

山地斜面観測における森林表面放射強度と気温の関係

榊原 保志*

1. はじめに

山間地域において、良質な農作物を安定して生産するためには、地域特有の気候条件を把握する必要がある。山間傾斜地の温度分布を知るために定点観測や移動観測により多数の地点で観測する方法が従来採られていたが、測器の設置や観測のための移動等に多大の労力がかかる(黒瀬・林, 1993)。

最近ランドサット衛星(黒瀬ほか, 1994)や小型航空機(小林, 1979)に搭載された熱画像装置を利用して斜面温暖帯を把握する試みがされている。これにより、斜面上の限られた定点における観測値や移動観測による限られたルートにおける観測値を越える広範囲の地域の情報が得られ、新たな斜面温暖帯の議論が期待できる。

ところが、この方法で得られる観測値はある広がりを持った平均の表面温度であり、しかも気温ではない。そこで、解決すべき問題は、望遠で得られるある広がりを持った表面温度、接写で得られるスポットの表面温度そして気温の関係である。このことに関して Kobayashi *et al.* (1994) は、空気中の水蒸気量が少ない冬季には望遠で得られる樹木外側の葉面放射温度と実際の葉面温度の差が小さいことを示した。しかしながら、この種の研究は事例が少なく、客観性を得るには観測事例の積み重ねが必要と思われる。

本報告では斜面中央を走る道路沿いに自動車を用いた移動観測とその斜面を見渡せる山頂からの観測を同時に行い、「遠隔」で得られる広がりを持った領域の平均表面放射強度、「近接」で得られるスポットの表面放射強度と気温との関係を調べたものである。

2. 観測

観測対象地域は、長野県菅平盆地北側に位置する峰の原高原である(第1図)。この高原は梯子山(標高1,513 m)と根子岳(標高2,195 m)の山に挟まれた裾野にある。ただし、根子岳の位置は第1図地点8から北東約3.4 kmにあり、第1図には示されていない。この峰の原高原の斜面には中央に道路が走っているので、少人数で多地点の気温が得られる自動車の移動観測を行うには好都合であった。

峰の原高原中央を走る道路を見渡せる御岳山頂(第1図の地点A)から照準器付き赤外放射温度計((株)ミノルタ製, 505)を用いて峰の原高原南西斜面の表面温度を測定した。この機器の使用赤外波長は8-14 μm でほぼ大気窓領域を使用しており、温度測定範囲は-50~500°C、分解能は0.1°Cである。

峰の原高原中央を走る幅約9 m道路の両側は、地上高約10 mの樹木からなる森林があり、道は曲がりくねっているので、A地点から半分以上の道路は木々に隠れて望めない。観測地点は、A地点から自動車の通過を確認できる8地点を選んだ(第2図)。この図には前述の赤外放射温度計でA地点から各地点を測定する場合の測定直径も併せて示した。このことから分かるように、遠隔で路面温度を測ろうとしても、実際の測定範囲は多くの森林部分を含む。

赤外放射温度計のファインディング中央を、道路とした遠隔路面温度(T_b)とその近くの森林に照準を合わせた遠隔森林表面温度(T_c)を測定した。なお、それぞれ3回の瞬間値を観測し、その平均を示度とした。遠隔森林表面温度は樹木外側の葉面温度を意味する。

