O) 発生量の試算結果 (kg/10a)
() 内数字は二酸化炭素換算値 kg/10a)

施肥窒素	N 溶脱量	茶園表面発生 N ₂ O	二次的発生 N ₂ O	合計
40	8.9	2.8 (876)	0.03 (9.7)	2.83 (886)
60	19.3	4.4 (1363)	0.08 (24.3)	4.48 (1387)
80	29.8	5.8 (1801)	0.11 (34.1)	5.91 (1835)
100	40.2	7.8 (2424)	0.16 (48.7)	7.96 (2472)

茶園土壌表面からは施肥窒素の4.61%、二次的な発生は溶脱窒素から地下水溶存ガスとして二次的に0.24%が亜酸化窒素に変化するとした (H8土壌協会調査結果、農環研鶴田・中島のデータに基づく)。溶脱窒素量は野茶研渡部の実測データ (2001) から補完して算出した。

ルで、現在では粗放的な茶園や、寒冷地で多量の窒素施肥ができない地帯に一部残る程度の施肥量である。約10年前には牧の原台地の茶産地では100kgを越える施肥が常態で、一部の産地では150kg以上の極多肥管理も行われていたことから、1990年前後に茶園から発生していた温室効果ガスは非常に多かったと考えられる。公共水域の硝酸性窒素に水質基準が設定された前後から、環境基準を達成するための指導や努力が行われ、一般茶農家の施肥量は2000年頃には60～80kg程度まで下がっていると推定される。

4 直接生産過程と間接生産過程の比較

直接農作業によって発生する二酸化炭素の量は、図1に示した南九州の場合でも330kg/10a程度であるので、窒素施肥に起因する亜酸化窒素発生が、茶栽培における温室効果ガスの主たる原因である。したがって今後もより一層の施肥削減と、それを可能にする技術開発が重要である。

茶樹による樹体乾物生産量概算のための調査

1 背景と目的

チャは永年生の木本作物なので幹や太根に「材」として二酸化炭素を固定するが、茶樹の「材」としての年間生産量は測定されていない。そこで、茶樹体による年間二酸化炭素固定量を概算するため成木茶樹掘り取り調査を行った。

2 調査方法

野菜茶業研究所金谷茶業研究拠点で成木茶園から茶株を掘り取り、付着した土砂を取り除いてガラス室内で数ヶ月間十分乾燥後地下部と地上部に分けて乾燥重量を計測した。掘り取りはバックホウを用いて十分注意して行い、直径約1cm以上の太根は可能な限り掘り出した。このほか、牧ノ原台地周辺の農家茶園からも茶株を抜き取って同様に調査した。

3 結果と考察

調査結果を表4に示した。n印は農家のサンプルで、いずれの試料株も単条植えて株間30cmである。地上部aが地面から約40cm以上の部分で数年に一度更新時に除去される部分で、地上部bがその際除去されない太い枝の部分である。農家茶園では非常に生育が旺盛であった。茶樹の品種によってもかなりの差異があり、地下部が太くなりやすい「かなやみどり」では「やぶきた」よりかなり重かった。

表4、茶樹の樹体生産量（風乾重 kg/株）

樹齢年：品種		試料数	地上部 a	地上部 b	地下部	
10:	やぶきた	5	2.0	1.8	1.0	n
16:	おくゆたか	5	—	0.8	0.4	
7:	いずみ	4	—	—	0.4	
37:	やぶきた	13	(a+b	2.2)	0.8	
37:	かなやみどり	14	(a+b	2.5)	1.2	

この調査データから、通常の植栽密度（株間30cm、条間180cm）で10a当たり1850株あるので、「やぶきた」の場合地下部の根風乾重は1.5トン程度あり、地上部風乾重は4トン程度と見積もられる。この量は生の場合約2倍になり、地下部3トン地上部8トンほどと計算される。

4. 今後の問題点

茶園における亜酸化窒素の発生量については今後さらに詳しい実態の実測データが不可欠である。また、茶農家の詳しい施肥実態調査も今後重要な課題と考えられる。その際には、実際に茶園に施用されている肥料のありのままの現実を可能な限り詳しく把握することが、とりわけ重要と考えられる。

5. 引用文献

- 1) 渡部育夫(2003) 集団茶園からの窒素流出防止技術総合モデルの評価. 集団茶園からの環境負荷窒素化合物の流出防止技術の開発に関する研究. 農林水産技術会議事務局成果 409. 50-54
- 2) 日本土壌協会 (1996) 土壌生成温室効果等ガス動態調査報告書 (概要編)
- 3) 中島泰弘ら(2001) 茶園台地下の湧水中の亜酸化窒素のモニタリング. 土肥要旨集 47. 229

6. 研究発表

口頭発表

- 1) 荒木琢也・古山徹・松尾喜義・深山大介・宮崎昌宏(2001). 茶栽培におけるインベントリ表の作成. 茶業技術研究発表会, 島田
- 2) 荒木琢也・松尾喜義・深山大介・宮崎昌宏(2002). 茶園管理における CO₂ 排出量の算出. 日本農作業学会第37回講演会, 松戸

(荒木琢也・松尾喜義)

2-3 暖地畑作物体系におけるLCAの農業生産技術への適応

担当：九州農業研究センター・畑作研究部・畑作総合研究チーム

要約：カンショ、ダイコン、イタリアンライグラス、トウモロコシ作についてインベントリー表を作成した。結果から、いずれの体系も施肥におけるCO₂排出量が多いことから効率的な施肥による施肥法・量の改善等によるCO₂排出量の削減方向が考えられた。カンショ及びダイコンについては土壌消毒と収穫作業による環境負荷が大きく、土壌消毒については有効的な輪作や新たな土壌処理の確立、収穫作業については効率化や省エネルギー化の必要性が示唆された。

省力的また環境保全的作業体系について評価を行った。省力化により、環境負荷が増大する事例があり、省力的技術の評価への環境面からの検討も重要であると思われる。

1. 背景と目的

南九州畑作地帯は豊富な気象資源に恵まれて多様な作付けが展開している一方で、この温暖多雨な気候が養分溶脱、病虫害の多発を招き、より多くの農薬、肥料が使われる傾向にある。加えて、作付けの早期化や土壌浸食・雑草防止のためマルチフィルムの利用が進み、周辺環境への負荷が高まっている。基幹作物であるカンショにおいても、資材多量投入型農業となっている一方で化学物質に依存しない環境保全型技術の導入も始められている。そこで南九州畑作に多いカンショを基軸とし、秋冬野菜作と結合した栽培体系や小規模畜産経営のため飼料作栽培について、各作業工程における環境負荷物質収支を積み上げ、インベントリー分析を行うことで、環境負荷を計測するとともに、低減ための方向性を検討した。

2. 研究方法

(1) 南九州の代表的な畑作地帯である都城盆地周辺の農家を想定し、焼酎・澱粉原料用カンショ作、露地ダイコン作、サイレージ用イタリアンライグラス・トウモロコシ作について、生産における作業プロセスを分類し、作業フロー図を作成した。そして、分類された作業プロセスごとの投入資材、使用薬剤、エネルギー消費などの調査を行い、推定された環境負荷物質の積み上げにより、作業全行程を通じたインベントリー表（巻末付表参照）を作成し、分析を行った。

調査の前提条件、資材投入量、環境負荷物質の推定方法については巻末に記載した。各体系におけるインベントリーの範囲は播種から出荷（搬出）までした。

(2) 省力的また環境保全的として取り上げられている作業体系について、環境負荷物質排出の低

減という観点から従来の体系と比較し、その有効性について検討を行った。

a) 畦表面硬化法と生分解性マルチをカンショ作に適応した場合の環境負荷について、従来のポリマルチ法と比較し、これらの環境負荷低減への有効性を検討した。

b) カンショの省力化体系として検討されている直播体系について、従来の体系との比較を行った。

3. 結果と考察

(1) 焼酎・澱粉原料用カンショ体系は大きく育苗工程・栽培管理工程、運搬工程の3工程に分かれ、さらにそれらは28の作業プロセスに分類された。

カンショ体系全体でトラクターなどの作業機などで使用されたエネルギー量はガソリン 1.7L/10a、軽油 27.6L/10a で環境負荷物質に換算してCO₂ : 76.9kg/10a、NO_x : 519g/10a、SO_x : 175g/10aであった。カンショ体系全体のCO₂排出量に対しするエネルギーによる負荷の発生は43.6%であった。NO_x、SO_xの発生はすべてがエネルギー由来であった。育苗工程の作業プロセスは栽培管理工程のほとんどで使用されている機械は使用されず、人力による作業によるものであった。また、3月伏せ込み、5月上旬定植の作型ではボイラーや電気温床による加温は必要でないことから、投入されたエネルギーは耕転作業においてカルチベータの使用による軽油 0.4L/10aのみであった。育苗工程とは逆に栽培管理工程はほとんどすべての作業にトラクター、軽トラ等の作業機が使われ、ガソリン、軽油が消費されていた栽培工程における全エネルギー量はガソリン 1.7L/10a、軽油 27.6L/10a で、エネルギー由来のCO₂排出量の86.6%、全体の37.8%に及んだ。最もエネルギー消費量の多かった作業プロセスは堀取り機による収穫作業であった。軽油を 7L/10a 消費し、

エネルギー投入量を CO₂ 排出量に換算した場合、18.51kg/10a となり、エネルギー由来の排出量の 24.1%、全体の 10.5%に達した。

肥料の投入量は育苗工程で堆肥 24kg/10a、化成肥料 3.9kg/10a で窒素成分として 0.82kg/10a であった。栽培管理工程では堆肥 1200kg/10a、化成肥料が 60kg/10a で、窒素成分 13.4kg/10a であった。肥料による CO₂ 排出量は 50.4kg/10a と推定され、全 CO₂ 排出量の 28.6%であった。堆肥と化成肥料による CO₂ 排出量の比率は 29.2 : 70.8 であった。圃場から発生する N₂O の発生量はカンショ畑の場合、施用窒素量の 0.31%とされ、44.1g/10a と推定された。発生した N₂O の内、有機質肥料由来が 16.8g/10a、化成肥料由来が 27.3g/10a であった。

農薬における CO₂ 排出量は体系全体で 49.0kg/10a、排出量全体に対しては 27.8%であった。そのうち土壤消毒剤によるものが 34.9kg/10a、殺菌剤によるものが 0.4kg/10a、除草剤によるものが 9.7kg/10a、殺虫剤によるものが 4.1kg/10a であった。

露地加工用ダイコン体系はカンショのような育苗工程はなく、栽培管理工程と運搬工程に分かれ、25 作業プロセスに細分化された。

露地加工用ダイコン体系の作業プロセスのほとんどで作業機械やトラクターが使用され、ガソリンなどの燃料が消費されていた。投入されたエネルギー量はガソリン 2.3L/10a、軽油 33.7L/10a であった。エネルギー投入による環境負荷物質の発生は CO₂:94.5kg/10a、NO_x:636g/10a、SO_x:214g/10a で CO₂ 排出量は体系全体で発生した量の 31.6%であった。最もエネルギー消費の大きかったプロセスはダイコン収穫機による収穫作業で軽油を 18.7L/10a 消費し、エネルギー由来の 52.3%、体系全体の 16.5%の CO₂ 排出量を示した。

肥料の投入量は堆肥 1500kg/10a、化成肥料 241kg/10a で窒素成分として 22.0kg/10a であった。肥料による CO₂ 排出量は 152.3kg/10a と推定され、全 CO₂ 排出量の 50.8%であった。堆肥と化成肥料による CO₂ 排出量の比率は 11.8 : 88.2 であった。圃場から発生する N₂O の発生量はダイコン畑の場合、施用窒素量の 0.19%とされ、41.7g/10a と推定された。発生した N₂O の内、有機質肥料由来が 12.8g/10a、化成肥料由来が 28.9g/10a であった。

農薬における CO₂ 排出量は体系全体で 52.7kg/10a、排出量全体に対しては 16.5%であった。排出量のうち土壤消毒剤によるものが

44.3kg/10a、除草剤によるものが 3.8kg/10a、殺虫剤によるものが 4.61kg/10a であった。

プラスチック廃棄物はポリマルチ(ポリエチレン) 40kg/10a とシードテープ用テープ 0.1kg/10a であった。シードテープ用テープは生分解性プラスチック製と思われたが、材質は不明であり、少量であることから積算からは除外した。

飼料作物のイタリアンライグラス体系は栽培管理工程、サイレージ加工工程、運搬工程に大きく分けられ、19 の作業プロセスに細分化された。二番草までの収穫を想定したため刈り取り作業、サイレージ加工工程の各作業、運搬工程については同様な作業が 2 度行われた。投入された資材等の積算は二番草の収量が一番草の倍であると仮定して行った。

イタリアンライグラス体系ではすべての作業がトラクターやトラックを利用した機械作業であった。投入されたエネルギー量は、軽油 17.8L/10a であった。エネルギー投入による環境負荷物質の発生は CO₂:47.0kg/10a、NO_x:325g/10a、SO_x:113g/10a で CO₂ 排出量は体系全体で発生した量の 30.1%であった。エネルギー投入による CO₂ 排出量の内、栽培工程、サイレージ加工工程、運搬工程それぞれの発生割合は 48.3%、20.8%、30.9%であった。最もエネルギー消費の大きかったプロセスはトラックによるロールバールの運搬で上記のようにエネルギー由来の 30.9%の CO₂ 排出量を示した。になるが使用したマルチ資材の分解や廃棄による CO₂ の排出まで考えた場合、通常マルチ、生分解性マ

肥料の投入量は堆肥 2000kg/10a、化成肥料 238kg/10a で窒素成分として 24.0kg/10a であった。肥料による CO₂ 排出量は 113.8kg/10a と推定され、全 CO₂ 排出量の 74.2%であった。堆肥と化成肥料による CO₂ 排出量の比率は 29.9 : 70.1 であった。圃場から発生する N₂O の発生量はイタリアンライグラス畑の場合、施用窒素量の 0.5%とされ、120g/10a と推定された。発生した N₂O の内、有機質肥料由来が 45.0g/10a、化成肥料由来が 75.0g/10a であった。飼料用トウモロコシ体系はイタリアンライグラスと同様に栽培管理工程、サイレージ加工工程、運搬工程に大きく分けられ、12 の作業プロセスに細分化された。また、トウモロコシ体系でもイタリアンライグラス体系と同様にすべての作業がトラクターやトラックを利用した機械作業であった。投入されたエネルギー量は、軽油 13.1L/10a であった。エネルギー投入による環境負荷物質の発生は CO₂:34.5kg/10a、NO_x:240g/10a、SO_x:83g/10a で CO₂ 排出量は体系全体の発生量 27.0%であった。エネルギー投入に

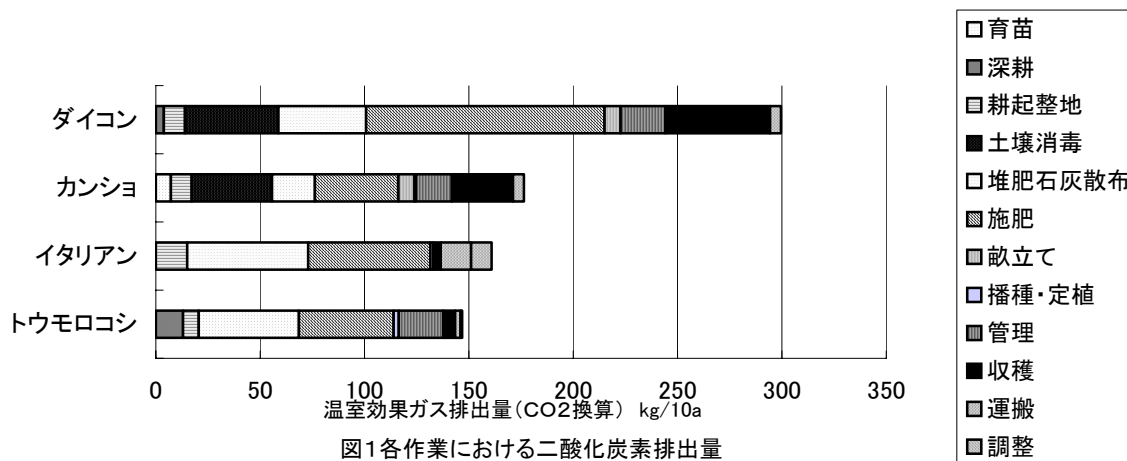


図1 各作業における二酸化炭素排出量

による CO₂ 排出量の栽培工程、サイレージ加工工程、運搬工程それぞれの発生割合は 97.4%、0.6%、2.0% であった。最もエネルギー消費の大きかったプロセスはロータリーによる整地作業で、同様の作業が一体系の中で二度行われた。一作業で軽油を 2.83L/10a 消費し、エネルギー由来の 21.6%、体系全体の 5.8%の CO₂ を排出した。

