

## B-6 陸上生態系における炭素循環機構の解明に関する研究

研究課題代表者 広島大学総合科学部 中根周歩

(1) 農業生態系における炭素循環系の定量的解析に関する研究

③地域生態系における炭素循環量の定量的把握と変動予測

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・今川俊明・岡本勝男  
竹澤邦男・池田浩明・湯畑典子

平成2年度～4年度合計予算額 7,128千円

[要旨] 農業生態系は、人間活動によるインパクトを前提とした、耕地・草地および農用林地等の土地利用が混在した系である。農業生態系の炭素循環研究において、土地利用の地理的配分を考慮した、面的な炭素循環量の解明は必須であると考えられる。本研究は、リモートセンシング技術を用い、モデル地域の地域生態系としての炭素循環を定量的に推定する手法を開発することを目的とした。

モデル地域を茨城県恋瀬川流域とその周辺域とし、ランドサットTMデータを用いた土地被覆分類を行った。この分類結果は、88%と高い正解率を示した。次に、畑地に分類された地点のTMデータを抽出して、1987年の茨城農林水産統計の農産物収量データから換算した植物の地上部炭素含有量と1987年7月24日の正規化植生指数  $[NVI=(TM4-TM3)/(TM4+TM3)]$  との関係式を検討し、植物の炭素現存量区分図を作成した。また、植物の炭素現存量から土壌への還元炭素量を推定し、これと土壌炭素現存量をコンパートメントとする炭素循環モデルを作成した。さらに、このモデルを用いて1年後の土壌炭素現存量を予測し、1年間の炭素収支区分図を作成した。その結果、モデル地域の1年間の炭素収支量は、平均で  $-151\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$  と赤字の収支を示した。また、同地域の畑地の炭素収支は、 $-493\sim+40\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$  の範囲にあり、空間的バリエーションに富むことが明らかにされた。したがって、地域レベルの面的な炭素収支を推定する際には、この空間的バリエーションを考慮しなければならないことが示された。

[キーワード] 炭素循環モデル・炭素収支・地域生態系・農耕地・リモートセンシング

## 1. 序

人間活動にともなう地球温暖化が危惧され、地球規模の炭素循環機構の解明が急務となっている。これまでの炭素循環機構の研究は、植生の均質な場所を対象とし、植生タイプごとに炭素循環量を測定・モデル化することを中心に行われてきた。しかし、実際の地域は、耕地・草地および農用林地などから構成される農業生態系から自然生態系までが混在した系である。このような系は、温暖化等の地球環境変化によって直接的影響を受けやすく、土地利用形態の変化をともなう、その炭素循環量は著しく変化することが予想される。したがって、広域的な炭素循環を議論するには、個々の生態系の地理的配分を考慮した、面的な炭素循環量の解明が必須であると考えられる。しかし、多様な土地利用が混在した地域生態系レベルの面的な炭素循環量を推定する手法は、ほとんど確立されていない。

地域生態系に関わる情報を広域的に把握するには、人工衛星リモートセンシングを用いるのが、最も効率的な方法である。本研究は、多様な土地利用形態を持つ農業生態系のモデル地域を設定し、リモートセンシング技術を用いて畑地の炭素収支を面的に推定する手法の開発を行った。

