

B-1 地球温暖化に係る二酸化炭素・炭素循環に関する研究

(3) 農業生態系における炭素循環・収支の定量的解析

① 畑地における炭素循環・収支の定量的解析

研究代表者 農業環境技術研究所 袴田 共之

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 池田浩明・大浦典子・袴田共之

平成5年度～7年度合計予算額 9, 277千円
(平成7年度予算額 3, 337千円)

[要旨] 畑地生態系の長期的な炭素循環・収支を明らかにすることを目的として、農業環境技術研究所内の実験圃場にサツマイモ・コマツナ二毛作畑と放棄畑を設け、その炭素収支を実測した。その結果、サツマイモ・コマツナ二毛作畑の炭素収支（年平均値±SD）は $-236 \pm 167 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、放棄畑の炭素収支（年平均値±SD）は $-305 \pm 97 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と、両実験区とも赤字の収支を示したが、その値は大きく年次間変動することが明らかとなった。人為的な管理のあるサツマイモ・コマツナ二毛作畑の収支の年次間変動は、気温と降水量の影響がほとんど見られなかった。このことは、畑地生態系の炭素収支が、気象要因よりも管理形態に強く依存することを示唆している。管理形態の中でも、特に収穫後のすきこみ量が重要であることが推察され、二毛作畑は、すきこみといった管理の工夫によって炭素放出を抑制した畑作が可能であることが示された。また、放棄畑の炭素収支は、長期間放棄すればするほど炭素放出が抑制されることが示された。

[キーワード] 炭素循環・炭素収支・畑地・二毛作畑・放棄畑

1. 序

人間活動の増大による地球温暖化が危惧され、温室効果ガスである二酸化炭素の陸上生態系における挙動や炭素循環機構の解明が急務とされている。現在の農耕地の面積は、世界の陸地面積のうちの約10%を占め、今後も人口増加にともなう増大が予想される。したがって、農業生態系での炭素循環を詳細に解明することは、今後の地球温暖化を予測するうえでも重要なことであると言えよう。

農業生態系に関しては、すでに、麦類など主要穀類を生産する農耕地が二酸化炭素の発生源になっているとの報告¹⁾があるが、主要穀類以外の畑地での研究例は少ない。また、畑地を放棄すると、まず一年生雑草が優占し、年を経るとともに次第に多年草の植物群落へと移行することが知られている。この現象は二次遷移と呼ばれ、世界中の放棄畑で普遍的に見られる現象である。しかしながら、二次遷移の経過が炭素循環に与える影響もほとんど明らかにされていない。さらには、同一の作付体系で長期間にわたる炭

素収支を計測した研究も少ない。そこで本研究は、サツマイモ・コマツナ二毛作畑と放棄畑を対象として、管理形態の異なる畑地生態系の長期的な炭素循環・収支を明らかにし、その収支を決定する要因を考察することを目的とした。

2. 方法

1) 二毛作畑

農業環境技術研究所内の畑地約 2a で、1990年10月22日より冬作コマツナ・夏作サツマイモの二毛作試験を 5年間行った。コマツナは 50cm 間隔の畝状に播種し、50cm×50cm のコドラート 6ヶ所で植物をサンプリングし、乾重測定を行った。コマツナを収穫した後、耕起して 80cm 間隔の畝を作り、サツマイモ（ベニアズマ）の苗を畝に沿って 30cm 間隔で植え込み、サツマイモは 1 個体を 6ヶ所、雑草は 50cm×50cm のコドラートを 6ヶ所でそれぞれサンプリングし、乾重測定を行った。植物のサンプリング調査は、毎月あるいは隔月に 1 回行った。土壌呼吸は密閉法⁴⁾ (n=5) にて月 1 回測定し、その際に表層土を採取して炭素率の分析に供した。また、作物と土壌の炭素率は CN コーダーを用いて器官別に測定した。

2) 放棄畑

同研究所内の圃場約 2a を 1992年 5月 20日に耕起した後放棄し、隔月 1 回のサンプリング調査 (n=6) と月 1 回の土壌呼吸測定を 3年間行った。サンプリングは、50cm×50cm のコドラートを 6ヶ所掘り取り、種別に乾重測定を行った。土壌呼吸は、密閉法⁴⁾ (n=4) と通気法^{2, 3)} (n=2) にて測定し、その際に表層土を採取して炭素率の分析に供した。また、植物と土壌の炭素率は CN コーダーを用いて種別に測定した。

