

## 異なる3手法によって推定した光環境とトドマツ実生の関係

森林総合研究所北海道支所 橋本 徹

### はじめに

北海道内のトドマツ人工林の多くが主伐可能な時期を迎えている。従来の皆伐・再造林方式では初期の造林・保育作業に多くのコストがかかり、そのような方法で経営可能な場所は限られる。一方、トドマツは暗い場所でも発芽でき<sup>(3)(5)</sup>、ある程度の光環境であれば実生・稚樹バンクを形成する。それを元手に天然更新できる可能性がある。そのような実生・稚樹バンクを形成しうる光環境を推定する上で、調査範囲を広げれば明るい場所から暗い場所まで光環境の幅を広げることができるが、光環境以外の立地環境要因にもばらつきが生じる。一方、狭い場所に斑に分布しているトドマツ実生バンクを調査対象とすれば、比較的均一な立地環境下で光環境の影響のみを調べることができるが、調査地の光環境幅が小さいとその評価が難しくなる。本研究では、トドマツ実生分布規定要因としての光環境の影響を定量するために、平らで他の林床植生も少なく、他の立地環境要因が比較的均質と考えられる場所で、異なる3種類の手法で光環境を推定して、トドマツ実生分布との関係を調べた。

### 調査地と方法

調査は、森林総合研究所北海道支所の羊ヶ丘実験林 4 林班に小班のトドマツ人工林で行った。1974年に移植された林分で、地形は平坦、傾斜は約6度だった。樹高は約16mだった。5m×5mの間隔で植栽されている植列の間に、細いミズナラまたは細いトドマツが等間隔に並んでおり、これらは後で植えられたものと推測される(図-1)。林床には、トドマツの実生が斑に分布していた(図-2)。ササはプロット周囲には多少見られたが、プロット内は非常に少なかった。他の林床植物としてはツタウ

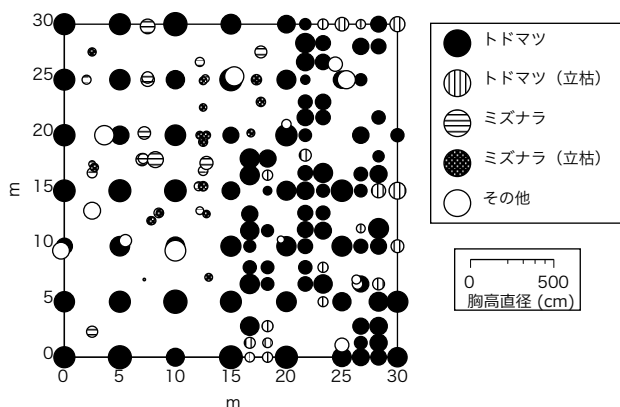


図-1 調査地概要



図-2 斑に分布するトドマツ実生

ルシなどが見られたものの、プロット全体ではトドマツ実生以外の林床植生は少なかった。

5 m×5 m の植栽木で囲まれた範囲を一プロットとして、6×6プロットの範囲(30 m×30 m)を調査地とした(図-1)。一部のプロットではその中央部にミズナラが植わっていたので、そこから北側(図の下側)に50 cm ずらしたところに1 m×1 m の調査枠を設定した。その場所で光環境測定と実生調査を行った。

光環境を3種類の手法で推定した。

(1) 開空度 | 魚眼レンズに付けた一眼レフカメラを高さ約85 cm で天頂部に向けて撮影した。全天写真解析プログラム Canopon2 (<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>) で解析して、開空度を算出した。

(2) 相対 PAR | 全天下における光合成有効放射 (PAR) (波長 400-700 nm) と調査枠上で同時に測定した PAR の比を、相対 PAR とした。全天下 PAR は、HOBO 社の PAR センサー(S-LIA-M003)で測定した。林内の PAR は、日本環境計測株式会社の Leaf Area Index Sensor MIJ-15LAI 型式に付いている PAR センサーで測定した。各調査枠上約85 cm の高さで5分間測定した。

