HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道地方における夜間冷却量の空間分布
Author(s)	真木, 雅之; 播磨屋, 敏生
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 43, 1-15
Issue Date	1984-03-10
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.43.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14120
Type	departmental bulletin paper
File Information	43_p1-15.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
Vol. 43. March, 1984, p. 1−15.

北海道地方における夜間冷却量の空間分布

真木　雅之・播磨屋敏生
北海道大学理学部地球物理学教室

（昭和58年12月3日受理）

Spatial Variations of Nocturnal Cooling on Hokkaido Island

By Masayuki MAKI and Toshio HARIMAYA
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received December 3, 1983)

Spatial distribution of daily nocturnal cooling on Hokkaido Island was studied by principal component analysis (PCA). The analysis was based on the AMeDAS data recorded at 162 stations in 3 winters (6 months) from 1980 to 1982. The characteristic features of eigen vector elements of each principal component were as follows :

(1) The first principal component showed "mean type" pattern of nocturnal cooling distribution, *i. e.*, values of all eigen vector elements were positive and the greatest values were found at stations which were located in the inland especially among the mountains. This means that large nocturnal cooling may be observed at such stations. The first principal component accounted for 47.1% of the total variance of nocturnal cooling.

(2) The second principal component showed a contrast in nocturnal cooling between the Japan Sea side and the Pacific side. This pattern may be reflected by the well known climatic conditions under northwesterly monsoon in winter. The second principal component accounted for 18.2% of the total variance of nocturnal cooling.

(3) The third principal component showed a contrast in nocturnal cooling between Northern and Southern Hokkaido, and accounted for 5.2% of the total variance of nocturnal cooling.

(4) For each principal component, the absolute values of eigen vector elements were large at stations located among the mountains. This suggests that strong nocturnal cooling occurs such stations in comparison with stations which are located in the plain areas or the seaside areas.

Topographical conditions of each station were classified generally into three categories ; "mountainous area", "plain area", "seaside area". Extreme nocturnal cooling values observed at each station were chosen, its dependence on the wind speed near the surface was studied and the following facts were found.

(1) Generally, extreme nocturnal cooling value was large when wind near the surface was

weak. Wind speed tended to be low in the mountainous areas and extreme nocturnal cooling value was greater than that under other topographical conditions.

(2) One of the reasons for weak winds in the mountainous areas may be due to the "blocking effect" of the surrounding mountains against the general wind aloft.

(3) Even though wind speed near the surface was less than 1 m/s, extreme nocturnal cooling value was different under each topographical condition. It was infered that extreme nocturnal cooling under light air conditions will depend on not only "blocking effect" of surrounding mountains against general wind aloft but also other mechanism such as cold downslope winds.

I. ま え が き

北海道地方における最低気温の極値の記録を調べてみると，−41.5℃（美深），−41.2℃（母子里），−41.0℃（旭川），−40.0℃（富良野），−40.0℃（石狩沼田）となっている（札幌管区気象台，1982）．これらの観測所はいずれも内陸の盆地あるいは山間部に位置しており，異常冷却と地形との間には密接な関係があるように思われる．

最低気温の水平分布についての研究は従来から多くなされている．最近，Nakamura and Magono (1982) は冬季の北海道地方における最低気温の水平分布について数値計算を行った．その結果によれば，全体的な水平分布はよく再現されたが，小さな盆地や狭い谷では，実測値より高くなりその再現性はよくなかった．実測値ほど最低気温が下がらなかった理由は，盆地や谷間などでの渦動拡散係数を平坦地の場合と同じ値にしたためであり，こういった場所では，上空の一般風に対するまわりの地形によるしゃへい効果が作用し渦動拡散係数は平野部に比べ小さくなると考えられる．また，近藤・森（1982）は東北南部3県のアメダスデータを用いて夜間冷却量を解析し，夜間冷却量の大きさは観測所周辺の地形が冷気を蓄積し易いかどうかによって異なり，冷気を蓄積し易い盆地や谷間で夜間冷却量が大きいことを示した．

日々の最低気温あるいは夜間冷却量の分布パターンの特徴を客観的に評価するには，多変量統計解析の一手法である主成分分析が有効な一つの手段である．主成分分析は数多くの変量を互いに無相関な少数個の総合的指標（主成分）で代表させる統計手法であり，日最低気温あるいは夜間冷却量の分布パターンをいくつかの基本的なパターンに分けることができる．Akiyama (1981) は日本海沿岸地域の日降雪量の時間的，空間的変動に対し主成分分析を行い，降雪の分布パターンを3分布型に分類している．Kato (1983) は，クラスター分析と組み合わせて北海道地方の気候区分に適用している．また，山崎・木並（1977）は主成分分析を関東甲信地方の日降水量に適用し，統計的予報モデルへの応用を試みている．

本研究の目的は主成分分析等の統計的手法を用いて，北海道地方における最低気温あるいは夜間冷却量の分布パターンの特徴を記述し，さらに地形による冷却の違いを明らかにすることである．

II．データと解析方法

1．データ

解析に使用したデータは，1980年から1982年の1月と2月（計178日間）の北海道におけるアメダス（地域気象観測所，計162点）のデータであり，毎正時の気温，風向・風速などが磁気テープに収められている．

