

B-14. 地球温暖化対策技術の評価及び評価手法の開発に関する研究

(5) 農業関連分野の温室効果ガスアナリシス、対策技術探索、個別技術評価に関する研究

研究課題代表者 農業環境技術研究所 福原道一

農林水産省 農業環境技術研究所

企画調整部地球環境研究チーム 福原道一・山口武則・山川修治・大浦典子

(委託先) 筑波大学第二農林学系 田中洋介

平成2-5年度合計予算額 22,906千円
(平成5年度予算額 5,188千円)

[要旨]

温暖化抑制の観点から、肥料・農薬の低減および省エネルギーを図り、農業生産効率を高めた環境保全型の農業技術を開発するため、既存の文献・資料を整理し、統計手法によって、農業分野におけるエネルギー消費とCO₂排出量の実態を定量的に解明、また、CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全などの具体的個別技術の特徴および将来性を検討するとともに、これらの個別技術について、全国の農業大学教官、国公立農業研究所・試験場研究者、農業改良普及員等を対象にしたアンケート調査によって評価した。その結果、わが国の農林業におけるエネルギー総消費量(1991年)は0.07億tであり、これに伴って排出されたCO₂は0.22億tであった。このうち、石油製品および電力の消費量(1991年)は、石油製品は7,894千kl、電力は386,870千kWhで、これらの消費に伴って排出されたCO₂は、0.223億tと試算した。肥料、農薬、農業フィルムなどの主な農業生産資材の製造時にもCO₂が排出され、その量は約0.04億tと推定した。農産物の生産過程では、気温調節などにエネルギーが必要な温室、ハウスなどの施設から、CO₂が排出され、その排出量は年間10a当たり7,228kgであり、また栽培過程における農業機械の運転作業からもCO₂が排出され、その排出量(kg/10a)は、米栽培70、小麦栽培30、裸麦栽培42、六条麦栽培36、大豆栽培75~101、ナタネ栽培39~49であることなどが判明した。CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の観点からのアンケート調査やCO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の具体的な個別技術の評価によって、農林業のもつ環境保全機能とクリーンエネルギーの利用技術の必要性、特徴および将来性を導きだした。

キーワード 農業、温室効果ガス、二酸化炭素、省エネルギー、環境保全

1. 序

地球の温暖化は、産業革命以後の化石燃料の燃焼、生活の近代化、熱帯林の過剰伐採によって大気中に蓄積された二酸化炭素（CO₂）などの温室効果ガスによって起こり、現在、この温暖化による地球規模の気候変動が懸念されている。この現象は、エネルギー分野、工業分野、都市・交通関連分野および農業分野における社会経済的要因に深くかかわっており、広くは社会全般の制度のあり方にも関連している。そのため、各分野における早急な防止対策が求められている。しかしながら、各分野における防止対策の推進に当たっては、制度や規制の導入のように政策的な対応も重要であるが、防止対策として有効な技術の開発とその普及が必要不可欠である。これらの技術の開発とその普及を推進するためには事前に、十分な評価が必要である。

本研究は、農業生産過程におけるエネルギー消費の実態を解明するとともに、農林業のもつ環境保全機能ならびにクリーンエネルギーの利用技術を導きだし、これらを積極的に利用する環境保全型の農業技術を模索する。

2. 研究目的

地球温暖化対策技術の開発とその普及に当たっては、具体的な個別の対策技術の評価、経済性、安全性、社会的適合性、起こり得る新たな問題、技術開発の困難度等を正確に評価した上で各対策の組み合わせによる総合的な評価を行うことが有効である。

本研究では、農業生産過程におけるエネルギー消費量とCO₂排出量の現状を把握するために、CO₂の発生源とその排出量を同定（温室効果ガスアナリシス）し、エネルギーの浪費と過剰なCO₂排出を抑えるための考え得る対策技術の収録と新たな技術の探索（対策技術の探索）を行って、省エネルギーと環境保全を基本とした優れた農業技術を模索することが目的である。

3. 研究方法

(1) クリーンエネルギー計画報告書（1982,1985）^{1, 2)}、産業連関表（1985）³⁾、エネルギー・経済統計（1993）⁴⁾、総合エネルギー統計（1993）⁵⁾、ポケット農林水産統計（1993）⁶⁾、日本農林年鑑（1993,1994）^{7, 8)}、農産物生産費調査報告（1992,1993）⁹⁻¹¹⁾などの文献・資料を解析し、農林業におけるエネルギー消費とそれに伴って排出されたCO₂の把握を行った。また、種目・作物別に必要エネルギーである流動財（肥料・農薬・輸送など）と固定財（農機具、農具舎、倉庫などの施設等）の量的な関係や耕種農業全般にわたる必要エネルギーの消費とそれに伴って排出されたCO₂を算定した。

(2) CO₂排出削減・省エネルギーおよび環境保全の立場から、将来に向けて有効な具体的な方策を、日本経済新聞、朝日新聞、読売新聞、日本工業新聞などの新聞記事から抽出し、それらの具体的な個別技術の利点と今後改善すべき点を系統的に整理した。

(3) CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の観点から、「地球にやさしい農業」として集約される50項目の具体的な方策を選別し、各項目について全国の農業大学教官、国公立農業研究所・試験場研究者、農業改良普及員等を対象にアンケート調査を行い、それぞれの具体的な方策の認識度と実現可能度を評価した。

4. 結果

(1) わが国におけるエネルギー消費とCO₂排出の現状

①わが国の1次エネルギー総供給量(1991)⁵⁾は、原油に換算して4.64億tであり、このうち、原油が2.03億tで全体の44%を占め、次に石炭1.19億t>石油製品0.55億t>新エネルギー0.06億t>天然ガス0.018億tの順で、地熱は0.005億tと極めて少ないことが明らかになった。