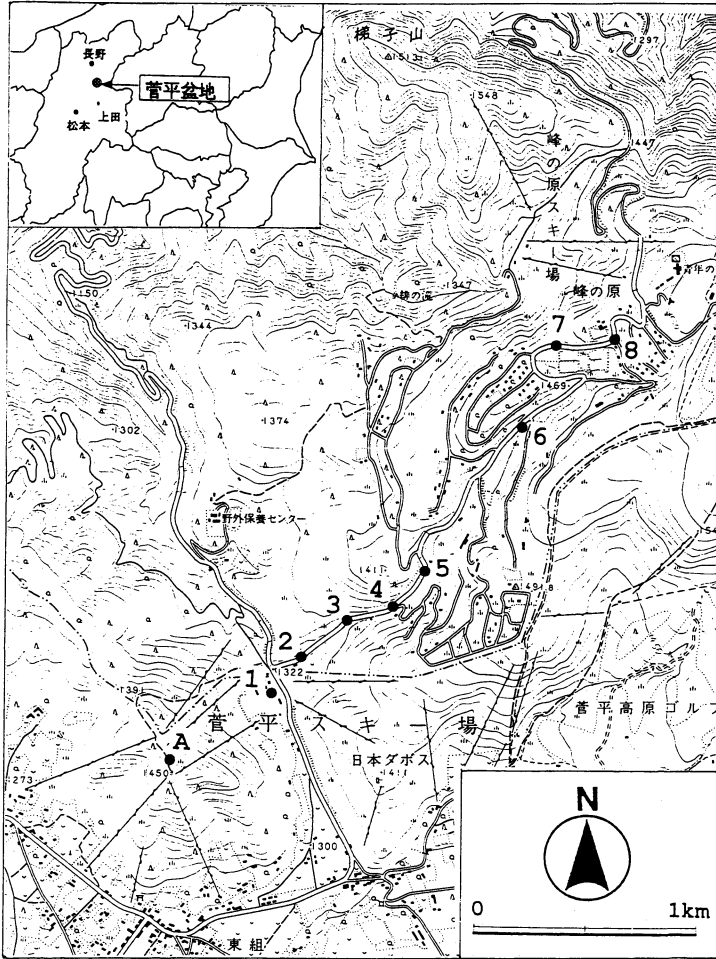
この観測と併行して、あらかじめ決められた時刻に第1図に示した地点番号順に自動車移動しながら気温(T_a)と表面温度を観測した。

気温の観測はサーミスタ温度センサの出力をパソコンで読みとる気象観測システム(越後電気(株))、

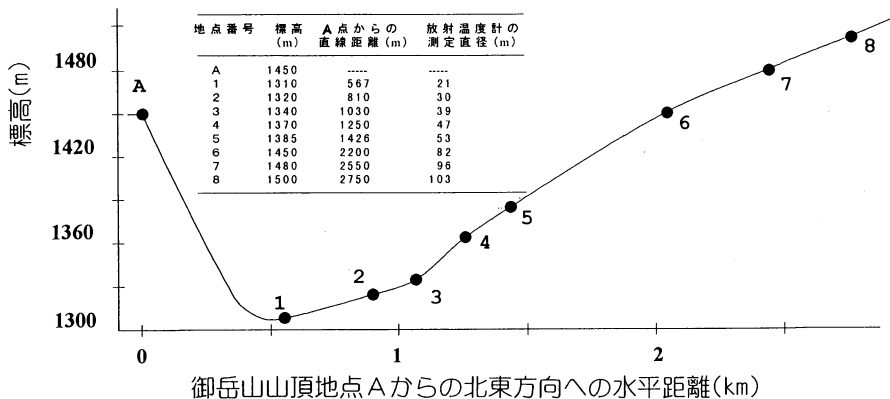
* 信州大学教育学部。

—1997年2月6日受領—

—1997年5月12日受理—



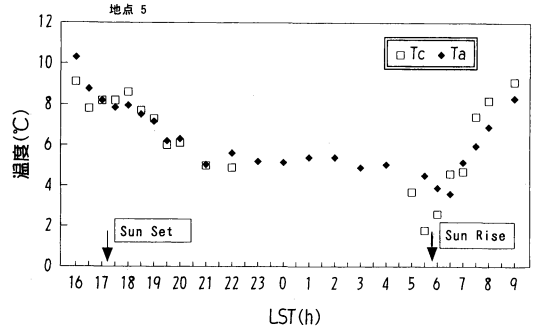
第1図 調査対象の概略 A：御岳山，1-8：観測地点番号(本図は，国土地理院発行2万5千分の1地形図「菅平」を使用)。



第2図 観測地点の鉛直断面 (A, 1-8の英数字は第1図に示した地点を表す)。

第1表 調査日の気象状況.