肥料の投入量は堆肥 2000kg/10a、化成肥料 200kg/10a で窒素成分として 19.1kg/10a であった。肥料による CO₂ 排出量は 91.0kg/10a と推定され、全 CO₂ 排出量の 71.1% であった。堆肥と化成肥料による CO₂ 排出量の比率は 26.4 : 73.6 であった。圃場から発生する N₂O の発生量はトウモロコシ畑の場合、施用窒素量の 0.2% とされ、38.2g/10a と推定された。発生した N₂O の内、有機質肥料由来が 18.0g/10a、化成肥料由来が 20.2g/10a であった。

使用された農薬は除草剤のみで、これによる CO₂ 排出量は 2.5kg/10a であり、体系全体の 1.9% であった。

各作物体系の CO₂ 排出量について類似する作業ごとにまとめたグラフを図-1 に示した。いずれの体系も施肥における CO₂ 排出量が多くなっており、化成肥料の投入による発生が大半を占めていた。特にダイコン作については化成肥料の投入量が多い上に、ダイコンの窒素吸収量が少ないため、大半の窒素が土壌に残っており、水系への流出等による汚染も懸念される。全面施肥から局所施肥への移行など効率的な施肥による施肥量の削減、肥効調節のしやすい有機質肥料の開発による化成肥料主体から有機質肥料主体の施肥法への移行などによる CO₂ 排出量の削減方向が考えられた。

カンショ及びダイコンについては土壌消毒による環境負荷物質の排出量が際だっていた。南九州では線虫等の防除のため露地栽培においても DD

剤などによる土壌消毒が必ず行われている。土壌処理剤の削減については、対抗植物の導入や輪作による増殖の抑制や薬剤を使わない太陽熱や熱水による土壌処理が検討されている。土壌消毒は土壌消毒剤による負荷が大きだけでなく、それに関連した鎮圧やガス抜き等の機械作業を伴っている。これを削減することは環境負荷の低減に対する効果は大きい。

他にカンショ及びダイコンについては収穫作業で使用するエネルギーが大きな負荷となっていた。カンショやダイコンは土中から収穫のため、機械に大きな負荷がかかったり、作業効率が悪く時間がかかったりしていることによるエネルギー消費増大によるものと考えられる。収穫作業の効率化や低燃費の農業用エンジン開発による環境負荷の削減が考えられる。

(2)

(a) 表 1 に畝立て・マルチの方法として畦表面硬化法と生分解性マルチを使用した場合の作業とそれによる CO₂ 排出量について示した。畦表面硬化法はマルチを使用しない代わり、作業機の負荷が大きいため、通常の畝立てマルチング作業より、作業へのエネルギー投入量が多い。また、畦表面に草が生えやすいため、畝立て時に初期除草剤の散布が現状では不可欠となっており、その環境負荷が多くなっている。しかし、マルチ剥ぎについては作業が必要ないため、負荷は軽減されている。生分解性マルチは、畝立てマルチング作業については、通常のマルチと同様であるが、マルチ剥ぎ作業が不要であるため作業に要するエネルギーの総計は少なくなっている。

作業だけを比較した場合、環境負荷物質の大きさは通常マルチ、畦表面硬化法、生分解性マルチの順になるが使用したマルチ資材の分解や廃棄による

表1 マルチ法の違いによるCO2負荷量

作業名	使用機械・資材	CO2負荷量(kg/10a)		
		畦表面硬化	生分解マルチ	ポリマルチ
畝立てマルチ張り	トラクター＋マルチャー (畦表面硬化機)	9.47	7.66	7.66
マルチ剥ぎ	マルチ回収機	—	—	0.74
雑草防除	動力噴霧器、軽トラック ペンデメタリン300ml	5.34	—	—
小計		14.81	7.66	8.4
廃棄・分解		—	87.16	178.25
計		14.81	94.82	186.65

注) 生分解マルチはポリ乳酸製とした。廃棄・分解の値は焼却もしくは土中での分解とし、CO2量は構造式から算出した。

表2 カンショ直播技術導入による作業時間及び環境負荷物質の増減

作業の増減		作業時間 投入資材 直播－慣行	環境負荷物質		
増	減		CO2	NOx	SOx
		h/10a	kg/10a	g/10a	g/10a
	育苗	-21 クロールピクリン(1L)、ベノミル(0.1kg)、堆肥 (24kg)、硫安(1.8kg)、過石(1.2kg)、塩加 (0.9kg)、軽油0.6L、塩化ビニル2.6kg、水	-7.97	-7.32	-2.54
	イモ切断	1.1 電力(1.2kwh)	0.46	0.35	0.26
	キュアリング	0.2 電力(144kwh)	54.86	41.76	31.68
	植え付け	-2 軽油 3.0L	7.93	54.90	19.02
	計	-21.7	55.28	89.69	48.42

CO₂の排出まで考えた場合、通常マルチ、生分解性マルチ、畦表面硬化法となると考えられる。

(b) 焼酎・澱粉カンショ体系に機械作業による直播技術を導入した際の作業及び環境負荷物質の増減について表2に示した。

直播技術の導入により、育苗工程は省くことが出来るほか 植え付けの機械化が容易であるためおよそ、作業時間では10a 当たり 21.7 時間作業時間が短くなる。また、苗床のための土壌消毒剤、肥料、保温資材や灌水のための水等の投入が不必要となる。しかし、種イモの切断、萌芽を促進させるためのキュアリング作業や植え付け機械によるエネルギー投入量が大きくなっている。これらを発生する環境負荷物質に換算し比較した場合、廃プラスチックの発生量や水の消費は減少したもののCO₂、NOx、SOx の環境負荷物質量は増大する結果となった。

機械化等による農作業の省力化は、農業従事者が高齢化している現状では不可欠のものである。投入資材の減少や機械作業の効率化等をめざした省力化技術は環境保全面での問題は少ないが、人力中心の作業へ省力化のために機械を導入するような場合、エネルギー投入量の増大により環境負荷物質が増大するなど環境的な問題を含んでいる場合が多い。環境へ配慮が各産業で問われている中、省力的技術

には作業時間による評価だけでなく、環境保全的側面からの検証も合わせた総合的評価が重要になってくると思われる。

4. 今後の問題点

今研究における肥料・農薬等の評価は生産のためのエネルギーを中心としたものであり、農薬や肥料の水系や動植物への直接的な環境への影響は十分に捉えられていない。直接的な環境影響をエネルギー利用による影響と同列に扱えるような評価システムの開発が必要であると思われる。

5. 引用文献

- 1) 生駒泰基(2000)シンポジウム「暖地畑作における革新的環境保全技術」抄録. 20-26
- 2) 深澤秀夫・渡辺輝男・菅原晃美(2002)九州農業研究 64:141

6. 研究発表

口頭発表

- 1) 生駒泰基(2000). LCA 手法を用いた甘しょ栽培の環境評価. イモ類研究会
- 2) 石井孝典・大塚寛治・新美洋(2002). LCA 手法による暖地露地野菜体系の環境影響評価. 園芸学会九州支部会

(石井孝典)

(3) 果樹栽培における LCA の農業生産技術への適応

3-1 カンキツ栽培における LCA の農業生産技術への適応

担当：果樹研・カンキツ研究部・形質制御研究室、上席研究官

要約：ウンシュウミカン栽培（露地栽培，マルチ栽培）における LCA をインベントリー法により実施するとともに、温室効果ガス（炭酸ガス、亜酸化窒素、メタン）フラックス量を実測した。インベントリー分析の結果、主な大気負荷は炭酸ガスによるもので、栽培様式による差は小さく 360-370kg/10a であった。ガスフラックスは、いずれもマルチ区で少なく、なかでも炭酸ガスフラックスは露地：1447kg/10a、マルチ：886kg/10a と、顕著に低いことが明らかになった。

1. 背景と目的

近年、地球環境に関する諸問題が顕在化してきており、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）や OECD（農業と環境）において農業生産活動が環境に及ぼす影響について議論が進められてきている。

地球表面からの赤外線放射を吸収し、地球を温暖化する温室効果ガスとしてはメタン（ CH_4 ）、二酸化炭素（ CO_2 ）、クロロフルオロカーボン（ CFC_s ）、亜酸化窒素（ N_2O ）が知られており、主に農業生産活動で排出される温室効果ガスは、 CH_4 、 CO_2 、 N_2O である。

CH_4 は嫌気条件で細菌に有機物が分解されることによって生成され大気中に拡散され、その一部は土壤中に吸収され微生物によって酸化される。 CO_2 は植物の根の呼吸および微生物呼吸により生産され、 N_2O は、硝化過程の副産物あるいは脱窒過程の中間生成物として生産される。

本課題ではカンキツ栽培に必要な資材に由来する上記温室効果ガス負荷を、積み上げ法によるインベントリー分析により評価した。分析は通常の露地栽培にくわえ、近年、高品質化を目的に普及しているマルチ栽培（秋季の降水をマルチにより遮断することで糖度の増加を図る栽培方法）の2栽培様式について実施し、栽培様式による大気負荷の差を比較した。

さらに、これまで測定例のないカンキツ園土壌からの温室効果ガスフラックスを1年間通して測定し、フラックス発生量の実態把握を行った。

2. 研究方法

2-1) インベントリー分析

静岡県西部のスピードスプレー防除体系をとる緩傾斜地ウンシュウミカン園（前提条件は付表参照）を、分析対象園に想定した。異なる栽培様式（露地、マルチ）間の大気負荷をインベントリー分析により比較した。大気負荷は、各栽培様式を作業工程

に細分し、工程ごとの大気負荷をエミッション排出量原価単位（付表参照）に基づいて算出、それらを積み上げることで大気負荷を算出した。

2-2) カンキツ園土壌からの温室効果ガスフラックス

(1) 供試材料

果樹研究所カンキツ研究部興津内の平坦圃場（埴壌土）に植栽された31年（2001年）生シルバーヒル温州6樹を供試した。フラックスの測定は、2001年2月～2002年3月まで行った。

(2) 栽培様式

試験区は、露地（無被覆）区とマルチ区とした。マルチ区は、2000年は9月中旬～12月下旬まで、2001年は9月17日～12月19日までマルチの敷設を行った。

(3) 測定方法

露地区、マルチ区ともに3樹ずつ供試し、それぞれの樹冠下の東西に（直径60cm、高さ15cmの円柱状の）チャンバーを設置した。主幹からチャンバー間の距離は1mとした。チャンバー設置0、10、20分後にチャンバー内のガスを採取し、 CH_4 、 CO_2 、 N_2O をガスクロマトグラフにより分析、0、10、20分後におけるガス濃度の変化から CH_4 、 CO_2 、 N_2O フラックスを算出した。測定中の土壌温度変化は小さかったため、そのフラックスを日平均フラックスとし、台形計算により1年間の累積フラックスを算出した。

チャンバー内ガスの採取は、露地区では土壌中にチャンバーの受けを埋設し、測定毎にその上に設置し採取した。マルチ区では、チャンバーにビニルのスカート履かせ、その周囲に約2kgの鎖の重しを乗せることで外気の侵入を防いだ後にガスを採取した。年間の窒素施用量は露地区で $270\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ （3月27日： $67.5\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、5月14日： $67.5\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、6月13日： $54.0\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、11月16日： $81.0\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ）、マルチ区で $189\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ （3月27日： $67.5\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、5月14日： $67.5\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、6月13日： $54.0\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ）

であった。土壌の水分含量（VWC%）は TDR 土壌水分計（Hydrosense CD620 and CS620）で、土壌の硝酸態及びアンモニア態窒素含量は、純水抽出後に RQflex で測定した。平均気温と降水量のデータは、当研究所内設置のアメダスから取得した。雑草被覆度は地温、土壌水分、窒素含量への影響を介してフラックスを変化させる可能性がある。そこで、マルチの雑草被覆度への影響を検討するために2002年7月18日に、圃場の1m²の草を刈り取り、乾燥重量を測定した。

3. 結果と考察

3-1) インベントリー分析

マルチ区は露地区に比較して①施肥回数が1回少ない、②マルチ資材を投入する、点で異なる程度である。したがって、大気負荷を検討したインベントリー分析の結果も大差なく、最も温室効果に寄与の高いCO₂負荷で360-370kg/10aであった（付表参照）。

3-2) カンキツ園土壌からの温室効果ガスフラックス

(1) 平均気温、地温、降水量(図1)

試験期間中の、2001年3月～2002年2月末までの平均気温は16.7℃、積算降水量は1954mmであった。1979年～2000年までの平均気温は16.0℃、平均降水量は2340.1mmであり、試験期間中の平均気温は平年より0.7度高く、降水量は386.1mm少なかった。

気温が最も高かったのは7月、地温が最も高かったのは8月であり、気温、地温共に最も低かったのは、1月～2月であった。降水量は春季より9月～11月中旬の秋季に多かった。2001年～2002年にかけて、地温の上昇は気温の上昇より遅れたが、下降は気温と同様であった。マルチ敷設期間の降水量は649mmであった。

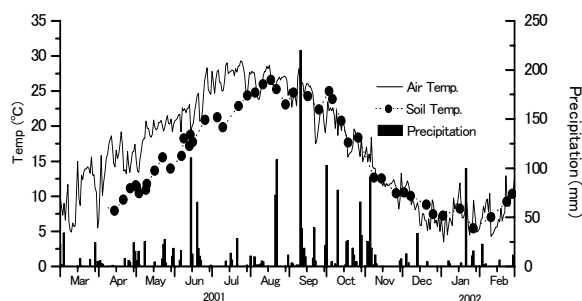


図1 平均気温、土壌温度、降水量の推移

(2) 土壌水分含量(図2)

マルチ区の土壌水分含量はマルチ敷設期間以外でも露地区より低く推移した。これは前年のマルチ

の影響で雑草被覆度が低かったために土壌が乾燥気味に経過したためと考えられた。マルチ敷設期間の土壌水分含量は、露地区より著しく低かった。

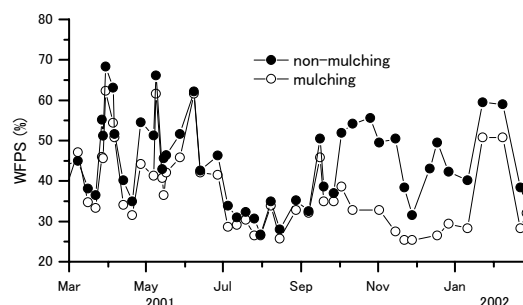


図2 土壌水分含量の推移

(3) 水溶性土壌窒素含量(図3,4)

3月27日の施肥後の窒素含量はマルチ区で高い値を示したが、露地区ではそのような増加は見られなかった。5月14日、6月13日の施肥後は、露地区で窒素含量の増加が見られたもののマルチ区では見られなかった。露地区では11月16日も施肥したが、その後、窒素含量の増加は見られなかった。一方、マルチ区で11月～12月にかけて窒素含量が高かったが、これは土壌の乾燥に伴う塩類集積あるいは乾土効果による無機態窒素の集積によるものと考えられた。

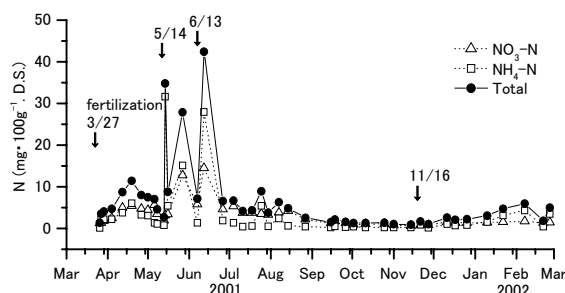


図3 露地区の土壌窒素含量の推移

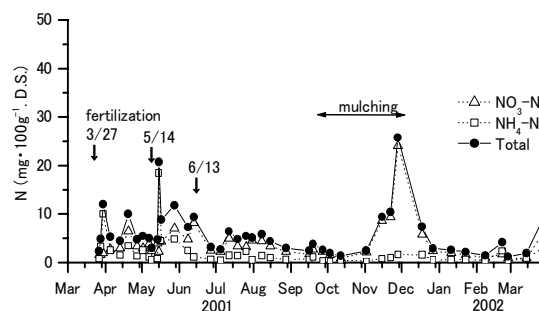


図4 マルチ区の土壌窒素含量の推移

(4) 温室効果ガスフラックス

CO₂フラックス(図 5)

露地区、マルチ区、共に CO₂ フラックスは気温の上昇とともに増加し、露地区のフラックスは、マルチ区より常に高く推移した。この差は、主に土壌水分含量の差によるものと推察された。

