特集2・流域生態系と水環境

林床環境の時空間変動

—とくに光環境に注目して—

秋 山 侃*

1. はじめに

環境問題を解明するために、ある地域や流域単位の現象を総括的かつ定量的に捉える必要性が頻繁に生じている。例えば気候変動枠組条約締約国会合(COP)でも、森林の二酸化炭素固定能がどれだけあるかが会議の大きな論点になった。しかし、森林や草原のような「自然」に近い生態系は、農地や都市といった「人為」の影響を強く受けた生態系と比べて、より不均一性が高いと思われる。近年の計測技術の進歩のおかげで、ある地点のある時刻の値を正確に計測することはできるようになったが、それが果たして森林を代表しているといえるだろうか。リモートセンシングは広域情報を同一のセンサで一瞬のうちに取得できる有力な道具ではあるが、万能ではない。現地における詳細な計測値と広域的なリモートセンシング情報、さらにこの二つをつなぐモデルが重要な役割を果たすように思われる。そのモデルの初期値やパラメータをどう決めるかが推定の精度を決定づけるといっても過言ではない。

このように不均一な環境条件下で広域にわたる現象を総括的かつ定量的に捉えたり、あるいは現状を把握した上で、過去の推定から将来の予測につなげるにはどうしたらよいか、いまその手法開発が求められている。換言するなら、情報の時・空間的拡大は環境科学を扱う研究者にとって普遍的・根元的な問題である。

そこで我々は、実際の森林内のいろいろな環境因子、とくに光が面的にどのような変異をもって分布しているのか、それが季節的にどのように変動しているかを詳しく調べている。また、その結果を今後どのような研究につなげていくかを検討しているので報告する。

2. 試験林の概況

対象とする試験林は、岐阜県高山市と丹生川村の境界(北緯 $36^{\circ}08'$ 、東経 $137^{\circ}25'$)に位置する。乗鞍岳の南西斜面上にあり、標高はほぼ1400 mの落葉広葉樹林である。ここに1 ha ($100\text{ m} \times 100\text{ m}$)の試験林を設け、中を $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ の小試験区100区に分割し、1997年から詳細な調査を実施している。林床の光環境に関わる要因について以下に概説する。

2.1 気象、地形と標高

当地は冷温帯に属し、年平均気温は 7.2°C 、年降水量は $2,382\text{ mm}$ で、冬季の最大積雪深は1 mを超える。太平洋側気候と日本海側気候の両方の影響を受ける地域といえる。

図-1に対象となる試験林の地形を示した。南北に尾根があり、その間を西側に開けた谷が走っている。最高点が 1428 m 、最低点が 1392 m である。100区の小試験区のうち、頂部が30、谷部が19、北斜面が25、南斜面が19、西斜面が7箇所と区分された。

図-1 試験林地形図

*岐阜大学流域環境研究センター Tsuyoshi AKIYAMA

図-2 試験林内の全樹木の分布図
(上位5種およびその他) 流域環境研究センター作成

図-3 試験林の樹冠投影図 (川村ら, 2000)

2.2 植生

試験林内のすべての樹木の樹種、位置、胸高直径 (DBH, 地上120 cmにおける幹の太さ) などを登録した。このような樹木の戸籍調べを「毎木調査」という。これによって胸高直径から樹木の乾物重を推定できる。また間隔を置いて毎木調査を実施することにより、その間の樹木の生長量や炭素固定量を推定することもできる。

現在、1 haの試験区には胸高直径が2 cm以上の樹木が1,835本生育している。胸高直径による相対生長式で推定した樹木地上部の総乾物重は154 t/haであった (秋山ら¹⁾)。また、この森で最も優占する樹木はミズナラ (27%) で、ついでダケカンバ (25%), シラカンバ (15%) の順であった (カッコ内は重量割合を示す)。上位5樹種の分布図を図-2に示した。明らかに分布の偏りが認められ、南東部分にカンバ類が、北西部分にミズナラが多い。

