

## 論文概要

### 耕地生態系における放射・水・CO<sub>2</sub>フラックスの動態解明およびその リモートセンシングに関する研究

チェ ウィ ニヨン  
崔 毅 年

近年、温暖化など地球規模の環境変化が顕在化し、特に水分環境の変動は農耕地での作物生産を大きく左右するため、その影響が懸念されている。一方、温室効果ガスの放出など大気環境に及ぼす農業生態系の影響を定量的に評価することが求められている。さらに、農業機械とGPS(全球測位システム)の進歩を背景として、肥料・農薬などの化学資材やエネルギーを効率的に使うための「精密農業」の重要性が増している。以上のことに必要な情報を非破壊的かつ広域的に行なうための手段としてリモートセンシング技術の高度化への期待が大きい。

研究の目的； 蒸発散・蒸散・CO<sub>2</sub>フラックスを渦相関法および茎熱収支法により実測し、合わせて微気象・微地象データ、植物データ、リモートセンシングデータを同時計測した総合的なデータセットを取得する。 それに基づいて、耕地生態系における放射エネルギー・水・CO<sub>2</sub>フラックスおよび植物生長の変化実態とその相互関係を明らかにする。 さらに、主要な変量とリモートセンシングデータとの関係を解析し、リモートセンシングによる評価手法を開発する。すなわち、本研究は圃場における作物生産管理の高度化、ならびに農耕地がひとつの陸域生態系として地球環境に及ぼす影響を地域スケールでモニタし、理解し、予測するための基礎的な情報と手法を提示することを目指したものである。得られた主要な成果は以下のように要約される。

1. 日本の典型的な条件における農耕地生態系について、植物生長、微地象、微気象、熱・水・CO<sub>2</sub>フラックス、およびリモートセンシング計測にまたがる多変量の総合的な長期・連続計測データセットが得られた。このようなデータセットはきわめてユニークなものであり、世界的な研究データネットワークに資するものである。特に、時間解像度の高い連続的な測定データは、大気と生態系のインターフェイスにおける水・放射エネルギー・CO<sub>2</sub>フラックスのダイナミックな動きをよりよく理解する上で、また土壌-植物-大気の伝達モデルのような生態系モデルを検証する上でもきわめて有用なものであり、今後多面的に活用できるものと考えられる。

2. 畑地生態系においては、播種後地表面温度が気温よりも高い状態が続くが、その差は葉面積指数(LAI)の増大とともに小さくなり、両者の差は葉面積指数が約2程度の時期にほぼ等しくなり、その後は逆に地表面温度が気温よりも低くなることがわかった。それに伴って変化する群落の各熱収支項目の比率(H/Rn, E/Rn, G/Rn, S/Rn, G/Rs)と葉面積指数との関係を定量的に評価した。

3. ダイズ群落における分光反射率は、播種後可視~中間赤外域のいずれの波長帯でも徐々に低下し、その後、可視域の反射率は葉面積指数の増加とともに低下するのに対して、赤外域、特に830nm~1100nmの近赤外域では、葉面積指数の増加に応じて急激に上昇した。播種後の低下は土壌の圧密化と土壌水分の増加に伴うもので、耕地では播種後の一定期間はむしろ全波長域で反射率が低下することがわかった。分光反射計測による赤と近赤外の2波長を用いた簡易な植生指数NDVIおよびSAVIと葉面積指数、および群落のバイオマスの密接な関係を指数関数式によりモデル化した。リモートセンシングによる分光反射率の測定によって、作物群落の葉面積指数およびバイオマスを遠隔的に評価できることを定量的に提示した。

4. 渦相関法により実測した日蒸発散量と日射法によって評価した日可能蒸発散量との間には1:1に近い密接な相関関係が得られ、日射法は簡明ではあるがきわめて有効であることを実測データに基づいてはじめて明らかにした。日蒸散量/日蒸発散量の比( $T_r/ET$ )ならびに地熱流フラックスの日射強度に対する比率( $G/R_s$ )は、いずれも葉面積指数との間に密接な指数関係があることを定量的に明らかにしモデル化した。また、群落の光合成有効放射吸収率( $fAPAR$ )が葉面積指数の逆指数関数で表されることがわかった。