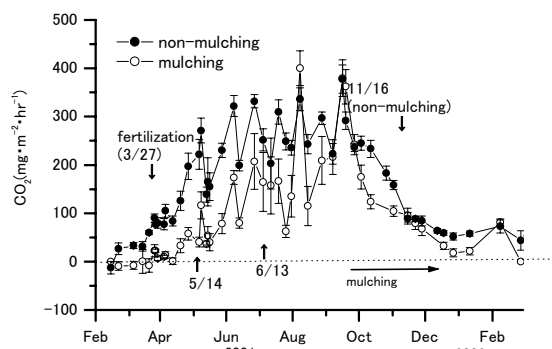


図5 CO₂フラックスの推移

CH₄フラックス(図 6)

露地区、マルチ区、共に CH₄ フラックスは吸収と拡散の両方向への振れが大きかったものの、全体を通したフラックスは吸収傾向にあった。また、マルチ区で吸収が多いように見うけられた。CH₄ フラックスは気温、土壌水分含量との間に相関は見られなかった。

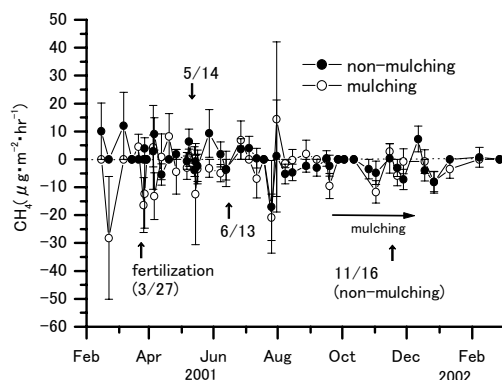


図6 CH₄フラックスの推移

N₂Oフラックス(図 7)

CO₂フラックス同様にマルチ区の N₂O フラックスは、露地区のフラックスより低く推移した。このフラックスの変動および処理区間の差は、主に土壌中窒素含量ならびに土壌中水分含量に関連するものと思われた。

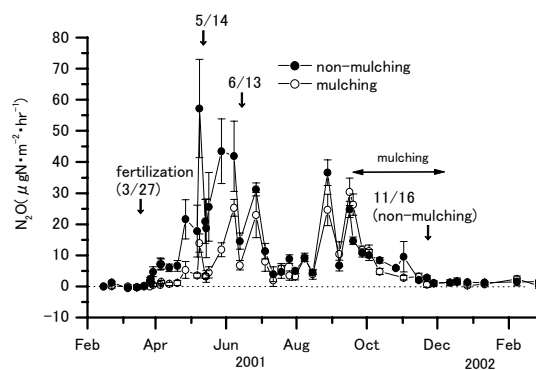


図7 N₂Oフラックスの推移

(5) 雑草被覆度(表 1)

マルチ区では初春から夏にかけて前年のマルチの影響を受けて雑草被覆度の低下が見受けられたので、2002年7月18日に雑草被覆度の調査を行った。露地区の草の1m²当たり乾燥重量はマルチ区の約1.7倍重かった。したがって、露地区と比較して草量の少ないマルチ区では、土壌水分の蒸発が促進され、土壌水分含量の減少を引き起こし、CO₂、N₂O フラックスの抑制に結びついたものと考えられた。また、土壌中窒素含量においても、降雨後の肥料の流亡に雑草被覆度が影響しているものと考えられた。

表1 雑草被覆度

処 理 区	露地区	マルチ区
乾燥重量(g・m ⁻²)	227.6	132.2
標準偏差	30.5	43.8

(6) 累積フラックスと温暖化ポテンシャル(GWP)(表 2)

CH₄の累積フラックスは、露地区よりマルチ区で少なく、両処理区ともマイナス(吸収)の値を示した。温帯林土壌では、CH₄は吸収されることが報告されており、その吸収速度は土壌の孔隙率との間に相関が認められている(1)。土壌が嫌気条件になりにくいウンシュウミカン園土壌では、年間を総合するとCH₄フラックスは吸収方向に向いているものと思われた。

露地区の累積 CO₂ フラックスと N₂O フラックスは、マルチ区のそれぞれ約1.6倍、1.7倍であり、処理区間による差が大きかった。N₂O フラックスは、土壌水分含量と関連することが知られており、土壌

水分含量が低く推移したマルチ区で累積フラックスが低かったものと考えられた。今回算出した CO₂ の累積フラックスは、ブドウの 12,100kg・ha⁻¹ (3) と比較して大差は無かった。畑地や水田の土壌呼吸量は、カンキツ園より高い例が報告されており (2)、カンキツ園土壌の CO₂ フラックスは農地の中でも低い方に分類されるものと思われた。

試験期間中の累積フラックスを GWP に換算し、寄与割合を算出した。換算係数は、CH₄ を 20、N₂O を 310 とした (4)。露地区、マルチ区共に CH₄ の GWP 割合は累積フラックスがマイナスであるため、寄与率は若干のマイナスとなった。N₂O の温室効果ガスの寄与率は 2%以下と低く、CO₂ の寄与率が 98% 以上であった。

表 2 累積フラックスと温暖化ポテンシャル (GWP)

露地区	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
フラックス総量 (・ha ⁻¹)	-170g	14470kg	930g
GWP (%)	0.0	98.1	2.0

マルチ区	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
フラックス総量 (・ha ⁻¹)	-240g	8860kg	550g
GWP (%)	-0.1	98.2	1.9

以上のことから、ウンシュウミカン栽培において最も温室効果に寄与の高い温室効果ガスは CO₂ であることが明らかになった。さらにマルチ栽培することにより、資材由来の CO₂ 負荷には差はないものの、フラックスが顕著に抑制されるため総負荷は低減できる可能性が示唆された。

4. 今後の問題点

異なる土性、気象条件下での追試が必要である。また、炭酸ガス負荷を解釈するには今回明らかにしたフラックスに加えて固定量を考慮する必要がある。

5. 引用文献

- 1) Kagotani, Y. et. Al. (1999) Environ. Sci. 12: 9-16.
- 2) Nakadai, T., et al. (1996) Ecological Research 11: 214-227
- 3) 関川清広 (2001) 平成 12 年度温室効果ガス排出削減定量化法調査報告書: p61-67. 財団法人農業技術協会.
- 4) 鶴田治雄・尾崎保夫 (2000) 農業におけるライフサイクルアセスメント, p72-83. 養賢堂.

6. 研究発表

口頭発表

- 1) 野田勝二・奥田均・木原武士・平林利郎 (2001) カンキツ栽培における LCA (Life Cycle Assessment) 手法によるインベントリーの作成. 園芸学会雑誌 (70) 別 2:99
- 2) 野田勝二・奥田均・平林利郎・八木一行・鶴田治雄 (2002) ウンシュウミカンの露地栽培と秋季マルチ栽培土壌からの CH₄, CO₂, N₂O フラックス. 園芸学会雑誌 (71) 別 2:106

(奥田 均)

3-2 ナシ栽培におけるLCAの農業生産技術への適用

担当：農業技術研究機構果樹研究所・生理機能部・栽培生理研究室

要 約：茨城県におけるニホンナシ‘幸水’（成木）の標準的な栽培体系において、栽培管理及び投入資材に起因する炭酸ガス排出量は 380kg/10a/年である。一方、ナシ樹は1年間に 1530kg/10a の炭酸ガスを固定するが、このうち骨格枝等に翌年以降までバイオマスとして残存する量は 280kg/10a にとどまり、栽培管理等に伴う炭酸ガス排出量を下回る。

1. 背景と目的

農業は、本来、環境に優しいという特質を有しているが、農薬やエネルギー投入量の増加に伴い環境負荷が増大している。しかしながら、農産物の生産過程全体にわたる環境負荷の発生量はほとんど明らかにされていない。そこで、工業部門を中心に開発が進んでいるライフサイクルアセスメント(LCA)手法をニホンナシ栽培に適用し、年間の栽培管理工程において排出される環境負荷物質のうち、主要な温室効果ガスである炭酸ガスの排出量を推定し、環境負荷低減に向けた技術開発に資する。また、本推定値とナシ樹が年間に吸収する炭酸ガス量から標準的なナシ成木園における年間の炭酸ガス収支を明らかにする。

2. 研究方法

LCA の基礎となるインベントリー分析は、作業工程を細分化し、各作業工程における環境負荷物質の排出・吸収を算出し、これを積み上げる「積み上げ法」によって行った。

茨城県平野部（火山灰黒ボク土壌）におけるニホンナシ‘幸水’の成木園（15年生以上を想定）を対象とし、1年間における炭酸ガスの排出量及び吸収量を推定した。なお、想定した園地の立地条件及び経営条件は「巻末付表」のとおりである。

インベントリー分析に当たって、ナシの栽培管理作業を、「せん定・誘引」、「人工受粉」、「防鳥網管理」、「施肥」、「除草」、「病虫害防除」、「収穫・調整」及び「その他」の8工程に区分した。各工程において投入される資材の種類及び量については、茨城県における栽培指導基準(1,2)から求めた。ただし、結束紐の使用量は、1側枝当たりの使用量及び単位面積当たりの側枝数から算出した。また、各工程における軽トラック等機械類によるエネルギー消費量は、各機械のリンゴ栽培におけ

る燃料消費量等(3)を参考に茨城県の栽培指導基準(1,2)等から推定した稼働時間等に基づき算出した。

各工程毎に投入資材及びエネルギー消費量を集計し、エミッション排出量原単位(4)から炭酸ガス排出量を算出した。なお、ナシ棚及び多目的防災網については耐用年数が長いことから、施工及び資材に起因する炭酸ガスについては今回の推定に算入しなかった。

一方、ナシ樹による炭酸ガス吸収量は、器官別の年間炭素固定量(5)から求めた。

3. 結果と考察

ニホンナシ‘幸水’成木における1年間の栽培管理に係るインベントリー表「巻末付表参照」に基づき算出した各管理工程毎の炭酸ガス排出量を表1に示した。

年間の栽培管理に伴い排出される炭酸ガスの総量は約 380kg/10a と推定された。工程別では、「病虫害防除」に係る排出量が約 200kg/10a/年と最も多く、次いで「施肥」に係る排出量が 90kg/10a/年と多かった。両者の排出量を合わせると全体の約 3/4 に達する。

「病虫害防除」に係る排出量の内訳を見ると、投入農薬に起因する排出量(160kg/10a/年)が8割を占め、残り2割がスピードスプレーヤの消費する軽油に起因するものであった。

一方、「施肥」に係る排出量は、化成肥料を主とする投入肥料に起因する排出量(80kg/10a/年)が9割を占め、残り1割が動力運搬車の消費するガソリンによるものであった。

以上のように、ニホンナシ‘幸水’の標準的な栽培管理において発生する炭酸ガスは、農薬等化学物質の製造等に関わるものが主体と考えられる。

表1 ニホンナシ‘幸水’の栽培管理工程における炭酸ガス排出量

管理工程	投入資材等(/10a/年)							CO ₂ 排出量 (kg/10a/ 年)
	ガソリン (L)	軽油 (L)	電力 (KWh)	単肥 (円)	複合肥料 (円)	堆肥 (円)	農薬 (円)	
せん定・誘引	5.9							13.8
人工受粉			0.6					2.3
防鳥網管理	0.3							1.1
施肥	4.2			786	11,250	3,000		90.6
除草	5.1							12.0
病虫害防除		14.7					42,004	198.5
収穫・調製								20.3
その他	16.8							39.6
計	32.3	14.7	0.6	786	11,250	3,000	42,004	378.2

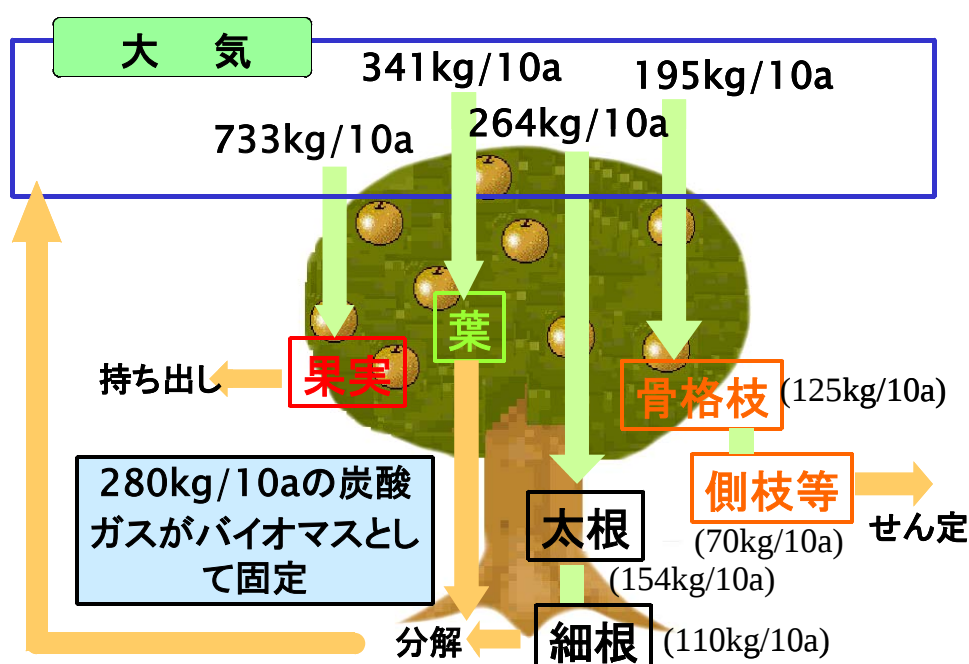


図1 ナシ樹による1年間の炭酸ガス固定量

これらの物質は、系外へ流出すること等により環境負荷を引き起こす要因となっているが、温室効果ガスを低減する観点からも、使用量を削減することが極めて重要と考えられる。

また、機械類の燃料消費による炭酸ガス発生量は 115kg/10a/年と推定された。果樹栽培は、人手に頼るところが大きく、薬剤散布を除き機械化が進んでいないため、この多くは園地と自宅間の往復等に用いられる軽トラック（40kg/10a/年）及び薬剤散布用のスピードスプレーヤ（39kg/10a/年）によるものであった。なお、西南暖地を中心に行われている加温ハウス栽培においては、加温用燃料の消費による発生量が重要な位置を占めるものと考えられる。

近年、果樹栽培においては、環境負荷の低減を

目指し、交信攪乱剤（性フェロモン）や耐病性品種の利用が進められているが、これらにより投入農薬のみならずスピードスプレーヤの消費燃料も削減できることから、ナシの栽培管理に伴い発生する炭酸ガス消費量を削減する上でも、極めて有効と考えられる。

一方、ナシ樹による年間の炭酸ガス固定量の推定値を図1に示した。

ナシ樹が1年間に固定する炭酸ガスの総量は約1500kg/10aに達し、栽培管理に伴う排出量を大きく上回った。しかしながら、果樹園土壌における炭素含量はほとんど変化しないことから、葉に固定された炭素は、落葉後ほとんどが炭酸ガスとして大気に放出されるものと考えられる。同様に、細根に固定された炭素(110kg/10a/年)についても、

ほとんどが炭酸ガスとして大気に放出されるものと考えられる。また、成木段階に達したナシ樹においては、側枝、結果枝等骨格枝以外の枝の量はほぼ一定であることから、これらの枝における年間の成長量とせん定により除去される量はほぼ等しいと考えられる。したがって、枝として固定される炭酸ガスのうち骨格枝に固定される 70kg/10a/年のみが翌年以降まで果樹園内にとどまるものと推定される。

以上のことから、ナシ樹によって固定される炭酸ガスのうち、翌年以降まで果樹園内にバイオマスとしてとどまるのは、骨格枝及び太根として固定される 280kg/10a/年となり、栽培管理に伴う排出量を 100kg/10a/年程度下回ることになる。ただし、生産物として果樹園外に持ち出される果実に固定される炭酸ガスは 733kg/10a/年と非常に多く、これを炭酸ガスの吸収量に算入すると吸収量が排出量を 600kg/10a/年以上上回ることになる。

4. 今後の問題点

本課題では、温室効果ガスのうち炭酸ガスの収支のみを推定した。今後、ナシ園土壌から発生する亜酸化窒素等の量を推定する手法を開発し、温室効果ガス全体について収支を明らかにする必要がある。

また、果樹等栽培が複数年にわたる永年生作物では、作物によって固定される炭酸ガスの一部が抜根時まで園地に残存する。このようなバイオマスとして固定される炭酸ガスの取り扱い等を含め、永年生作物に適した LCA 手法の開発が望まれる。

5. 引用文献

- 1) 茨城県農業総合センター(1997) 果樹栽培基準.
- 2) 茨城県病害虫防除所(2000) 平成 12 年度ナシ病害虫防除暦(赤ナシ無袋栽培基準).
- 3) 農林水産技術情報協会(1996) 主要作目の作業体系におけるエネルギー消費原単位.
- 4) 農林水産技術会議事務局・農業環境技術研究所(2001) 環境研究「持続的農業推進のための革新的技術開発に関する総合研究」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ー中間とりまとめ報告書ー. p.71.
- 5) 伊藤大雄(1999) 果樹園における温室効果ガス収支の推定. 果樹試験研究推進会議資料. 果樹試験場.

