農業気象 (*J. Agr. Met.*) 48 (1): 1-10, 1992

北海道赤井川盆地における日最低気温 および日最高気温と標高の関係

青木正敏¹⁾・細野達夫^{1)*}・谷 宏¹⁾・松村伸二²⁾

(¹⁾北海道大学農学部
(²⁾香川大学農学部)

Relationships between Elevation and Daily Minimum and Maximum
Air Temperatures on the Slopes of the Akaigawa Basin, Hokkaido

Masatoshi AOKI¹⁾, Tatsuo HOSONO^{1)*}, Hiroshi TANI¹⁾ and Shinji MATSUMURA²⁾

(¹⁾ Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)
(²⁾ Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki-cho, Kida-gun,
Kagawa 761-07, Japan)

In basins, information on long-term air temperature is useful for farming. In the present study, air temperatures at 1.5 m were measured every 10 minutes at various elevations on the slopes of a caldera basin (Akaigawa Basin, Hokkaido) during 2 periods (July to October 1987 and May to October 1988).

The relationships between elevation and daily minimum and maximum air temperatures at 1.5 m were analyzed. Since the relationships had small regional differences, and were approximately linear relationship, the daily minimum and maximum air temperatures at any elevation in the basin could be estimated using gradients of air temperature to elevation (air temperature gradient) and the daily minimum and maximum air temperatures at a particular site.

In order to estimate the gradients, multiple regression models were tested which include various meteorological elements as independent variables. The best model for the minimum air temperature gradient (A_n , °C/100m) is as follows, where the independent variables are daily minimum air temperature (T_n , °C) and mean water vapor pressure (VP_n , mb), accumulated radiation heat loss (R_n , kWh/m²) and wind speed (W_n , m/s) during night time, as measured at the bottom of the basin.

$$A_n = -0.198T_n + 0.107VP_n + 2.11R_n - 0.298W_n - 0.116$$

This regression model explains 77% of the variation in the daily minimum air temperature gradient, and its standard estimate error (0.5°C/100m) is equivalent to 10% of the gradient range. For the daily maximum air temperature gradient, an adequate regression model was not found by the independent variables tested.

Other results suggested that the daily minimum air temperature gradient at the Akaigawa Basin can also be predicted from the air temperature gradient of the lower atmosphere in Sap-

1988年4月13日, 1989年7月26日 全国大会にて発表
1991年7月17日 受付, 1992年3月6日 受理

*現在: 農林水産省農業環境技術研究所

〒305 茨城県つくば市観音台

Present address: National Institute of Agro-Environmental
Sciences, Tsukuba 305, Japan

poro (about 70 km distance from Akaigawa Basin) which is calculated by the aerological data reported at 21:00 (observed at about 20:30) of the previous night.

Key words: Air temperature, Elevation, Air temperature gradient.

キーワード: 気温, 気温傾度, 標高

はじめに

温度環境の形成に地形や標高が大きな影響を与えることは古くから知られている。近年では、改良山成工で造成された盆地状の茶園で、斜面上の気温分布を観測し、夜間の放射冷却時の最低気温が低標高においてほど低いことを示した鈴木ら(1982)の研究がある。本研究の観測場所である赤井川盆地でも、夜間冷却のメカニズムに関する研究が播磨屋ら(1985)によって行われている。Laughlin and Kalma (1987)は起伏のある広範囲の場所ですべての最低気温と標高および気象条件との関係を調べ、その関係の重回帰式によって最低気温を推定し、霜害危険地帯の評価に役立てようとした。

農業にとっては、最低気温のみならず昼間の温度についても、長期間の観測に基づいた気候的な温度環境を把握することが重要であると考えられる。

しかし、複雑地形の下での長期的な温度環境についての研究あるいは情報はほとんどない。電源の得られない山間部において、気温を長期間連続して測定することが困難なことが、そのような研究や情報の少ない一因であろう。

本研究では、盆地内における温度環境の長期間にわたる特徴を明らかにし、盆地内の温度環境評価を行うことを目的として、典型的なカルデラ盆地である北海道赤井川盆地において、長期間の観測を2年間にわたって行った。このデータを用いて、①標高と日最低気温および日最高気温との関係、②その関係におよぼす放射、風速、および湿度など他の気象要素の影響、③盆地の気温傾度におよぼす大気層の気温減率の影響について考察した。

1. 研究方法

1.1 観測場所

観測場所の赤井川盆地は、東経約 $140^{\circ} 49'$ 、北緯約 $43^{\circ} 05'$ を中心に位置し、札幌市中心部から西の方位に直線距離で約 70 km 離れている。盆地底部の標高は約 140 m であり、盆地底部との比高が 250~300 m の峰で囲まれ、盆地底部の比較的平坦な部分の直径が約 5 km のすりばち状をした典型的なカルデラ盆地である (Fig. 1 参照)。盆地底部および盆地内の種々の標高の傾斜面

Fig. 1. Observation points in the Akaigawa Basin.