No.	日付	観測時刻	長野地方気象台		
			風向	風速 (m/s)	湿度 (%)
1	951010	1600	NW	3.2	52
2		1630	NNW	2.6	
3		1700	NNW	4.1	61
4		1730	NW	3.7	
5		1800	WSW	2.4	64
6		1830	SW	2.8	
7		1900	W	3.9	58
8		1930	WSW	3.3	
9		2000	W	4.0	61
10		2100	WNW	5.2	62
11		2200	W	4.1	66
12		2300	W	4.4	68
13	951011	0000	WSW	5.4	68
14		0100	W	2.8	68
15		0200	WSW	4.8	69
16		0300	WSW	4.1	69
17		0400	W	3.9	68
18		0500	WNW	4.7	66
19		0530	WSW	4.5	
20		0600	WSW	5.6	67
21		0630	WSW	4.4	
22		0700	WSW	4.4	68
23		0730	WSW	3.8	
24		0800	SW	3.7	65
25		0900	SW	3.7	61



第3図 地点5における遠隔森林表面温度 (Tc) と気温 (Ta) の時間変化 (1995年11月10/11日). □: 遠隔森林表面温度, ◆: 気温.

御岳山山頂観測では放射温度計を使用しないときは小屋におくなどを配慮したので、対象物表面温度は本体温度より低いと考えられる。このことから本研究では、2つの赤外放射計の射出率 ϵ を1とした。また、樹木は密に繁茂しているため、樹木帯を望遠すると幹や土壌の温度はほとんど含まないと考えられる。

観測は、夜間の晴天微風時の1995年10月10日から11日に25回実施した (第1表)。

3. 結果

3.1 地点5における気温と遠隔森林表面温度の時間的推移

1995年10月10日から11日にかけての温度推移の典型的な例として、観測ルートほぼ中央の地点5における気温と遠隔森林表面温度の例を第3図に示す。気温は日没 (17時18分) から急激に低下し、18時になると一時的に低下はおさまるが、21時まで再び下がる。その後未明まで気温変化は小さい。ただし、遠隔森林表面温度は22時過ぎから朝5時30分まで霧のため観測不能であった。

日の出 (5時51分) 直前になると気温低下量は大きくなり、日の出後もしばらく続く。日の出後の7時になると気温上昇が始まる。一方、遠隔森林表面温度も同様な変化が認められ、夜明け前から著しい温度変化を示す。また、早朝遠隔森林表面温度と気温の差は大きいですが、日没後から夜半までは差が小さい。

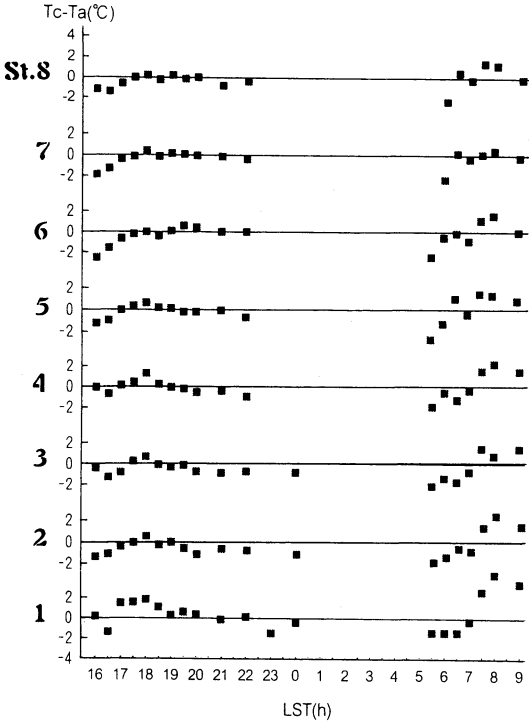
3.2 気温と遠隔森林表面温度の差

地点5で見られた気温と遠隔森林表面温度の差が他の地点で見られるかを検討するため、第4図に時間別地点別変化を表す。早朝は、どの地点も似た傾向を示している。すなわち、日の出前はマイナスであるのに