(3) LAIセンサーによる測定 | 同上のLAIセンサーにより、各調査枠上約85 cm の高さで、PARと近赤外域放射 NIR (波長 700-1000 nm) を測定した。本機器は、PARは上木の葉を透過する過程で減衰するのに対し、NIRは葉の影響を受けず、ほとんどが透過・反射されるため、PARとNIRの強度比がLAIと相関を持つという原理を利用して、LAIを推定する。従って、全天下に対照センサーを設置する必要もなく、天候にかかわらず安定してLAIを測定できると言われている。各調査枠上約85 cm の高さで、5分間測定した。LAIセンサー値は以下の式によって計算した。

Toru Hashimoto (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo, Hokkaido 062-8516)  
**Relationship between distribution of *Abies sachalinensis* seedlings and light environment estimated by three different methods.**

$$\text{LAI センサー値} = 2.80 \times \ln(\text{NIR}/\text{PAR}) + 0.69$$

ただし、この式は落葉広葉樹林での測定結果を基に作られた回帰式である<sup>(2)</sup>。常緑針葉樹林の LAI 推定式は未開発のため、本研究では上式を用いた。そのため、本研究では「LAI」ではなく「LAI センサー値」としている。

測定は 2016 年 9 月 13 日（着葉期）と 11/16（落葉期）に行った。9/13 は測定期間中はほぼ曇りだった。11/16 は測定後半に雲が薄くなったため、光斑が入った時は測定を中断した。

実生調査のために、調査枠を 1 m×1 m の小区画に 4 分割し、それぞれの小区画ごとに実生数を数えた。また、それぞれの小区画で最も高い個体の樹高とその枝階数を記録した。実生数については 4 小区画の合計、最大樹高と枝階数は、4 小区画の値の平均をとった。実生調査は、2016 年 7 月 6～8 日に行った。

### 結果と考察

異なる 3 手法で着葉期と落葉期に得られた光環境推定値の相関行列は表-1 のようになった。LAI センサー値は 9 月の測定でも 11 月の測定でも開空度、相対 PAR と相関が高かった。一方、開空度と相対 PAR の相関はそれほど高くなかった。手法によって測定原理が異なるものの、光環境を推定する上で、測定手法間にそれほど大きな乖離がないことが明らかになった。本調査では、総測定時間が長くないよう、1 カ所での測定時間を 5 分としたが、この測定時間が調査地の光環境を推定する上で適切だったかという測定時間の探索は今後の課題である。

光環境測定手法によって、着葉期と落葉期での傾向が変わった。開空度では 9 月と 11 月で正の相関関係にあったが、相対 PAR と LAI センサー値は 9 月と 11 月の相関関係が負であった。着葉期と落葉期の大きな違いは、主にミズナラの葉の有無にある。しかし、ミズナラの葉がある 9 月においても、ミズナラ下の方がトドマツ下より暗いとは考えにくい。開空度ではこのような逆転現象は起こっておらず、光量子センサーを用いた測定手法にのみ、着葉期と落葉期の逆転が起こっていることから、光量子センサーによる測定で検出される何かが着葉期と落葉期で異なると推測されるが、今回の解析からはその原因の特定には至らなかった。また、ミズナラ等の上木展葉前の光環境がトドマツ実生の分布にとって重要である可能性もあり、その時期の光環境も測定して、無雪期を通じた林床の光環境変化を評価する必要がある。

着葉期と落葉期の光環境推定値では、落葉期の方がトドマツ実生データとの相関が高かったので、落葉期の光環境推定値とトドマツ実生データの順位相関行列を表-2 に示した。実生数においても、最大樹高平均においても、開空度、LAI センサー値との相関が高く、相対 PAR との相関はそれほど高くはなかった。ただし、この解析に用いたサンプル数での  $p < 0.05$  となる相関係数( $r$ )は 0.33 なので、相対 PAR(11 月) vs 実生数の相関係数を除いて、表上の  $r$  値はみな有意である。

最大樹高平均と枝階数平均の相関係数が 0.90 ととても高かった。明るいところでの実生の樹高成長が良いのではなく、明るいところでは実生が死なず毎年継続的に成長しているため、結果として樹高が高くなっていると考