②同年のエネルギー総消費量⁵⁾は、原油に換算して3.13億tである。このうち、石油製品の占める割合は全体の69%の2.17億tで、次が電力で原油に換算して0.63億tである。産業部門別の総消費量は、産業部門の消費量が最も多く0.76億tで、なかでも、製造業が最も多く0.59億tで全体の78%を占めた。次で農林業が0.07億tであった。また、電力消費量(原油換算)は、産業部門0.31億tと民生部門0.30億tが多く、運輸部門は0.02億tで極めて少ないことなどが明らかになった。

③同年の総CO₂排出量は9.76億tであり、このうち、産業部門が4.78億tで49%を占め、民生部門は2.44億tで25%、運輸部門は2.29億tで23%をそれぞれ占めた。産業部門のなかで農林業は0.22億tであり、この値は製造業の4.25億tの約1/20に相当することなどが明らかになった。

(2) わが国における農業のエネルギー消費とCO₂排出の現状

わが国の農業は、水田による稲作を中心に展開されてきた。昭和40年(1965年)代になって稲作生産技術の向上や基盤整備の進展などで生産力が増加し、完全自給という長年の目標を達成することができた。その後、米の供給が過剰になり、昭和46年(1971年)以降本格的な生産調整対策が実施されてきた。現在、米の生産量の過剰のもとで、農山村地域における過疎化、高齢化の進行、さらに、農業の担い手不足は深刻な状況にあり、加えてガットのウルグアイ・ラウンドの米市場開放要求等の厳しい諸問題に直面している。このような状況のもとで、低生産コスト、労働力の低減を目的に一貫した大型農業機械の導入と大規模圃場整備が図られ、従来より大量の化石燃料が消費され、それに伴って大量のCO₂が排出されている。

①農業機械の普及状況

1985年から1992年における農業機械の普及⁶⁾は、通常の歩行型トラクタや15馬力未満の乗用型トラクタは、1992年にほぼ横ばいとなったが、30馬力以上の乗用トラクタ、動力田植機および自脱型コンバインはそれぞれ増加した。また、近年の農業機械に対するユーザーのニーズも、従来の省力・軽作業化、安全性に加え、作業快適性ととも高馬力のものを求める傾向にある。

②石油製品および電力消費とCO₂排出の現状

農林業における石油製品および電力の消費量(1991年)⁷⁾は、石油製品の場合、総消費量は7,894千k_tであった。このうち、炭素数が10~14の灯油は3,267千k_tで41%を占め、C14~C20の軽油は2,321千k_t、C40~C70の重油は2,306千k_tであり、それぞれ29%を占めた。重油のうち、炭素数が20~40のA重油は2,222千k_tで28%、C40~C70のC重油は81千k_tで1.0%、またC40~C70のB重油は3千k_tで0.04%と極めて少ない。電力の消費量は、386,870千kWhであり、この値は総電力消費量(780,445千kWh)の0.4%であった。これらの消費量からCO₂の排出量を求めると、灯油0.082億t、軽油0.063億t、A重油0.064億t、B重

表1 農林業における石油製品および電力の消費とCO₂排出量

	消費量 (千kl)		CO ₂ 排出 係 数	CO ₂ 排出量 (億t)	
	国内	農林業		国内	農林業
ガソリン	46,140	-	2.16	0.997	-
ナフサ	34,372	-	-	-	-
ジェット燃料油	3,858	-	-	-	-
灯油	26,564	3,267	2.52	0.669	0.082
軽油	39,627	2,321	2.71	1.074	0.063
A重油	27,222	2,222	2.88	0.784	0.064
B重油	326	3	3.01	0.010	0.00009
C重油	15,682	81	3.01	0.472	0.00244
電力	780,445	3,080	0.7	5.463	0.02156

注) 電力は10⁶kWhで示し、1kWhの電力消費により0.70kgのCO₂が排出すると仮定して計算した。

表2 農事用電力の供給

(単位: 10⁶kWh)

	脱穀調整	かんがい排水	農事用電熱	合計
1989年	57	1,384	46	1,487
1990年	57	1,541	46	1,643

油0.0001億t、C重油0.002億tで、電力は0.022億tとなり、その合計は0.233億tと推定した(表1)。なお、電力の主な消費は、作物の脱穀調整、かんがい排水、農事用電熱である(表2)⁶⁾。

(4) 農業生産資材の製造とCO₂排出

①肥料

わが国における化学肥料の需要量は、作付延べ面積および単位面積当たりの施肥量の減少、緩行性肥料の普及および側条施肥など技術の導入によって施肥効率が向上し、その消費は減少する傾向を示した。1991肥料年度(3年7月~4年6月)は、1992年度産米の転作緩和に伴って水稲用需要の増加はあったが、これまでの減少傾向に加え、1991年夏期の低温、日照不足に伴う水稲の追肥の省略などを反映し、窒素質肥料およびカリ質肥料の生産量は減少し、全体量も減少して178万tとなった(表3)⁸⁾。1tの肥料製造(3成分合計)に必要なエネルギーは、原油に換算して760lであり(藤沼, 未発表)、この原油消費量(l)に、比重0.874とCO₂排出係数3.117¹²⁾を剰じて、肥料1t当たりのCO₂排出量を求めると、2.070tとなった。この値を用いて肥料製造時に排出されたCO₂を試算すると、1992年度の肥料製造時のCO₂排出量は、369万t(0.03688億t)となった。この値は製造業によって排出されたCO₂排出量(4.25億t)の0.87%に相当した。

