

VI 関西支所公開講演会記録

里山の二酸化炭素吸収量をはかる

日時：平成21年10月21日（水）

場所：京都市アバンティホール

はじめに：森林と二酸化炭素（CO₂）の関係

小南 裕志（森林環境研究グループ）

地球温暖化の主要な原因と考えられている二酸化炭素、その削減の大きな役割を果たすのが森林である。京都議定書での日本の二酸化炭素排出量の削減目標6%のうち、約60%は森林の二酸化炭素吸収能力に期待されており、政府案で提示された25%削減目標においてもさらに高い機能の発揮が期待されている。しかし森林はどのようにして二酸化炭素を吸収するのか？その量はどの程度なのか？吸収した二酸化炭素はどこにいくのか？さらには、高い二酸化炭素吸収機能を持った森林とはどのようなものなのか？森林は陸上にある生態系の中で最も複雑で、その二酸化炭素吸収のメカニズムもまだ多くの謎に包まれている（図）。今回は我々が京都府南部の主にコナラが生存する里山（山城試験地、表）で行っている森林の二酸化炭素吸収量観測の紹介を通じて、これらの課題にどのようにして取り組んでいるのかを解説した。解説は3つの発表で行われた。これは、(1) 森林によるCO₂交換量がどのような測定機材や測定手法で行われているか。(2) 森林全体のCO₂交換はその中のさまざまな場所に住んでいる植物や動物、微生物などの生き物によって行われているが、その測定方法と特徴はどのようなものなのか。(3) 吸収されたCO₂は森林内のいろいろな場所に有機物の形で蓄積されていくが、それはどこにどのようにして貯まっていくのか、という発表である。以下に講演題目を示す。

1. CO₂はどのように測るのか - 森林のCO₂交換量の測定 -
2. CO₂は出たり入ったり - いろいろな生物によるCO₂交換 -
3. 森林のどこにCO₂は貯まるのか - 森林の炭素蓄積 -

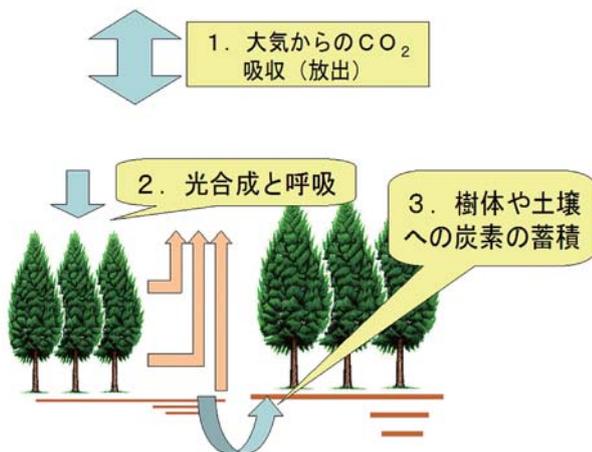
図 森林のCO₂交換と有機物の蓄積

表 山城試験地の概要

山城試験地	京都府木津市山城町
位置	北緯 34° 47', 東経 135° 51'
標高	220m
優占樹種	落葉広葉樹 コナラ 常緑広葉樹 ソヨゴ
平均樹高	13m
土壌型	未熟褐色森林土+風化花崗岩

CO₂ はどのように測るのか

－森林の CO₂ 交換量の測定－

小南裕志（森林環境環境グループ）

現在、世界中の 200 ヶ所以上の森林で二酸化炭素吸収量の測定が行われている。これはおもに森林の中に設置された気象観測タワーを使って、二酸化炭素の吸収量を測定するものである。これらのデータが元になって地球の森林の二酸化炭素吸収量の推定や気候変動時の予測が行われている。しかし森林はいつも安定して二酸化炭素を吸収しているのではなく、夜には逆に二酸化炭素を放出する。また、吸収量も大きな季節変動を持っている。さらに森林の構成種や樹齢、気候条件などによっても大きく変化する。また、気象観測タワーで得られたデータだけでは十分な精度で森林の二酸化炭素吸収量を推定することができないということもある。この発表では我々の行っている観測の紹介を通じて森林の二酸化炭素吸収量観測の方法と問題点、さらにその解決のための相互比較手法を解説した。