図-3は樹冠投影図と呼ばれる図で、空から見た

森林の投影図にほぼ相当する。白く抜けた部分がギャップと呼ばれる隙間で、ここを通して直達光が森林の林床に到達する。川村ら²⁾の観察によると、調査林の落葉広葉樹の開葉はオオカメノキなどの林床植生が最も早く4月中旬から、次いでカンバ類が4月末から芽が動く。ミズナラはさらに1週間ほど遅いが、落葉も2週間ほど遅い。開葉、落葉については年次的な変異も大きいようだ。

3. 光の計測法

3.1 フィルム式簡易積算日射計

試験林が落葉広葉樹に覆われているため、葉の展開や落葉などの葉群動態 (leaf phenology) に伴い、林床の光環境は季節的に変化する。また、同じ日の同じ時刻であっても、ギャップの存在や樹冠を覆っている樹種の違いから、林内の光条件は場所によっても大きく異なることが予想される。これを測るには多点の光を安価に計測できる測器が必要である。フィルム式簡易積算日射計 (以後フィルム日射計と省略) のフィルム部分は千葉大学と大成化工 (株) が数年前に共同開発し、現在はオプトリーフの商品名で市販されている (吉村ら³⁾)。これは従来からあるジアゾ感光紙を改良した特殊なフィルムで、これをスライドマウントに挟み現地に設置し数日間露光させ、フィルムの退色程度からその間の積算日射量を推定する。

フィルム日射計は手作りである。また、フィルムの退色は化学反応であることから、温度に依存する。そのため広い温度域のもとで検量線を作る必要がある。さらに野外での検証実験例が少なかったもので、正確に利用できる条件 (日数や気象等) についても検討した。このようなフィルム日射計の作り方から検量線作成、感度と精度の確認、適用範囲の検討などの詳細については、前報⁴⁾を参照されたい。

図-4はネオ全天日射計 (英弘精機製MS-42型) で計測した日射量とフィルム日射計による測定値を比較した図である。フィルムにはOR-O (商品名R-2D) とPAN (Y-1W) の2種類があり、前者は積算日射量が100~150 MJ/m²、後者が200 MJ/m²程度までは直線性が維持されるが、ここではOR-Oの結果のみを示した。

3.2 林内における計測

我々の試験林では縦横10 mごと (121箇所) に高さ150 cmのポールを立て、そこで林内の日射量 (Ia)

図-4 フィルム日射計 (OR-O) と全天日射計による積算日射量の比較 (秋山⁴⁾)

を測定した。高さを150 cmとしたのは、林床が高さ1 m程度のクマイザサに覆われているためである。ボールの根元、地表約10 cmの場所でも同様に日射量 (Ib) を測定した。こうすることにより、 I_o - I_a で樹木層が吸収する日射量 (ここで I_o は林冠上の日射量とする) と、 I_a - I_b でササ層が吸収する日射量とを分離して推定できるからである。この方法を用いて、1998年と1999年の開葉前から落葉後までのあいだ約2週間の間隔で林内の242点、(121地点×2階層)の積算日射量を求めた。林内における測定の様子を写真1に示した。

4. 林内光環境の時空間変化

図-5は林内の光環境の面的な分布状態を季節別

に示している。この図は林外の光に対する相対割合 (I_a/I_o , I_b/I_o) で表示されているが、絶対値 ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$) でも示すことができる。春や秋の落葉期間には I_a/I_o の場所による変動が大きい。春と秋の日射量分布のパターンは類似している。完全に林冠が閉鎖される夏の期間は場所による差が縮まる。

一方、季節的な変動を図-6に示した。上が絶対値表示で、林外の日射量も表示してある。図は1998年の例を示しているが、この年は3月31日から12月1日まで17期間にわたって継続して測定し、図の各点は121箇所の平均値である。この図から落葉広葉樹林の林床 (I_a , 150 cm) は葉のない季節でも外光の半分程度であることが判る。これは枝による遮光の影響が大きい。太陽高度が低い季節 (特に晩秋) には北斜面が山陰に入ってしまうことも影響している。 I_a は無葉期には10MJ、樹木の葉がある季節には3 MJ程度になる。一方、 I_b (10 cm) は1年中3 MJを超える季節がなく、ギャップがなければ樹木の実生苗が育つことは困難である。