Table 1 Elevations of observation points

Continuous observation point	Elevation (m)	Traveling observation point	Elevation (m)
B1	345	W1	150
B2a*, B2b**	145	W2	165
K1	320	W3****	155
K2	300	W4	160
K3	260	W5	225
K4	240	E1	140
K5	215	E2	155
K6	180	E3	175
K7	165	E4	200
K8***	135	E5	215
K9****	135	S1	145
		S2****	135
		S3****	135
		S4****	135

* : observed in 1987

** : observed in 1988

*** : observed only in 1987

**** : the observation point is surrounded mainly by rice paddy fields

には農地が広く分布している。

1.2 観測方法

1.2.1 連続観測

1987年7月～10月および1988年5月～10月の間、赤井川盆地において気象要素の連続測定を行った。測定地点の位置をFig. 1に、その標高をTable 1に示す。測定場所および測定項目を以下に示す。

(1) 峠および盆地底部

100 V交流電源が得られた峠(B1地点、冷水峠、標高：345 m)および盆地底部(B2a 地点(1987年)、B2b 地点(1988年)、標高：145 m)においては、以下に示す項目を測定した。これら観測地点は雑草地であり、秋には20～50 cmの草丈まで生長していた。測定は10分間隔で行い、瞬時値を多チャンネルデータロガー(バブルカセット式)に記録した。

①気温・湿度：地上1.5 mの高さで、自作したT型熱電対式通風乾湿温度計により測定した。

②夜間の地面放射による熱損失量：地上1.3 mに設置した通風式風防型純放射計(英弘精機製、CN11型)により測定した。なお、純放射計のセンサの下部には、下向き放射量を測定する際に取り付けられる金属製のカップを取り付けた。カップ内の表面温度が地表面の放射温度を代表していると仮定して、純放射計のセンサの出力を地表面の放射による熱損失量として用いた。下側にカップを取り付けない場合は、純放射計を設置した場所の局所的な地表面の状態の影響を強く受ける。今回の測定では、できるだけ平均的な代表性のある熱損失量を測定す

ることを測定目的としたために、下側にカップを取り付けて測定することとした。

③風速：地上6 mの高さに設置した光電式3杯風速計(牧野応用測器製)により測定した。ただし、1988年の峠においては超音波式風速計(海上電機製)を地上3 mの高さに設置して測定し風速の10分間平均値を記録した。

④日射量：地上1.5 mの高さに設置した、全天日射計(英弘精機製、MS-42型)により測定した。ただし、1988年の峠においては測定しなかった。

(2) K1～K9地点

峠と盆地底部を結ぶ傾斜面の道路に沿って、9つの気温測定点(K1～K9)を設け、気温(測定高さ：1.5 m)を測定した。測定地点としては、道路の影響が少なく、その標高の気象条件を代表するような、開けた雑草地を選んだ。B1、B2a および B2b 地点での測定と同時刻の気温を、以下に述べる自作の通風温度計を用いて測定し、データロガー(コーナシステム製、SENSOR MEMORY KADEC-U型)で瞬時値を記録した。ただし、1988年にはK8地点を除く計8地点で測定を行った。

K1～K9地点では、100 V交流電源が得られなかったため、温度計の通風ファンの電源として12 V(50 A・h)のカーバッテリーを用いることとした。そこで、通風ファンの消費電力が小さくて気温を精度よく測定できる温度計について検討した(細野ら、1988)。その結果、表面をアルミニウム薄膜で被覆した塩化ビニル樹脂製の2重の通風筒を用い、センサに2.0 mm直径のサーミスタを用いると、約1.5 m/sという比較的小さな通風速度で、約0.1℃の精度が得られた。この場合、消費電力は約0.3 Wであり、約2週間にわたりカーバッテリーを交換することなく連続測定が可能であった。

1.2.2 移動観測による気温の測定

1987年9月中旬から10月初旬にかけての晴天日の7日間について、Fig. 1に示すE1～E5、W1～W5およびS1～S4の計14地点においてアスマン通風乾湿計3台を用いて、1.5 m高さの気温の移動観測を行った。この測定は、盆地内での場所的な気温の差異があるか否かを検討することを目的とした。