6. 研究発表

口頭発表

- 1) Kashimura, Y., A. Ito and H. Hayama. (2002). Life Cycle Assessment of Japanese Pear Cultivation. The 5th International Conference on EcoBalance, Tsukuba.

(樫村芳記)

2. 大気・水・土壌環境からみたLCA評価の検討

(1) 大気環境から見たLCA評価の検討

担当：農業環境技術研究所・地球環境部・温室効果ガスチーム

要約：わが国の農耕地からの亜酸化窒素(N_2O)発生量について、ライフサイクルインベントリ(LCI)による評価を行うことを目的として研究を行った。その結果、不耕起処理水田での N_2O とメタン(CH_4)発生の特長、わらの燃焼過程や収穫物残渣による N_2O 発生の重要性、 N_2O 間接発生にかかわる排出係数を明らかにした。さらに、わが国の主要な作物について N_2O 発生量を推定し、施肥量の多い野菜と茶、栽培面積の大きい水稲と飼料作物が重要であること、作物残渣や間接排出を評価することの重要性を示した。

1. 背景と目的

産業革命期以降の急激な人間活動の拡大は、地球規模での物質循環に影響を与え、二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)、亜酸化窒素(N_2O ：一酸化二窒素)、ハロカーボン類などの大気微量ガス濃度を増加させてきた。これらのガスは、温室効果ガスであると同時に、成層圏オゾンの反応に関与するものも多く、地球規模での大気環境変化に重要な役割を果たしている(1)。このことから、農業のためのライフサイクルアセスメント(LCA)評価を行う場合、これらの微量ガスの環境影響、特に、地球温暖化への影響を考慮した大気環境から見たLCA評価が必要となっている(2)。

農耕地からの温室効果ガスの発生に関する研究では、水田からのメタンおよび畑地からの二酸化炭素発生にくらべて、畑地および水田からの亜酸化窒素に関する研究は少なく、農耕地における大気環境からみたライフサイクルインベントリ(LCI)およびライフサイクルアセスメント(LCA)評価を行うことを困難にしている。

そこで、LCA評価に基づく持続可能な農業生産システムの開発に資するため、わが国の農耕地からの温室効果ガス発生に関する大気環境から見たLCA評価を検討した。水稲作および代表的な畑作について、地球温暖化ポテンシャル(GWP)とライフサイクルに基づいた温室効果ガス発生のインベントリーを作成し、定量評価を可能とすることを目的とした。

2. 研究方法

(1) 移植と直播、および耕起と不耕起といった栽培様式の異なる岡山県内の水田において、年間を通して CH_4 と N_2O 発生を測定した。 CH_4 と N_2O のフラックスは、原則として週に1回、クロ

ードチャンバー法により2反復で測定した。得られた結果について、既存のデータとの比較をあわせて、LCA評価を行った。

(2) 窒素施肥量の多い野菜栽培からの N_2O 発生量とそのメカニズムを明らかにすることを目的として、茨城県の淡色黒ボク土にてハクサイを栽培し、4ヶ月間にわたり、クロードチャンバー法を用いて N_2O のフラックスを測定した。畑は尿素肥料を全層一様に施肥した処理区(U-BC区)、尿素肥料を溝状に局所施肥した処理区(U-B区)、被覆尿素肥料を溝状に局所施肥した処理区(CU-B区)に分け、それぞれに対し250 kg N ha⁻¹の窒素を投入した。

(3) 収穫物残渣である稲わらおよび麦わらの燃焼による温室効果ガスの発生を明らかにするため、これらの資材の燃焼実験を行った。燃焼ガスを採取し、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、およびハロゲン化メチルの濃度をガスクロマトグラフィーにより定量した。その際、資材の積み方とガス発生の関係について注意を払った。また、既存の文献値との比較を行った。

(4) 地下水への溶脱による N_2O 間接発生を明らかにするため、静岡県中部の牧ノ原台地における茶園台地下の6カ所の湧水地点で、2000年10月から、約週に1回定期的に水の採取を行った。採取した試料水の、溶存 N_2O 濃度をガスクロマトグラフィーで、無機態窒素濃度を比色定量法で測定した。

(5) わが国の主要な作物について、既存の資料と圃場試験から、年間にわたる資材投入量と N_2O 発生量との関係を整理した。作目別に求められた化学窒素肥料と有機質資材の窒素投入量に関する既存資料(3)と、作目別の栽培面積(4)、および作目別の N_2O 排出係数を用いて、 N_2O 発生量推定手

法を式1のように開発した。なお、畑地における N_2O 排出係数は全国調査結果(5)を主に用いており、有機質資材による排出係数は、実測によるデータは非常に少ないので、化学窒素肥料と等しいと仮定した。水田からの N_2O 発生量では、既存の2つの年間発生量調査結果から得られた排出係数の平均値を用いた。

$$F = \frac{m}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_i N_{ij} E_{ij}) / 109 \quad (\text{式1})$$

ここで、 F ：日本全体の農耕地からの N_2O 発生量 ($Gg N_2O yr^{-1}$)、 A ：作目別の栽培面積 (m^2)、 N ：作目別の農地への投入窒素量 ($g N m^{-2}$)、 E ：作目別の投入窒素量に対する N_2O の発生割合 (N_2O-N/N)、 i ：投入窒素の種類 ($m=2$ ：化学窒素肥料、有機質資材(有機質肥料、堆肥化資材))、 j ：作目の種類 ($n=13$ ：水稻、麦、馬鈴薯、かんしょ、雑穀、豆類、野菜、果樹、茶、葉たばこ、工芸農作物(桑と工芸作物を含む)、飼料作物)をそれぞれ表す。この計算から、わが国の畑作物栽培からの N_2O 発生量を推定し、その LCI による評価を行った。

3. 結果と考察

(1) 栽培様式の異なる水田からの CH_4 と N_2O 発生量を、GWP を用いて計算された CO_2 等価発生量で比較した。その結果、耕起移植水田での N_2O 発生量は CH_4 発生量の 2~5% にすぎなかった。一方、耕起直播および不耕起直播圃場では N_2O 発生量が耕起移植水田よりも大きく、それぞれ、7 および 13% に達した。しかし、同時に、 CH_4 発生量は少なくなっており、 CH_4 と N_2O 発生について、各処理間でトレードオフ関係にあることが示された(図1)。投入した窒素肥料量に対して N_2O として1年間に放出された窒素の割合は、直播栽培圃場で 1.10~2.30% であり、耕起移植栽培圃場では 0.52~0.64% であった。不耕起直播栽培からの N_2O の発生割合は、畑地からの平均的な発生割合よりも多かった。また、直播栽培圃場での N_2O 発生量は、施肥窒素の全量を被覆窒素肥料にすることにより、削減された。

(2) 淡色黒ボク土ハクサイを栽培における N_2O 発生量は、収穫までの期間では U-BC、U-B、および CU-B 区で、それぞれ 54.7、41.3、54.0 $mg N m^{-2}$ 、収穫後ではそれぞれ 24.4、34.0、32.8 $mg N m^{-2}$ であった。この結果は、溝状局所施肥によって N_2O 発生量を減らすことができる可能性と、尿

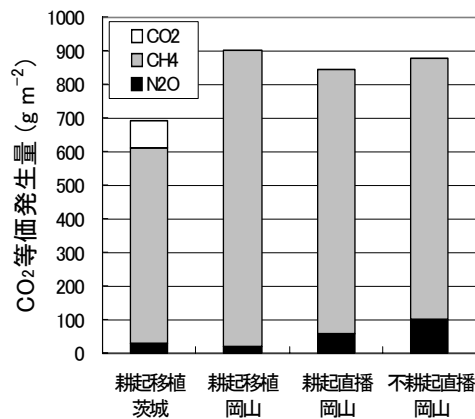


図1. 各栽培体系の水田における温室効果ガスの年間発生量に関する評価(岡山では CO_2 は未計測)。

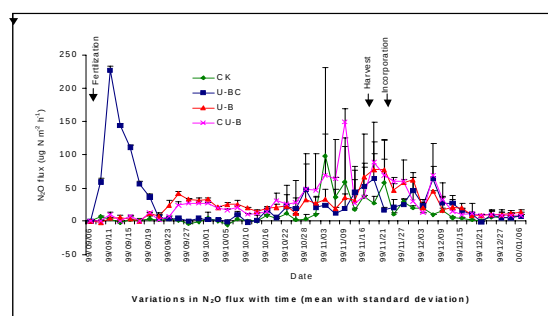


図2. ハクサイ栽培における N_2O 発生の計測結果. 栽培後期の落葉や収穫物残渣の土壌すき込みが N_2O の大きな発生源であることが明らかになった。

素肥料の代わりに被覆尿素肥料を使用しても N_2O 発生量を減少させることができないことを示している。また、栽培後期の落葉や収穫物残渣の土壌すき込みにともない、すべての処理区で N_2O フラックスが増加しており、このような作物残渣の土壌への供給が N_2O の大きな発生源になっていることが明らかになった(図2)。

(3) 稲わらや麦わらの燃焼により発生する N_2O は、 CO_2 とのモル比で、 $0.21 \sim 3.30 \times 10^{-3}$ であった。過去に実施されたわが国の稲わら燃焼や、インドネシアの二次林での燃焼実験と比較したところ、本研究における稲わらの N_2O の発生比率は他の結果の約 10% 程度となり、極めて低い値を示した。 CO や CH_4 なども、同様に低めの値であることから、燃焼状態の違いによることも考えられる。しかし、それでも、収穫されたわらを燃焼した場合の単位面積あたりの N_2O 発生量は、 $0.1 \sim 1.8 g N m^{-2}$ であり、重要な N_2O 発生源であることが明らかになった。一方、ハロゲン化メチルの発生は、敷詰め及び積上型焼却とともに、バックグラウン

表 1. わが国の主要作物における化学肥料および有機資材からの亜酸化窒素発生量インベントリー

作物	栽培面積 (1,000 ha)	窒素施肥量		N ₂ O 排出係数	N ₂ O 排出量		
		化学肥料	有機資材		化学肥料	有機資材	合計
		(kg N ha ⁻¹)			(ton N)		
水稲	1,793	78	32	0.0067	940	386	1,326
野菜	540	213	236	0.0077	887	985	1,873
果樹	295	147	109	0.0069	300	222	522
茶	51	485	437	0.0474	1,177	1,060	2,237
バレイショ	100	127	79	0.0201	255	160	415
豆類	183	31	62	0.0073	41	83	125
飼料作物	1,038	100	100	0.0060	623	623	1,246
かんしょ	46	62	89	0.0073	21	29	50
麦	276	100	57	0.0049	134	76	210
雑穀	36	41	18	0.0073	11	5	15
桑	10	162	0	0.0073	12	0	12
工芸作物	146	229	40	0.0073	244	42	286
たばこ	25	154	114	0.0073	28	21	50
合計	4,539	1,929	1,373		4,673	3,693	8,366

栽培面積は農林水産省統計情報部「耕地および作付け面積統計」，「作物統計」，および「野菜生産出荷統計」を，窒素施肥量については農林水産省統計情報部「農業生産環境調査報告書」により，1998 年の数値を用いた。N₂O 排出係数は日本土壌協会「平成 7 年度環境保全型土壌管理対策推進事業」での調査結果に既存の文献資料の結果を加えて求めた。実測データのない作物については，N₂O 排出係数として 0.0073 を用いた。また，実測データの不足から，有機資材からの N₂O 排出係数は化学肥料のそれと同じであると仮定した。

ド大気中の 1000 倍以上の高濃度のハロゲン化メチルの発生が確認された。稲わらと麦わらの発生比率を比較すると、ハロゲン化メチル各成分とも、60%以内の相違となり、概ね発生比率は同等であると評価された。一方、アマゾンやアフリカサバンナ等の草地での結果と比較すると、CH₃Cl、CH₃I では、ほぼ同程度の発生比率であったのに対し、CH₃Br のみ 10 倍以上の高い発生比率となった。国内の実験結果がすべて高めの値を示していることから、臭素の含有率が高いのは海洋の影響が強い日本の試料に関連する特徴である可能性も示唆された。

(4) 茶園台地下の 6 カ所における湧水中の溶存 N₂O 濃度は、7.63～60.8 μg N L⁻¹ の範囲にあった。これは大気平衡濃度のおよそ 20～170 倍に相当し、きわめて多量の N₂O が農耕地の地下水や湧水中に存在し、潜在的に重要な発生源であることが示された。しかし、地点や採取した水の種類により、これらの濃度は大きく異なった。また、これらのデータにおける溶存 N₂O-N と NO₃-N 濃度との比は、IPCC のデフォルト値 (0.015) よりも小さいことを示した。

(5) わが国の主要な作物について、作物別の栽培面積、化学肥料と有機資材投入量、および N₂O 排出係数を整理し、N₂O 発生量を推定した。その結果、平成 10 年における日本の畑地と水田へ投

入された化学窒素肥料および有機質資材の年間総量は、それぞれ 535 および 393 Gg N と推定された。また、畑地に投入された化学窒素肥料および有機質資材による N₂O 発生量は、それぞれ 3.87 および 2.78 Gg N yr⁻¹、水田へ投入された化学窒素肥料および有機質資材による N₂O 発生量は、それぞれ 0.88 および 0.36 Gg N yr⁻¹ と推定された。これらから、日本全体での農耕地からの N₂O 発生量は、8.37 Gg N yr⁻¹ (年間 8,370 トン窒素) と推定された。このうち、施肥量の多い野菜と茶、栽培面積の大きい水稲と飼料作物が重要であることが示された (表 1)。

(6) わが国の農耕地からの N₂O 発生量について、IPCC-Good Practice Guidance 手法を用いて、直接排出、家畜生産、間接排出それぞれについて見積もった結果、デフォルト値を用いて計算した作物残渣からの直接排出および窒素溶脱・流出からの間接排出の値は、表 1 で求められた合成肥料 (化学肥料) および畜産廃棄物の施用からの直接排出の値よりも大きかった (表 2)。このことから、わが国の畑作物栽培からの亜酸化窒素発生量に関する LCI 評価において、これらの排出量を評価することの重要性が示された。

4. 今後の問題点

各種要因による N₂O と CH₄ 発生の変動から、

表 2. わが国の農耕地からの亜酸化窒素発生
量インベントリー計算結果

	排出量 (Gg N ₂ O)	排出量 (Gg CO ₂ eq.)	排出量の不確実性 (%)
直接排出			
合成肥料	7.34	2,174	130
畜産廃棄物の施用	5.80	1,718	55
作物残渣	20.95	6,495	396
有機質土壌の耕起	2.77	859	769
家畜生産	0.02	5	116
間接排出			
大気沈降	2.52	780	84
窒素溶脱・流出	12.25	3,797	66
合計	51.65	15,827	

イタリック体で示した数字は、IPCC-Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventoriesのデフォルト式を用いて計算した値である。

インベントリーには大きな不確実性が残されている。また、N₂O 発生量インベントリーにおいて、有機資材からの排出係数、収穫物残渣のすき込みによる直接発生量、および地下水への溶脱による間接発生量が十分評価できなかった。

これらの問題について、今後、実測データを集積するとともに、モデル等を用いたスケーリングアップを進める必要がある。

5. 引用文献

- 1) IPCC (2001) : Climate change 2001, the scientific basis. Cambridge university press.
- 2) 鶴田治雄・尾崎保夫 (2000) 農業におけるライフサイクルアセスメント, 農業環境研究叢書, 第 12 号, p.72-83.
- 3) 農林水産省統計情報部 (2000) 農業生産環境調査報告書, 農林水産統計報告 12-15 (地域-1).
- 4) 農林水産省統計情報部 (2002) 平成 11 年一耕地および作付面積統計(A).
- 5) 日本土壌協会編 (1996) 平成 7 年度環境保全型土壌管理対策推進事業・土壌生成温室効果等ガス動態調査報告書 (概要編).