②農薬

わが国は、年間降水量が多く、病虫害の発生や雑草の繁茂が多い。そのために、農薬は

表3 化学肥料需給量

(単位：万t)

肥料年度	窒素質	りん酸質	肥料カリ質	合計
1987年	66.9	76.6	60.2	203.6
1988年	64.0	72.3	57.7	194.4
1989年	64.1	72.8	56.9	193.8
1990年	61.2	69.0	53.7	183.8
1991年	57.4	69.5	49.4	176.4
1992年	56.9	69.9	51.4	178.2

表4 農薬の出荷量と農薬製造時のCO₂排出量

(単位：万t)

年	殺虫剤		殺菌剤		殺虫・殺菌剤		除草剤		合計	
	出荷量	排出量	出荷量	排出量	出荷量	排出量	出荷量	排出量	出荷量	排出量
1988年	20.9	7.5	11.7	1.1	7.7	0.7	15.1	3.3	55.4	12.6
1989年	20.6	7.4	10.9	0.9	6.9	0.6	14.6	3.1	52.6	12.0
1990年	18.9	6.8	9.5	0.9	6.2	0.6	14.6	3.1	49.2	11.4
1991年	16.9	6.1	10.0	0.9	4.9	0.4	14.2	3.0	46.0	10.4
1992年	16.9	6.1	9.9	0.9	5.9	0.5	13.9	2.9	46.6	10.4

注) 農薬1kgから排出されたCO₂は、殺虫剤0.36kg、殺菌剤0.09kg、殺虫・殺菌剤0.09kg、除草剤0.21kgとして計算した。

生産力の維持に必要不可欠と考えられていたため、これまでに大量の農薬が消費されてきた。しかし、自然や環境保護への意識高揚と、消費者サイドでの食品の安全性、環境問題に対する関心の高まりから、これらのニーズに応える無農薬や減農薬による農業生産の機運が高まり、その消費量は減少する傾向にある。

1992年の出荷量は46.6万tで、過去5年間の平均は49.3万tであった(表4)⁷⁾。1kgの農薬を製造する際に排出されるCO₂は、殺虫剤0.36kg、殺虫殺菌剤0.09kg、殺菌剤0.09kg、除草剤0.21kgといわれており¹³⁾、この値にそれぞれの出荷量を剰じ、CO₂排出量を求めると、1988年：12.6万t、1989年：12.0万t、1990年：11.4万t、1991年：10.4万t、1992年：10.4万tとなり、その平均は11.4万tとなった。この値は、1992年の肥料製造時(368.8万t)の約1/32に相当した。

③農業用フィルム

近年、農業用フィルムは、ハウスやマルチなど被覆資材として施設栽培で大量に使用されている。その出荷量⁷⁾は、ハウス設置面積の増加などによって1983年以降増加の傾向を示したが、1991年は、1990年の湾岸危機に伴うナフサの供給不安定から備蓄増や、価格上昇によって減少した。1992年は、野菜価格の低下などによりハウスの張り替え需要が減少し、その出荷量は14.2万tとなった(表5)。農業用フィルム1kgから排出されるCO₂は、ポリ塩化ビニルで1.861kg、ポリエチレンフィルムで3.136kgといわれている¹³⁾。

表5 農業用フィルム出荷量

(単位：万t)

年度	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年
出荷量	13.2	13.7	13.9	15.5	15.8	16.0	17.9	15.8	14.2

1992年の出荷量がすべて農業用ポリエチレンフィルムと仮定すると、その排出量は44.5万tとなり、また、ポリ塩化ビニルの場合は26.4万tとなる。これらのことから、同年の農業用フィルム製造に伴って排出されたCO₂は、おおよそ30.0万t程度と試算された。

(5) 温室施設の光熱消費とCO₂排出

わが国における温室およびハウスなどの施設の面積は、1992年にはガラス温室、ハウス、それぞれ2,120, 4,502haである⁸⁾。これらの暖房に用いられる10a当たりのエネルギー消費量は、重油2,014ℓ、灯油234ℓ、ガソリン65ℓで、電力は1,079kWhと見積もられている¹⁴⁾

(表6)。これらのエネルギー消費によるCO₂排出量は、重油6,042kg、灯油591kg、ガソリン40kg、電力755kgで、その合計は7,228kgに及んだ。各施設から排出されたCO₂は、生産物の種類によって異なり、例えば、愛知県渥美郡の促成トマト栽培ガラス温室では年間7,996kg/10aで、長野県下のバラ栽培ハウスでは年間30,076kg/10aと推定された。これらは単位面積当たりの露地栽培に比較して数百～数千倍のCO₂排出量オーダーである^{15, 16)}。

表6 ハウスから排出されるCO₂

品目	使用量 (ℓ)	CO ₂ 排出量 (kg)
加温用重油	2,014	6,042
加温用灯油	234	591
ガソリン	65	140
電力 (kWh)	1,079	755
合計		7,228