1.2.3 気球観測

1987年の9月中旬～10月上旬、1988年の9月下旬～10月下旬の期間のよく晴れた日に、盆地底部において、温度センサとデータロガーを吊り下げた係留気球によって、夕方から翌日の午前中までの間の気温の鉛直分布測定を行った。感部に直径約2 mmのサーミスタを用いた通風温度計をセンサに使用し、KADEC-Uをデータロガーに用いた。測定は1時間おきに1回ずつ行い、測定高度は地上から60～150 mまでの7～9高度であった。

毎回、地表面より測定を開始し、順次高度を上げて測定することとした。全高度をひととおり測定するには15分間程度を要した。実施日数は、1987年が7日間、1988年が5日間であった。

1.3 解析方法

1.3.1 気温測定値の扱い

連続観測された気温データは、10分間隔で測定された瞬時値であるが、微変動があったので毎30分間の平均を求め、以下の解析に用いる気温としてはその平均値を用いた。以後、気温と述べた場合には、地上1.5mの30分平均気温を示すこととする。

1.3.2 日最低気温出現時および日最高気温出現時の算出

観測された全ての日について、各気温測定点（峠、盆地底部およびK1～K9）の日最低気温および日最高気温を求めた。ただし、日最低気温は02時00分から06時30分の間、最高気温は11時00分から15時30分の間から求めた。なお、日最高気温および日最低気温の出現時刻が測定地点によって1～2時間のずれがあった。そこで、各日について、最も多くの地点で最低気温および最高気温の出現する時刻を、それぞれ最低気温出現時および最高気温出現時とし、以下の解析を行った。なお、K4地点の近くでは、1988年春から建設工事が行われ、周辺が裸地化した。このためか、1987年の結果と著しく異なった温度の傾向を示した。そこで、1988年については、この地点のデータを除外して解析した。

1.3.3 降雨の影響を受けた測定データの除外

日最低気温出現時および日最高気温出現時から起算してその前の約12時間の間に降雨があったと思われる場合には、そのデータを以下の解析の対象から除いた。

1.3.4 気温傾度の算出

連続観測によって得られた各測定地点の気温を基に、日最低気温出現時および日最高気温出現時について、気温傾度を算出した。気温傾度(A)とは標高(H , m)の変化量に対する気温(T , °C)の平均変化量の割合であり、 $A = \Delta T / \Delta H$ で表わされる。 A の単位は°C/mである。ただし、 A の値が小さいので、本報では気温傾度の単位として°C/100mを用いることとした。気温傾度の符号は、気温減率の符号とは逆である。

1988年については、日最低・日最高気温出現時以外に、08時30分および20時30分の気温傾度を計算した。08時30分および20時30分という時刻は、札幌管区気象台でラジオゾンデによる高層気象観測が開始され、地表から地上200mまでの気温の測定値が得られる時刻に相当する。なお、これらのデータは09時または21時の札幌の高層気象観測データとして発表される。

1.3.5 札幌の気層の気温傾度の算出

札幌管区気象台で観測された09時または21時発表の高層気象データの気温データにより気層の気温傾度を計算した。気層の気温傾度の計算に用いた気温データは、1987年では同観測地点の地上気温と1000mb（測高公式により高度を計算。約200～500m）の気温との2つであった。1988年からは高度別にデータが記録されるようになったので、同観測地点の地上気温と高度100mおよび200mの気温の3点を用いて気層の気温傾度を計算した。なお、200mという高さは赤井川盆地の盆地底部と盆地周辺の峰との標高差にほぼ相当する。前述のように、これらの気温データは約08時30分または約20時30分に測定されるデータである。

1.3.6 各気象要素の算出

峠および盆地底部の測定データを用いて、日没時刻から日最低気温出現時までの間の放射による熱損失量の積算値(R_n , kWh/m²; 以後、これを放射損失量と称する)を求めた。さらに、日没時刻から日最低気温出現時までの風速の平均値(W_n , m/s; 以後、これを風速と称する)、以下同じ時間帯の水蒸気圧の平均値(VP_n , mb; 以後、これを水蒸気圧と称する)、相対湿度の平均値(RH_n , %; 以後、これを相対湿度と称する)および飽差の平均値(VD_n , mb; 以後、これを飽差と称する)を求めた。これらに日最低気温出現時における気温(30分平均値: T_n , °C)を加えた合計6要素を日最低気温出現時における気温傾度に影響を及ぼす気象要素として、回帰分析に用いた。

