

研究レポート

No. 27

全天写真を利用した簡便な林内気温の推定法

齋藤 武史

はじめに

森林の内外で気温を測定すると、よく晴れた日の早朝には林内の方が林外よりも高温となり、日中には林内の方が林外よりも低温となることが多い。このような森林内外における気温の特徴は、森林による微気候緩和作用のひとつとしてよく知られている。森林施業を行う場合においても、必要に応じて上木被覆による下木の保護等、微気候緩和を目的とした配慮がなされる場合が多い。しかし、どのような林相の林分においてどの程度の気温の変化があるのかについては十分に解明されておらず、施業への応用についても経験的な勘に頼って行われている場合が多いように思われる。

一口に森林と言っても、ほとんど裸地に近い疎林や幼齢林から、平均樹高数十mに達する密で広大な森林に至るまでさまざまな林分が存在し、林相（樹冠部の状態）の変異の幅は非常に大きい。さらに、森林施業上は同一林小班として扱われているようなひとまとまりの林分の内部であっても、必ず疎な部分と密な部分とが存在し、中には、林冠に孔の開いたギャップのような部分もしばしば存在する。その結果、林内気温も個別林分、林内地点によってさまざまに異なっており、林相（樹冠部の状態）の差異と林内気温との関係を明らかにしなければ、林内気温の差異に配慮した諸施業を有効に行うこと

は難しい。林内外の気温差は主に樹冠部の葉が日射を遮り蒸発散を行うことにより形成されるので、林相に関する観測要素の中で林内気温に最も影響を及ぼすものとしては、樹冠部の葉の量、面積とその分布が考えられる。従って、林相の差異と林内気温との関係を明らかにするためには、これらの観測要素を測定し、林内気温との関係を調べるのが望ましい。

しかし、これらの観測要素の測定には通常、リタートラップによる落葉の収集、サンプル木の層別刈り取り等多くの時間と労力を要し、林内気温の観測と同時に多点で測定することは実行上困難である。さらに、測定によって得られた研究成果を利用して、森林施業の対象となるような多数の個別林分で林内気温を推定しようとする場合には、葉の測定の方が林内気温の測定よりも困難であっては、推定を行う実用上の意味がなくなってしまう。

これらの点を考慮すると、林相に関する観測要素としては、林内気温との関係が深く、しかも観測現場で簡単にデータが得られるものが良い。

本レポートでは、林内で撮影した全天写真を利用して林相（樹冠部の状態）を測定し、その結果から林内の日最高気温・日平均気温・日最低気温を簡便に推定する方法について述べる。

1. 全天写真による開空度の測定

本レポートでは、林相の指標として林内で撮影した白黒全天写真の白の部分（樹冠の開空部分に相当する）の面積率（%）を使用した。この指標は「開空度」と呼ばれ、主に林内の光環境を簡便に測定するために使用されている（3）。開空度は樹冠部の疎密度と関係した量であり、しかも観測現場では写真を撮影するだけで簡単にデータが得られるので、林相と林内気温との関係を調べるのには適した指標である。

筆者が行った開空度の測定方法は次のとおりである。まず、魚眼レンズ（フィッシュアイニッコールオート、F 2.8、8 mm、ニコン製）を装着したカメラを林内に持ち込み、三脚で地上 1.5 m の高さに固定し、レンズを鉛直上方に向けて全天写真を撮影した。フィルムには ISO-100 のモノクロームを使用し、フィルターは LIA（スカイライト）、焦点距離は無限大とした。撮影は太陽によるハレーションを避けるために曇天の時を選んで行った。次に、現像、焼付け後の写真について、白の部分（幹、枝、葉以外の部分）の画面全体に対する面積率を測定し、開空度（%）を求めた。写真の白の部分の面積の測定には、画像解析装置 PLANIMEX 25（日本レギュレータ製）を使用した。

なお、画像解析装置がない場合には、点格子板を使用して開空度を測定することができる。キャビネ版（画面半径約 6.5 cm）の全天写真を読み取る場合、トレース方眼紙等に打点して作製した 5 mm 間隔の点格子を用いて、写真の白の部分の面積をカウントし、全画面積で除することにより、0.2% の精度で開空度を求めることができる。