注) 1kWhの電力消費に伴って0.700kgのCO₂が排出することとした。

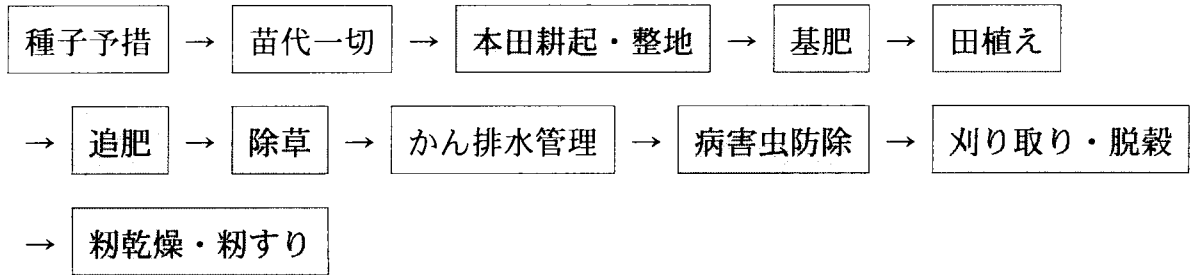
(6) 農業機械作業における石油製品の消費とCO₂排出

わが国における水稲および麦類、工芸作物類、野菜類の栽培過程で多くの農業機械が導入されている⁸⁾ (図1)。

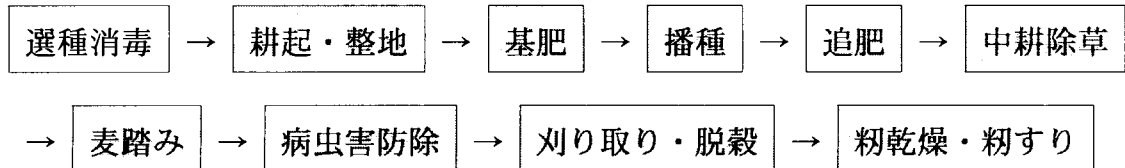
生産費調査報告⁹⁻¹¹⁾ から作物栽培における化石燃料の消費量や動力運転時間を調査し、農業機械の化石燃料消費に伴って排出したCO₂を試算した。

①1992年における米および麦類栽培の全国平均光熱使用量は、米栽培では、10a当たり重油0.2ℓ、軽油11.6ℓ、灯油8.1ℓ、ガソリン6.3ℓ、混合1.7ℓ、モービル油0.4ℓがそれぞれ消費され、10a当たりのCO₂排出量は69.7kgと算出した。一方、小麦栽培では、重油0.1ℓ、軽油9.3ℓ、灯油1.3ℓ、ガソリン0.4ℓがそれぞれ消費され、そのCO₂排出量は29.7kgとなった。六条大麦および裸麦栽培では、重油0.1～0.3ℓ、軽油7.2～9.7ℓ、

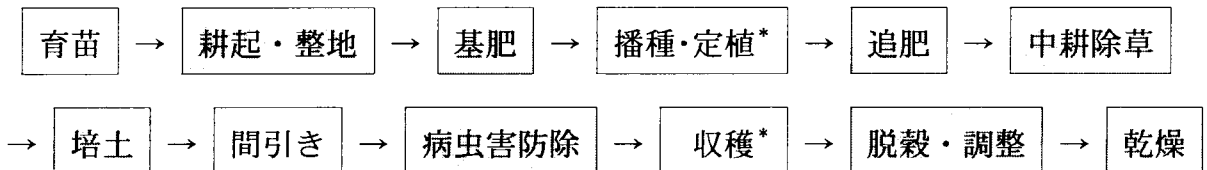
①水稲栽培



②麦栽培



③工芸作物栽培 (カンショ, ハレシヨ, テンサイ, サウヒ*, ダイズ*, ナタネ)



④野菜栽培 (キュウリ トマト ピーマン キャベツ ハクサイ 柿* など)

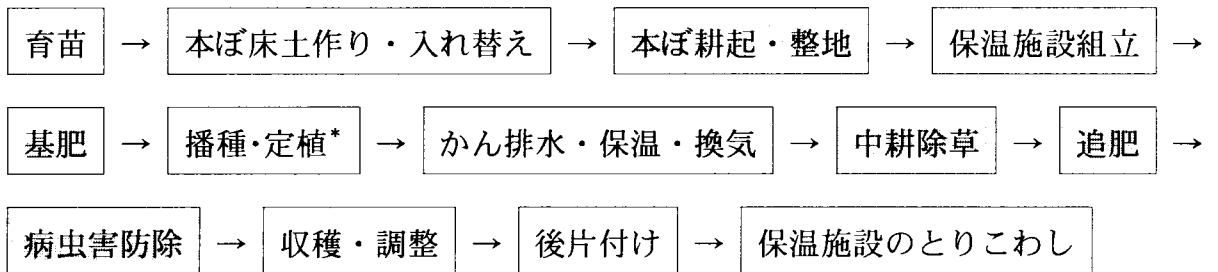


図1 作物別作業栽培課程と農業機械作業

注) 1)網掛け部分は機械による作業
2)*印は、一部の作物では機械による作業

灯油3.4~3.8ℓ、ガソリン2.3~2.7ℓ、混合0.5ℓがそれぞれ消費され、六条大麦のCO₂排出量は35.5kg、裸麦は42.1kgと算出した。

②大豆およびナタネ栽培における動力運転時間に、各作業に必要な燃費を仮定し、各燃料のCO₂排出係数を剰じて、CO₂の排出量を算出した。これらの10a当たりのCO₂排出量は、大豆では、田作でガソリンを使用した場合は79.6であり、軽油を使用した場合は101.1となった。畑作では、ガソリンは75.4であったが、軽油は96.1となった。同様にして、ナタネについて計算すると、ガソリンは39.2、軽油49.4となり、大豆畑作の約1/2であることが明らかになった。

表7 米および麦類栽培における全国平均光熱使用量とそれに伴うCO₂排出量の推定

	使用量 (ℓ/10a)				CO ₂ 排出量 (kg/10a)			
	米	小麦	六条大麦	裸麦	米	小麦	六条大麦	裸麦
重油	0.2	0.1	0.1	0.3	0.6	0.3	0.3	0.9
軽油	11.6	9.3	7.2	9.4	31.4	25.2	19.5	25.7
灯油	8.1	1.3	3.8	3.4	20.4	3.3	9.6	8.6
ガソリン	6.3	0.4	2.3	2.7	13.6	0.9	5.0	5.8
ハイブル	0.0	-	-	-	-	-	-	-
混合	1.7	0.0	0.5	0.5	3.7	0.0	1.1	1.1
モビール油	0.4	-	-	-	-	-	-	-
合計	-	-	-	-	69.7	29.7	35.5	42.1