図-6の下は相対値である。春と秋には0.5 (50%) 以上であった相対日射量 (I_a/I_o) は急激に低下し、夏の間は0.1程度となり、秋には落葉につれて再び明るくなった。これに対して I_b/I_o は春秋に0.2を超えるが、夏の間は0.05以下であった。

5. 今後の展開

今回は林内の光に関わるデータのみを示したが、

写真1 ポール上に設置されたフィルム日射計

図-5 季節別にみた試験林内の光環境の面的変動
図は林冠上日射量 (I_o) に対する林床植生上部 (I_a 上図) と、林床植生下部 (I_b 下図) の相対値で示した (1998年)

図-6 林内光環境の季節的変動

上図は絶対値、下図は相対値、いずれも121地点の平均値

現在試験林では次のような項目についても同じ100の小試験区ごとに季節を追って測られている。

気象関係；気温（地表と地上1 m）

土壌関係；土壌の物理性・化学性，土壌発達構造（2 m深まで），リター厚，リター重，土壌水分（10 cm深），土壌呼吸量，土壌中CN量分布

植生関係；樹木生長量，ササバイオマス分布

このような100地点の実測の光データを使って森林やササ群落における二酸化炭素の季節的な動態を計算しようと試みている。同じ地点で経済産業省の資源環境技術総合研究所が1993年以降，27 mの観測タワーを建て，二酸化炭素，気温，湿度，日射量，風向・風速を通年観測を行って，フラックスから毎日の二酸化炭素交換量を求めている⁵⁾ので，二つの異なる方法による森林の炭素動態の比較が可能になる。

また，川村ら²⁾は樹木葉の展開・落葉の時期を観察し，これと樹冠投影図とを組み合わせると，林内の光環境と樹種の間を解析している。その結果，春や秋には上にある樹種によって明るさに違いが生じることが認められている。

このほか，賈ら⁶⁾は土壌圏における炭素の動態を明らかにしようとしている。地域環境に対して，森林の土壌の影響はきわめて大きい。しかし土壌中で生じている現象はまだほとんど定量的に判っていない。

い。とくに根の現存量，呼吸量，分解速度などのデータが欠落している。メッシュデータが役立つと期待している。

しかし100 m×100 mの試験林で，流域の環境を語るにはあまりにも狭い。そこで今後は航空機や人工衛星の画像データを使った解析とリンクさせたいと考えている。

参考文献

- 1) 秋山侃，菊池多賀夫，小泉博，安藤辰夫，西條好勉，津田智，莫文紅，車戸憲二，大塚俊之，西村格：冷温帯林生態系におけるモデル化と予測，陸上生態系の二酸化炭素動態の評価と予測・モデリングに関する研究，環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書，p.21-31 (1999)
- 2) 川村健介，酒井徹，賈書剛，秋山侃，橋本靖，和田直也：冷温帯林林床の光環境に及ぼす落葉樹の季節的動態の影響，システム農学16 (別号2)，60-61 (2000)
- 3) 吉村登雄，小宮山桂，石川敏夫：日射フィルムによる日射量の簡易測定，日本エネルギー学会誌9，193-204 (1990)
- 4) 秋山侃，酒井徹，賈書剛，篠田成郎，富久尾歩：フィルム日射計による群落内光環境計測法の検討，写真測量とリモートセンシング39 (4)，13-18 (2000)
- 5) 山本晋，村山昌平，三枝信子，近藤裕昭，西村格：森林生態系の二酸化炭素吸収・交換料についての一考察，資源と環境7 (2)，33-41 (1998)
- 6) 賈書剛，秋山侃，小泉博，莫文紅：冷温帯落葉樹林の炭素循環，7. 土壌呼吸速度の時・空間ばらつき，システム農学17 (別号1) (2001)