2. 開空度と林内気温との関係

森林総合研究所北海道支所実験林内（札幌市豊平区）の数樹種の林分で開空度と林内の日最高気温、日平均気温、日最低気温との関係を調べた結果（1、2）、図 1 に示すように、これらの間には直線的な関係が見られた。すなわち、開空度の減少とともに、日最高気温と日平均気温は低下し、日最低気温は上昇して、森林特有

の気温環境が形成されていく傾向が見られた。なお、開空度と日最低気温との相関係数はあまり大きくないが、これは日最低気温の変化の幅が小さかったためと考えられる。

開空度と林内気温との関係が直線的になる理由については、明らかではない。開空度の異なる林分は樹冠部の状態（葉面積指数等）が異なっており、それに伴って林内の放射収支、蒸発散、顕熱輸送等の熱収支項目が異なり、その結果林内気温が変化する。開空度と林内の熱収支項目との関係については未解明であり、今後この両者の関係を明らかにする必要がある。しかし、図 1 のような単純な関係が成立しているのであれば、伐採等で林相を変化させた場合の林内気温の変化が容易に推定できて便利である。

いまここで、図 1 の関係を直線とみなし、開空度を X 、日最高気温、日平均気温、日最低気温をそれぞれ Y とおいて回帰式

$$Y = a \cdot X + b \quad (1)$$

を求めると、開空度から簡便に林内の日最高気温、日平均気温、日最低気温を推定する式が得られる。

式（1）の傾き a は開空度 1 % の変化に対する林内の日最高気温、日平均気温、日最低気温の変化（℃）を表わしており、森林が気温に及ぼす効果の程度を示す。図 1 の結果では、開空度が 10 % 増大した場合、夏期（7 月）には林内の日最高気温が 0.77℃、日平均気温が 0.32℃上昇し、日最低気温が 0.14℃低下し、冬期（12 月～2 月）には林内の日最高気温が 0.41℃、日平均気温が 0.17℃上昇し、日最低気温が 0.07℃低下した。 a の値は夏期の方が冬期よりも大きい。夏期には葉面から盛んに蒸散が行われるために、同じ開空度でも樹冠層が気温に及ぼす効果が大きいものと考えられる。

式（1）の切片 b は、開空度 0 % の時の仮想的な日最高気温、日平均気温、日最低気温（℃）を表わしている。 b の値は森林の状態とは関係が無く、標高や林外の気候条件等、他の要因によって決まっているものと考えられる。

3. 開空度を用いた林内気温の推定方法

式(1)の係数 a 及び b を定めれば、開空度から簡便に林内の日最高気温、日平均気温、日最低気温を推定することができる。

本レポートでは、係数 a については、図1の結果から、夏期(着葉期)には日最高気温の場合 $a=0.077$ 、日平均気温の場合 $a=0.032$ 、日最低気温の場合 $a=-0.014$ 、冬期(落葉期)には日最高気温の場合 $a=0.041$ 、日平均気温の場合 $a=0.017$ 、日最低気温の場合 $a=-0.007$ と定めた。なお、これらの a の値は、北海道の針広混交林における、およその目安である。樹種、地域の異なる林分については、さらにデータを蓄積して a の値を定める必要がある。

係数 b については、近傍の気温観測点のデータと標高とを用いて、式(2)によって求めた。

$$b = t_o + (h_{to} - h) \cdot C - a \cdot X_{to} \quad (2)$$

ここで、 t_o ：気温観測点(基準点)の気温($^{\circ}\text{C}$)、 h_{to} ：気温観測点(基準点)の標高(m)、 X_{to} ：気温観測点(基準点)の開空度(%)、 h ：気温推定地点の標高(m)、 C ：気温減率($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)である。

t_o としては、日最高気温、日平均気温、日最低気温等、必要に応じて適当な気温要素(いずれも1ヶ月程度の平均値)を使用すると良い。

なお、気温観測点(基準点)が無い場合には、 t_o として最寄りのアメダス(気象庁の地域気象観測所)のデータを利用することができる。アメダスは通常、森林外の開放地に設けられているので、開空度 X_{to} には100%を代入すると良い。