## 2. 研究方法

### (1) モデル地域

モデル地域は、土地利用が多様な農業生態系を主体とすること、現地データの入手しやすさを考慮し、茨城県恋瀬川流域（約30km×30km）とした（図1）。

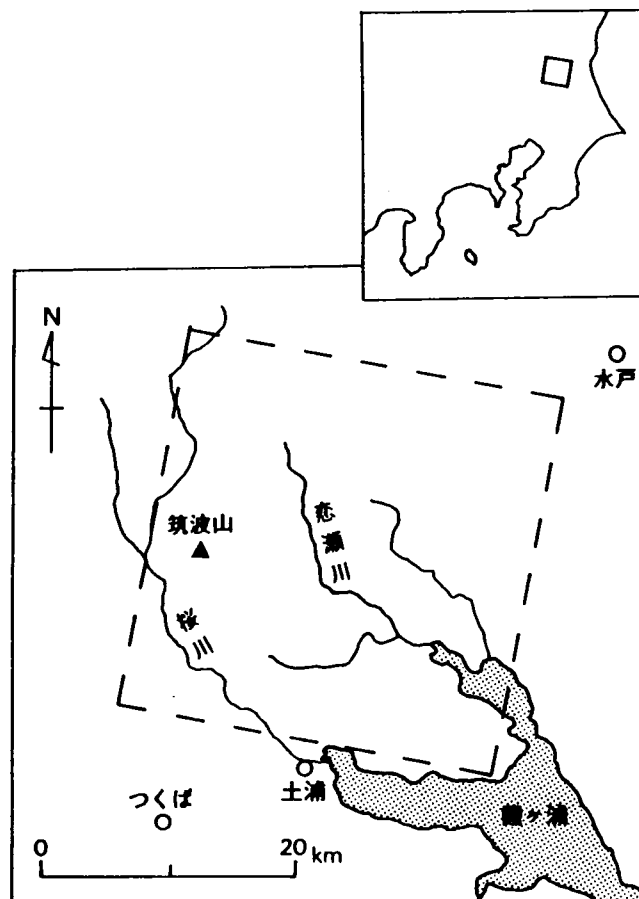


図1. モデル地域の位置（破線の枠内がモデル地域）

## (2) 炭素収支区分図作成フロー

本研究の炭素収支区分図作成フローを図2に示す。人工衛星データは、ランドサットTMデータ（パス107-ロウ35）を用いて、モデル地域の土地被覆分類を行う。次に、畑地に区分された地点のTMデータを抽出して、植物・土壌の炭素現存量を解析し、炭素循環モデルに組み込む。炭素循環モデルはコンパートメントモデルであり、各コンパートメントの炭素現存量（初期値）が、TMデータから推定される。さらに、このモデルを走らせれば、衛星画像の画素ごとに炭素収支が求まり、その結果を炭素収支区分図として図化する。

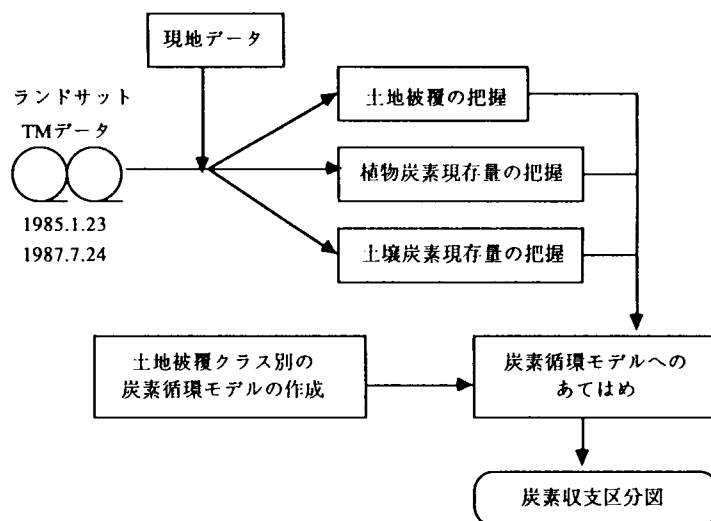


図2. 炭素収支区分図作成フロー

## (3) モデル地域の土地被覆分類

1987年7月24日のバンド1, 3, 4, 5（それぞれ青, 赤, 近赤外, 中間赤外の波長域）のTMデータを用いたモデル地域のクラスター分類を行ない、均質に分類された地域を現地調査し、モデル地域の土地被覆クラスを検討した。さらに、バンド1, 3, 4, 5のTMデータを用いた最尤法による土地被覆分類を行った。分類にあたっては、調査地点の半分を教師とし、残り半分で分類結果の検証を行った。