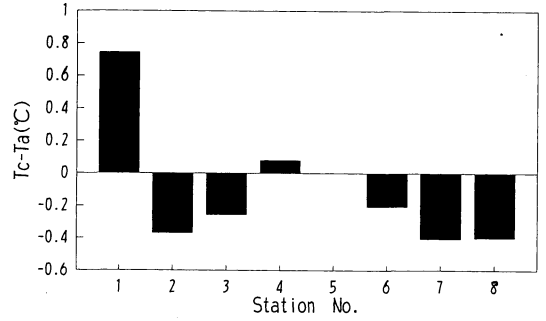
MDU) を用いた。この観測方法は榊原 (1994) と同じである。表面温度の観測は、赤外放射温度計 ((株) 堀場製作所製, IT-340W) を用いて、観測地点の両側にある樹木の葉面温度と道路のアスファルトの表面温度を測定した。これらの測定値を近接葉面温度 (T1)、近接路面温度 (Ts) と呼ぶ。この赤外放射温度計は8-12 μm の波長帯を使用している。測定温度範囲は-50~500°C、分解能は0.1°Cである。そして、測定距離が1mのとき直径15cmの測定視野を持つ。気温と表面温度の測定高度は地上高1.5mであり、先に示した森林キャノピーより低い。したがって、遠隔で捕らえる葉面と近接で捕らえる葉面の温度は異なる可能性がある。

一般に放射温度計についての測定温度の射出率補正機能は、対象物の射出率が既知であっても室内計測の使用を前提に作られているので、屋外で使用するには注意が必要である。谷口 (1995) は対象物表面温度が本体温度より低いときは射出率補正を使用した方が測定誤差が大きくなることを指摘している。

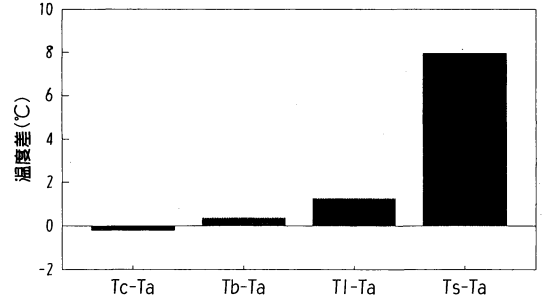
移動観測では放射温度計を自動車で使用し、そして



第4図 各観測地点における遠隔森林表面温度と気温の差の時間変化 (1995年11月10/11日).



第5図 観測地点毎の気温 (Ta) と遠隔森林表面温度 (Tc) の差 (1995年11月10日 17:30~22:00の平均値).



第6図 各種表面温度と気温の差 (1995年11月10日 17:30~22:00の平均値) Tc:遠隔森林表面温度, Tb:遠隔路面温度, Tl:近接葉面温度, Ts:近接路面温度, Ta:気温.

対し、徐々にプラスに転じている。特に地点1でこの傾向は顕著であり、4°C以上になった。

日没前から深夜にかけて、地点5と類似するパターンを示した地点は2・6・7・8であった。地点1・3・4では16時の温度差は小さいが、30分後にはマイナスになり、その後プラスに転じ、18時に最大になる。その後は徐々に小さくなっていく。17時30分から22時までの地点1を除いた地点では気温差の絶対値は小さく、56例中54例が±1°C以内にはいる。