また、日最高気温出現時における気温傾度に影響を及ぼす気象要素として、以下の6要素を回帰分析に用いた: 日最高気温出現時の1時間前から最高気温出現時までの日射量の積算値(I_d , kWh/m²)および風速の平均値(W_d , m/s)、日の出から最高気温出現時刻までの水蒸気圧の平均値(VP_d , mb)、以下同じ時間帯の相対湿度の平均値(RH_d , %)および飽差の平均値(VD_d , mb)、日最高気温出現時における気温(T_d , °C)。

2. 結果および考察

2.1 盆地内の日最低気温および日最高気温と標高との関係の特徴

2.1.1 日最低気温

降雨があったと思われる日以外の夜間（1987年は80日間、1988年は149日間）について、日最低気温出現時の気温と標高の関係を調べたところ、両年ともほとんどの日において直線関係とみなしてもよいと考えられる結果を得た。この結果は鈴木ら（1982）の結果と同様である。その一例をFig. 2に示す。直線回帰式による気温推

定の標準推定誤差が1℃をこえたのは1987, 1988年ともに3夜間ずつ、合わせて6夜間だけであった。また、Fig. 2のようなグラフ上において、明らかに直線とは異なったのは、両年合わせて229夜のうち20夜間であった。従って、降雨日以外の日最低気温出現時においては、気温傾度によって盆地内の標高と気温の関係を表わせると考えられる。なお、盆地などの傾斜面において、晴天夜間に、斜面の温暖帯が形成されることが知られている。吉野(1986)は斜面の温暖帯の観測報告例をまとめて示している。今回の観測結果では、明確に斜面の温暖帯と判断できた例は観測されなかったが、その原因は明らかではない。しかし、その原因の1つとして考えられることは、この盆地底部と周囲の峰との比高が250～300m

Fig. 2. Relationships between elevation and daily minimum air temperature on the slope of K1 ~ K9.

r : correlation coefficient

Fig. 3. Relationships between elevation and daily minimum air temperature at the sites of K1 ~ K9 (■), E1 ~ E5 (◆), W1 ~ W5 (◇) and S1 ~ S4 (□).

Broken lines show the trend curves and straight lines show the regression lines.

であり、比高が比較的低い斜面であったことがあげられる。

移動観測地点(E1～E5, W1～W5, S1～S4地点)および連続観測地点(K1～K9地点)での1.5m高さの気温と標高の関係の数例をFig. 3に示す。なお、移動観測地点での観測は約2時間毎に行ったため、日最低気温出現時の気温を必ずしも測定することはできなかった。そこで、移動観測地点と連続観測地点の気温の比較を行う場合には、日最低気温出現時に最も近い時刻の気温測定データを選んで検討を行うこととした。Fig. 3中の傾向線で示されるように、移動観測で得られた標高と気温の関係は連続観測地点の関係と大きな差異はないと考えられる。従って、この盆地内での場所的な違いによる標高と気温の関係の相違は少ないものと判断される。

2.1.2 日最高気温

日最高気温の場合にも、降雨があったと思われる日以外の日(1987年が76日間、1988年が156日間)について、気温と標高の関係を調べたところ、標高と日最高気温の関係は直線と見てもよいと考えられる日がほとんどであった。直線回帰式による気温推定の標準推定誤差が1℃をこえたのは、1987年が1日、1988年は2日のみであった。従って、日最高気温出現時の場合にも、気温傾度によって盆地内の標高と気温の関係を表わすことができると考えられた。K地点とE, WおよびS地点の差異を調べたが、日最低気温の場合と同様に、測定場所による日最高気温の差異は少なかった。このことから、気温傾度と盆地内の1カ所の気温測定値があれば盆地内の

各標高の気温の推定が可能と考えられる。

2.2 気温傾度と気象要素の関係

2.2.1 日最低気温出現時

降雨日のデータ，直線回帰式による気温推定の標準推定誤差が1℃をこえたデータ，および1℃以下でも標高と気温の関係が明らかに直線とみなせないデータを除いて，気温傾度の時期的変化および気温傾度と気象要素との関係を調べた。解析に供した日数は，1987年が72夜間，1988年が131夜間であった。

(1) 気温傾度の時期的変化

Fig. 4-(a)に気温傾度の出現頻度を示す。1987年は気温傾度の平均は $0.2 \pm 1.1^\circ\text{C}/100\text{m}$ ，変化範囲が $-1.2 \sim 3.8^\circ\text{C}/100\text{m}$ ，1988年は平均が $0.2 \pm 0.9^\circ\text{C}/100\text{m}$ ，変化範囲は $-1.1 \sim 3.3^\circ\text{C}/100\text{m}$ であった。気温傾度が正の値，すなわち気温の分布が逆転状態であったのは，1987年では36夜間，1988年では78夜間であった。時期別にみると，気温傾度が正となる日の割合が最も高いのは9月11日から観測終了日(1987年は10月15日，1988年が10月28日)までの時期であった。1988年のみの観測であったが，5月15日～7月9日の期間にも強い気温逆転を示す日が多く出現していた(Fig. 4)。