我々が山城試験地で行っている観測は大きく分けて (1) 気象観測タワーによる森林の二酸化炭素交換量測定、(2) チャンバー法による森林の二酸化炭素交換量測定、(3) 生産生態学的手法による森林の炭素蓄積量測定、の 3 つに分けられる。気象観測タワーを用いた二酸化炭素吸収量測定は赤外線二酸化炭素濃度計と超音波風速計を用いた渦相関法という手法によって測定される。この手法は森林と大気の間を行き来する二酸化炭素の量を直接、連続測定することができるため様々な生態系の二酸化炭素吸収量の観測や相互比較に有効である。しかし、この方法は主に夜間の二酸化炭素の

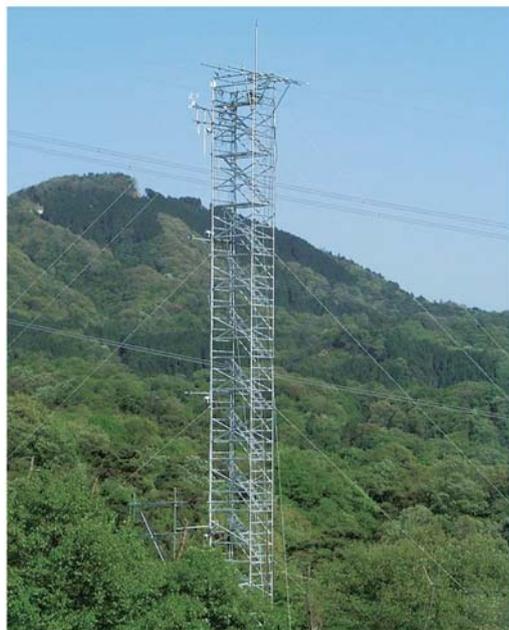


写真 山城試験地の気象観測タワー

放出量を過小に評価してしまうことが明らかとなっており、その補正方法をめぐって議論が進められている。そのなかで、光合成による二酸化炭素の吸収と比較して呼吸による放出が大きくなる暖帯林では特にその取り扱いが重要となる。そのため山城試験地では残りの 2 つの手法も用いて気象観測タワーによる結果との比較を行った。(2) のチャンバー法とは葉・枝・幹・土壌等の森林のそれぞれの場所での二酸化炭素交換量を大小様々な箱（チャンバー）をかぶせて直接測定するものである。また (3) の生産生態学的手法による森林の炭素蓄積量測定とは、吸収された二酸化炭素は有機物に形を変えて樹木や土壌中に蓄積されることになるが、その増減を長期的に測定することによって推定する手法である。チャンバー法は森林内のそれぞれの要素が二酸化炭素交換に対してどのような役割を担っているかがわかる一方、群落全体の平均的な交換量を推定するためには大量のチャンバーを用いなければならないという問題がある。また炭素蓄積量推定では土壌中の炭素蓄積量を被破壊的に測定することができないため、土壌炭素蓄積速度の推定が非常に困難である、という問題もある。このようにそれぞれの手法によって得意不得意があるため、森林の二酸化炭素吸収量の定量化やその仕組みを明らかにするためには、これらの手法を組み合わせた評価が重要である。

CO₂ は出たり入ったり -いろいろな生物による CO₂ 交換-

深山 貴文 (森林環境研究グループ)

1. はじめに

森林内で二酸化炭素 (CO₂) は、光合成色素を持つ樹木などの生物に取り込まれている一方で、呼吸をしている全ての生物から放出もされている。森林への炭素蓄積量を正確に推定しようとする場合、森林の CO₂ の入り口と出口の全ての動態を網羅的に把握することが重要である。呼吸量は高温条件下で急速に高まる性質を持つため、全国的に見て比較的温暖な山城試験地では特に呼吸量の測定とその変動要因の解明が重要とされる。ここでは山城試験地で、主にどのように呼吸量が推定され、どのような研究成果が得られてきたかについて述べる。

2. 呼吸量の測定方法

生態系呼吸量は森林全体を密閉された巨大な箱の中に納め、その箱の中の CO₂ 濃度の上昇速度を測定することでも求められる。しかし実際にはこのような手法は実現不可能なため、チャンバーと呼ばれる小さな箱を多数用意し、これを葉、幹、鉍物質土壌、根、枯死木、落葉といった、森林内の様々な測定部位に被せて各部位別の呼吸量を測定している。そして、毎木調査や伐倒調査などの観測結果をもとに各部位ごとの呼吸量を合計することで、森林生態系全体の呼吸量を推定する手法を用いている。