える。

図-3 に、相関の高かった 11 月の開空度、LAI センサー値と実生数、最大樹高平均の関係を示した。図中の実線は直線回帰線を表しており、そこから光環境の最低閾値を推定した。実生数では、開空度で 3% 以上、LAI センサー値では 1.7 以下から増え始めると推定された。最大樹高平均では、開空度では 0% 以上、LAI センサー値では 2.0 以下で増え始めると推定された。直線回帰による外挿推定ではあるが、開空度とトドマツ実生の関係では、推定された最低光環境閾値が実生数と最大樹高平均で大きくずれた一方、LAI センサー値と実生数、最大樹高平均の関係で推定した光環境の閾値はどちらも 1.8 前後となった。ただし、図-3 ではいずれの関係も直線で回帰しているが、光環境とトドマツ実生数、最大樹高の関係は線形とは限らない。実際関係を適切に表すにはどのような形状の関係式が良いのかを明らかにすることは今後の課題である。

水井ら<sup>(4)</sup>は、林床の大型草本がトドマツ実生の発生・消失両面に大きな影響を及ぼすとしている。本研究の調査地は、ツタウルシ以外の林床植生はほとんど見られなかった。また、微地形の変動もなく、傾斜も緩く、他の環境要因の変動が小さかったため、トドマツ実生への光環境の影響が検出できたと考えられる。

実生数は前年の種子落下数の多少によって、年変動する<sup>(1)</sup>。また、成長の面からも、鬱閉した林内では樹高 15cm 程度で頭打ちになると言われている<sup>(3)</sup>。本研究では、一度のトドマツ実生調査で得られた静的なデータを用いて解析したが、今後の課題として、実生をマーキングして加入・死亡・成長を追跡することで、光環境との関係をより詳しく解明する必要がある。

以上のように、今後の課題は山積しているものの、本研究では、他の環境要因変動の小さい場所で調査することで、光環境とトドマツ実生の分布・サイズとの間に有意な相関を検出することができた。

### 引用文献

- (1) 福地稔・水井憲雄・菊沢喜八郎・水谷栄一(1982) トドマツ人工林の天然下種更新 (III) 固定試験地における 8 年間の稚苗の推移。北海道林業試験場報告, **20**, 21-29.
- (2) Kume et al. (2011) The ratio of transmitted near-infrared radiation to photosynthetically active radiation (PAR) increases in proportion to the absorbed PAR in the canopy. *J Plant Res*, **124**:99-106.
- (3) 菊沢喜八郎・福地稔・水谷栄一・浅井達弘 (1980) トドマツ人工林の天然下種更新 (II) -林内更新のための施業指針-。北海道林業試験場報告, **18**, 11-23.
- (4) 水井憲雄・菊沢喜八郎・浅井達弘 (1979) トドマツ人工林の天然下種更新 (I) -4 年間の稚苗消長について-。北海道林業試験場報告, **17**, 13-22.
- (5) 長尾精文・浅川澄彦 (1963) モミ属のタネの発芽における光感性。日林誌 **45** : 375-377.

表-1 光環境推定値間の相関行列

	開空度 (9月)	相対 PAR (9月)	LAI センサー値 (9月)	開空度 (11月)	相対 PAR (11月)	LAI センサー値 (11月)
開空度 (9月)		-0.47	0.69	0.70	0.62	-0.65
相対 PAR (9月)	-0.47		-0.61	-0.48	-0.54	0.33
LAI センサー値 (9月)	0.69	-0.61		0.81	0.53	-0.64
開空度 (11月)	0.70	-0.48	0.81		0.54	-0.69
相対 PAR (11月)	0.62	-0.54	0.53	0.54		-0.78
LAI センサー値 (11月)	-0.65	0.33	-0.64	-0.69	-0.78	