3.3 観測地点による気温と遠隔森林表面温度の差

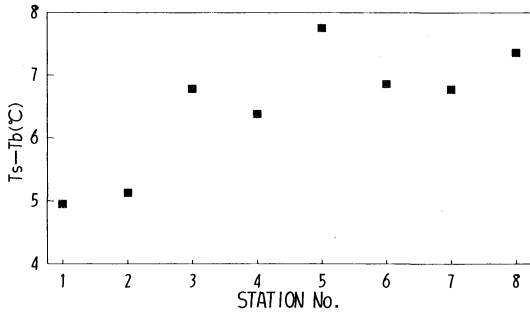
気温と遠隔森林表面温度の差が小さいと考えられる17時30分から22時の時間帯において観測地点毎に平均を求めた(第5図)。各測定地点における気温と遠隔森林表面温度の差を見ると、地点1以外は、±0.5°C以内の温度差であった。ここで、地点1の被写体は芝生であるのに対し、他の地点は樹木である。真木・黒瀬(1987)も、群落構造によりサーモグラフィによる種々の物体の葉面温度が異なることを示している。小林ほか(1991)は、サーモグラフィによる、夜間樹木の表面温度と気温との差は1.5°C以下であったのに対し、牧

草の表面温度は気温より低かったと報告している。このことから、夜間の気温の推定には樹木の表面温度を用いるのが適していると考えられる。

3.4 各種表面温度と気温の関係

17時30分から22時において、地点2から8までの近接葉面温度・近接路面温度・遠隔森林表面温度・遠隔路面温度と気温の差を平均した(第6図)。図からわかるように、気温と近接葉面温度について葉面温度の方が1°C以上大きい。また、遠隔森林表面温度と遠隔路面温度の気温との差、Tc-TaとTb-Taは、近接葉面温度と近接路面温度の気温との差、Tl-TaとTs-Ta、と比べて小さいことも第6図から読みとれる。この結果もサーモグラフィ装置で測定した夜間の樹木の表面温度は現地の気温とほぼ等しいとする黒瀬・林(1993)の観測に一致している。

遠隔森林表面温度ばかりでなく遠隔路面温度も差が小さいのは、遠隔路面温度といっても路面以外の葉面



第7図 観測地点による遠隔路面温度 (Tb) と近接路面温度 (Ts) の差 (1995年11月10日 17:30~22:00の平均値)。

も含んだ平均表面温度をとらえているためである。第7図を見ればわかるように、視射体の距離が離れば離れるほど(ここでは地点番号が大きくなる)、遠隔路面温度と近接路面温度の差が大きくなっている。これは先に述べたように距離が離れば離れるほど、放射温度計の観測エリア内に占める道路の割合が小さくなり、ほとんど樹木の温度を見ていることになるからである。

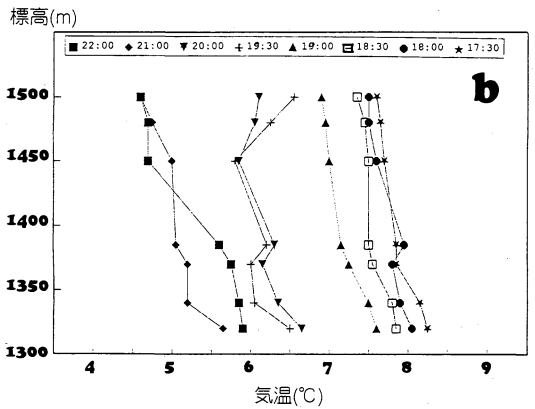
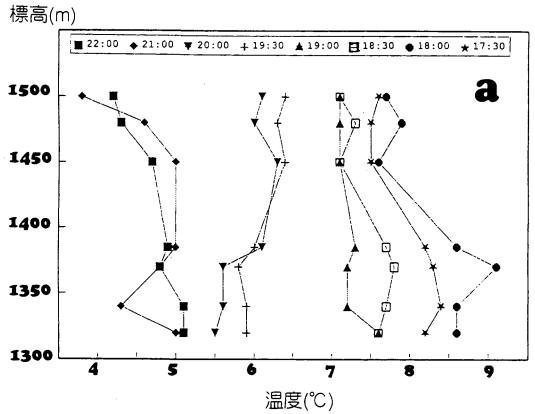
3.5 斜面沿いの温度高度分布