一般的に呼吸速度は概ね 10℃ の温度上昇に対して約 2 倍上昇するような強い温度依存性を持っている。また、微生物による分解呼吸は乾燥によって大幅に低下し、樹体の呼吸量は成長期に急激に高まるといった、非常に多様で複雑な時系列変動特性も持っている。そのため、年間生態系呼吸量の推定では特に多点で連続観測した呼吸量の結果を用いた季節変動特性の評価が重要となる。山城試験地では連続観測のため、これまで 1 箇所において手動で開閉していたチャンバーに、モーター、空圧シリンダーなどの動力機器を装着することでチャンバーが自動開閉するように改良した。さらにこれを多点に設置して電磁弁で流路を切り替えるシステムを加えることで呼吸量の多点連続観測を実現させた。地上部呼吸量に関しては落葉樹と常緑樹の葉面、枝、幹の呼吸量、地下部呼吸量に関しては有機物、根、鉍質土壌の呼吸量に区分して観測し、これら各部の季節変動特性について連続観測による評価を行った。

3. 呼吸量の季節変動特性

生態系呼吸量の季節変化では、山城試験地の現存量の約 7 割を占める落葉広葉樹の成長呼吸量が 5 月の開葉時に急増していた。地温と、生態系呼吸量の間にある関係を見ると、開葉を伴う 5 月の呼吸量は 10 月から 11 月の同じ温度環境下の時期に比べて約 60% も高いことが推定された (図)。また、6 月から 7 月の初夏と同様の温度環境下にある 8 月から 9 月の生態系呼吸量は相対的に低かったが、これは初夏に高い根呼吸量が存在し、晩夏には既に多くの有機物が分解されてしまった上、乾燥によって分解呼吸が低下している影響と考えられた。地上部呼吸量のピークは、成長呼吸量の影響で気温のピークである 8 月上旬より約 1 ヶ月早い時期に存在し、その季節変動のパターンは気温に比べて緩やかな山高帽型を示していると考えられた。

合計値で地下部呼吸量を構成する、有機物分解呼吸量は梅雨の 6 月頃、根呼吸量は伸長成長の盛んな 7 月頃に急増する一方、微生物を含む鉍物質土壌は概ね年間を通じて一定の呼吸量であることも推定された。これらの一連の研究によって生態系呼吸量に占める地下部呼吸量の比率は 6 月 12 日の 39% から 12 月 5 日の 81% まで大きく季節変動しており、生態系呼吸量が単純な温度-呼吸量関係だけで推定することが困難であることが示された。

4. おわりに

落葉広葉樹林における自動多点チャンバーを用いた連続観測により、森林各部の多様な呼吸量が積み重なって複雑な生態系呼吸量の季節変動が形成されていることが明らかになってきた。解明されてきた詳細な内部メカニズムを用い、森林の炭素固定量の高精度推定や、その増加手法の開発を行っていくことが重要と考えられる。