6. 研究発表

口頭発表

Tsuruta, H. (2000) An application of the methodology of LCA to Agro-Ecosystems, in Proceedings of The Fourth International Conference on EcoBalance, Tsukuba

中島泰弘・松尾喜義・野中邦宏・鶴田治雄 (2001) 茶園台地下の湧水中の溶存亜酸化窒素のモニタリング, 日本土壌肥料学会, 高知

須藤重人・米村正一郎・鶴田治雄・川島茂人 (2001)

農作物残さの焼却による大気中微量ガスの発生, 日本土壌肥料学会, 高知

鶴田治雄・秋山博子・中島泰弘・須藤重人・程 為国・I.P.McTaggart, B.C.Ball, A.Hou, C.Sharma (2001) 施肥土壌からの N₂O と NO の発生制御要因, 大気環境学会, 北九州

中島泰弘・澤本卓治・松尾喜義・野中邦宏・鶴田治雄 (2002) 台地小流域湧水からの溶存温室効果ガス発生量の推定, 日本土壌肥料学会, 名古屋

程 為国・鶴田治雄 (2002) ハクサイ残渣を添加した黒ボク土からの N₂O と CO₂ などのガスの放出に及ぼす土壌水分の影響, 日本土壌肥料学会, 名古屋

Sudo, S., Yonemura, S., Saharjo, B.H., Tsuruta, H., and Murdiyarso, D. (2002) Trace gas emission from biomass burning in Asia. International Seminar on Environmental Chemistry and Toxicology, Bogor

誌上発表

石橋英二・赤井直彦・大家理哉・石井俊雄・鶴田治雄 (2001) 不耕起乾田直播栽培の継続とメタン発生量の関係. 土肥誌, 72 : 542-549

Akiyama, H., and Tsuruta, H. (2002) Effect of chemical fertilizer form on N₂O, NO and NO₂ fluxes from Andosol field. Nutr. Cycle Agroecosys., 63: 216-230
Cheng, W., Nakajima, Y., Sudo, S., Akiyama, H., and Tsuruta, H. (2002) N₂O and NO emissions from Chinese cabbage field as influenced by band application of urea or controlled-release urea fertilizers. Nutr. Cycle Agroecosys., 63: 231-238

八木一行 (2003) 土壌生態系からの微量ガス発生と大気環境. 土壌の物理性, 印刷中

(八木一行)

(2) 肥料などの土壌への利用から見た LCA 評価の検討

担当：農業環境技術研究所・化学環境部・養分動態ユニット

要 約：農業生産を窒素肥料の利用面から LCA 評価を行うために、必要なプロセスと評価指標を定め、関東地方の主な野菜作に関して環境影響の評価を行った。県による化学肥料と堆肥の施用量は大きくばらつき、十分に省投入で環境影響が低いと考えられる場合もあった一方で、耕種基準より多くの肥料が与えられている例があった。化学肥料の省投入は環境影響を低減するために有効であったが、堆肥を併用した手法の開発が必要であると考えられた。

1. 緒言

肥料成分の面から見た農業生産の LCA とその環境側面は、化学肥料などの資材の投入と作物生産による肥料成分の回収が一つのライフサイクルであり、農地で未回収となる肥料成分は環境負荷のポテンシャルとして環境側面の指標になりうると思われる。本研究では、畑作物に関する各種作物の養分利用のインベントリを積み上げ法で考えた場合の各種プロセスを考え、フレームワークを作成し、いくつかの野菜に関して試算を行った。次に、各プロセスに関して有用なもの・省略できるものを挙げて簡略化し、関東地方での代表的な畑作物に関して環境負荷のポテンシャル推定を行った。最後に各県で行われている環境保全型施肥を行った場合の環境負荷のポテンシャルを推計し評価を行った。評価は肥料成分においてもっとも環境負荷になりやすい窒素に関して行った。

2. 方法

(1) インベントリの構築

各種畑作物に関して、既存の文献やライシメーター試験などから得られた窒素収支データを集めることにより、畑作物生産に関する窒素収支のインベントリを構築する。その中で窒素成分流出のポテンシャルとなる要素を挙げ、簡易にデータを収集比較できる形にする。

(2) 作物による環境負荷のポテンシャルの比較

関東地方の主な畑作物として茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県を対象にキャベツ・ハクサイ・ニンジン・ダイコンを取り上げ、これら作物への窒素量で見た化学肥料と堆肥の施用量、窒素量で見た収穫量を求め、施用量から収穫量を引いた農地で過剰となる窒素量と施用した窒素量に

対する収穫量の割合(吸収率)を求めた。

化学肥料と堆肥の施用量は 1997 年生産分に関して農林水産省統計情報部地域環境保全班が行った農家生産環境調査の結果を用いた。収穫量は第 74 次農林水産省統計から求め、これに尾和³⁾によって求められた収穫物中の窒素含有率をかけて作物収穫量を窒素量に変換した。

評価は、農地に過剰する窒素量と窒素吸収率を対象に行った。

(3) 省投入農業による環境負荷ポテンシャルの低減効果の評価

ダイコン・ニンジン・キャベツ・トマト・ハクサイを対象作物として、茨城県²⁾・千葉県¹⁾において開発された化学肥料の省投入農業を行った場合の農地で過剰となる窒素量と慣行または耕種基準に準じた窒素施肥が行われた場合の農地で過剰となる窒素量を比較した。慣行の施肥量は(2)で使用した農家生産環境調査または文献中の対象区から求めた。窒素量で見た収穫量は第 74 次農林水産省統計または文献値に尾和³⁾の窒素含有率をかけて求めた。第 74 次農林水産省統計を用いた場合、(2)では年平均の反収を用いたが、ここでは必要に応じて引用文献にある作期に合わせた反収を用いたため、同じ県の同じ作物であっても窒素量で見た収穫量が異なる場合がある。評価指標は(2)同様農地で過剰となる窒素量と農地に過剰する窒素が土壌浸透水中に全量溶け出した場合の窒素濃度(仮想浸透水濃度)とした。土壌浸透水量は各都道府県の県境所在地またはその付近の平均気温から Thorntwaite の式で求めた可能蒸発散量を算出し、これを同地点の降水量から差し引いて求めた。

3. 結果と考察

(1) インベントリの構築

表1-1各種作物の窒素収支のプロセス				
	ネギ・キャベツ		ダイコン・ニンジン	
	2年4作			
	ネギ	キャベツ	ダイコン	ニンジン
投入量	46.1		37.0	
化学肥料	23.5	19.6	12.0	25.0
有機物				
(種類)				
降水	3.0			
持ち出し量	35.9		18.2	
収穫	18.1	17.8	8.8	9.4
農地過剰	10.2		18.8	
	5.4	1.8	3.2	15.6
流出	12.1		9.0	
土壌中変化	-1.6		9.8	
			(kgN 10a ⁻¹ 年 ⁻¹)	

表1-2各種作物の窒素収支のプロセス

ライムギーデントコーン		
8年16作		
	ライムギ	デントコーン
投入量	81.0	
化学肥料	22.5	40.5
有機物		18.0
(種類)		(牛糞)
降水		
持ち出し量	58.8	
収穫	29.0	29.8
農地過剰	22.2	
	-6.5	10.7
流出	3.2	
土壌中変化	1.0	
	(kgN 10a ⁻¹ 年 ⁻¹)	

畑作に伴う硝酸態窒素等の環境負荷量を推計する基礎として、関東地方における畑作物栽培下での窒素収支データを収集した。表1-1,1-2に例として、関東東海農業試験研究推進会議土壌肥料検討会資料(平成6年度)⁵⁾から、同一作目で数年間のデータがあるものを示した。プロセスとしては、農地への化学肥料と有機物の投入、農作物による持ち出し、投入量と持ち出しの差である農地過剰、農地からの流出、農地土壌中のNの変化といったことが挙げられた。栽培作物の種類による窒素収支の特徴を要約すると、

- ・葉菜類についてはネギ・キャベツ栽培の場合を示した。一作当たりの施肥による窒素投入量はそれぞれ23.5kgN 10a⁻¹、19.6kgN 10a⁻¹、作物収穫

による窒素持ち出し量は18.1kgN 10a⁻¹、17.8kgN 10a⁻¹で、投入量が持ち出し量を上回った。また、圃場からの窒素流出量は12.1kgN 10a⁻¹年⁻¹とライシメーターで観測されている。

- ・根菜類についてはダイコン・ニンジン栽培の例を表1-1に示した。夏作ダイコンでは窒素投入量ー持ち出し量が3.2kgN 10a⁻¹と余剰の窒素量が小さいが、ニンジンでは余剰の窒素量が15.6kgN 10a⁻¹と大きい。また年間を通しての窒素流出量は9.0kgN 10a⁻¹年⁻¹の観測値がモデル圃場で得られている。

- ・飼料作物栽培では、ライムギーデントコーン栽培の場合を示した。有機物施用をしない場合は収穫に伴う持ち出し量が投入量を上回って土壌窒素が減少するため、生産を維持するためには、適度な有機物施用が必要と考えられる。

このように、圃場から流出する窒素量については、ライシメーター試験の結果得られたものが多く、作目ごとのデータは未だ少ない。しかし、投入量ー持ち出し量で示される余剰窒素量と流出窒素量は比例関係が認められるので、余剰窒素量、環境負荷のポテンシャルを示す指標として利用できると考えられた。

以上の結果から、今後は化学肥料と堆肥の投入量とおよび収穫に伴う窒素持ち出し量から求められる、農地過剰窒素量に関して検討を進めることとした。

(2) 現状の畑作物生産における窒素収支

各県における各種作物/関する窒素収支の結果と収穫量を投入量で割った吸収率を表2に示す。作物ごとの化学肥料と堆肥の施用は県間のばらつきが大きいことから χ^2 乗検定にかけたところ、ハクサイの化学肥料と堆肥の施用に関して有意差が認められたが、他では認められなかった。投入に関しては葉菜類のキャベツとハクサイと根菜類のニンジンとダイコンの間に有意差はなかったが、生産量は葉菜類のほうが多かった。しかし、葉菜類と根菜類の間に農地過剰に有意差はなかった。収穫量のばらつきよりも投入量のばらつきが有意に大きいため(F検定)、農地過剰が大きくばらつき、有意差が見られなかったことが考えられた。各県間のばらつきが大きいことから、葉菜類のハクサイとキャベツの間、根菜類のニンジンとダイコンの間での農地過剰の有意差は見られなかった。葉菜類と根菜類での農地過剰には有意差がなかった。吸収率を見ると、葉菜類のハクサイとキャベツの間では有意差はなかったが根菜類のニンジン

はダイコンよりも有意に窒素吸収率が低かった。原因としては有意差はないが投入量が少ないことが挙げられた。葉菜類と根菜類として両者の吸収率を比較した場合、吸収率には有意差はなかった。

農地過剰と吸収率を指標としたが作目・作物間の違いは概ね認められなかった。県間のばらつきとともに、いずれも同等の栽培期間を要する作物であり、生産成長中に収穫する作物であることから、窒素要求特性が似ている事も影響していると考えられた。

表2. 各県の野菜作に関する養分収支					
キャベツ	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉
投入量	90.7	25.5	32.5	47.9	64.8
化学肥料	60.4	13.6	24.3	21.3	34.6
堆肥	30.3	12.0	8.2	26.5	30.2
収穫量	11.2	7.0	14.2	9.1	11.1
農地過剰	79.5	18.5	18.3	38.8	53.7
吸収率	12.4%	27.3%	43.8%	18.9%	17.2%
ハクサイ	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉
投入量	20.1	28.2	36.4	88.9	17.3
化学肥料	16.1	14.7	27.9	64.0	12.2
堆肥	4.0	13.5	8.5	24.9	5.1
収穫量	10.1	6.6	6.1	5.8	6.9
農地過剰	10.0	21.6	30.3	83.1	10.4
吸収率	50.2%	23.5%	16.8%	6.5%	40.0%
ニンジン	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉
投入量	11.6	117.2	-	21.2	60.3
化学肥料	11.2	9.4	-	19.7	14.4
堆肥	0.4	107.7	-	1.6	45.9
収穫量	4.7	4.0	-	4.6	5.3
農地過剰	6.9	113.2	-	16.6	55.0
吸収率	40.3%	3.4%	-	21.6%	8.8%
ダイコン	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉
投入量	7.8	17.6	14.9	6.0	16.5
化学肥料	6.1	10.4	13.3	6.0	13.7
堆肥	1.7	7.2	1.6	0.0	2.8
収穫量	4.7	4.5	4.1	3.8	5.4
農地過剰	3.1	13.1	10.9	2.2	11.1
吸収率	60.0%	25.7%	27.2%	62.9%	32.7%
(kgN 10a ⁻¹)					

(3)省投入農業による農地過剰の低減効果と有効性

茨城県のキャベツ・ハクサイ・ダイコン²⁾、千葉県のキャベツ・ニンジン¹⁾に関して耕種基準と緩効性肥料の利用などによる省投入農業技術を導入した場合の施肥の収支結果を表3に示す。仮想浸透水濃度(mg L⁻¹)は、農地残存(kg 10a⁻¹)を土壌浸透水(mm = 1000L 10a⁻¹)で除して1000を乗じ

て求めた。仮想浸透水濃度は水道水の環境基準を鑑みて10mgN L⁻¹を基準として評価することとした。慣行の施肥を見ると仮想浸透水濃度はいずれの県の作物に関しても10mgN L⁻¹を上まわっていた。一方で省投入時には茨城県のキャベツを除き10mgN L⁻¹を下まわっていた。このことは、耕種基準に準じた化学肥料の施用を行った場合には作付を行った場合には水道水の環境基準を上ま

表3. 耕種基準と省投入技術導入時の収支

キャベツ(秋冬)			
茨城県	耕種基準	堆肥施用	省投入
投入量*	25.0	50.0	18.0
化学肥料	25.0	25.0	18.0
堆肥		25.0	
収穫量*	9.1	9.9	9.0
農地残存*	15.9	40.1	9.0
仮想浸透水濃度**	24.6	62.3	13.9
キャベツ(秋冬)			
千葉県	耕種基準	堆肥施用	省投入
投入量*	23.2	15.3	
化学肥料	23.2	15.3	
堆肥	-		
収穫量*	9.2	7.3	
農地残存*	14.0	8.0	
仮想浸透水濃度**	16.7	9.6	
ハクサイ(冬)			
茨城県	耕種基準	堆肥施用	省投入
投入量*	30.0	20.0	
化学肥料	30.0	20.0	
堆肥	-		
収穫量*	15.6	14.9	
農地残存*	14.4	5.1	
仮想浸透水濃度**	22.3	7.9	
ニンジン(春夏)			
千葉県	耕種基準	堆肥施用	省投入
投入量*	20.0	6.0	
化学肥料	20.0	6.0	
堆肥	-		
収穫量*	7.3	5.4	
農地残存*	12.7	0.6	
仮想浸透水濃度**	15.2	0.7	
ダイコン(春夏)			
茨城県	耕種基準	堆肥施用	省投入
投入量*	12.0	37.0	9.0
化学肥料	12.0	12.0	9.0
堆肥		25.0	
収穫量*	5.4	5.6	5.3
農地残存*	6.6	31.4	3.7
仮想浸透水濃度**	10.3	48.8	5.8
(*:kgN 10a ⁻¹ **:mgN L ⁻¹)			

わる窒素濃度の地下水の発生するポテンシャルはあるが、省投入を行うことでポテンシャルを回避できることを示すと考えられた。しかしいずれの省投入の場合も堆肥の施用を伴ったものではなかった。耕種基準においても堆肥の施用は単純に化学肥料の施用量に上乗せされているだけであることから、堆肥を併用した省投入の技術開発が必要であると考えられた。

(4) 農家生産環境調査の結果と耕種基準・省投入との比較

表3では、4種の野菜類に関して化学肥料と堆肥の施用量は、県・作物によっては既に省投入並に施肥量が低減している場合が見られた。仮想浸透水濃度から見るとこのような肥培管理がなされているならば窒素による地下水の汚染への寄与は低いと考えられた。しかし一方で耕種基準以上の施肥が行われている場合があり、そのような作物生産は環境基準を超過するポテンシャルの面から化学肥料または堆肥の施用削減を行う必要があると考えられた。

4. 引用文献

- 1) 千葉県(2000)平成11年度第II期環境保全型農林業技術開発試験成績書、p142.千葉県
- 2) 小川吉雄・酒井一(1986)畑地からの窒素の流出制御・環境保全・省資源的施肥への提言・農業及び園芸 61-1,15-20
- 3) 尾和(1996)平成8年度関東東海農業環境調和型農業生産における土壌管理技術に関する第6回研究会養分の効率的利用技術のための新たな動向、p.1-15.農業研究センター
- 4) Yatazawa(1978)Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems p.167-179、Elsevier Scientific Pub. Co.
- 5) 平成6年度関東東海農業試験研究推進会議土壌肥料検討会資料、農業研究センター、平成7年2月.