## (4) モデル地域の植物・土壌炭素現存量の推定

植物の炭素現存量は、1987年の茨城農林水産統計年報<sup>1)</sup>の農産物収量データから換算した植物の地上部炭素含有量（植物の炭素率は0.44と仮定）と1987年7月24日の正規化植生指数 [NVI = (TM4-TM3)/(TM4+TM3)] との関係式を使って推定し、植物の地上部炭素現存量区分図を作成した。さらに、植物の地上部炭素現存量から土壌への還元炭素量を推定した。

土壌の炭素現存量は、真行寺ら(1990)<sup>2)</sup>が1985年1月23日のTMデータから求めた土壌炭素含有率の推定式  $\log(\text{土壌炭素}\%) = -0.0268 \times \text{TM3} + 1.47$  を用いて算出し、容積重を  $0.7\text{mg}/\text{m}^3$  として、この地域の作土層を対象とした深さ0~30cmの土壌炭素現存量区分図を作成した。

次に、土壌への還元炭素量と土壌炭素現存量を変数とする炭素循環モデルを作成した。さらに、このモデルを用いて1年後の土壌炭素現存量を予測し、1年間の炭素収支区分図を作成した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 土地被覆分類

①現地調査の結果，モデル地域には土地被覆クラスとして針葉樹林，広葉樹林（広葉果樹園を含む），水田，畑地，人工草地，荒地（雑草群落），裸地，開放水域，市街地の9クラスが認められ，最尤法による土地被覆分類図（図3）を作成した。

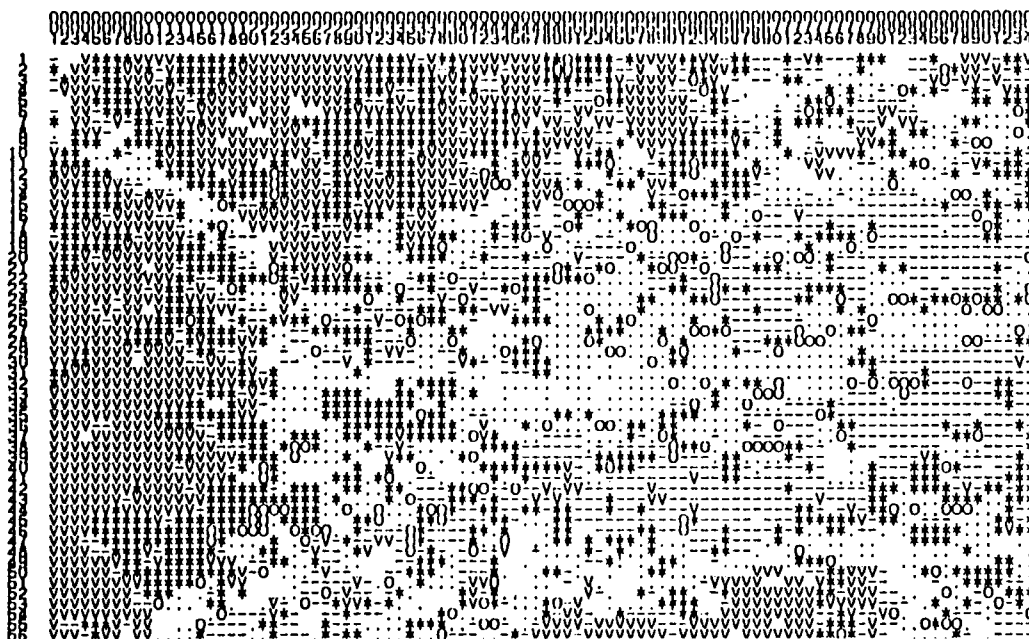


図3. モデル地域の土地被覆分類のグレイマップ

（V：針葉樹林，\*：広葉樹林，O：人工草地・荒地，-：水田，.：畑地，空白：裸地）

②最尤法による土地被覆分類結果の検証を行ったところ，88%という正解率が得られ（表1），上記の方法で信頼性の高い土地被覆分類図が得られると考えられた。

表1. 土地被覆分類結果の検証（○：正しい，△：一部正しい，×：誤り）

土地被覆クラス	調査地点			土地被覆クラス	調査地点		
	1	2	3		1	2	3
針葉樹林	○	○	○	荒地	○	△	
広葉樹林	○	○	×	裸地	○	○	○
水田	○	○	○	開放水域	△	○	
畑地	○	○	○	市街地	○	○	○
人工草地	△	○	△				