(2) 気温傾度と気象要素との関係

前節において，日最低気温出現時における気温傾度は日々変化することが示された。日々の気温傾度が盆地内の一ヶ所で観測された気象要素で推定できれば，その気温傾度とある標高の一ヶ所の気温によって盆地内の種々

Fig. 4. Histogram of air temperature gradient at the time when daily minimum (a) and daily maximum (b) air temperatures occurred.

Table 2 Correlation coefficient between daily minimum air temperature gradient on the slope and meteorological variables during night time at B1 and B2 sites

Meteorological variable	Measuring site					
	B1			B2 (B2a, B2b)		
	(1) Jul. 10~ Oct. 15, 1987	(2) May 29~ Oct. 27, 1988	(1)+(2)	(1) Jul. 10~ Oct. 15, 1987	(2) May 29~ Oct. 27, 1988	(1)+(2)
R_n	0.74	0.66	0.70	0.78	0.63	0.69
W_n	-0.33	-0.18	-0.28	-0.48	-0.38	-0.42
T_n	-0.52	-0.38	-0.45	-0.77	-0.68	-0.71
VP_n	—	-0.36	—	-0.60	-0.53	-0.56
RH_n	—	-0.23	—	0.47	0.46	0.44
VD_n	—	-0.01	—	-0.49	-0.40	-0.42
sample size	61	84	147	51	107	158

R_n : accumulated radiative heat loss (kWh/m^2)

W_n : mean wind speed (m/s)

T_n : daily minimum air temperature ($^\circ\text{C}$)

VP_n : mean water vapor pressure (mb)

RH_n : mean relative humidity (%)

VD_n : mean vapor pressure deficit (mb)

(suffix n shows during night time)

の標高の日最低気温出現時の気温を推定することが可能となろう。そこで、日最低気温出現時における気温傾度を推定するために、気温傾度を従属変数とし、峠および盆地底部で測定された気象要素を独立変数とする重回帰分析を行った。日々の気温傾度をきめているメカニズムについては明らかにされていないので、単純な線形回帰モデルで日々の気温傾度が推定できるか否かを検討することにした。この回帰分析の結果をTable 2に示す。気温傾度と気象要素との単回帰では、全体的に盆地底部で測定された気象要素の方が峠でのものより相関係数が大きかった。1987年および1988年における気温傾度と放射損失量との相関係数(r)は0.63~0.78であり、強い相関を示した。Table 2に示したその他の気象要素と気温傾度との相関係数の絶対値は0.01~0.77の範囲であった。

兩年について、盆地底部で測定された放射損失量と気温傾度の関係をFig. 5に示す。放射損失量と気温傾度との関係は、風速によって区別して分析すると明瞭な差異が認められた。風速が弱い場合ほど相関が強く、かつ放射損失量に対する気温傾度の傾きが急であることが分った。また、放射損失量と気温傾度の関係および風速と気温傾度との関係はほぼ1次的な関係にあるとみなしてよいと考えられた。気温傾度は、この他の気象要素ともほぼ一次的な関係にあるとみなしてよいと考えられた。このことから、従属変数に複数の気象要素を用いた重回帰式により、気温傾度を推定できることが推察される。

そこで、気温傾度と盆地底部(B2a地点およびB2b地点)で測定された気象要素との重回帰分析を行った。まず、日最低気温出現時の気温(T_n)に他の気象要素を加えたものの中で最も相関係数が大きくなるような重回帰式を選択した。この結果をTable 3に示す。気温は気温傾度による盆地内の気温推定の際には、少なくとも1カ所において測定されるべき要素であるからである。1987年だけのデータ、1988年だけのデータをそれぞれ用いた重回帰を行うと、いずれの年も、2変数では T_n と水蒸気圧(VP_n)を含む

もの、3変数ではそれに放射損失量(R_n)を加えたもの、4変数ではさらに風速(W_n)を加えた重回帰式が最も相関係数が大きくなった。5変数以上では、独立変数を増やしても、いずれの変数も5%危険率で有意ではなかった。

1987年と1988年とでは相関図におけるデータの分布には大きな相違はみられなかったので、1987年と1988

Fig. 5. Relationship between radiative heat loss of the ground during night-time and air temperature gradient at the time when daily minimum air temperature occurred.

