

森林生態系におけるCO₂収支の 評価法

植物生態研究領域 物質生産研究室 千葉 幸弘

巨大な炭素の貯蔵庫といわれる森林がどのようにして大気中のCO₂を固定しているのか、そして環境変化に対してどのように応答するのか、こうした問題を解き明かすためには、森林生態系の炭素循環（CO₂収支）にかかわる森林の構造や生理的あるいは生態的な特性を組み込んだ物質生産過程をモデル化する必要がある。

植物が炭素を固定するプロセスは、大気中の二酸化炭素が光合成によって固定されることからスタートする。葉で固定される光合成産物の一部は、葉自体の呼吸消費によって大気に戻っていく。残ったものは枝、幹、根へと転流していくが、これらの器官もやはり生きた細胞を維持し、そして成長するために呼吸消費する。このように光合成によっていったん固定された炭素の多くは呼吸消費され、その残りが植物体に固定される。ところが、植物は成長の途中で枝や葉を枯れ落とし、ときには植物個体そのものが枯死する。それらの遺体（リター）は林床や土壌中で徐々に分解され、CO₂となって再び大気へと戻っていく。

森林生態系のこうした炭素の一連の流れを調べることによって、植物体への蓄積速度や土壌への有機物供給量などを計算し、生態系としてのCO₂収支を評価することができる。とはいえ、生態系という大きなスケールで炭素の流れを詳細に調べるのは至難の業である。調査上の技術的な問題や労力的な限界もあり、実測が困難なものについては何らかの推定によって補わざるを得ない。

図1に示すように、森林生態系の炭素の流れを四つの大きな炭素プール（葉群F、地上木部C、根系U、土壌有機物M）に区分して整理してみる。一般的に、物質やエネルギーなど物理量の動態を明らかにする際、このような方法で表現すると便利である。各炭素プールの現存量とそれぞれの間を移動する炭素量については、ある程度簡便な方法で推定することができる。

さて、各炭素プール間の炭素フラックス（光合成、呼吸、同化産物の転流、落葉落枝などに相当）を生態系ごと決定する必要があるが、ここでは比較的データの蓄積があるスギ人工林を対象にした炭素循環の簡単なシミュレーション結果を紹介する。それぞれの炭素フラックスを実測データから決定するわけだが、どうしても手に入らないデータについては、他樹種のデータ等を援用するなどしてスギ人工林に適用できるように調整した。また人工林であるから間伐施業を考慮しなければならない。そこで主要なスギ林業地（福島、西川、吉野、飢肥）の間伐パターンを調べたところ、「林齢15年及び25年生での間伐率が30%で、その後10年ごとに20%の間伐を繰り返す」という傾向があった。間伐に伴って生じる間伐材とその伐根は、そのまま林地に放置されるものと仮定し、間伐と同時に土壌有機物と見なした。つまり間伐材の利用は一切考慮していない。

単位葉量当たりの光合成速度や木部の単位重量当たりの呼吸速度、地下部への分配率、あるいは土壌呼吸速度などの生産生態学的パラメータは、林齢に関係なく常に一定と見なした。スギ人工林における各器官の成長経過（現存量の増加）のシミュレーション結果を図2に示す。

間伐を考慮することで地上木部と葉量の成長経過はおおむね再現されていることが分かる。ただし、壮齢林（50年生以降）では木部現存量が過小推定になっている。実際の壮齢林では間伐間隔が長くなるのが一般的であるから、これを加味すれば現存量の再現性も改善されるであろう。

図2には林分当たりのCO₂収支（プラスが放出、マイナスが吸収）もあわせて示した（図上段）。若齢段階（10～20年生）でCO₂吸収量は最大になり、その後、間伐による変動はあるがCO₂吸収量は漸減し、高齢になるに従ってCO₂収支は均衡していく。このように、森林の炭素循環に必要な生産生態学的なパラメータを樹種ごとに決定して、間伐などの施業条件を考慮することによって森林のCO₂収支を評価することができる。

ところで、吉野や飢肥では植栽密度や間伐履歴などが異なるにもかかわらず、図2に示すように、地上部現存量の成長過程には林業地間で大きな違いは認められない。そこで、今回のシミュレーション結果が全国すべてのスギ人工林に適用できると見なした。図2に示した林齢ごとのCO₂固定量とスギ人工林の齢級面積を乗じたものが、齢級別CO₂固定量となる。これをすべての齢級について合算すると、全国のスギ人工林の年間CO₂固定量が得られ、938万トンと推定された。

これを全国平均に換算すると、土壌からのCO₂放出を差し引いたスギ人工林における正味のCO₂吸収量は、年間haあたり約11トン（有機物換算で約6トン）となる。土壌呼吸速度が有機物換算で年間10トン/haという報告もあり、こうした推定値を考慮すると今回のシミュレーションで得られたスギ人工林のCO₂収支はおおむね妥当な値といえる。

土壌呼吸や木部呼吸などのデータに関しては現在のところ十分な蓄積がないが、今後は実測データによる検証を加えながら、推定精度を向上させていく必要がある。

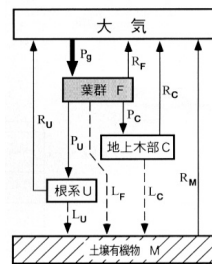


図1. 森林生態系CO₂収支モデルの概念

葉群F、地上木部C、根系U、土壌有機物Mの四つのコンパートメントに区分して、炭素フラックスによって炭素動態を表す。

P_g: 葉群の光合成速度, P_o: 地上木部への転流, P_u: 根系への転流, R_f: 葉の呼吸速度, R_c: 地上木部の呼吸速度, R_u: 根系の呼吸速度, R_M: 土壌呼吸速度, L_F, L_C, L_U: 各器官のリター（枯死脱落）生産速度

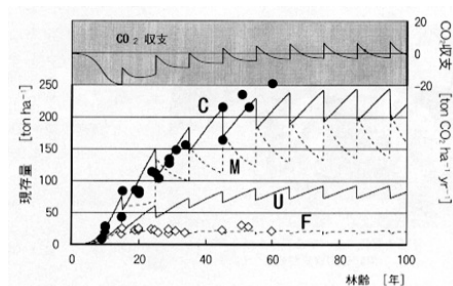


図2. スギ人工林の成長経過とCO₂収支のシミュレーション

間伐パターンを考慮して各器官の成長経過をシミュレートし、同時に炭素フラックスから林分当たりのCO₂収支が計算できる。図中の●と◇は、それぞれ地上木部と葉量の実測値である（スギ林業地である福島、西川、吉野、飢肥の調査データを用いた）。生産速度