注) 各燃料のCO₂排出量 (kg/ℓ) は、ガソリン2.16, 灯油2.52, 軽油2.71, A重油2.88, B, C重油3.01で計算した。

表8 大豆およびナタネ栽培における動力運転に伴うCO₂排出量の推定

作業	動力運転時間 (h/10a)			CO ₂ 排出量 (kg/10a)					
	大豆		ナタネ	大豆				ナタネ	
	田作	畑作	畑作	田作		畑作		畑作	
				ガソリン	軽油	ガソリン	軽油	ガソリン	軽油
耕起・整地	1.5	1.3	1.4	25.9	32.5	22.5	28.2	24.0	30.4
中耕除草	1.2	1.5	0.1	8.1	11.6	11.2	14.4	0.7	1.1
病虫害防除	0.8	0.4	-	2.6	3.3	1.4	1.7	-	-
収穫・調整	2.7	3.2	0.7	29.0	36.5	34.5	43.5	7.5	9.5
その他	2.6	1.2	1.3	14.0	17.5	5.8	8.3	7.0	8.8
合計	8.8	7.6	3.5	79.6	101.1	75.4	96.1	39.2	49.4

注) 各作業の時間当たりの燃料消費量は、耕起・整地：8ℓ/h, 中耕除草：3.5ℓ/h, 病虫害防除：1.5ℓ/h, 収穫・調整：5ℓ/h, その他：2.5ℓ/hと仮定し、ガソリンおよび軽油のCO₂排出量 (kg/ℓ) は、ガソリン2.16および軽油2.71として計算した。

③水稲の移植および直播栽培における農業機械の運転に伴って排出された作業別CO₂排出量 (kg/10a) は、従来の移植栽培では収穫物の乾燥作業が最も大きく37.39で、次に耕起作業9.52>代かき作業8.81>育苗作業8.10>収穫作業6.77>移植作業6.56>土壌改良剤散布作業0.85>追肥作業0.48>籾すり作業0.47>病虫害防除作業0.42>雑草防除作業0.24の順であり、その合計は79.6であった。このうちの大部分(48%)は乾燥作業によって排出された。また、直播栽培では、乾燥作業37.39>耕起作業9.52>収穫作業6.77>播種3.12>土壌改良剤散布作業0.85>追肥作業0.48>籾すり作業0.47>病虫害防除作業0.42>雑草防除作業0.24の順で、その合計は68.07であり、このうちの55%は、乾燥作業に基づくものであった。一方、畑作における大豆跡地の小麦慣行栽培では、乾燥作業43.42>収穫作業9.25>施肥・播種作業7.85>耕起作業6.35>心土破碎作業3.52>踏み圧作業1.9>明渠掘り作業1.27>石灰散布作業1.26>病虫害防除作業1.54>除草剤散布作業0.59>追肥作業0.48>調整作業0.13の順で、その合計は77.55となった。他方、大豆慣行栽培では、収穫作業10.58

>耕起作業9.10>播種作業8.04>乾化作業6.11>破土・鎮圧作業3.60>病中害防除作業3.24>中耕・培土作業2.04>追肥作業0.72>施肥作業0.48、除草剤散布作業0.47の順で、その合計は44.37であった。いずれの栽培においても、CO₂排出量の一番大きな作業は乾燥作業であった。

(7) わが国の農林業における必要エネルギー

①農産物生産に必要なエネルギーは、作物の栽培・輸送に必要な肥料・農薬・燃料などの流動財と、農機具、施設（農具舎、倉庫、畜舎）などの固定財に大別することができる。これらを農産物別に比較した結果、1)米生産では流動財・固定財ともに最大のエネルギーを必要とした。2)麦生産では両エネルギーともに米生産より1桁少ない。3)固定財に比べ流動財の比重が特に大きいものは、作物では野菜、畜産では養鶏であり、さらに比重の大きいものは、肥料、農薬などの作物生産資材であることなどが明らかになった。②農産物生産に必要なエネルギー消費とそれに伴って排出されるCO₂を、「1kcalの熱量を得る際に0.3gのCO₂が排出される」の仮定に基づいて試算した結果、1)米生産では、直接エネルギー消費率が高く（55%主として粉の乾燥）、流動財では輸送部門、肥料（特に化学肥料）・