正解率\* 88%

(\*：○を4%，△を2%として合計)

## (2) 植物の地上部炭素現存量の推定

行政区別の収量データから主要作物の地上部炭素含有量  $B(\text{gC}/\text{m}^2)$  を求め、NVIと地上部炭素含有量の関係を検討した結果、推定式  $B^{1/2} = 110.4 \times (\text{NVI}+1)^{1/2} - 120.4$  が得られた。この式を用いて、植物の地上部炭素現存量区分図を作成した。

## (3) 植物から土壌への還元炭素量の推定

植物から土壌へ還元される（すきこまれる）炭素量  $S(\text{gC}/\text{m}^2)$  と植物の地上部炭素現存量  $B(\text{gC}/\text{m}^2)$  の関係を検討した結果、推定式  $S = 0.56 \times B - 0.17$  が得られた（図4）。この式を用いて、植物から土壌への還元炭素量区分図を作成した。

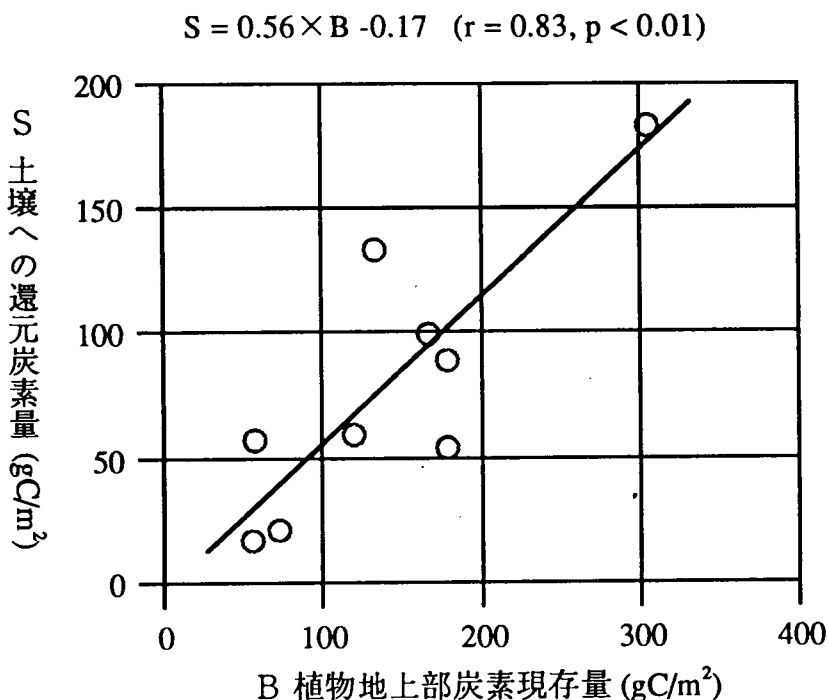


図4. 植物地上部炭素現存量と土壌への還元炭素量の関係

## (4) 炭素循環コンパートメントモデルの検討・作成

農耕地は、年に1回は必ず裸地化され、収穫によって作物が系外に持ち出される点に大きな特徴があり、森林と違って、植物体中に蓄積される炭素を考慮しなくてよい。したがって、農耕地の炭素収支は、植物から土壌に還元される炭素量  $S(\text{gC}/\text{m}^2)$  から土壌呼吸によって分解・放出される炭素量を差し引くことによって求まる。この考えにしたがって、土壌炭素現存量  $C(\text{gC}/\text{m}^2)$  の炭素循環モデルを検討し、本プロジェクト研究の成果<sup>3-4)</sup>と既存の文献<sup>5-8)</sup>を基にして  $dC/dt = 0.3 \times S - 0.02 \times C$  を導いた（図5）。このモデルでは、土壌有機物の分解過程を二つに分け、土壌に還元された有機物のうち易分解性のものが急速に分解し、残された有機物は腐植の分解と同じ速度でゆっくりと分解すると仮定した。また、根からの分泌物は易分解性の糖や有機酸からなるため、一年で急速に分解されると仮定した。