3. 結果および考察

1) 二毛作畑

畑地は、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だ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、畑地の炭素収支は、土壌の炭素動態によって決まり、作物の純生産から収穫量を差し引いた土壌へのすきこみ量からさらに土壌呼吸量を差し引くことで求まる。

1991年から 5年間の二毛作畑の炭素循環量の経年変化を図 1 に示す。作物による純生産量は 1992年に、土壌呼吸量は 1993年にそれぞれ最大値を示し、いずれも著しく年変動した (図 1)。同様にして、炭素収支も著しい年変動を示し、1992年に $-17 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ とほぼバランスのとれた収支を示したものの、他の年は大きな赤字 (炭素の吸収量よりも放出量の方が高いこと) を示した (図 1)。このことは、サツマイモ・コマツナ二毛作畑が二酸化炭素の発生源となっていることを示している。

二毛作畑の炭素収支が赤字であるならば、土壌の炭素含有量は減少するはずである。図 2 に 1992年 12月より 3年間の二毛作畑表層土の炭素含有率の変化を示す。炭素含有率は、ばらつきが多いものの年々有意に減少しており (Kruskal-Wallis 検定で $P < 0.01$)、二毛作畑の収支が赤字であることを裏付けている。しかし、1994年以降の年で土壌炭素

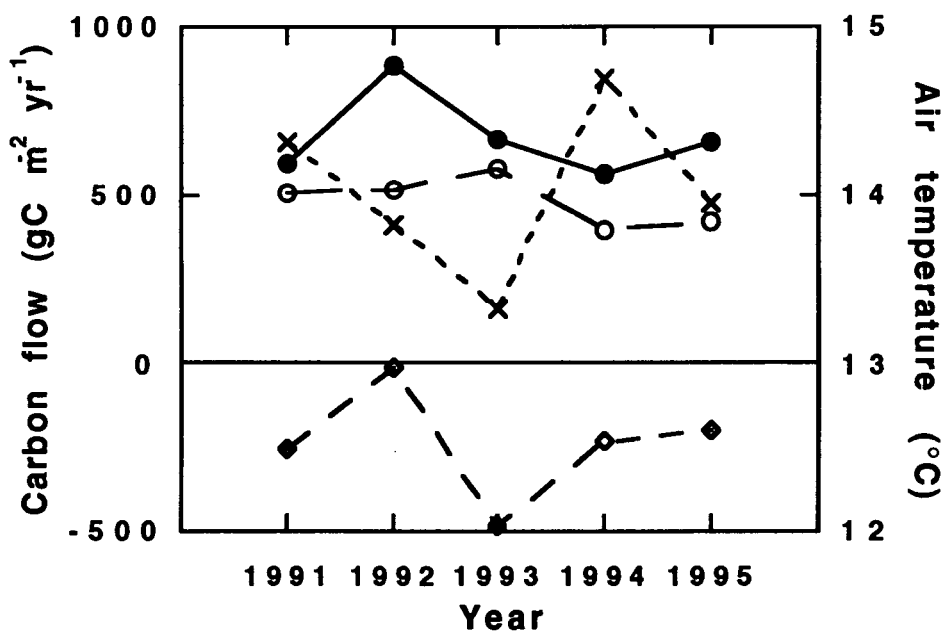


図1. 二毛作畑 (コツナ-サツマイ) における純生産 (●)・土壌呼吸 (○)・炭素収支 (◇) および年平均気温 (×) の経年変化

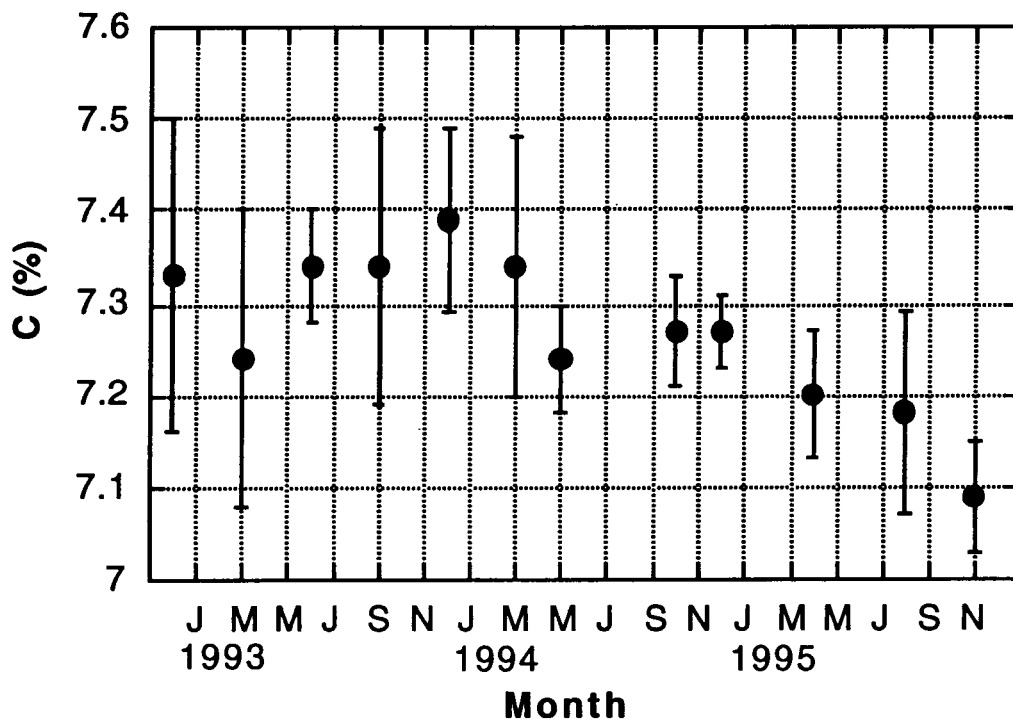


図2. 二毛作畑における1992年12月からの表層土の炭素含有率 (%) の季節変化 (エラーバーは標準偏差SDを示す)