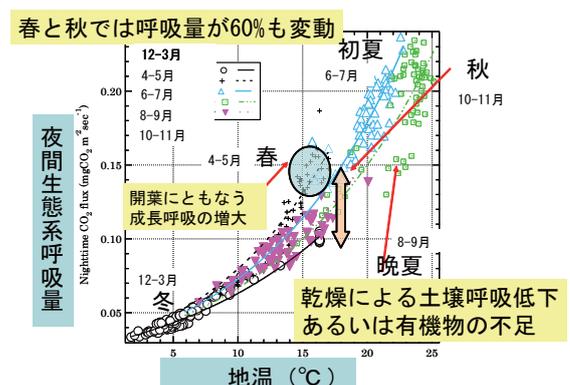


図 地温と夜間生態系呼吸量の関係

森林のどこに CO₂ は貯まるのか

－ 森林の炭素蓄積 －

上村 真由子（日本大学・生物資源科学部）

1. 森林での炭素蓄積の場

森林に存在する樹木は、光合成によって大気中の CO₂ を固定し、そこで作られる炭水化物をもとに徐々に樹体を大きくする。樹木の寿命は数十年から数百年であり、その間には成長するだけでなく、葉を落したり、枝や根を枯死させたりしながら生きながらえる。また、樹木は寿命を終えるとしばらくして倒れ地表面に横たわる。これらの枯死・脱落した樹木の部分は地表面に堆積して微生物に分解され、その残りの部分が土壌に蓄積し土壌有機物となる。つまり、樹木だけでなく、地表面や土壌中（併せて土壌圏）も炭素蓄積の場となる。この 2 つの場に注目して、広葉樹二次林が成立する京都府南部の山城試験地における森林への炭素蓄積速度について考えてみる。

2. 樹木への炭素蓄積の調べ方

樹木への炭素蓄積速度を得るためには、いくつかの調査を必要とする。そもそも、樹木の量はどのように測られるのだろうか。伐倒調査と呼ばれる調査は、樹木の現存量を調べるものである。樹木を伐採し、幹、枝、葉、根に分けて、それぞれの部分の重量を測定する。ちなみに、山城試験地では 2000 年に伐倒調査を行い、試験地近辺において 20 種 44 本の樹木を伐採した。これだけ多くの樹木を伐採したのは、この試験地が落葉広葉樹から常緑広葉樹、針葉樹にまで至る、多様な樹種によって構成させる森林であるからである。さらに根の重量を得るためには根を土から掘り起こした。こうして得られた 1 本の樹木の重量と各部分の構成比を、その樹木の胸高直径や樹高といった値を用いて関数にすることで、樹木のタイプや生活型の違いを考慮して、胸高直径や樹高から樹木の現存量が推定できるようになる。次に、森林に存在する全ての樹木の胸高直径を調べる。これを毎木調査と呼び、山城試験地では 1994 年から 5 年に 1 回の頻度で行っている。これらの伐倒や毎木調査のデータから、対象とする森林の樹木の現存量が調べられる。さらに、5 年前のデータと現在のデータを比べることで、胸高直径の変化が、樹木の現存量の増加分だと仮定できるので、これらから樹木への炭素蓄積速度が求められる。森林全体では、5 年間での新規加入量と枯死量も計算し、現存量から差し引くことで森林全体の樹木の炭素蓄積量が求められる。

3. 土壌圏への炭素蓄積の調べ方

土壌圏への炭素蓄積は、樹木の枯死や脱落量と、分解に伴って放出される炭素量の差し引きから得られる。しかし実際には、森林で枯死・脱落する樹木の部分は様々で、幹や枝、葉から細根までに至る。これらをすべて網羅した形で、枯死・脱落量と分解量を求めなければいけない。枯死量は、5 年ごとの毎木調査によって、どの大きさの樹木がいつ枯死したかによって計算する。葉や枝の脱落量はリター量とも呼ばれるが、これはリタートラップと呼ばれるトラップを用いて落下量を求める。特に難しいのは、根の枯死や分解量を求めることであり、山城試験地ではスキャナを土中に埋め込むなどして現象を把握している。幹や落葉落枝の分解量は、放出される CO₂ 量つまり分解呼吸量を測定し、温度や含水率といった要因に対して関数を得る。こうして求められる枯死・脱落量と分解量の差し引きが、土壌への炭素蓄積量となる。

4. 里山広葉樹二次林への炭素蓄積

上記にのべたような作業を繰り返すことで、森林への炭素蓄積速度を推定することができる。山城試験地では、樹木では 1.08tC / ha、土壌では 0.42tC / ha が 1 年間に蓄積する炭素の量であった。この合計である 1.50t が 1 年間に蓄積される炭素量である。この里山広葉樹二次林は、明治初期の治山によって作られた山で、それ以前ははげ山であった。森林の成立の初期には、アカマツが優占する森林だったが、1970 年代のマツ枯れ被害によって多くのアカマツが枯死し、代わってコナラなどの広葉樹が増加した。これらの森林の過去の姿は、現在の森林の炭素蓄積速度に影響を与える。現在の森林には、40 年前に枯死したアカマツの枯死木が存在しているのである。このように、森林での炭素蓄積を詳細に求めるためには、樹木だけでなく、土壌圏も含めた詳細な調査や、過去の履歴といった情報が大事になる。