Table 3 Multiple correlation coefficient between daily minimum air temperature gradient and meteorological variables.

In the table, the best set of independent variable (s) was chosen which results the highest multiple correlation coefficient. Symbols are shown in Table 2. The meteorological variables were measured at the sites of B2a (1987) and B2b (1988)

Number of variables	(1) Jul. 10~ Oct. 15, 1987	(2) May 29~ Oct. 27, 1988	(1)+(2)
1 variable (r)* [SEE]**	T_n (.77) [.87]	T_n (.68) [.66]	T_n (.71) [.74]
2 variables (r) [SEE]	T_n, VP_n (.84) [.73]	T_n, VP_n (.76) [.59]	T_n, VP_n (.79) [.64]
3 variables (r) [SEE]	R_n, T_n, VP_n (.91) [.58]	R_n, T_n, VP_n (.81) [.53]	R_n, T_n, VP_n (.85) [.55]
4 variables (r) [SEE]	R_n, W_n, T_n, VP_n (.92) [.53]	R_n, W_n, T_n, VP_n (.85) [.48]	R_n, W_n, T_n, VP_n (.88) [.50]

* r : multiple correlation coefficient

** SEE : standard error of estimate (°C/100m)

年のデータを一緒に用いた重回帰を行った。この結果でも、最もよい相関係数となる重回帰式に含まれる独立変数は上記の各年毎の結果と全く同じであった。その2変数と3変数による重回帰式における相関係数は、それぞれ0.79および0.85であり、気温傾度推定の標準誤差はそれぞれ0.64および0.55℃/100mであった。気温(T_n , °C)に水蒸気圧(VP_n , mb), 放射損失量(R_n , kWh/m²), 風速(W_n , m/s)を加えた4変数の式(1987年および1988年のデータを一緒に用いての結果)による気温傾度推定の標準推定誤差は0.5℃/100mであり、前述の気温傾度の変化範囲の10%である。その重回帰式は次式のようである。

$$A_n = -0.198T_n + 0.107VP_n + 2.11R_n - 0.298W_n - 0.116 \quad (1)$$

ここで、 A_n は日最低気温出現時の気温傾度(℃/100m)を示す。

気温(T_n)を必ず含むという条件を無くして、気温傾度と盆地底部で測定された他の気象要素との重回帰も行った。その結果、単年毎のデータおよび両年のデータについて、5変数以上に独立変数を増やしてもいずれの変数も5%危険率で有意ではなかった。2変数の場合は放射損失量(R_n)と相対湿度(RH_n)という変数の組合せが最も重相関が高かった(重相関係数: 0.83)が、3変数と4変数では T_n を含む変数の組合せ(Table 3に示す変数の組合せ)が最も重相関が高かった。

峠で測定された気象要素を用いての重回帰も行った。1987年、1988年および両年のデータを一緒に用いて重回帰を行ったところ、最も相関係数が大きかったものは、1変数では放射損失量(R_n), 2変数では放射損失量(R_n)と風速(W_n)という結果であった。それより変数を増やしてもいずれの変数も5%の危険率で有意ではなかった。1987年と1988年のデータを一緒に用い、放射損失量(R_n)と風速(W_n)を独立変数とする重相関係数は0.76、標準推定誤差は0.70℃/100mであり、気温傾度の変化範囲の14%であった。この値は(1)式による推定誤差の約1.4倍である。

以上のことから、日最低気温の気温傾度を推定するには、盆地底部での気象要素を用いるのがよいこと、さらに放射損失量、風速、気温、水蒸気圧の4気象要素によって推定することが適当であることが考えられる。

2.2.2 日最高気温出現時

降雨日のデータと直線回帰式による気温推定の標準推定誤差が1℃をこえたデータを除いて、気温傾度の時期的変化および気温傾度と気象要素との関係を調べた。解析に供したデータは、1987年が75日間、1988年が154日間のデータである。

(1) 気温傾度の時期的変化

Fig. 4-(b)に、1987年および1988年の2カ年の測定結果に基づく、日最高気温出現時の気温傾度の出現頻度(日数)を示す。1987年においては、気温傾度の平均が -0.69 ± 0.48 ℃/100m、変化範囲は $-1.8 \sim 0.53$ ℃/100m、1988年においては、平均が -0.76 ± 0.54 ℃/100m、変化範囲は $-2.3 \sim 0.48$ ℃/100mであった。平均は1987年と1988年で若干異なった。これは、1987年は夏期に曇天日が多く、1988年では比較的晴天日が多かったという気象状態の差異にもとづくものであろう。気温傾度の平均値は乾燥断熱減率(すなわち、 -1.0 ℃/100mの気温傾度)と湿潤断熱減率(すなわち、 -0.5 ℃/100mの気温傾度)の中間的な値であり、また、一般に気候学的にいわれる気温減率(すなわち、 -0.6 ℃/100mの気温傾度)に近い値であり、最低気温出現時の場合に比較して変化範囲は小さく、また季節的に変化する傾向も認められなかった。