含有率が著しく低下していることは、1993年に最も炭素収支が赤字を示したことと矛盾している。今回のデータが表層土のみのデータであるため、より深層の土壤炭素含有率の解析が必要であると推察される。

炭素収支に最も大きく影響を及ぼすと考えられる気温は、冷害年であった1993年で最も低く、翌年の1994年に最も高かった（図1）。しかし、純生産量・土壤呼吸量の変動は、年平均気温とほとんど同調していない（図1）。さらに、年平均気温と降水量を説明変数として炭素収支の重回帰分析を行ったところ、その寄与率（ R^2 ）は0.009と極めて低い値を示した。このことは、畑地の炭素収支が、気象要因以外の要因に強く依存することを示唆している。

1991年から5年間の二毛作畑の炭素フローの平均値を図3に示す。本実験圃場では、作物による年間純生産量は、 $672 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ で、その64%が収穫される。残りの36%が土壤にすきこまれ、土壤表面からは $481 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ の炭素が放出される。したがって、炭素収支は、 $-236 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられた。しかし、その標準偏差（SD）は、 $167 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と極めて高い。図3の炭素フローの要素の中でもっとも高いSDは、すきこみの $154 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、この要素が炭素収支の変動に大きく影響したものと推察される。このことは、畑地の炭素収支が、気温や降水量といった気象要因よりもすきこみなどの畑作管理に強く依存することを示唆している。