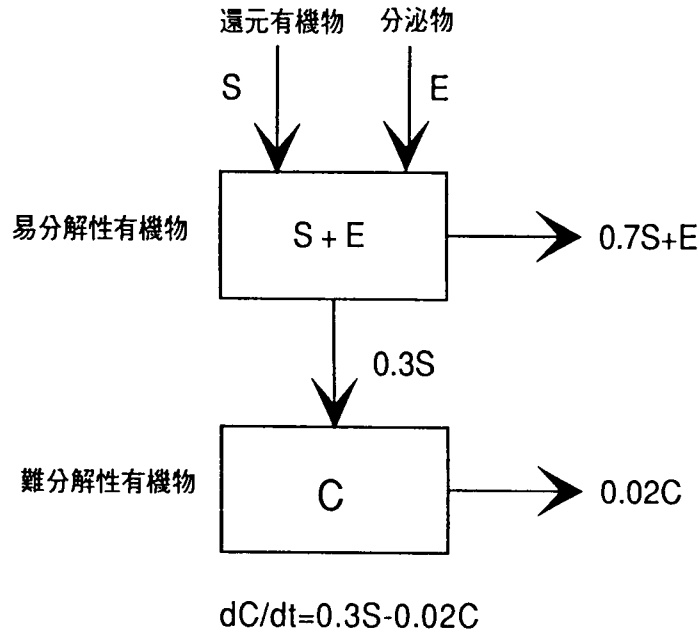


図5. 畑地の炭素循環コンパートメントモデル

S : 土壌への還元炭素量 (gC/m<sup>2</sup>/yr) ; E : 植物から分泌された炭素量 (gC/m<sup>2</sup>/yr) ;  
 C : 土壌炭素現存量 (gC/m<sup>2</sup>)

#### (5) 炭素収支の推定

(4) で求めた炭素循環モデルを用いて、1年後の炭素現存量を算出し、さらに1年間の炭素収支区分図(図6)を作成した。1年間の炭素収支量の頻度分布を、図7に示す。モデル地域の1年間の炭素収支量は、-493~+40 gC/m<sup>2</sup>/yr の範囲にあり、平均で -151 gC/m<sup>2</sup>/yr と赤字の炭素収支を示した。したがって、一言に畑と言っても、その炭素収支は空間的バリエーションに富み、炭素収支を実測した場合でも、実測点の代表性などを良く吟味する必要があると考えられる。また、地域レベルの面的な炭素収支を推定する際には、本研究のように、空間的バリエーションを考慮した手法を用いる必要があると推察された。

#### 4. まとめ

リモートセンシング技術を用いて地域生態系の炭素収支を推定する目的で、ランドサットTMデータを用いた茨城県恋瀬川流域の土地被覆分類を行った。この分類結果は、88%と高い正解率を示した。次に、畑地に分類された地点のTMデータを抽出して、植物・土壌の炭素現存量を推定した。また、植物の炭素現存量から土壌への還元炭素量を推定し、これと土壌炭素現存量を変数とする炭素循環モデルを作成した。さらに、このモデルを用いて1年後の土壌炭素現存量を予測し、1年間の炭素収支区分図を作成した。モデル地域の1年間の炭素収支は、-493~+40 gC/m<sup>2</sup>/yr の範囲にあり、平均で -151 gC/m<sup>2</sup>/yr と赤字の炭素収支を示した。今後、この収支の地域性や、年次間変動について検討する必要があるものの、一言に畑と言っても、その炭素収支は空間的バリエーションに富んでいると考えられる。したがって、地域レベルの面的な炭素収支を推定する際には、本研究のように、空間的バリエーションを考慮した手法を用いる必要があると推察された。