(2) 気温傾度と気象要素との関係

日最高気温についても、気温傾度を推定するために、気温傾度と気象要素との回帰分析を行ったところ、相関係数は0.02~0.55の範囲であり、日最低気温の場合と比べて気温傾度と相関の強い気象要素は特になかった。重回帰分析も行ったところ、重相関係数は、2変数では0.58、3変数では0.63、4変数では0.65であった。従って、今回検討した気象要素による重回帰式によって気温傾度の変化を十分に説明することはできないことがわかった。

2.3 赤井川盆地における気温傾度と札幌の気層の気温傾度の関係

夜間の気温は放射冷却の強さに大きく影響されるが、標高が異なった場所の気温はそれに接する大気層の温度にも影響されると考えられる。そこで、盆地内の気温傾度と大気層の気温傾度との関係を調べた。

まず赤井川盆地における、気温傾度と、気球観測によって得た地上から約150m高さまでの7~9地点の気温をもとに計算して得た接地大気層の鉛直気温傾度(以下、気層の気温傾度と述べる)とを比較した。Fig. 6は赤井川盆地について、気温傾度と気層の気温傾度の関係を示したものである。データはすべて、風が弱く晴天の日のものである。1987年と1988年における両者の関係の差異はほとんど認められなかった。気温傾度と気層の気温傾度との相関係数は0.97であり、極めて相関が強かった。従って、9月から10月の静穏な晴天夜間については、日最低気温出現時の気温傾度と気層の気温傾度とは、年度が違っても、ある一定の直線関係上にあると判断できる。

Fig. 6. Relationships between air temperature gradient on the slope (Y) and air temperature gradient of the lower atmosphere (X) in the Akaigawa Basin.

次に、北海道が広く高気圧におおわれていた場合などのように、同じ気団の中の地点である場合、赤井川盆地と札幌間(約 70 km)程度の距離であれば、気層の温度成層状態(すなわち気層の気温傾度)には大きな差異はないと推察される。そこで、札幌管区気象台の高層気象データの最下層部分から求めた札幌の気層の気温傾度と気球観測のデータから求めた赤井川盆地における気層の気温傾度とを比較した。札幌管区気象台の高層気象観測は、毎日 20 時 30 分および 08 時 30 分頃に開始され、高度 200 m 以下の気温は開始後数分以内に測定される。そこで、赤井川盆地の傾度の値はそれに最も近い時刻の気球観測のデータを用いて計算した。1987 年については、相関係数は 0.75 であり、両者は密接な関係にあることが分った (Fig. 7-(a) 参照)。なお、この場合、札幌より赤井川盆地の気層の方が逆転状態がやや強い傾向が認められた。これは、いわゆる盆地冷却により赤井川盆地の方が逆転状態が強められたためと推察される。ただし、札幌管区気象台は都市気候の影響を受けていることも考えられ、札幌での気層の逆転状態が弱められた影響も考えられる。

以上の結果から、札幌の都市気候の影響が考えられるものの、赤井川盆地における気温傾度と札幌における気層の気温傾度との間にも密接な関係があることが推察される。そこで、初霜害などが問題となる 9 月および 10 月 (1988 年) について、赤井川盆地の気温傾度と札幌の気層の気温傾度との関係を調べた。21 時の天気図から、札幌および赤井川盆地が高気圧におおわれていた日について、20 時 30 分の両者を比較した。これを Fig. 7-(b) に示す。上空 200 m の風速は両者の関係に影響を及ぼさないと判断され、両者の間には比較的強い相関 (相関係数, 0.77) が認められた。

さらに、20 時 30 分における札幌の気層の気温傾度と翌朝の赤井川盆地の最低気温出現時における気温傾度を

Fig. 7. Relationships between air temperature gradient of the lower atmosphere above Sapporo (X) and air temperature gradient on the slope (Y) and of the lower atmosphere (Y') in the Akaigawa Basin.

(a) : X vs. Y' at the same time in September ~ October, 1987

Y' shows the air temperature gradient of the lower atmosphere above the Akaigawa Basin.