斜面に沿って得られた気温と遠隔森林表面温度の時刻別高度分布を第8図に示す。19時の気温と遠隔森林表面温度の高度分布はもっとも似ていた。19時以前の結果では、特に低い高度の地点で、遠隔森林表面温度は気温より高く、21時以後では逆に遠隔森林表面温度は全体に気温より低くなっている。高度分布の形は、19時以外は類似しているといいたい。

4. おわりに

以上述べたように斜面の気温が放射温度計による望遠表面温度で代替できるかということは、日没後から夜半にかけての時間帯を、そして対象物体に樹木葉面を選べば、±1°C以内になることがわかった。しかし、遠隔森林表面温度の高度分布から気温分布のパターンを推定するには無理であった。

人工衛星や飛行機で真上から斜面を観測する場合も同様な結果が得られるということではない。山地傾斜地における等温線は地表面に平行に走る(森ほか, 1983)。そのため、今回の観測のように水平方向に放射温度計を向ける場合、赤外線のパスに沿った温度差は小さく、その温度と斜面付近の気温も大きな差はないと考えられる。真上から観測すると、水平方向と比べ大きな温度勾配が存在するので、得られる放射温度は



第8図 斜面沿いの温度高度分布 (1995年11月10日) a: 遠隔森林表面温度, b: 気温。

遠くから観測すればするほど斜面付近の気温と異なる可能性が出てくる。このことに関して今後検討が必要であろう。

参考文献

小林 守, 1979: 熱映像による筑波山の温暖帯の測定, 天気, 26, 161-166.
 小林哲夫, 脇水健次, 大隅 徹, 1991: 赤外線放射温度計による局地気象解析, 第5回局地気象研究会講演要旨, 1-7.
 Kobayashi, T., M. Mori, K. Wakimizu and K. Takeshita, 1994: An observational study of a thermal belt on hillsides, J. Meteor. Soc. Japan, 72, 387-399.
 黒瀬義孝, 林 陽生, 1993: 四国地域を対象として熱画像情報による冬期・放射冷却条件下の気温分布の把握, 農業気象, 49, 11-17.
 黒瀬義孝, 林 陽生, 堀口郁夫, 1994: 四国西部の山間傾斜地に形成される斜面温暖帯の特徴, 農業気象, 50,

9-15.

榊原保志, 1994: 越谷市に見られるヒートアイランド強度一郊外が水田の場合一, 天気, 41, 515-523.

真木太一, 黒瀬義孝, 1987: 熱映像解析法による局地的表面温度分布の特性解明に関する研究, 四国農業試験場報告, 49, 59-78.

森 洋介, 近藤純正, 庄司邦彦, 佐藤 威, 安田延壽,

萩野谷成徳, 三浦 章, 山沢弘実, 川中敦子, 高手 進, 阿部愛美, 1983: 山地の夜間冷却と熱収支, 天気, 30, 259-267.

谷口龍司, 1995: 赤外放射温度計「サーモトレーサ」の測定原理と構成, 局地気象研究会講演論文集, 11, 1-10.

The Relationship between Surface Radiant Intensities of Forest and Air Temperatures on the Mountain Slope

Yasushi Sakakibara*

* Faculty of Education, Shinshu University, Nagano 380, Japan.

(Received 6 February 1997; Accepted 12 May 1997)

1997年度朝日賞の候補者推薦募集

この賞は1924（昭和4）年に朝日新聞社が創刊50周年を記念して創設したもので、我が国の様々な分野において、傑出した業績を上げ、文化・社会の発展、向上に貢献された、個人または団体に贈られる。今年も、朝日新聞社文化企画局「朝日賞」係より候補者の推薦依頼が気象学会にありました。

つきましては、一般会員の方に「朝日賞」の候補者としてふさわしい会員がいましたら部外賞推薦委員会

部外賞推薦委員会
宛に推薦ください。（締切8月20日（水）まで）

○推薦に当たっての提出書類その他、詳しいことは学会事務局に問い合わせ下さい。

日本気象学会 事務局

TEL 03-3212-8341 内線2546, 2547.

FAX 03-3216-4401