5. 成果

口頭発表

- 1) 三島慎一郎(2001)日本における窒素利用に伴う環境リスクと地域における改善案. 日本土壌肥料学会講演要旨集第47集,217
- 2) 三島慎一郎(2001)宮崎県における窒素フローと県内優良事例に関する考察. システム農学第17巻別号 2,65-66
- 3) Shin-ichiro Mishima, Sunao Itahashi,

Ryosuke Kimura, Tsunehisa Inoue (2002) Phosphate fertilizer use and phosphate flow on agricultural production in Japan. Proceedings Fifth International Conference on EcoBalance. 791-794

誌上発表

- 1) S.Mishima (2001) Quantitative evaluation of environmental risk associated with nitrogen flow in agricultural production and mitigation plan for 2 typical prefectures in Japan. Soil Sci. Plant Nutri., 47 (3), 511-518
- 2) S.Mishima (2001) Phosphate use in Japan. Ecosystems and Sustainable Development III, Ed. Y. Villacampa, C.A. Brebbia and J-L. Uso, 669-675, WIT Press
- 3) 三島慎一郎(2001)地域レベルの有機性資源フローと農地還元、圃場と土壌, 33, 17-22
- 4) Shin-ichiro Mishima, Sunao Itahashi, Ryosuke Kimura, Tsunehisa Inoue (2002) Trends of phosphate fertilizer demand and phosphate balance in farmland soils in Japan. Soil Science and Plant Nutrition 49, 39-45
- 5) Shin-ichiro Mishima (2002) The recent trend of agricultural nitrogen flow in Japan and improvement plan. Nutrient Cycling in Agroecosystem 63, p151-163

(三島慎一郎・板橋直・井上恒久)

(3) 土壌からの流出成分等からみた LCA 評価の検討

担当：農業環境技術研究所・化学環境部・栄養塩類グループ・水動態ユニット

要 約：畑からのリンの溶出量が砂質土で少し高く出る傾向があるもののおおかたの土壌では無視できるほどの値であった。圃場の窒素収支から推定した硝酸態窒素濃度は実測値と比べて約 2 倍の値となった。したがって、回帰より求めた 0.49 を補正係数として利用する簡便法を提案した。

1. 背景と目的

リンは土壌中で沈殿反応を生じやすく、多くの土壌では溶脱は問題ないほど少ないと考えられている。しかし、最近では高精度分析により測定可能となった。そこで、リンの土壌浸透水による排出量に関する既存のデータ収集と浸透水の実測値からリンの排出量を推定する。

窒素は、畑から硝酸態窒素として溶脱し、硝酸態窒素濃度が地下水汚染と関わり、環境基準は 10ppm である。圃場の窒素収支と浸透水量から浸透水の硝酸態窒素濃度を推定する手法は、窒素の有機化、無機化、アンモニア揮散、脱窒等の値を省略すると、推定値に大きな誤差を生じる場合がある。そこで、これらの項目を省略した窒素収支からの推定値と窒素溶脱量の実測値との関係を解明し、溶脱窒素濃度を窒素収支から評価する手法を開発し、畑からの窒素とリンの溶出からみた LCA 評価を検討する。

2. 研究方法

浸透水または暗渠排水を採取した。採取地点および採取水は、農業環境技術研究所構内のライシメータ畑（黒ボク土および砂質土）、ライシメータ水田（灰色低地土）の浸透水、愛知県農試豊橋研究センター構内の茶園（黄色土）の暗渠排水であった。採取後、全リン、無機リン濃度を測定した。

ライシメータ畑や畑圃場における窒素またはリンの溶脱量を計測した日本の文献を集めた。リンは排出量を整理した。窒素は、圃場の収支から推定した硝酸態窒素濃度(a)から圃場での実測値(b)への換算係数(k)（注： $k=b/a$ ）は原点を通る 1 次回帰式から求めた。

3. 結果と考察

a) リンの排出量の推定

ライシメータ畑の浸透水の全リン濃度に黒ボク土と砂質土で違いは小さく、約 0.01mgP/L で、うち 86%が無機リンであった。一方、ライシメータ畑の縁に沿って溶出した全リン濃度は砂質土で 0.119mgP/L と高かった。ライシメータ施設はまだ新しく、表層に肥料として施用されたリンがまだ表層にとどまっているものと考えられた。したがって、縁を通った浸透水のリン濃度が高くなったと考えられる。ライシメータ水田の浸透水の全リン濃度は 0.021mgP/L で、うち 80%が無機リンであった。茶園の浸透水の全リン濃度は 0.2~0.7mgP/L で、うち 80%が無機リンであった。すなわち、今回測定した試料の無機リンの割合は土地利用や土壌による違いが無く 80%であり、浸透水の多くは無機リンであった。

表 3 には畑から溶出するリンに関する文献を示した。畑からのリンの溶出量は土壌により違い、黒ボク土と黒ボク土以外に大きく 2 つに分けられた。溶出量は黒ボク土で 0.04kgP/ha、黒ボク土以外で 1.1~2.1kgP/ha となった。沖積土、第三紀、砂質土で高い例が見られた。溶脱以外のリンの流出として傾斜畑では表面流去(3.6kgP/ha)の測定例があり、全体の 96%が表面流去であった。集水域レベルでの文献調査では黒ボク土(5 例)の畑からの年間溶出量は 0.0~0.6kgP/ha で平均は 0.18kgP/ha であった。黒ボク土以外(7 例)の平均は 0.7kgP/ha となった。以上をまとめるとリンの浸透による排出量は LCA の収支からみて無視できるほど少ない値であった。

b) 圃場の収支から推定した硝酸態窒素濃度から圃場での実測値への換算係数

換算係数の値はかなり分散し、1 以上の区

表1 ライシメータ畑、水田から溶出したリンの平均濃度

地目 土壌	採水場所					
	中央			へり		
	TP mg/L	P mg/L	P %	TP mg/L	P mg/L	P %
畑 黒ボク土	0010	0009	83	0008	0005	61
畑 砂質土	0011	0010	89	0165	0119	72
水田 灰色地土	0021	0016	80	0019	0022	115

もあった。換算係数は、普通畑有機物無施用（化学肥料）、普通畑有機物施用、永年畑有機物無施用（化学肥料）、永年畑有機物施用でそれぞれ 0.49, 0.70, 0.28, 0.52 となり、永年畑で低く、有機物施用区で高い傾向を示した。永年畑で低かった原因の1つとして、永年作物では収穫後も作物が残存し、この作物残存量が作物吸収量に入っていないためと考えられる。一般に、有機物中の窒素は脱窒やアンモニア揮散を受けやすく、その分、溶出

分が少なくなる結果、換算係数が低くなると推測される。しかし、文献値は逆の傾向を示した。また、ここでは、試験期間が1年以上を回帰式の対象にしたために、土壌の有機化や無機化による攪乱要因が大きくなった可能性がある。従って、換算係数は普通畑、永年畑、有機物施用の区別をせずに全データからの回帰により求めた値である 0.49 を推奨する。

4. 今後の問題点

主な有機物や多くの作物の窒素含有率の平均値がわかっているので、施肥量と作物収量から圃場での窒素収支が計算できる。この計算値を浸透水量で割り、ここで求めた係数を掛ければ、大まかな硝酸態窒素濃度が推定可能となる。ただし、浸透水量を推定する必要がある。浸透水量は圃場における降水量と作物の蒸発散量の差から推定可能である。この点が、今後の問題として残された。

表2 畑からのリンの溶脱量(kgP/ha)の文献値

県	土壌	作物	施肥量	溶脱量	県	土壌	作物	施肥量	溶脱量
愛知	沖積	キャベツ/ハウサイ	262	18.6	大分	黒ボク土	野菜	52	0.0
愛知	洪積	キャベツ/ハウサイ	262	1.9	大分	黒ボク土	野菜	52	0.0
愛知	第三紀	キャベツ/ハウサイ	262	5.2	大分	黒ボク土	野菜	256	0.1
愛知	第三紀	キャベツ/ハウサイ	262	2.3	大分	黒ボク土	野菜	253	0.1
香川	褐色森林土 トルフェス		51	0.0	大分	黒ボク土	野菜	242	0.1
香川	褐色森林土 トルフェス		73	0.0	大分	黒ボク土	野菜	332	0.1
香川	褐色森林土 パームダグラ		40	0.0	大分	黒ボク土	野菜	192	0.1
香川	褐色森林土 茶		51	0.0	大分	黒ボク土	野菜	256	0.1
香川	褐色森林土 みかん		51	0.0	大分	黒ボク土	野菜	253	0.1
福井	褐色森林土 トウモロコシ/ダイ		306	3.0	大分	黒ボク土	野菜	242	0.1
福井	褐色森林土 トウモロコシ/ダイ		568	3.0	大分	黒ボク土	野菜	332	0.1
福井	褐色森林土 トウモロコシ/ダイ		306	3.0	神奈川	黒ボク土	茶	102	0.0
福井	褐色森林土 トウモロコシ/ダイ		314	3.0	神奈川	黒ボク土	茶	102	0.0
島根	マサ土	トウモロコシ/ハウサ	389	0.2	神奈川	黒ボク土	茶	102	0.0
島根	マサ土	トウモロコシ/ハウサ	256	0.2	神奈川	黒ボク土	茶	102	0.0
島根	マサ土	トウモロコシ/ハウサ	430	0.2	神奈川	黒ボク土	茶	102	0.0
島根	マサ土	トウモロコシ/ハウサ	424	0.1	鹿児島	黒ボク土	カンショ/コムギ	70	0.0
千葉	砂質土	ホウレンソウ		0.6	鹿児島	黒ボク土	カンショ/コムギ	70	0.0
千葉	砂質土	ホウレンソウ		0.1	鹿児島	黒ボク土	カンショ/コムギ	70	0.0
静岡	砂土	コマツナ	131	2.8	鹿児島	黒ボク土	カンショ/コムギ	70	0.0
静岡	砂土	コマツナ	87	0.8	鹿児島	黒ボク土	**	93	0.0
静岡	砂土	コマツナ	44	0.1	鹿児島	黒ボク土	**	93	0.0
群馬	黒ボク土	*	87	0.0	注) *: デント コーン/ホウレンソウ *: 陸稲/コムギ/カンショ/エバク/ローズグラス				
群馬	黒ボク土	*	383	0.0					
群馬	黒ボク土	*	828	0.0					
群馬	黒ボク土	*	1568	0.0					
大分	黒ボク土	トウモロコシ/ハウサ	192	0.3					
大分	黒ボク土	飼料作	48	0.0					
大分	黒ボク土	普通作	52	0.0					

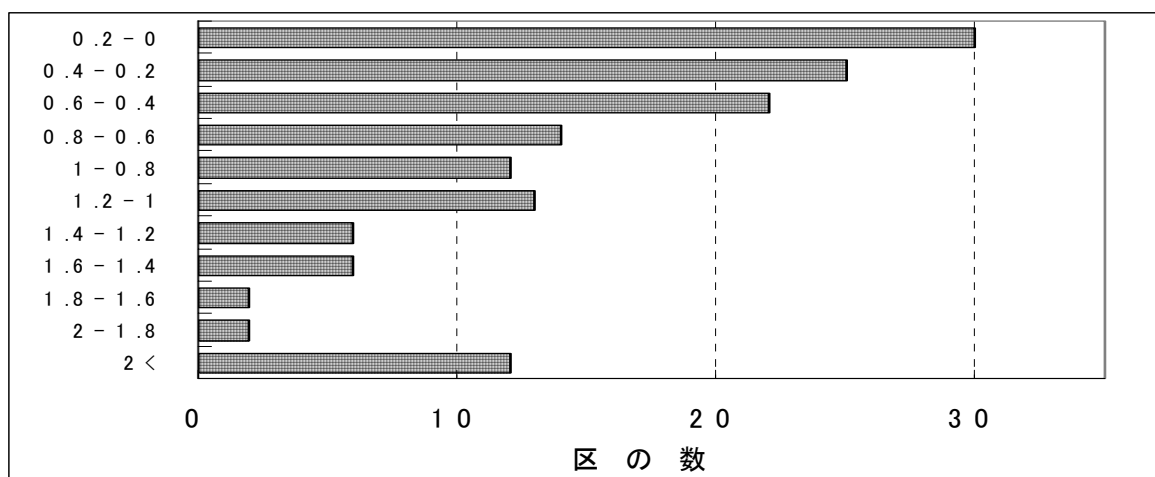


図1 浸透水の硝酸濃度の実測値／推定値の分布

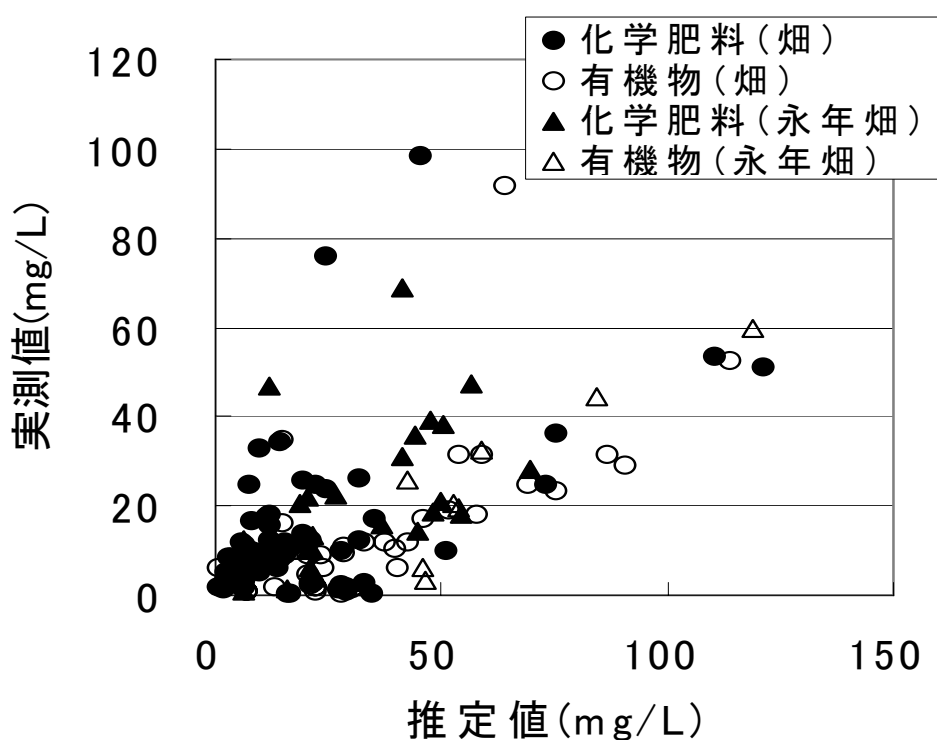


図2 窒素収支から推定した浸透水の硝酸態窒素濃度と実測値との関係

表3 文献一覧

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1) 赤江剛夫、土壌物理性 69:3-10 (1994) | 7) 長谷川清善、ペドロジスト 42:138-143 (1998) |
| 2) 福島忠雄・河村宣親、農土論集 142 : 75-82 (1989) | 8) 長谷川清善、滋賀農試特別研報 17: 1-164 (1992) |
| 3) 藤島哲男ら、土肥誌 43 : 333-338 (1972) | 9) Y. Hayashi and R. Hatano, Soil Sci. Plant Nutr., 45 451-459 (1999) |
| 4) 船引真吾ら、土肥誌 34 : 125-130 (1963) | 10) 平井高一ら、福井農試報告 30: 37-60 (1993) |
| 5) 花野義雄ら、土肥誌 67 : 194-197 (1996) | |
| 6) 長谷川清善ら、滋賀農試研報 26: 16-23 (1985) | |

表3 文献一覧 (つづき)