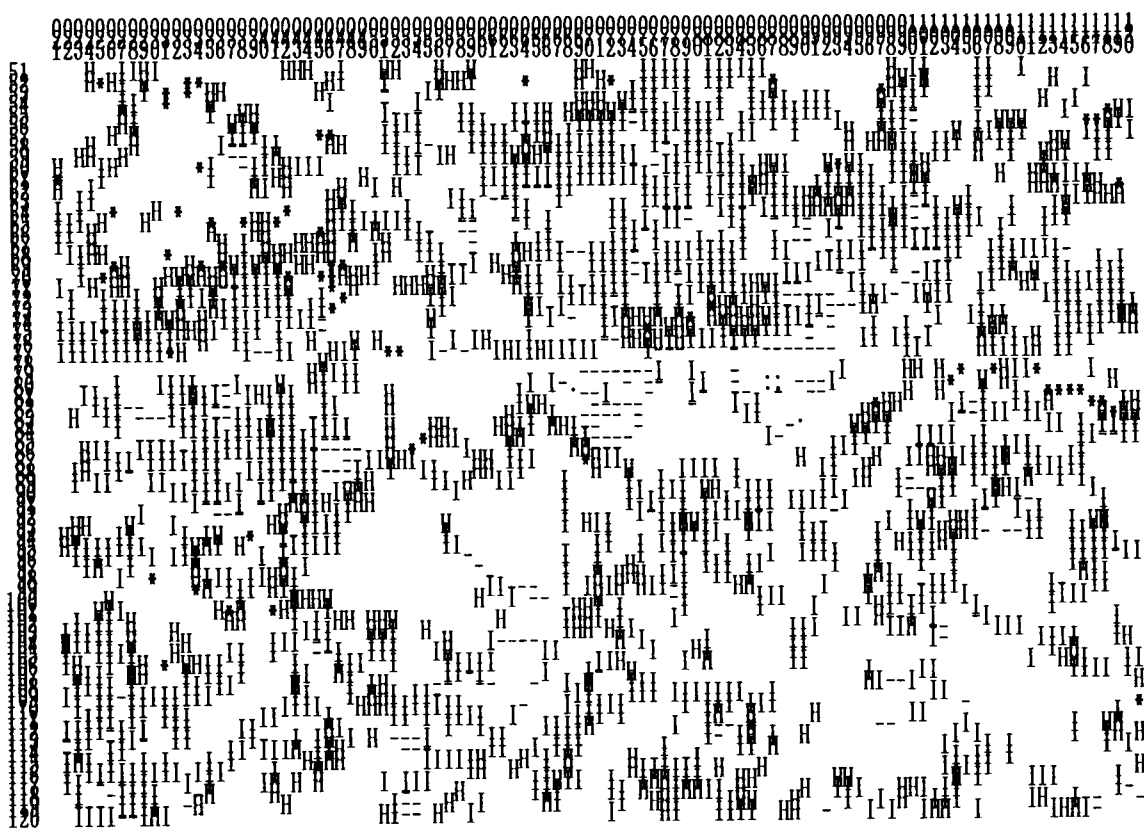


図6. モデル地域の畑地における1年間の炭素収支のグレイマップ (一部)  
 (\* :  $<-300 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ , H :  $-300 \sim -200 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ , I :  $-200 \sim -100 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ ,  
 - :  $-100 \sim 0 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ , . :  $\ge 0 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ , 空白 : 畑地以外)