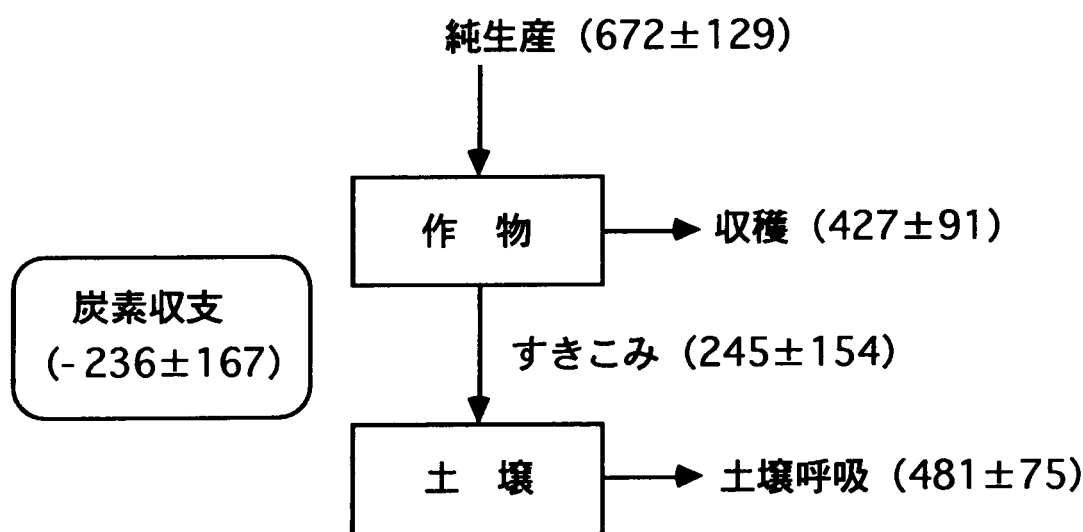


図3. 二毛作畑の炭素フロー（年平均値±SD； $\text{gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ）

表1. 1991年のサツマイモ畑（夏季）の炭素収支（ gC m^{-2} ）

純生産	土壤呼吸	収穫	炭素収支
491.1	248.2	—	242.9
塊根を収穫した場合		143.3	99.6
収穫の際に地上部を持ち出した場合		273.5	-30.6

表1にすきこみ方法を変えた際の1991年のサツマイモ畑の炭素収支の変動を示す。サツマイモ畑の炭素収支は、収穫を行わなければ 243 gC m^{-2} と大きな黒字の収支を示した。その結果、塊根を収穫してもなお収支は黒字に留まり、さらに地上部も持ち出すとはじめて赤字になることが認められた。したがって、すきこみを増やすといった工夫次第でサツマイモ畑（夏季）の炭素収支を黒字にすることが可能になるであろう。このことは、畑作管理の工夫によって炭素放出を抑制した畑作が可能であることを示唆している。

2) 放棄畑

畑作の放棄に伴い植物群落の構成種も顕著に推移した。すなわち、放棄1年目の1992年には一年草であるメヒシバが、翌年も一年草であるブタクサがそれぞれ優占した。放棄3年目には、二年草のメマツヨイグサが優占し、セイタカアワダチソウが混じるような多年草の植物群落へと遷移した。

放棄畑は、通常の畑地と異なり、収穫によって植物が系外に持ちだされることがない。したがって、放棄畑の炭素収支は、雑草の純生産から土壌呼吸量を差し引くことで求まる。1992年から3年間の放棄畑の炭素循環量の経年変化を図4に示す。純生産量は1994年に、土壌呼吸量は1992年にそれぞれ最大値を示し、いずれも著しく年変動した（図4）。

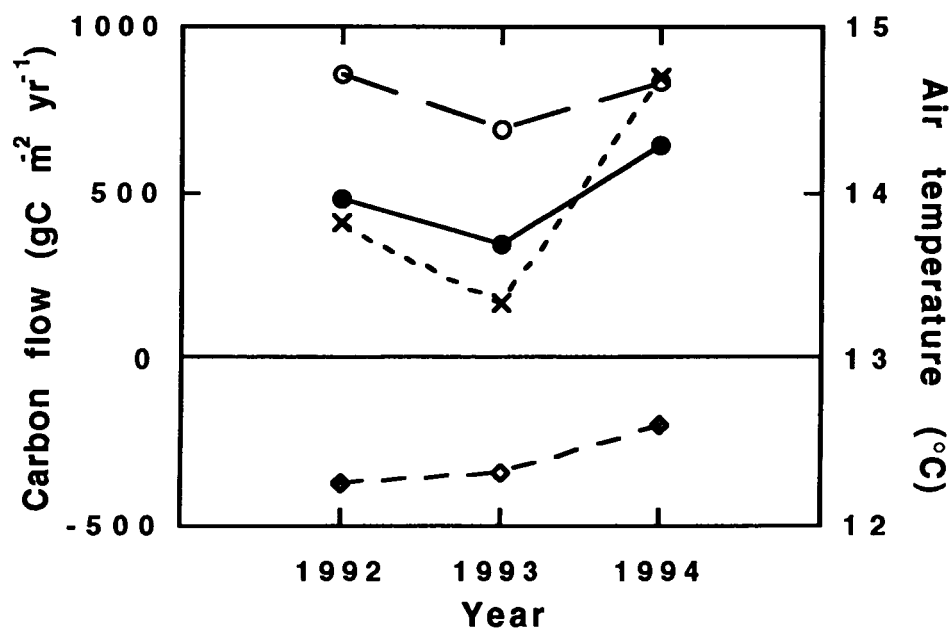


図4. 放棄畑における純生産 (●)・土壌呼吸 (○)・炭素収支 (◇) および年平均気温 (×) の経年変化

炭素収支は、いずれの年も赤字の収支を示し、二毛作畑と同様に二酸化炭素の発生源となっていることが示された。しかし、その収支は、赤字分が年々減少するという傾向を示した。年平均気温との関係を見てみると、純生産量・土壌呼吸量の変動は、年平均気温と同調しているが、それらの差としての収支は、年平均気温と同調せずに減少し