表-2 落葉期(11月)の光環境推定値とトドマツ実生特性値間の Spearman の順位相関行列

	開空度 (11月)	相対 PAR (11月)	LAI センサー値 (11月)	実生数	最大樹高平均	枝階数平均
開空度 (11月)		0.50	-0.71	0.34	0.65	0.63
相対 PAR (11月)	0.50		-0.83	0.32	0.42	0.40
LAI センサー値 (11月)	-0.71	-0.83		-0.38	-0.65	-0.62
実生数	0.34	0.32	-0.38		0.45	0.40
最大樹高平均	0.65	0.42	-0.65	0.45		0.92
枝階数平均	0.63	0.40	-0.62	0.40	0.92	

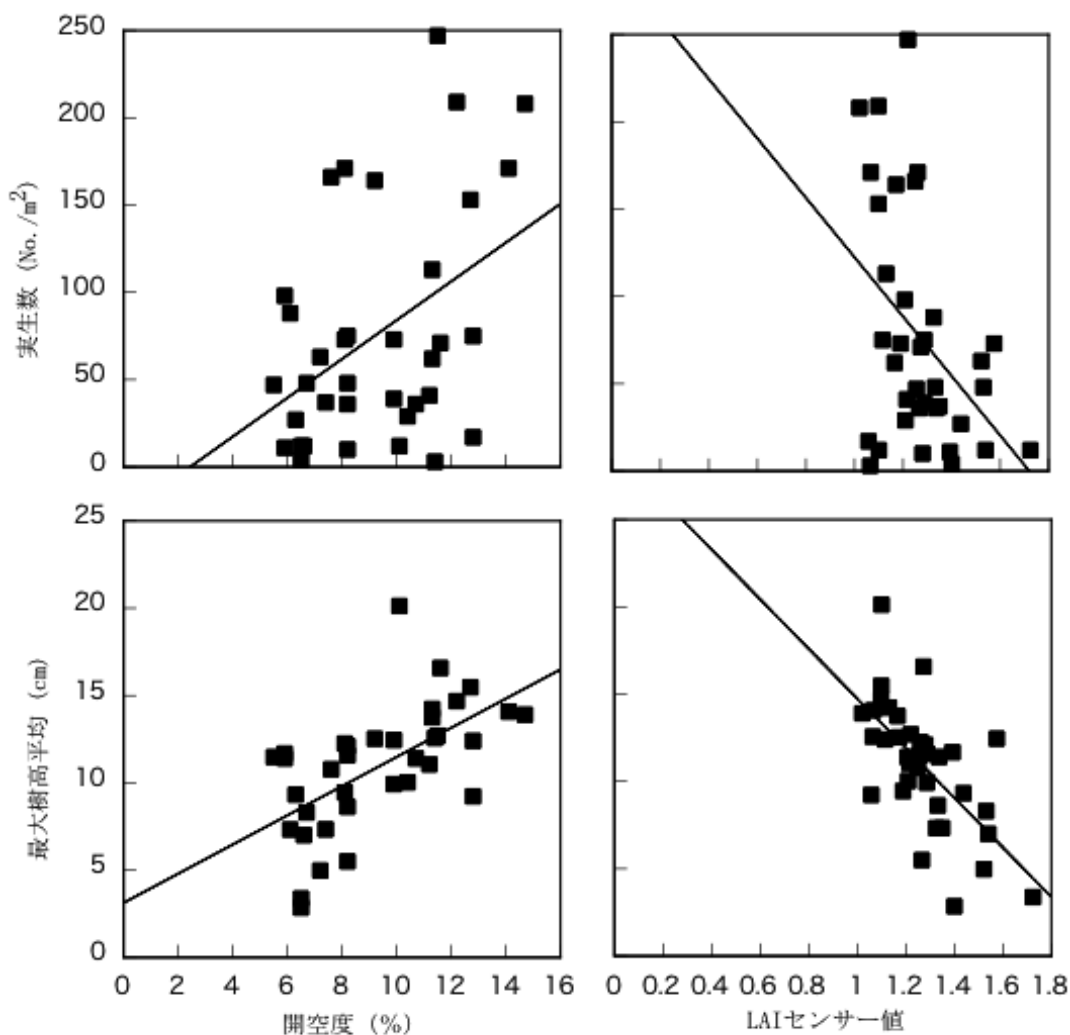


図-3 光環境（開空度、LAIセンサー値）とトドマツ実生数、最大樹高平均との関係