5 . Tr/ET、G/Rs、fAPAR という3つの重要な植物群落変量の評価法においては、従来葉面積指数を用いる方法が主であったが、これらは葉面積指数を用いる方法よりもリモートセンシング計測によるスペクトルデータを用いる方がさらに直接的にかつ簡易に評価できることを定量的に示した。

また、リモートセンシングによる評価モデルを提示し、群落における日射エネルギーの分配は、葉面積指数を用いるよりもリモートセンシングによるスペクトルデータを用いる方がより直接的に評価できることを裏付けた。また、蒸散/蒸発散の比(Tr/ET)が SAVI のような2波長型の簡単なリモートセンシング指標と密接な直線関係にあることを明らかにした。

6 . 渦相関法による畑地生態系における CO<sub>2</sub> フラックスの連続測定値から、裸地状態ならびに作物作付期間における CO<sub>2</sub> フラックスと微気象要素ならびに植物生長とのダイナミックな関係が明らかになった。また、多年次の広範囲の条件において得られたデータの解析結果から、裸地状態での CO<sub>2</sub> フラックスが気温、地温、土壌水分とは相関関係が乏しいのに対して、リモートセンシングによる地表温度と密接な関係にあることが見出された。これは、リモートセンシングによって広域に計測できる地表温度がフラックス評価に利用できる可能性をはじめて提示したもので、きわめて波及効果の大きい結果である。また、両者の関係をモデル化し、地面からの CO<sub>2</sub> フラックスが0に接近する時の臨界温度は約 10.0°C であることを明らかにした。

以上、畑地でダイズ作付け期間及び裸地状態における水・放射エネルギー・CO<sub>2</sub>フラックスの動態を定量的に解明し、モデル化を図った。また、これらのフラックス要素ならびに植物の生育状態とリモートセンシング計測データとの関係を明らかにし評価モデルを構築することによって、広域評価、簡易評価への道を開いた。本研究の成果は、世界で精力的に研究が進められている「精密農業」に必要な情報を取得するための手段としてきわめて有用である。リモートセンシングにより遠隔的に得られる植物の生育量や蒸散量の情報は、効率的な施肥や灌漑水の効率的な利用に直接的に貢献する。また、リモートセンシング画像情報により植物や農地の状況を空間的に把握できることから、必要最小限の農薬散布を必要最小限に抑えることが可能となり、農業生産の環境に対する負荷を低減化する観点からも貢献できるものと考えられる。そして、本研究の成果は、地域・地球規模での炭素循環を定量的に理解するとともに、それに対する陸域生態系の役割を評価するうえで貴重な知見を与えるものである。特に、これまでの研究で遅れている土壌面からのCO<sub>2</sub>フラックス評価に対してリモートセンシング計測が有効であることが明らかとなったことから、今後の各方面での検証・応用が期待される。

残された問題および今後の課題としては、以下のようなことが考えられる。

陸域食糧生産生態系は構造的・空間的変異に富み、かつ土地管理や作物管理など人為が深く関わっている。従って、植物バイオマスやエネルギー・ガスのフラックス、水質などの変量は空間的かつダイナミックにとらえる必要性のある場合が多い。そのため、局地点計測は時間・空間的代表性と再現性について常に留意する必要があると思われる。また、それらのデータ・情報を広域化するためのリモートセンシングデータとの連結性を念頭において観測を進めることが必要である。現在、生物圏に生起している食糧生産と資源・環境の諸問題を定量的に理解・予測し、意思決定に結び付けていくためには、土壌 - 植物 - 大気系を多角的・同時に計測し分析することが、とりわけ重要であると考えられる。これを高度かつ効率的に実行していくためには、異分野間の研究協力が不可欠である。

本観測実験では日本の代表的な畑地生態系を対象としたが、さらに異なった特性をもつ生態系において同様の総合的なデータセットを取得し、相互比較を行いつつ結果の一般化やモデルの検証を行う必要がある。これについてはすでに日本・欧州・北米・南米等のデータセットを相互に交換しつつ解析する試み行われ、特にリモートセンシング手法の開発・検証がすすめられている(Inoue and Olioso, 2003)。本研究は、上述したような観点で進行中の実験的研究の一環として行ったものであり、本論文はその一部を解析したに過ぎないが、将来的に有用な種々の新知見を含む結果が得られており、今後のさらなる研究に向けた第一歩として取り纏めたものである。