気温減率 C の値は、近傍の標高の異なる2点(基準点と比較点)で気温を観測し、式(3)によって求めた。

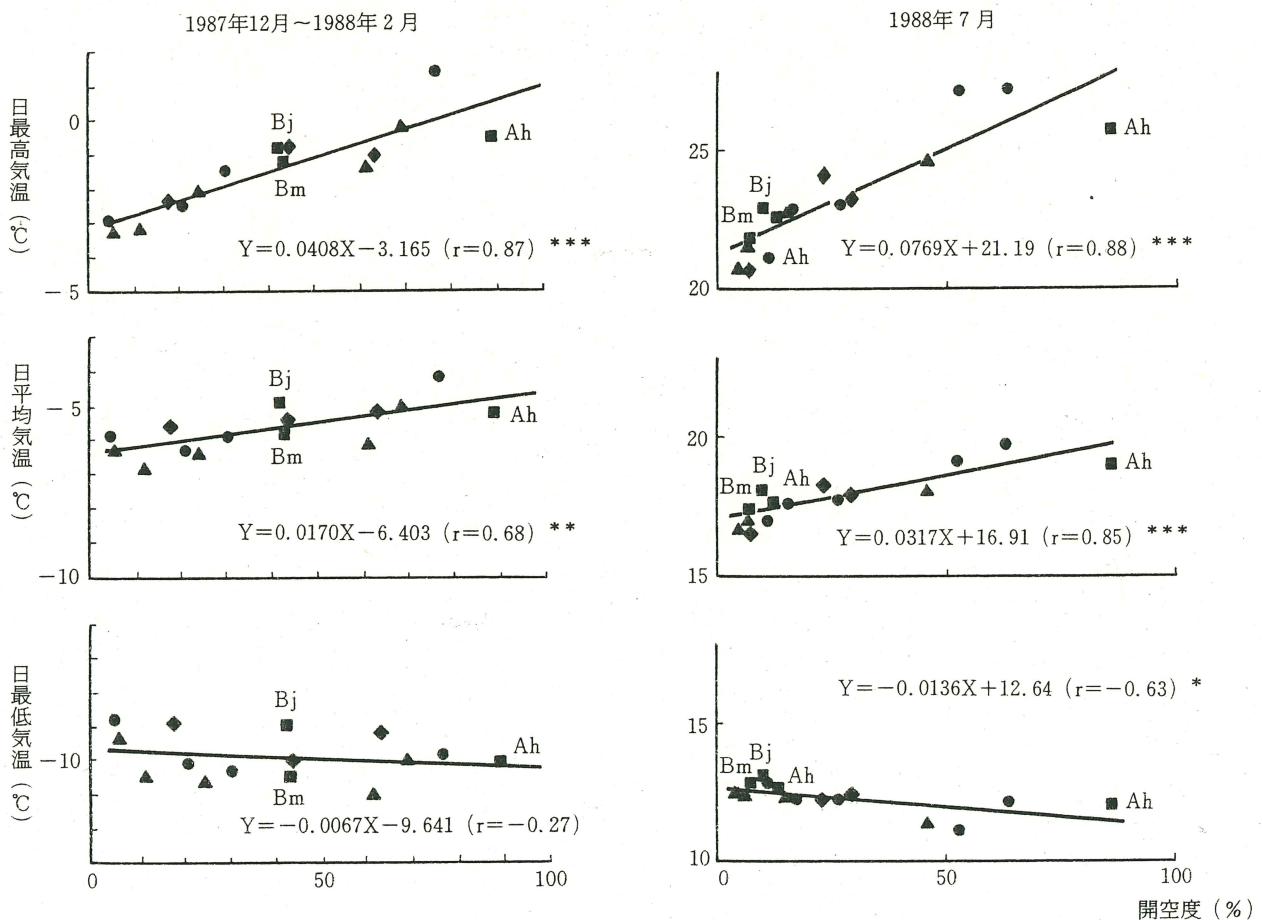


図1 開空度と日最高・日平均・日最低気温

▲: トドマツ ◆: カラマツ ●: キタゴヨウ ■: シラカバ (Bj)、ウグイカンバ (Bm)、ケヤマハンノキ (Ah)
注) 回帰式は X : 開空度、 Y : 気温である。相関係数 r の有意水準は*: 5%、**: 1%、***: 0.1%である。

$$C = (t_o - a \cdot X_{to} - t_l + a \cdot X_{tl}) / (ht_l - ht_o) \quad (3)$$

ここで、 t_l ：気温観測点(比較点)の気温(℃)、
 ht_l ：気温観測点(比較点)の標高(m)、 X_{tl} ：
 気温観測点(比較点)の開空度(%)である。