(b) : X vs. Y at 20:30 in September ~ October, 1988

(c) : X at the time of the minimum air temperature occurred vs. Y at 20:30 of the previous day (September ~ October, 1988)

r : correlation coefficient

see: standard error of estimate.

Wind speed is measured at 20:30 at 200 m above Sapporo.

比較したところ、相関係数は0.71であり、やや強い相関が認められた (Fig. 7-(c) 参照)。この回帰直線式を以下に示す。この場合も、上空 200m の風速の影響は少ないものと判断された。

$$A_n = 1.27 \cdot A_{sap} + 0.77 \quad (2)$$

ここで、 A_n は赤井川盆地の最低気温出現時における気温傾度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) を、 A_{sap} は札幌の 20 時 30 分における気層の気温傾度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) を示す。

この回帰式による気温傾度の標準推定誤差は $0.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であった。このことから、札幌と赤井川盆地を含む広い範囲が高気圧におおわれているときには、20 時 30 分の札幌の気層の気温傾度により赤井川盆地の翌朝の日最低気温出現時の気温傾度が推定でき、赤井川盆地に 1 カ所の気温測定点があれば盆地内の各標高のおよその気温が推定できると考えられる。

ま と め

2 シーズンにわたる、赤井川盆地での長期観測から、盆地内の標高による温度環境の相違に着目して考察し、以下の結果を得た。

① 同一標高であれば、盆地内での場所的な気温の差異は少ない。

② 赤井川盆地内の気温は標高に対してほぼ直線的であり、この傾度 (すなわち気温傾度) と盆地内の 1 地点の気温測定値とから盆地内の各標高の場所の気温推定が可能であることが示された。

③ 日最低気温出現時において、特に 9 月から 10 月の初霜期の気温は逆転状態であることが多かった。一方、最高気温出現時における気温傾度は一般にいわれる気温減率 (すなわち $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の気温傾度) に近い値のことが多かった。

④ 日最低気温出現時においては、重回帰式 ((1) 式) により、全体の気温傾度変化幅に対する 10% の標準推定誤差で気温傾度の推定が可能である。この推定に用いる気象要素としては、カルデラ盆地周辺の峰での測定値よりも盆地底部での測定値を用いた方がよいと考えられた。他方、日最高気温については、気温傾度と気象要素との相関は弱く、気象要素によって気温傾度を推定することは難しいと考えられた。

⑤ 日最低気温出現時の盆地内の気層の気温傾度と斜

面上の気温傾度との相関は強い (相関係数: 0.97) ことが分った。

⑥ 札幌の高層気象データを用いて赤井川盆地の気温傾度を推定する方法 (回帰式、(2) 式による) の標準推定誤差は、 $0.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であり、この値は 9 月から 10 月の気温傾度の変化範囲の約 20% であった。④ の場合の精度と比べてよくなかったが、21 時発表の札幌管区気象台の高層気象データを利用して翌朝の最低気温出現時の気温傾度のおよその値を推定できる点で優れている。

以上で得られた、赤井川盆地における日最低気温および日最高気温と標高の関係は、赤井川盆地の温度環境を把握するための、有用な資料となろう。今後の検討により、日最低気温の気温傾度を用いて、同盆地内の霜害危険地帯の評価などを行えると考えられる。この点については別報で報告したい。

謝 辞

北海道大学農学部農業物理学講座教授、堀口郁夫先生には研究の機会を与えて頂き、また有益な助言を頂いた。松岡延浩、廣部明泰、宇山顕、川手健次郎君をはじめとする同講座の学生諸氏には観測などを通じて大変な御尽力を頂き、また赤井川村役場からは種々の御協力を頂いた。特に、同役場の大山正紀氏には観測時の宿泊所を提供して頂いた。ここに感謝の意を表する。

引用文献

- 播磨屋敏生・真木雅之・菊地勝弘・谷口 恭・大平貴裕・吉弘雅士, 1985: 北海道赤井川盆地における夜間冷却の観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **45**, 29-41.
- 細野達夫・廣部明泰・青木正敏, 1988: 気温測定における放射除け・通風筒の種類及び形状と測定誤差, 農業気象, **44**, 215-218.
- Laughlin, G. P. and Kalma, J. D., 1987: Frost hazard assesment from local weather and terrain data. *Agricultural and Forest Meteorology*, **40**, 1-16.
- 鈴木義則・佐藤正一・川尻佳合, 1982: 暖地の凍霜害・寒害と地形気象(1) 宇部小野茶園における最低気温分布, 農業気象, **37**, 289-295.
- 吉野正敏, 1986: 冷気湖, 新編小気候(吉野正敏著) 地人書館, 東京, 269-280.