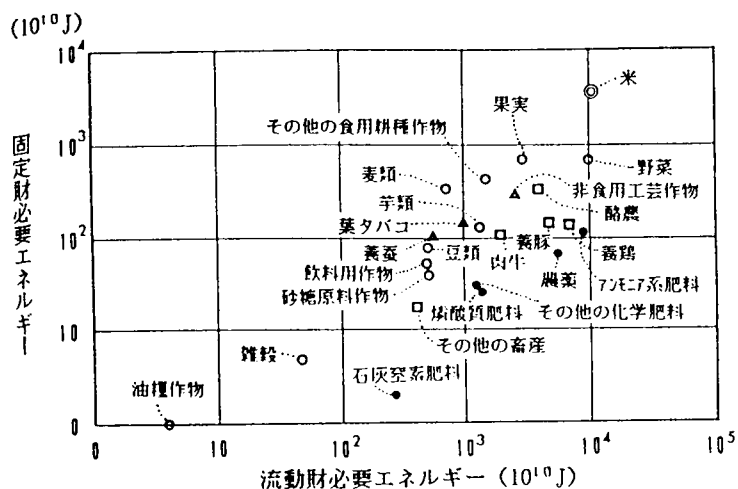


図2 農林水産業の部門別にみた必要エネルギー

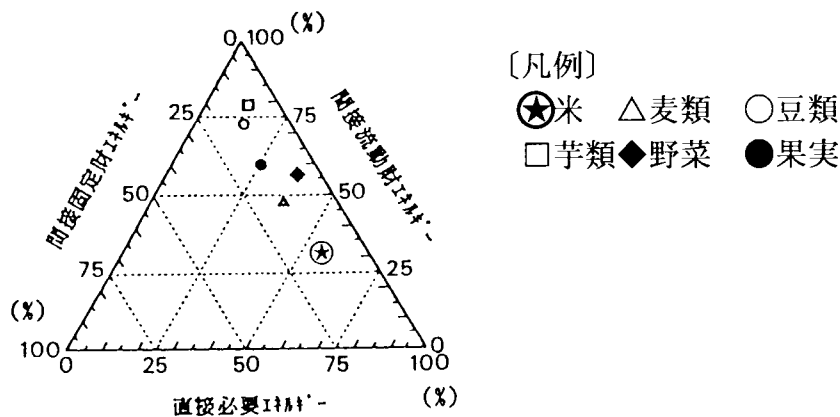


図3 エネルギー部門別にみた主要作物ごとのエネルギー消費率 (CO₂発生寄与率)

農薬関連の占める割合が高い。米生産におけるCO₂排出量は、 12.698×10^9 gで、この値は水稻の炭素固定量の1/4に相当した。米のエネルギー・インテンシティ（EI:必要エネルギー総量/生産総額）および労働のCO₂発生係数（CL:必要エネルギー消費によるCO₂発生量/従業者総数）は、EI=11.7kcal/円、CL= 4.7×10^6 g/人で、他の作物に比較して効率が低い。2) 麦類生産でもアンモニア系などの化学肥料の投入率が高い。3) 豆類・芋類生産では比較的消費量が少ない。4) 野菜栽培では育苗成とビニールなどの合成樹脂製品の使用量が大きく、EI=18.5kcal/円、CL= 6.9×10^6 g/人で、いずれも米生産より効率が悪いことなどが判明した。

(8) 農業分野におけるCO₂排出削減・省エネルギーおよび環境保全技術

農業分野におけるCO₂排出削減・省エネルギーおよび環境保全の立場から、将来に向けて有効な方策を新聞記事より検索し、1) 作付体系・土地管理、2) 資材の有効利用、3) 肥料・農薬・土壌改良、4) 生態系の利用、5) 育種・ハイテク栽培、6) 農機具・輸送、7) 地下水・雪の活用、8) エネルギー、9) 気象災害・環境劣化、10) リモートセンシング・気象情報の10項目に大別整理し、これらの具体的な個別技術について、文献・資料によりその特徴（長所・短所・留意点）と将来性をまとめた¹⁷⁾。また、これらを基に、農業生産諸過程におけるエネルギー消費とCO₂排出抑制・省エネルギー対策フローチャートを作成した（図4）。

(9) 「地球にやさしい農業」に関するアンケート調査結果¹⁸⁾

①方策の認識度・実現可能性別に見た評価

方策の認識度は、農地に密着した資材の有効・効率的利用、土壌改良材の投与、作付体系の改善に関する項目が上位であったが、エネルギー関係や酸性霧など特殊な災害に関する項目は下位にランクされた。一方、方策の実現可能性の評価の特徴は、「ハウス・ドーム・マルチ栽培の推進」が最高値で、既に実現化して効果を発揮している施設園芸や資材の発展的・循環的利用において高くなっていること、また、「局地気象情報システム」「紫外線対策の推進」「霜害対策」など環境・気象・災害に関する対策技術の向上への期待度が高いことが明らかになった。これに反して、「無公害車あるいは鉄道貨車による農産物輸送」は低く評価されており、開発・普及までに時間を要すること、流通機構の機動性などがネックになっていることなどが判明した。

②方策の認識度と実現可能性の比較

認識度に比べて実現可能性の評価は一般的に辛く、特にそのギャップが大きく現れたのは「農薬使用の削減」であり、認識度は高いが、代替え対策がまだ確立されていないために普及に疑問がもたれていることがわかった。逆に実現可能性の方が高く評価されたのは、「紫外線対策の推進」「リモートセンシングによる土地情報の活用」などで、その期待の大きさが伺える結果となった。

③研究員・普及員の相違点

認識度の点で研究者より普及員の方が高い評価を与えたのは、「落ち葉などの肥料としての利用」「土壌改良材使用（木炭・木酢）」をはじめ、農地に直接インパクトを及ぼすような項目であったが、研究者の方が高い評価を与えたのは、「バイオマスエネルギーの燃料としての使用」「畜産などの排出メタンの利用」「耐湿品種の育成」など、理論的、実験的、あるいは技術的な範ちゅうに属するエネルギーや育種に関する項目であった。しかしながら、実現可能性については、両者の間に大きな差異は認められなかった。