-
- | | |
|--|---|
| 11) 平田健正ら, 公害研報告 94: 105-117 (1986) | 44) 嶋田永生ら, 愛知農試研報 B 2: 24-30 (1970) |
| 12) 平山力・酒井一、茨城農試研報 25:133-146 (1985) | 45) 園田敬太郎ら、滋賀農試研報 38:57-65 (1997) |
| 13) 井田明ら、四国農試報告 49: 35-49 (1987) | 46) 末信真二ら、福岡農試研報 15: 114-117 (1996) |
| 14) 井戸豊ら, 愛知農試研報 17: 312-319 (1985) | 47) 須永文雄ら, 群馬農試報告 19: 59-66 (1979) |
| 15) 稲部善博・中田久雄, 石川砂丘農試報告 1:1-28 (1976) | 48) 田島英男ら、愛知農試研報 A 10:150-159 (1978) |
| 16) 神野雄一・本名俊正, 日本砂丘学会誌 46: 27-36 (1999) | 49) 中橋富久ら、滋賀農試研報 34:1-9 (1993) |
| 17) 神野雄一・本名俊正, 土肥誌 70: 297-305 (1999) | 50) 高村義親ら, 土肥誌 48: 431-436 (1977) |
| 18) 神野雄一, 鳥取園試特別研報 6:1-77 (2000) | 51) 高村義親ら、土肥誌 50:211-216 (1979) |
| 19) 金木亮一ら、農土論集 201:369-375 (1999) | 52) 高村義親ら, 土肥誌 47: 398-405 (1976) |
| 20) 金木亮一, 農土誌 68:1283-1286 (2000) | 53) 武田育郎、島根大農研報 25: 99-102 (1991) |
| 21) 金子文宣・山本幸洋, 土肥誌 70: 190-193 (1999) | 54) 武田育郎ら、農土論集 153: 73-78 (1991) |
| 22) 金子文宣・山本幸洋, 農土誌 67: 611-615 (1999) | 55) 武田育郎ら、農土論集 153:63-72 (1991) |
| 23) 木村進ら, 静岡農試研報 27: 67-73 (1982) | 56) 武田育郎, 農土誌 68: 221-226 (2000) |
| 24) 北嶋敏和, 岐阜農研研報 4: 1-35 (1991) | 57) I.TAKEDA et. al., Wat. Res., 31: 2685-2692 (1997) |
| 25) 小林正幸ら, 滋賀農試研報 22:72-79 (1980) | 58) 富樫政博・山崎紀子、土肥誌 71: 888-892 (2000) |
| 26) 甲木哲哉ら、熊本農研研報 4: 86-95 (1995) | 59) 十河稔・尾崎元扶、四国農試報告 16: 35-68 (1967) |
| 27) 國松孝男, 環境技術 14:114-119 (1985) | 60) 徳留昭一ら, 四国農試報告 41: 64-83 (1983) |
| 28) 國松孝男, 環境技術 14:195-202 (1985) | 61) 宇土頭彦ら, 水環境学会誌 23:298-304 (2000) |
| 29) 松丸恒夫 土肥誌 68: 423-429 (1997) | 62) 渡部尚久, 神奈川園試研報 34: 57-67 (1987) |
| 30) 松丸恒夫 土肥誌 68: 430-434 (1997) | 63) 渡部尚久, 神奈川園試研報 33: 54-64 (1986) |
| 31) 松下研二郎ら, 土肥誌 40: 337-343 (1969) | 64) 渡部尚久, 神奈川園試研報 35: 22-32 (1988) |
| 32) 松下研二郎ら, 土肥誌 40: 337-343 (1969) | 65) 渡辺毅ら, 福井園試報告 7: 31-41 (1990) |
| 33) 成松克彦ら, 農土論集 198: 23-29 (1998) | 66) 山崎隆生, 広島果樹試研報 12: 39-46 (1987) |
| 34) 野地良久・高田勝重、大分農セ研報 14: 87-95 (1984) | 67) 山崎隆生, 広島果樹試研報 7: 9-17 (1981) |
| 35) 野中昌法・加村崇雄、土肥誌 66: 372-380 (1995) | 68) 山崎清功ら, 四国農試報告 45:93-145 (1985) |
| 36) 小川吉雄ら、茨城農試特別研報 4: 1-71 (1979) | 69) 矢野文夫ら, 長崎農試研報 12: 19-58 (1984) |
| 37) 小川吉雄・陽捷行, 農環研資源・生態管理科学研究 集録 5: 98-119 (1989) | 70) 安田道夫ら, 果樹試報告 A 15: 59-67 (1988) |
| 38) 大嶋秀雄ら、九州農試報告 26: 283-310 (1990) | 71) 吉浦昭二ら, 大分農セ研報 16: 43-63 (1986) |
| 39) 小山田勉ら, 茨城農試研報 26: 159-175 (1986) | |
| 40) 小山田勉・平山力, 茨城農試研報 30: 89-101 (1990) | |
| 41) 桜井善雄, 農土誌 43: 518-524 (1975) | |
| 42) 佐藤一郎, 鳥取大砂丘研報 6: 1-14 (1965) | |
| 43) 芝野和夫・大野芳和、野茶試研報 A 2: 201-208 (1988) | |
-
5. 引用文献

6. 研究発表

口頭発表

1) 関口哲生・木下忠孝・井上恒久: 黄色土茶園圃場の暗渠排水中のリンの挙動、日本土壤肥料学会 (2001)

(神田健一・関口哲生)

3. LCAの総合評価に基づく新農業生産システムの確立

(1) 稲作におけるLCA評価に基づく農業生産システムの確立

担当：中央農業総合研究センター・作業技術研究部・作業労働システム研究室

要約：「積み上げ法」によるLCA評価精度向上のためコンバインの収穫作業時の燃費データを収集し解析を行った。また、作業時の排ガス連続測定法について検討を行い、20分測定、10分リフレッシュを繰り返すことで連続測定できることを明らかにした。弾丸暗渠施工、耕うん、砕土、代かき、収穫の各作業時の排ガスデータを実測した結果、同じ作業でも作業条件や作業機により大きく値が異なることが明らかになった。燃料消費データからLCA評価を行うLCA簡易計算ソフト（Web版とスタンドアローン版）を作成した。Web版はインターネットで公開している。

1. 背景と目的

地球温暖化防止、環境保全の観点から化石エネルギー使用の節減と新エネルギー等の有効利用がこれまで以上に強く求められている。このためには省エネルギー農業生産システムの開発が重要である。そこで、新農業生産システムの導入効果の確認を行うため、LCA手法に基づく「積み上げ法」を用いて稲作における作業工程別の各種環境負荷物質の推計を行う。また、推計精度の向上を図るため作業時の燃費データ等の収集によりエネルギー消費量データベースの拡充を行うと共に現場で活用できる簡易型LCA評価システムを作成する。

2. 研究方法

(1) 水稻生産における新技術導入時の作業工程別のインベントリー表を作成し、LCA手法により負荷物質低減効果等を推定する。

(2) 水稻に関わるエネルギー消費量データベースを拡充するため、現地調査や、資料等によりデータを追加する。また、生研機構が行っているコンバインの型式検査成績書の能率試験時燃料消費データから水稻収穫作業時の環境影響評価を行う。

(3) 農業機械作業による温室効果ガスの排出量を実測するため作業時の農業機械の排ガスデータ収集法について検討を行う。

(4) LCA簡易計算プログラム

Web上で利用できるLCAの簡易計算プログラムと、ボタン操作等で各種作目、地域、作業機の大きさ等を選択することにより簡単に環境負荷物質の排出量が推定できるプログラム（スタンドアローン版）を試作した（図5）。

3. 結果と考察

(1) 平成10～11年度に実施した水稻移植栽培（試算Ⅰ）における電力・燃料消費量から試算した乾燥・調整作業を除く大気負荷はCO₂で37kg/10a程度と推定されたが、耕起作業にエネルギー消費の少ない機械を用い、代かき・移植作業を同時工程とし、虫害防除にRCヘリを用いた結果（試算Ⅱ）、CO₂は28kg/10aに低減できることが試算された（表1）。

表1 水稻移植栽培の燃料等による環境負荷

試算	試算Ⅰ		試算Ⅱ	
作業	電力・燃料	使用機械	電力・燃料	使用機械
秋起し	軽1.56L	トラクタ70PS+ロータリ2m	同左	
育苗播種	電1kWh 電9kWh	播種プラント 催芽機	同左	
耕起	軽3.57L	トラクタ70PS+ロータリ2m	軽2.42L	トラクタ70PS+駆動ディスク8連
土改材散布	軽0.13L ガ0.16L	トラクタ70PS+ブロードキャスター 軽トラック(資材運搬)	同左	
代かき	軽0.68L	トラクタ70PS+代かきロータリ3.3m	軽0.38L ガ0.65L	代かき同時田植機6条 軽トラック(苗運搬)
移植(側条施肥)	ガ1.15L ガ0.27L	側条施肥・除草剤散布付き乗用田植機6条 軽トラック(苗運搬)	ガ0.27L	
病虫害防除	ガ1.01L ガ0.16L	乗用管理機 軽トラック(資材運搬)	ガ0.1L ガ0.16L	RCヘリ 軽トラック(資材運搬)
穂肥施用	混0.14L ガ0.16L	動力散粒機 軽トラック(資材運搬)	同左	
病虫害防除	ガ1.01L ガ0.16L	乗用管理機 軽トラック(資材運搬)	ガ0.1L ガ0.16L	RCヘリ 軽トラック(資材運搬)
畦畔管理(3回)	混0.6L	刈払機	同左	
収穫運搬	軽1.99L ガ0.50L	自脱型コンバイン4条 2tダンプ	同左	
燃料合計 エネルギー 環境負荷(g)	電10kWh, 軽8.0L, ガ・混5.3L 140.1Mcal CO ₂ : 37300, NO _x : 190, SO _x : 50		電10kWh, 軽6.5L, ガ・混3.0L 107.3Mcal CO ₂ : 28000, NO _x : 150, SO _x : 40	

また、水稻栽培において最も大気負荷の大きい乾燥作業については、乾燥形態や方式によって大きくことなるため一律に定義できないが、最近開発された遠赤外線乾燥方式の調査事例を表2に示す。この結果、遠赤外線の燃料消費は循環型と差が無いことが示されていた。また初期水分によって燃料消費は大き

く異なるため、インベントリー表の作成時には地域別の代表値を設定するなどの工夫が必要であると考えます。

表2 乾燥時の環境負荷量の比較

乾燥方式	遠赤外線		循環型	
籾初期水分(%)	19.5	26	19.5	26
乾燥後重量(kg)	4172	5151	4188	5158
灯油消費量(L)	30	84.5	29.2	83.8
消費電力(kWh)	12.1	26.9	16.7	36.9
エネルギー(Mcal/10a)	43.7	97.6	43.8	99.3
CO2(kg/10a)	12.1	27.2	12	27.4

注) 面積は玄米収量を480kg、玄米/籾比0.8として求めた。試算に用いたデータは農林水産技術情報協会の資料

(2) 63型式のコンバインの能率試験時のデータを収集した。コンバインの燃料消費量から算出したCO2排出量は刈取り条数が同じでも機種により大きく異なり(図1)、機関出力、機体質量が大きいほど単位面積当たりの排出量が多くなっていた(図2)。また、刈取り時の籾水分や収量によっても排出量は大きく異なっていたが、明らかな相関はみられなかった(図2)。

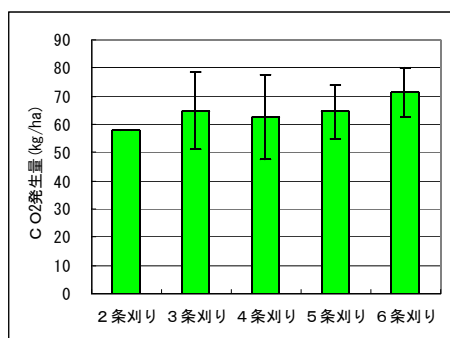


図1 刈取り条数とCO2排出量

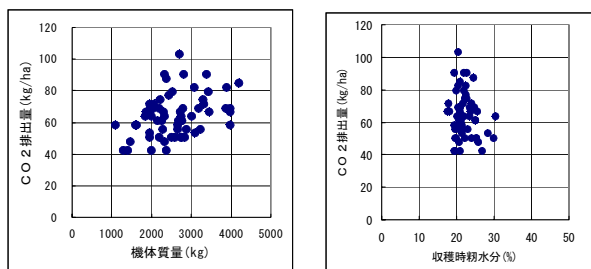


図2 機体質量、収穫時水分とCO2排出量

(3) 排ガスの測定はT社350-XLを用い、測定項目はCO、CO2、O2、NO、NO2、NOx、HCで、作業中(暗渠施工、耕うん、砕土、整地、田植え、収穫)の農業機械(トラクタ、コンバイン、田植機)の排気管に延長ホースの先端に取り付け

たプローブを挿入して連続記録を行った。

作業中の排ガスは20~30分のサンプリングの後、10分間のセンサリフレッシュ(この間測定はできない)を行うことにより連続測定できることが確認された。測定を行った作業、作業機と各種作業時のCO2排出量は表3に示す通りである。CO2排出量は、排ガス濃度と機関排気量と作業時の機関回転数から求めた単位時間当たりの排気量を掛け合わせて算出した。作業中の機関回転数と排ガスデータはデータログに記録した。また、吸入空気の種類効率は0.85とした。

単位面積(1ha)当たりのCO2排出量は、同じ作業でも使用するトラクタやコンバインによって異なり、砕土作業では3倍、耕うん作業では1.5倍、収穫作業では約2倍の差があった。同一トラクタの場合でも装着する作業機、作業条件によってCO2排出量は大きく異なりトラクタDではドライブハローによる砕土作業と代かき作業の2回目では63.1kg/haと19.5kg/haと3倍以上の差があった。

また、CO2の排出量は負荷の低下する巡回時には30~40%低下していた(図4)。

表3 各種作業時の実測結果概要

型式	作業名	作業機名	作業幅 m	排気量 cc	定格出力 kW	CO2排出量 kg/ha
田植機A	移植	田植機	1.8	398	7.7	18.6
田植機B	移植	田植機	1.8	340	6.3	15.3
トラクタA	暗渠施工	弾丸暗渠	14inch x 3	2438	29.8	13.7
トラクタB	耕起	ブラウ		3863	48.5	42.6
トラクタC	砕土	ドライブハロー	2.8	4062	58.1	106.2
トラクタD	耕うん	ロータリ	1.7	1499	20.6	63.2
トラクタD	砕土	ドライブハロー	2.4	1499	20.6	31.5
トラクタD	耕うん	ロータリ	1.7	1499	20.6	40.1
トラクタD	耕うん	ロータリ	1.7	1499	20.6	42.4
トラクタE	耕うん	ロータリ	2.4	2775	36.8	53.8
トラクタF	耕うん	ロータリ	1.6	1496	22.1	61.3
トラクタF	耕うん	ロータリ	1.6	1496	22.1	36.6
トラクタD	代かき1	ドライブハロー	2.4	1499	20.6	30.1
トラクタD	代かき2	ドライブハロー	2.4	1499	20.6	19.6
トラクタG	代かき	ドライブハロー	2.2	1463	18.4	52.6
コンバインA	収穫	コンバイン	4条刈り	2189	34.5	82.5
コンバインB	収穫	コンバイン	3条刈り	1123	16.5	42.0

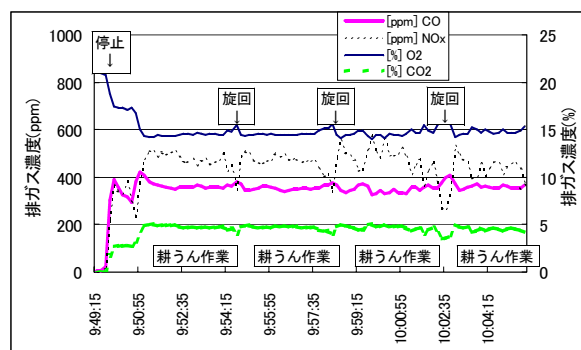


図3 耕うん作業時の排ガスの連続測定例

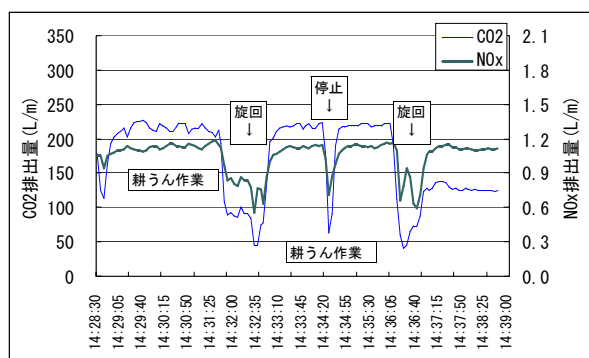


図4 耕うん作業時のCO₂、NO_x排出量(トラクタD)

(4) 開発したソフトは、i)標準作業体系選択機能：作目、地域、機械の規模を指定することにより該当する地域の標準作業体系を表示する。現在は水稻、麦、大豆作について標準体系のデータが入力済みである。ii)LCA計算機能：表示された標準的な作業体系、及び編集した作業からCO₂排出量などを自動計算する。また計算結果のファイルへの保存や印刷を行う。iii)環境影響度グラフ表示機能：計算したCO₂、NO_x、SO_xの排出量をグラフ化する。iv)データ管理機能：作目、地域、機械の規模毎にLCAデータテーブルの管理を行う。