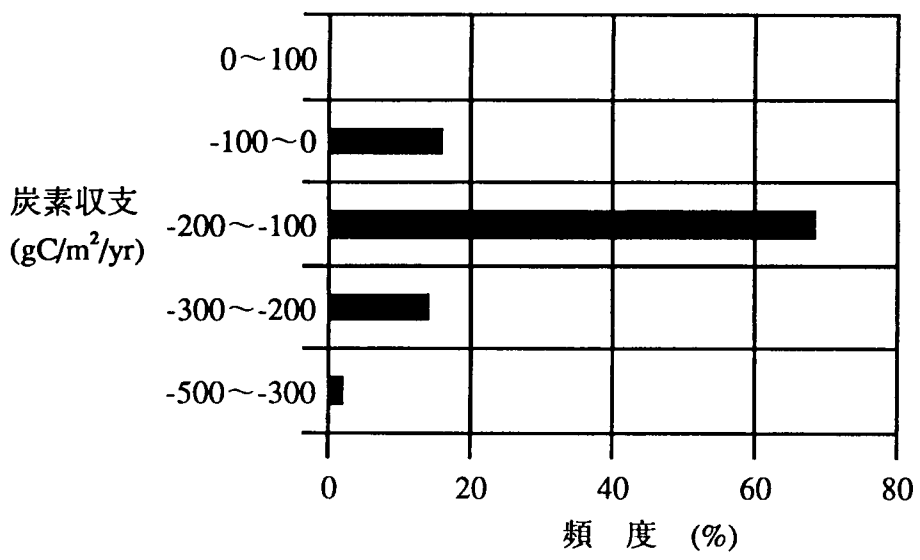


図7. モデル地域の畑地における1年間の炭素収支の頻度分布

## 5. 本研究により得られた成果

- (1) リモートセンシング技術を用いて、地域生態系の炭素収支を推定する手法を開発した。
- (2) ランドサットTMデータを用いて、モデル地域の畑地の炭素収支区分図を作成した。
- (3) モデル地域の畑地の炭素収支は、平均で  $-151\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$  と赤字の収支を示すことが明らかになった。
- (4) モデル地域の畑地の炭素収支は  $-493\sim+40\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$  の範囲にあり、空間的バリエーションに富むことが明らかになった。
- (5) 地域レベルの面的な炭素収支を推定する際には、本研究で開発したような空間的バリエーションを考慮した手法が必要であることが明らかになった。

## 6. 引用文献

- 1) 関東農政局茨城統計情報事務所 (1988) : 茨城農林水産統計年報 (1987~1988) . 茨城農林水産統計協会.
- 2) 真行寺孝・渡辺春朗・福原道一 (1990) : ランドサットTMデータを用いた混層深耕による黒ボク表土の腐食含量低下の実態解析. 千葉農試研報31: 1-8.
- 3) 塩見正衛・池田浩明・小泉博・別宮有紀子・佐藤光政 (1992) : 農耕地における炭素循環 — コマツナ畑で(10月~3月). 日本生態学会関東地区大会講演要旨集, p.17.
- 4) 池田浩明・塩見正衛・小泉博・別宮有紀子 (1992) : 農耕地における炭素循環 — サツマイモ畑で(6月~10月). 日本生態学会関東地区大会講演要旨集, p.18.
- 5) 別宮有紀子・中台利枝・小泉博・木村允 (1993) : 一毛作および二毛作耕地における土壌呼吸速度と炭素収支. 日本生態学会講演要旨集第40集. p. 259.
- 6) Janssen, B. H. (1984): A simple method for calculating decomposition and accumulation of young soil organic matter. Pl. Soil 76: 297-304.
- 7) Jenkinson, D. S. (1990): The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 329: 361-368.
- 8) Jenkinson, D. S., Adams, D. E. and Wild, A. (1991): Model estimates of  $\text{CO}_2$  emissions from soil in response to global warming. Nature 351: 304-306.

## 7. 国際共同研究等の状況

特になし



## 8. 研究発表の状況

池田浩明・岡本勝男・福原道一（1993）：ランドサットTMデータを用いた農耕地の炭素収支の推定．日本生態学会講演要旨集第40集．P. 258.