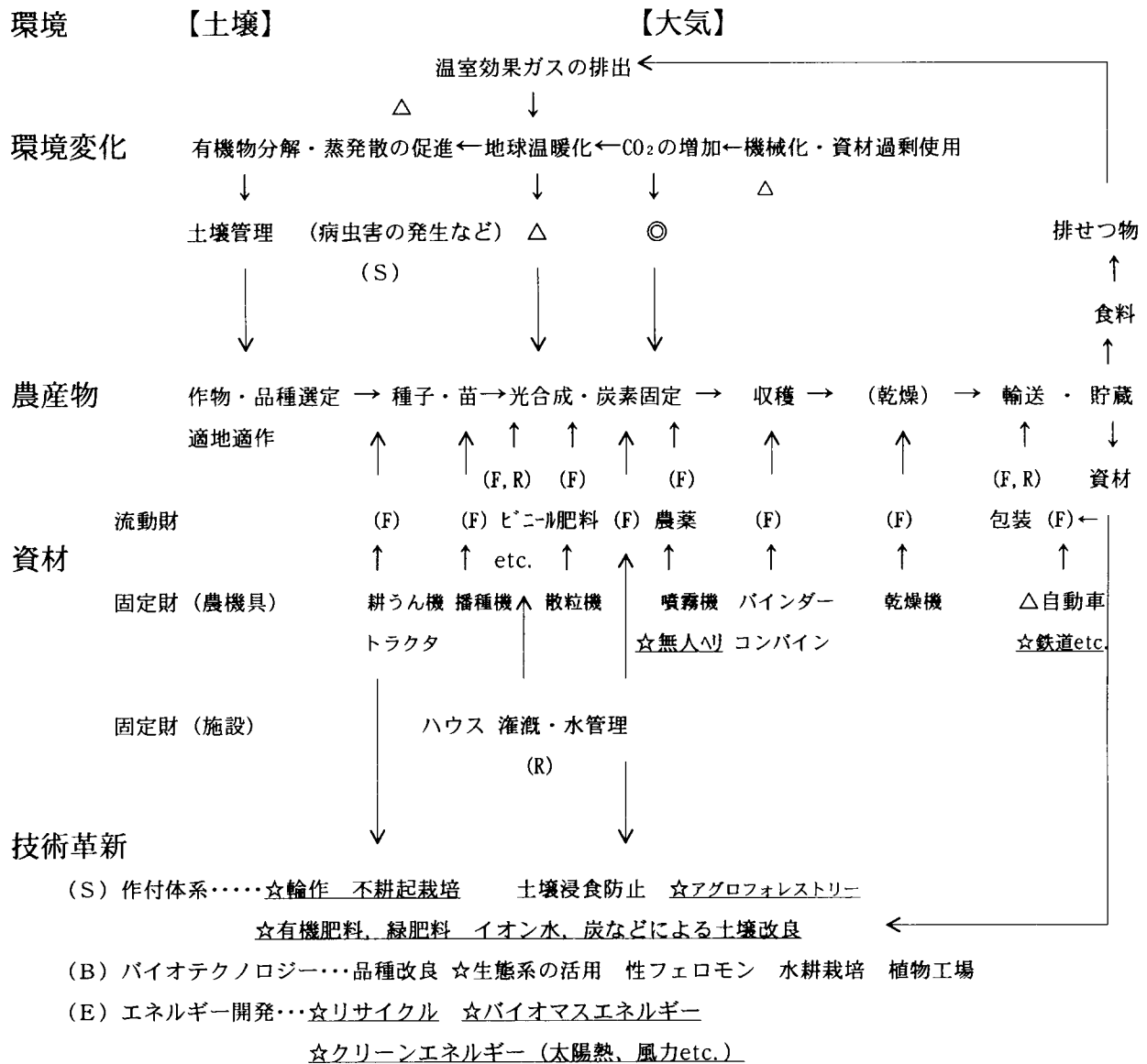


図4 農業生産過程のエネルギー消費とCO₂排出抑制・省エネルギー対策フローチャート

〔凡例〕◎：助長、△：悪影響、(F)：燃料使用、(R)：リサイクル、☆：特に注目されるCO₂排出抑制・省エネルギー対策

5. 考察

現在、わが国の産業分野では、大量のエネルギーが消費され、温暖化の主因となるCO₂を大気中に大量に排出している。その排出量は、1991年には9.76億tに及んでいる。農業分野においても、低生産コスト、省エネルギー、労働力低減を目的に一貫した大型農業機械の導入が図られ、従来より大量のエネルギーが投じられている。その結果、0.22億tのCO₂が排出されている。これに加え、農産物の生産に必要な、主な資材である肥料、農薬、農業用フィルムなどの生産資材の製造時においても約0.04億t程度のCO₂が排出され、これらの合計は約0.26億tに及ぶ。一方、農産物の生産過程では、気温調節などにエネルギーが必要

な温室、ハウスなどの施設面積が増加し、1992年には6,622haに及んだ。これらの施設からは、年間10a当たり7,228kgものCO₂が排出されている。また、農作物の栽培過程においても、農業機械の運転作業によってCO₂が排出され、その排出量を10a当たりのkgで示すと、米栽培70、小麦栽培30、裸麦栽培42、六条麦栽培36、大豆栽培75~101、ナタネ栽培39~49と推定された。他方、CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の観点からの「地球にやさしい農業」アンケート調査からも、CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の必要性和その実現の期待が伺える。

以上の結果を考慮に入れ、農業分野におけるCO₂抑制方策として早急に検討すべき点は以下の通りである。1)温室・ハウスなどの施設では、①保温被覆資材や保温方法の改善による暖房負荷量の節減、②熱循環の改良による暖房装置の熱利用効率向上、③石油代替熱源として太陽熱や地下水など自然エネルギーの利用、2)農業機械では、燃費改善およびCO₂排出抑制とともに、特に、省エネ乾燥機の開発、3)作物栽培では、①化学肥料の低減、②施肥法の改善、③CO₂排出抑制型耕種法および栽培技術の開発などが必要と考えられる。