なお、気温観測点(比較点)が無い場合には、
 日本の山岳における平均的な値(4)と考えら
 れる $C = 0.006^\circ\text{C}/\text{m}$ を使用すれば良い。

4. 推定値と実測値との比較

筆者は、1987年7月～8月に日高山脈の標高
 720m～1260mに位置する10地点(図2)で開
 空度と林内気温との観測を行った。その結果に
 ついて、図2のポイント1(標高720m)を気
 温観測基準点、ポイント6(標高1260m)を気

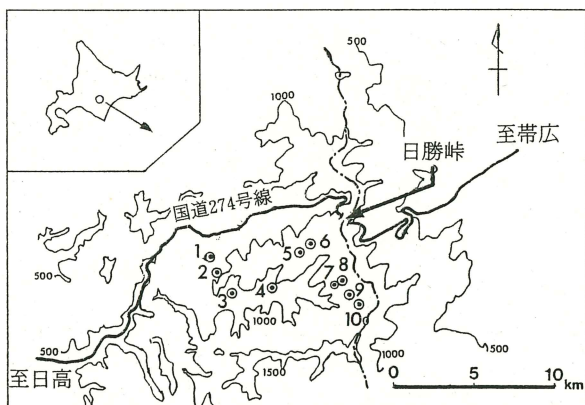


図2 日高山脈における観測地点

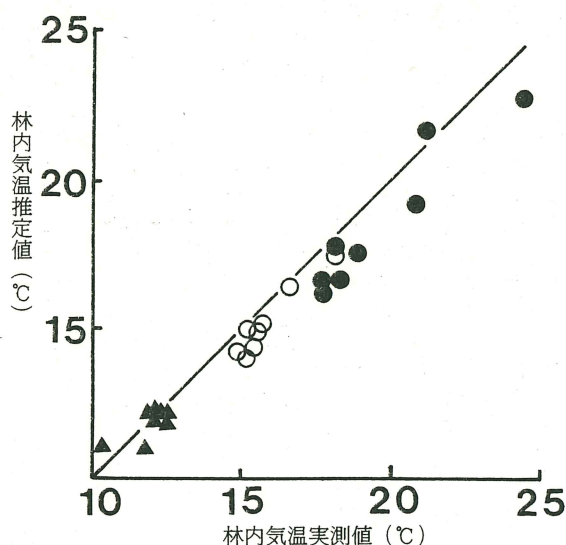


図3 林内気温の推定値と実測値

●：日最高気温、○：日平均気温、▲：日最低気温
 注) 図中の実線上では、推定値と実測値とが等しい。

温観測比較点として、前述の方法で、他の8地
 点の林内気温(日最高、日平均、日最低)を開
 空度から推定した。得られた林内気温の推定値
 を実測値と比較したところ、図3に示すよう
 になった。実測値と推定値との適合は良好で
 あり、推定誤差の絶対値は平均 0.67°C であ
 った。この程度の推定誤差であれば、本方法
 は簡便な林内気温の推定法として、十分に利
 用可能であろう。

おわりに

本レポートの方法で推定した林内気温は、温
 度計等で直接測定した場合とは異なり、森林
 の影響による部分(式(1)の $a \cdot X$)とそれ
 以外の要因による部分(式(1)の b)とに区
 別することができる。そのため、伐採や植林
 等によって林相(開空度)が変化した場合の
 林内気温について、式(1)によって簡単に推
 定、予測をすることもできる。本レポートで
 述べた推定方法は、林内気温の変化の予測
 等へ応用することにより、さらに利用価値
 が高くなるものと思われる。

引用文献

- 1) 齋藤武史：開空度の異なる林分における冬
 期の気温特性、日林学会発論集、**99**、309～310
 (1988. 10)
- 2) 齋藤武史・坂本知己：開空度の異なる林分
 における林内気温の季節変化、日林学会発論集、
100、411～412 (1989. 10)
- 3) 早稲田 収：開空度の測定とその光環境示
 標としての応用、林試研報、**323**、9～40 (1983)
- 4) 吉野正敏：小気候、地人書館、274 pp. (1982)

研究レポート No. 27

平成3年10月25日発行

編集 森林総合研究所北海道支所

〒062 札幌市豊平区羊ヶ丘1

電話 (011)851-4131