ているのがわかる。したがって、この赤字の減少は、二次遷移に伴う変動である可能性が高い。このことは、畑を長期間放棄すればするほど炭素放出が抑制されることを示唆している。

放棄畑の炭素収支が赤字であるならば、土壌の炭素含有量は減少するはずである。図5に1992年4月より3年間の放棄畑表層土の炭素含有率の変化を示す。放棄畑土壌は、二毛作畑（図3）と異なり、炭素含有率が低下するというよりむしろ増加傾向が見られた（図5）。このことは、放棄畑の炭素収支が赤字であることと矛盾する。しかし、炭素の蓄積が見られるのは表層土のみで、深層の土壌炭素は減少しているのかもしれない。二毛作畑と合わせて、より深層の土壌炭素動態の解明が待たれる。

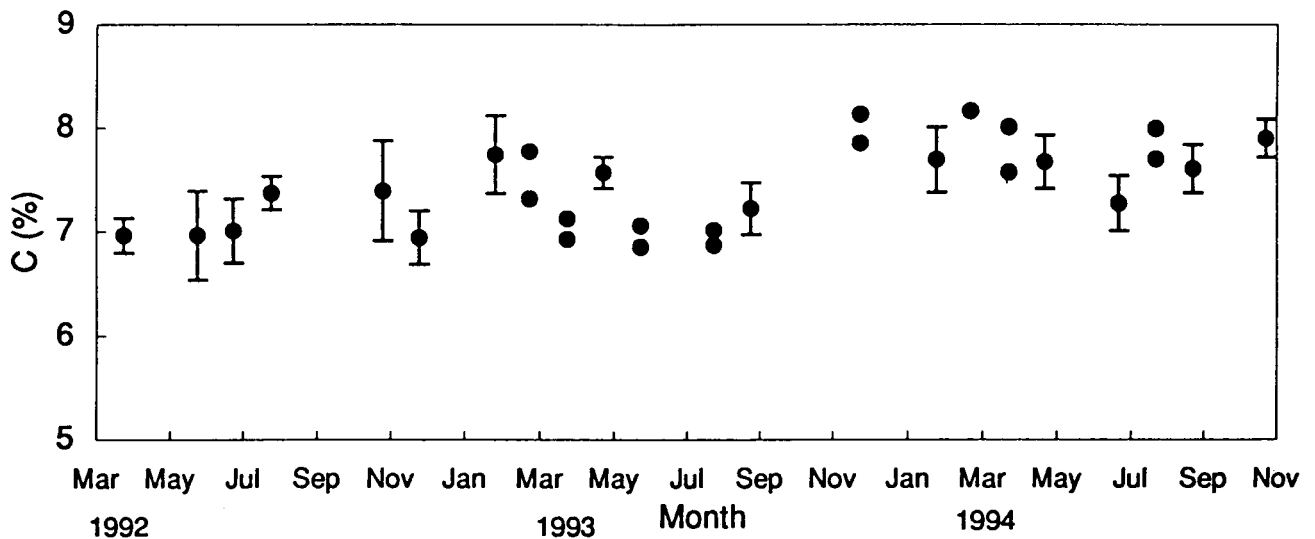


図5. 放棄畑における1992年4月からの表層土の炭素含有率 (%) の季節変化 (エラーバーは標準偏差SDを示す)