現在、温暖化抑制の観点から、肥料・農薬の低減および省エネルギーを図り、農業生産効率を高めた環境保全型の農業技術を開発することがますます重要となっている。

本研究によって、農業生産過程におけるエネルギー消費の実態が明らかになるとともに、農林業のもつ環境保全機能ならびにクリーンエネルギーの利用技術の必要性が導きだされた。これらの諸技術を積極的に導入し、環境保全型の農業技術を普及させ、農業分野における温暖化防止を実施しなければならない。そのためには、開発された農業技術の環境保全機能の定量的な評価およびCO₂排出抑制効果の評価が必要であろう。

6. まとめ

①わが国の農林業におけるエネルギー総消費量(1991年)は0.07億tであり、これに伴って排出されたCO₂は0.22億tと推定した。

②農林業における石油製品および電力の消費量(1991年)は、石油製品は7,894千klで、電力は386,870千kWhであり、これらの消費に伴って排出されたCO₂は0.223億tと試算した。

③肥料、農薬、農業フィルムなどの主な農業生産資材の製造時に排出されたCO₂は、約0.04億tと推定した。

④農産物の生産過程では、気温調節などにエネルギーが必要な温室、ハウスなどの施設から年間10a当たり7,228kgのCO₂が排出されることが明らかになった。

⑤農作物の栽培課程では、農業機械の運転作業によってCO₂が排出され、その排出量(kg/10a)は、米栽培70、小麦栽培30、裸麦栽培42、六条麦栽培36、大豆栽培75~101、ナタネ栽培39~49であった。

⑥CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の観点からの「地球にやさしい農業」アンケート調査やCO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の具体的な個別技術の評価から、農林業のもつ環境保全機能とクリーンエネルギーの利用技術の必要性を導きだした。

7. 本研究によって得られた結果

①農業分野におけるエネルギー消費とCO₂排出量の現状が明らかになった。

②農業分野における石油製品および電力の消費とCO₂排出量の現状が明らかになった。

- ③肥料、農薬、農業フィルムなどの主な農業生産資材の製造時に排出されたCO₂が明らかになった。
- ④農産物生産過程における温室、ハウスなどの施設、農業機械の運転作業におけるエネルギー消費とCO₂排出量の現状が明らかになった。
- ⑤CO₂排出抑制・省エネルギーおよび環境保全の技術の特徴およびその将来性が明らかになった。

8. 文献

- 1) 農林水産業におけるエネルギー利用研究グループ(1982)：農林水産業におけるエネルギー利用（1）昭和50年産業連関表の分析，農林水産技術会議事務局
- 2) 農林水産業におけるエネルギー利用研究グループ(1985)：農林水産業におけるエネルギー単価（Ⅱ）1980，農林水産技術会議事務局
- 3) 総務庁(1992)：昭和60年産業連関表
- 4) 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター編(1993)：エネルギー・経済統計要覧，p188～189
- 5) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編(1993)：総合エネルギー統計，平成4年度版
- 6) 農林水産省統計情報部(1993)：ポケット農林水産統計，－平成5年版－
- 7) 日本農業年鑑刊行会編(1993)：日本農業年鑑1993
- 8) 日本農業年鑑刊行会編(1994)：日本農業年鑑1994
- 9) 農林水産省統計情報部(1992)：平成2年産農産物生産費調査報告，米及び麦類の生産費
- 10) 農林水産省統計情報部(1993)：平成3年産農産物生産費調査報告，工芸農作物等の生産費
- 11) 農林水産省統計情報部(1993)：平成3年産農産物生産費調査報告，野菜生産費
- 12) 日刊工業新聞企業情報センター(1993)：太陽発電，風力発電からの炭酸ガス排出，資源テクノロジー No. 251, p. 28
- 13) 並河 清(1993)：農業分野におけるエネルギー消費の現状，エネルギー・資源，14 No. 32, 32～235
- 14) 茅陽一編著(1980)：エネルギー・アナリシス，電力新報社
- 15) 農業機械学会編(1993)：環境保全機能向上のための農業生産技術，－調査報告－，
- 16) 農業機械学会編(1992)：農業機械による環境保全機能向上のための調査研究報告，－平成3年度－，p. 168～184
- 17) 山川修治・山口武則・湯畑典子・福原道一(1993)：地球にやさしい農業（Ⅱ）具体策の特徴と将来性，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 3, 17～30，農業環境技術研究所
- 18) 山川修治・湯畑典子・網藤芳男・山口武則・福原道一(1993)：地球にやさしい農業（Ⅰ）アンケート調査の結果，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 3, 9～16，農業環境技術研究所

9. 研究の発表状況

- 1) 山川修治・福原道一(1992)：農業生産におけるCO₂発生抑制技術の探索，システム農学会・農業情報利用研究会1992年度春季シンポジウム・一般講演要旨集，84～85

- 2) 山川修治・湯畑典子・福原道一・網藤芳男(1993)：農業生産におけるCO₂発生抑制技術の探索(2)，－「地球にやさしい農業」に関するアンケートから－，システム農学会・農業情報利用研究会1993年度春季シンポジウム・研究発表会要旨集，36～37
- 3) 山川修治(1991)：大気中の二酸化炭素の地域性と季節性に関する一考察，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 1，17～28，農業環境技術研究所
- 4) 山川修治・福原道一・湯畑典子(1992)：農業生産に係わるCO₂発生抑制技術の検索，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 2，49～54，農業環境技術研究所
- 5) 山川修治・湯畑典子・網藤芳男・山口武則・福原道一(1993)：地球にやさしい農業（Ⅰ）アンケート調査の結果，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 3，9～16，農業環境技術研究所
- 6) 山川修治・山口武則・湯畑典子・福原道一(1993)：地球にやさしい農業（Ⅱ）具体策の特徴と将来性，NIAES地球環境研究チーム研究集録，No. 3，17～30，農業環境技術研究所