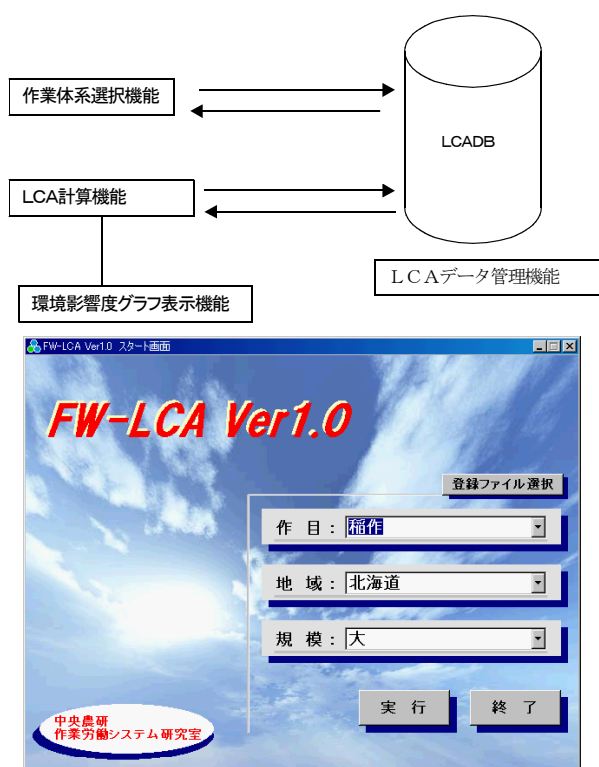


図5 LCA簡易計算プログラム(スタンドアローン版)

4. 今後の問題点

(1)収集した燃費データや、実測した排ガスデータの値は、同一のトラクタであっても作業条件により大きく異なり、また、同じ作業であっても機種や大きさにより大きく異なっている。このため、インベントリー表の作成に当たっては標準値の扱いに留意すると共に、データの収集によるエネルギー消費データベースの拡充をさらに進める必要がある。

(2) LCA簡易算出ソフトのスタンドアローン版は新たな交付金プロ「精密畑作」の中で実証試験に供すると共に、データの整備が終わり次第、配布を予定している。

5. 引用文献

- 1)金谷 豊(1999)水稻生産システムとLCA、研究ジャーナル22(10)、(社)農林水産技術情報協会：15-19
- 2)金谷 豊(2001)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－中間とりまとめ報告書－、農林水産技術会議事務局：49-53
- 3)園部和彦(1999)平成10年度エネルギー管理型農業生産システム開発調査委託事業報告書、(社)農林水産技術情報協会：23-49
- 4)園部和彦(2000)平成11年度エネルギー管理型農業生産システム開発調査委託事業報告書、(社)農林水産技術情報協会：34-43
- 5)機械化計画のたて方(2002)、(編)JA全農生産資材部：41-50

6. 研究発表

- 1)金谷 豊(2001)テクノロジー-水稻生産におけるLCAの適用事例-、農業電化、54-2:22-23
- 2)LCA簡易算出ソフトのWeb版(農作業におけるLCA評価)は<http://narc.naro.affrc.go.jp/oldss/kikai/fwsl/LCA.html>で公開中

(小林 恭・金谷 豊)

(2) 野菜における LCA 評価に基づく農業生産システムの確立

担当：野菜茶業研究所・果菜研究部・栽培システム研究室

要 約：全国各地の暖房や冷房に投入されるエネルギーの合理性を評価するために、冷暖房に要するエネルギー量の地域差の指標として、暖房・夜間冷房デグリアワーを検討した。AMeDAS データにより各地の暖房・夜間冷房デグリアワーの季節変化や全国分布の特徴が明らかになり、冷暖房の合理性の評価に利用できる基礎資料が得られた。

1. 背景と目的

施設利用の周年栽培で最も大きなエネルギーを要するのは冬季の暖房であり、トマト栽培における LCA 調査では、全エネルギー投入量の 60～85% を暖房運転が占めていることがわかった。そこで、環境負荷を低減するためには、暖房や冷房などのエネルギー消費の多い工程を改善するのが効果的である。

わが国では地方によって気象環境が大きく異なるので、暖房・冷房等の環境調節に要するエネルギーには大きな地域差がある。したがって、気象環境の異なる地域の暖房・冷房の消費エネルギーをそのまま比較して、合理性を検討することはできない。

本研究では、気象環境の地域差の指標として、暖房・冷房デグリアワーを取り上げ、その全国的な分布の特徴を明らかにすることを目的とする。

対象場所の暖房・冷房デグリアワーが明らかになると、実際の燃料使用量と比較することにより、対象栽培施設の熱的な効率がわかるので、その地域に適した施設構造やカーテンの方法、暖房方法などの合理性を評価することが可能となる。

2. 研究方法

(1) 福島県原町、大分県東国東郡、熊本県玉名地域、愛知県渥美地域のトマト、ミニトマト生産者における肥料、資材、燃料の投入量を調査した。
(2) 暖房・冷房デグリアワーの算出のための気象データとして、気象官署の半旬平年値および AMeDAS 観測所の半旬準平年値データを用いた。

暖房デグリアワーは温室内の目標設定温度と外気温との差を対象時間について積算したもので、一日の暖房デグリアワーを DH とすると次式で表される。

$$DH = \int_{t_1}^{t_2} (T_{in} - T_{out}) dt$$

ここで、 t_1, t_2 はそれぞれ、外気温が温室内の設定気温より下がった時刻、外気温が設定気温まで上昇した時刻で、 T_{in}, T_{out} は温室内・温室外の気温である。暖房・冷房デグリアワーの単位は $^{\circ}\text{C day}$ となる。算出方法としては、日最高気温と日最低気温および日照時間を用いた計算式(1)を用いた。

なお、対象期間の暖房デグリアワーを DH_n とすると、燃料消費量は次式より概算できる。

$$V = A U (1-f) DH_n / (hk)$$

ここで、 V は燃料消費量、 A は温室の表面積 (m^2)、 U は平均的な暖房負荷係数 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$)、 f は保温被覆 (カーテンなど) による熱節減率で、 h は燃料の発熱量、 k は暖房システムの熱利用効率である。これらの諸特性値は関係の諸文献に基づいて設定可能である。

(3) 冷房デグリアワーについては、日射のある冷房負荷の大きな条件で冷房するのは現実的ではないので、夜間のみを対象として、夜間冷房デグリアワーを算出した (2, 3)。外気温の日変化を $\sin$ 曲線で表し、設定温度と外気温との差を数値的に積算して求めた。各地の夜の長さは、季節や緯度によって異なるが、ここでは夜間冷房の対象時間を一律に 12 時間とした。

3. 結果と考察

(1) 施設トマト生産者の投入資材の調査

土耕栽培と養液栽培については、堆肥投入の有無や利用資材の種類・量に大きな違いが見られた。ロックウール養液栽培では、年間で窒素量が 100kg 以上を使用している。暖房の燃料消費量は年間 10～15 キロリットル程度である。

(2) わが国各地における暖房デグリアワーの特徴
各地域の暖房デグリアワーの季節変化を図 1 に示す。暖房必要期間は、北に位置する寒冷地で長

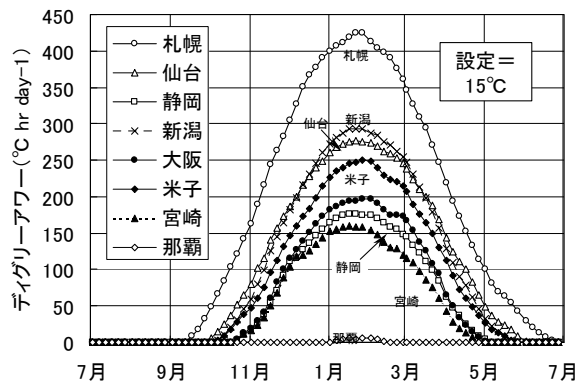


図1 各地の暖房デグリアワーの季節変化

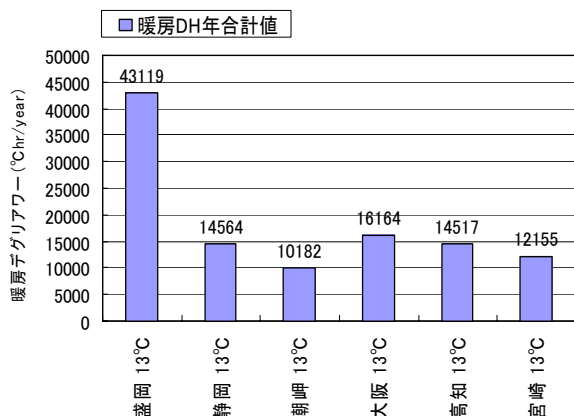


図2 各地の年間暖房デグリアワーの比較 (設定 13°C)

く、札幌では最大暖房デグリアワーも大きくなる。那覇では 13°C に設定する場合には暖房はほとんど不要である。

設定温度 13°C の場合の各地の年間暖房デグリアワーを図 2 に示す。盛岡と暖地と施設の熱的特性が同程度と仮定すると、暖地における燃料消費量は盛岡の 2～3 割程度ですむことになる。暖房デグリアワーについては、厳寒期の暖房デグリアワーのピークが大きい地域は、年間の積算値も大きくなるとみられる。

13°C の暖房デグリアワーの全国分布を調べたところ、北陸地域については、新潟県の海岸平野部などのかなり北に位置する地域でも、予想外に暖かく、暖房必要熱量が少ないことがわかった。

(3) わが国の夜間冷房デグリアワーの特徴

夜間冷房デグリアワーの季節変化の形は、冷房必要期間が真夏の短期間になるため、暖房デグリアワーより尖った形になる。設定温度 25°C では、盛夏期には大阪では宮崎よりもはるかに大きい値になった (図 3)。

西南暖地の多くでは 25°C 冷房の対象期間は 7 月

中旬から 8 月下旬ころで 1 ヶ月程度であるが、20°C の冷房を対象にすると 3 ヶ月から 4 ヶ月になる。那覇では 20°C の冷房対象期間は 4 月から 11 月半ばまで、実に 7 ヶ月半にもおよぶ。

大阪では冷房対象期間は九州地方と大差はないが、真夏の夜間冷房デグリアワーの最大値は大きく、25°C・hr/day 程度的那覇に次いで 20°C・hr/day 前後である。この設定温度では新潟では冷房対象期間が約 1 ヶ月生じるが、その最大値は 5°C・hr/day 以下で小さい。

設定温度が 23°C の各地の年間夜間冷房デグリアワーを比較した (図 4)。夜間にこの温度まで下げるのに、盛岡では冷房不要である。大阪の夜間冷房デグリアワーは年間で見ると宮崎よりやや高く、静岡や高知よりもかなり高い。冷房エネルギー消費量の指標としては、年合計値と真夏のピーク時期の値の両方について検討する必要がある。

冷房設定温度 23°C における年間の夜間冷房デグリアワーの全国分布図では、北海道や東北地方の大部分、中部地方の山間部では 0 で夜間冷房は不要である (図 5)。東北地方では、太平洋側では

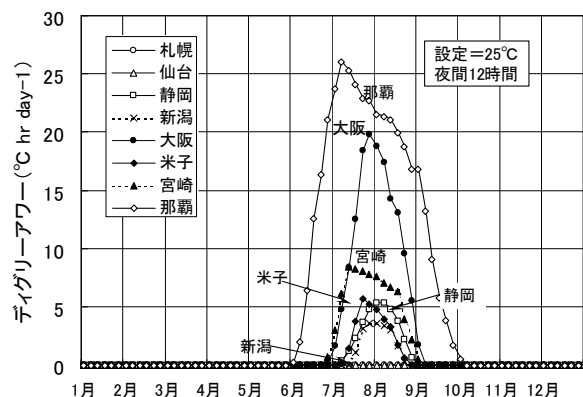


図3 各地の夜間冷房デグリアワーの季節変化

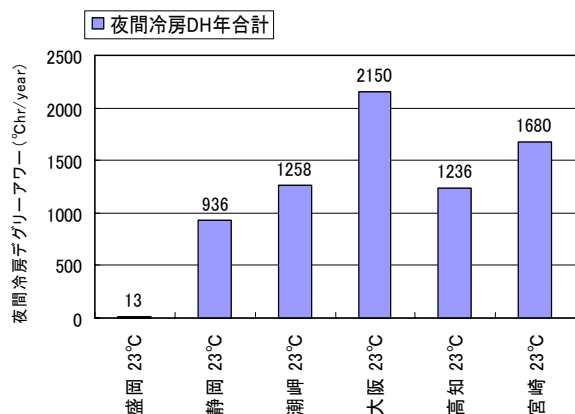


図4 各地の年間夜間冷房デグリアワーの比較 (設定 23°C)

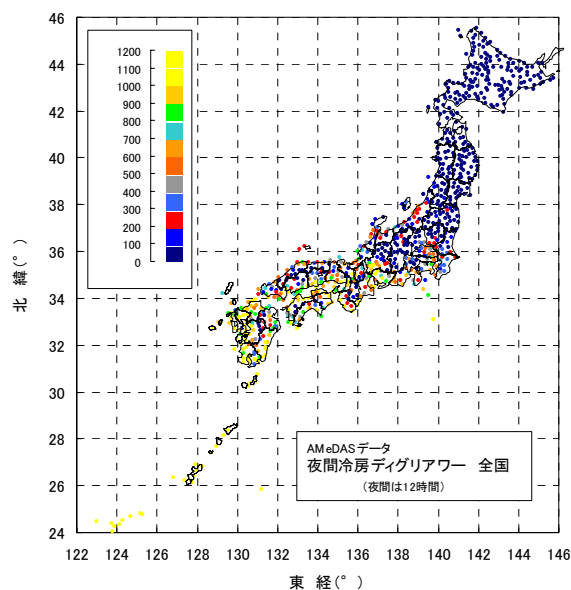


図5 全国の夜間冷房デグリアワーの分布（設定 23℃）

福島県と茨城県の境界付近まで、日本海側では酒田（山形県）付近まで、冷房不要の地域が広がっている。関東地方では、銚子（千葉県）で値が小さくなっており、海洋の影響と考えられる。中部地方では平野部の新潟や富山ではやや大きくなる。長野県などの高冷地ではほとんど冷房は不要である。東海・近畿・中国地方では、1,000 °C・hr/year を超える地域が多い（大阪は2,150 °C・hr/year）である。瀬戸内・四国・九州地方の平野部では、1,000 °C・hr/year を超える地域が多い。

以上のように、日本全体をみると、東京、名古屋、大阪などの大都市あるいは平野部で、周辺地域より大きな値が出ている。

(4) 暖房燃料の使用量と暖房デグリアワー

調査地点における、燃料使用量と年間暖房デグリアワーを表1に示す。大分と熊本については、暖房デグリアワーは近い値であるにもかかわらず燃料消費量は大幅に異なっているが、これは設定温度や施設構造・設備の違いによると推察される。

表1 地域別の暖房燃料使用量と年間暖房デグリアワーとの比較

調査地点	栽培品目	重油使用量 (kl/10a)	年間Dh (x1000°C·hr/year)		
			設定13°C	設定10°C	設定8°C
福島県原町	トマト	15.6	29.8	19.6	13.7
愛知県渥美地域	トマト	9.0	16.8	9.2	5.3
大分県国東郡	ミニトマト	15.0	18.7	10.3	6.0
熊本県玉名地域	ミニトマト	4.2	18.9	10.6	6.3

調査地点	栽培期間等
福島県原町	6月定植～翌7月終了
愛知県渥美地域	9月定植～翌6月終了
大分県国東郡	9月定植～翌6月終了
熊本県玉名地域	8月定植～翌6月終了

暖房消費エネルギーは暖房設定によって大きく変化する。夜間の早期を高温にして明け方に低く管理するいわゆる変温管理によっても削減することが可能である。

4. 今後の問題点

各地の生産者の暖房エネルギー投入の合理性を詳細に評価するためには、温度管理（温度設定方法）データを入手し、それに基づいて暖房デグリアワーを算出する必要がある。

施設栽培における投入エネルギー量のデータはまだ不足しており、とくに1つのハウスで1haを超える大規模施設が増加しているため、これらの調査データの蓄積が重要である。

なお、今回の各地の暖房・夜間冷房デグリアワーの計算に用いた平年値データは、1990～2000年に利用する平均値を用いたので、今後、2000年～2010年用の平年値を用いて再計算する必要がある。

5. 引用文献

- 1) 三原義秋 (1978) 農業気象 39:181-189.
- 2) 権 在永・高倉 直 (1989) 農業気象 44: 287-294.
- 3) 林 真紀夫・古在豊樹・渡部一郎 (1983) 農業気象 39:181-189.

6. 研究発表

口頭発表

- 1) 高市益行・鴨田福也・岩崎正男・米澤博行 (2001). 冷・暖房デグリアワーによる施設栽培コスト低減の評価. 農業環境工学関連4学会合同大会講演要旨. 110,

(高市益行)