1992年から3年間の放棄畑の炭素フローの平均値を図6に示す。本実験圃場では、作

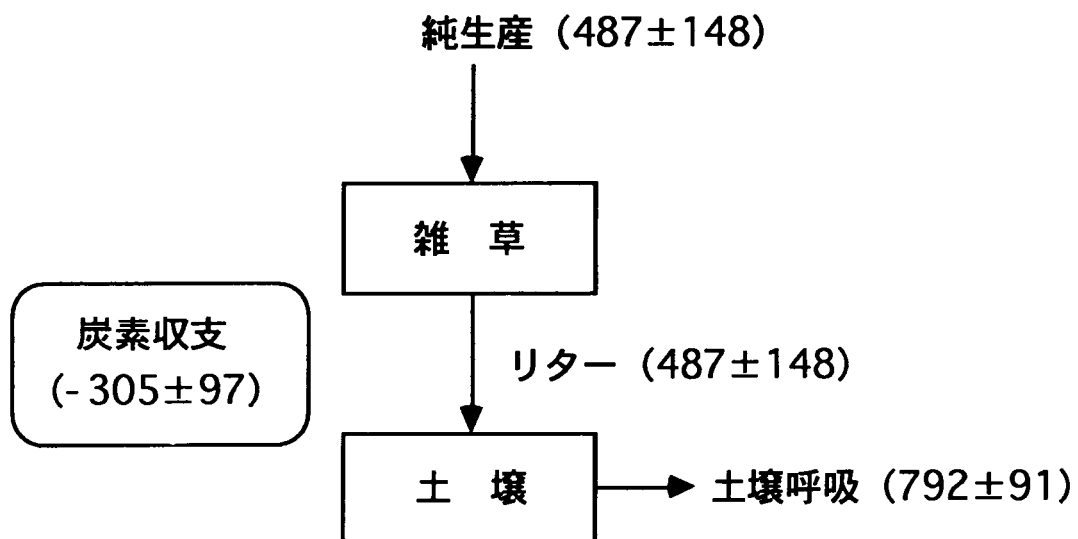


図6. 放棄畑の炭素フロー (年平均値±SD ; $\text{gC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)

物による年間純生産量は、 $487 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ で、二毛作畑より低い値を示した。放棄畑では、収穫による持ち出しがないため、この純生産量がそのまま土壤に供給されることになる。そして、土壤表面からの炭素放出は $792 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と二毛作畑より高かった。したがって、炭素収支は、 $-305 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と二毛作畑より若干高い赤字の収支と見積もられた。炭素収支のSDは、 $97 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と二毛作畑より低い値を示した。図6の炭素フローの要素の中でもっとも高いSDは、純生産(=リター)の $148 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、二次遷移に伴う純生産の増大が炭素収支の変動に大きく影響したものと推察される。

4. 本研究から得られた成果

- 1) サツマイモ・コマツナ二毛作畑および放棄畑は、炭素の放出源であると推定された。
- 2) 二毛作畑および放棄畑の炭素収支は、著しい年次間変動を示した。
- 3) 畑地の炭素収支は、気温や降水量といった気象要因よりも畑作の管理形態に強く依存することが示唆された。
- 4) 二毛作畑の炭素収支は、すきこみなどの管理によって炭素放出を抑制した畑作が可能であることが示された。
- 5) 放棄畑の炭素収支は、長期間放棄すればするほど炭素放出が抑制されることが示された。

5. 引用文献

- 1) Koizumi, H., Usami, Y. and Satoh, M. (1993) Carbon dynamics and budgets on three upland double-cropping agro-ecosystems in Japan. *Agr. Ecosystems Environ.* 43: 235-244.
- 2) Koizumi, H., Nakadai, T., Usami, Y., Satoh, M., Shiyomi, M. and Oikawa, T. (1991) Effects of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecol. Res.* 6: 227-232.
- 3) Nakadai, T., Koizumi, H., Usami, Y., Satoh, M., Oikawa, T. (1993) Examinations of the method for measuring soil respiration in cultivated land: Effect of carbon dioxide concentration on soil respiration. *Ecol. Res.* 8: 65-71.
- 4) Bekku, Y., Koizumi, H., Nakadai, T. and Iwaki, H. (1995) Measurement of soil respiration using closed chamber method: an IRGA technique. *Ecol. Res.* 10: 369-373.

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究発表の状況

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 別宮有紀子・池田浩明・小泉博・木村允(1994): 二次遷移初期における土壤呼吸

速度と炭素収支. 日本生態学会大会講演要旨集, 第41集, P.149.

- 4) Bekku, Y., Ikeda, H., Koizumi, H. and Kimura, M. (1994) Carbon balance in early stage of secondary succession. Proceedings of the VI International Congress of Ecology, P.312.
- 5) 別宮有紀子・小泉 博・池田浩明・木村 允 (1996): 土壌呼吸速度における温度依存性の季節変化. 日本生態学会大会講演要旨集, 第43集, P. 160.