最低気温は9時日界のものとし，欠測値がある場合は隣接した観測所の最低気温から補間した．

夜間冷却量は，日没1時間前を中心とする前後1時間の気温の平均値を夕方の気温とし，それと最低気温との差を冷却量とした．なお，日没時刻は次式で計算した．

$$t_0 = t_0' + A(\theta) + B(\varphi) \cdot n.$$

ここでt_0はある観測所における日没時刻，t_0'は東京の日没時刻，$A(\theta)$は観測所の経度θによって決る定数で

$$A(\theta) = -0.0667\,\theta + 9.32,$$

$B(\varphi)$は緯度φによって決る定数で

$$B(\varphi) = 0.117\,\varphi - 4.28,$$

nは東京における可照時間Δtの関数で

$$n(\Delta t) = 0.21\,\Delta t - 2.54$$

である．なお，t_0'，Δtは理科年表（東京天文台，1982）から求められる．夜間，気温が上昇して夕方の気温が最低気温となるような場合は，夜間冷却量は0とした．

2．主成分分析について

いま，pヵ所の観測所において，ある気象要素x_j（$j = 1, 2, \cdots\cdots, p$）が$n$日間観測されたとし，$p$個の変量$x_j$の1次結合で表わされる合成変量$z$を考える．

$$z = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_p x_p = \sum_{j=1}^{p} a_j x_j. \qquad (1)$$

幾何学的には，変量x_jはp次元ユークリッド空間におけるn個の点として分布するが，これらの点のちらばりの最も大きい方向がz軸となるように係数a_jを決めてやれば，もとの変量x_jの変動をzという新しい合成変量で最も良く説明することができる．具体的には，変量x_jの分散共分散行列を$\boldsymbol{V}$，係数ベクトルを$\boldsymbol{a}$とし，条件$\sum_{j=1}^{p} a_j^2 = 1$のもとで，

$$\boldsymbol{V} \cdot \boldsymbol{a} = \lambda \boldsymbol{a} \text{ 又は } (\boldsymbol{V} - \lambda) \cdot \boldsymbol{a} = 0 \qquad (2)$$

を解けば良い．ここで，λはzの分散であり，行列$\boldsymbol{V}$の固有値である．(2)式は行列$\boldsymbol{V}$の固有値問題であり，$\boldsymbol{V}$の固有値を$\lambda_1, \lambda_2, \cdots\cdots, \lambda_p$（ただし，$\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_p$）とすれば，最大の固有値$\lambda_1$に対する固有ベクトルの要素$a_{j1}$（$j = 1, 2, \cdots\cdots, p$）が求める係数となる．したがって第1主成分は，

$$z_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \cdots\cdots + a_{p1}x_p = \sum_{j=1}^{p} a_{j1}x_j \qquad (3)$$

と表わされる.

第2主成分以下についても(3)式と同様にして求められ，第k主成分は，k番目に大きい固有値λ_kに対する固有ベクトルの要素a_{jk}（$j = 1, 2, \cdots\cdots, p$）で表わされるが，この場合，各主成分は互いに無相関となるように，固有ベクトルは互いに直交するという条件のもとで求められる．詳しい解説は，多変量統計解析の文献（例えば，河口，1973）を参照されたい.

主成分分析は，分散共分散行列に対して行う方法と相関行列に対して行う方法があるが，本研究では分散共分散行列に対して行った.

III. 最低気温および夜間冷却量の空間分布の特徴

北海道地方の観測所（AMeDAS）の配置と地形を Fig. 1 に示す．薄い陰影は海抜高度が 200 m 以上の所，濃い陰影は高度 500 m 以上の所である．各観測所の地形は，まわりの地形あるいは海岸からの距離から，山間部（黒丸印），平野部（三角印），海岸部（白丸印）という3つの地形に大きく分類した.

Fig. 2 は 1980 年～1982 年の冬期間（1月，2月）の平均日最低気温の分布パターンである．道

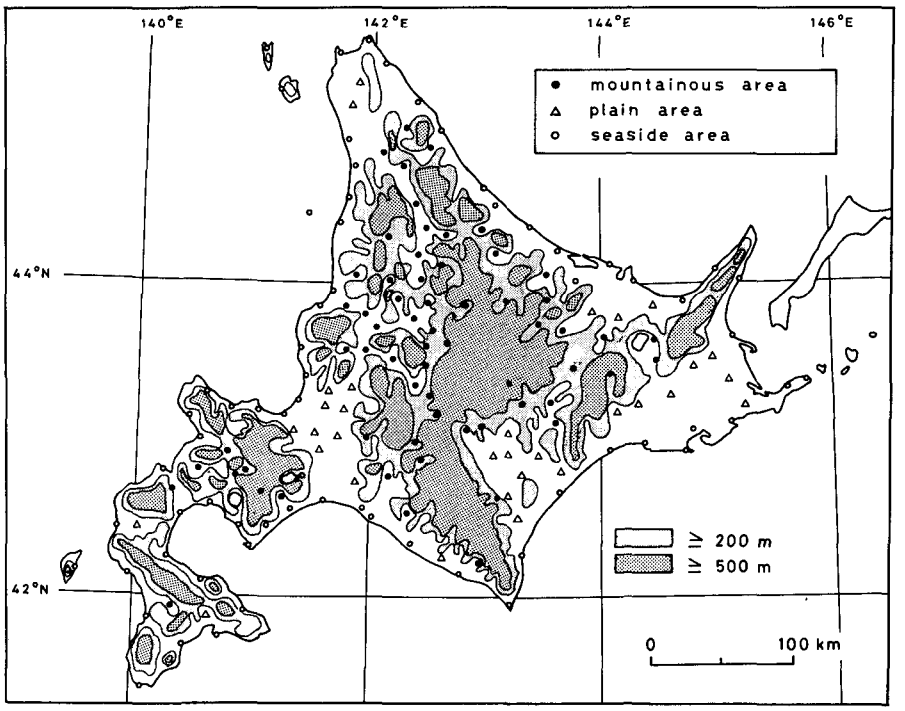


Fig. 1. Topographical map of Hokkaido and location of the regional meteorological stations (Automated Meteorological Data Acquisition System : AMeDAS).

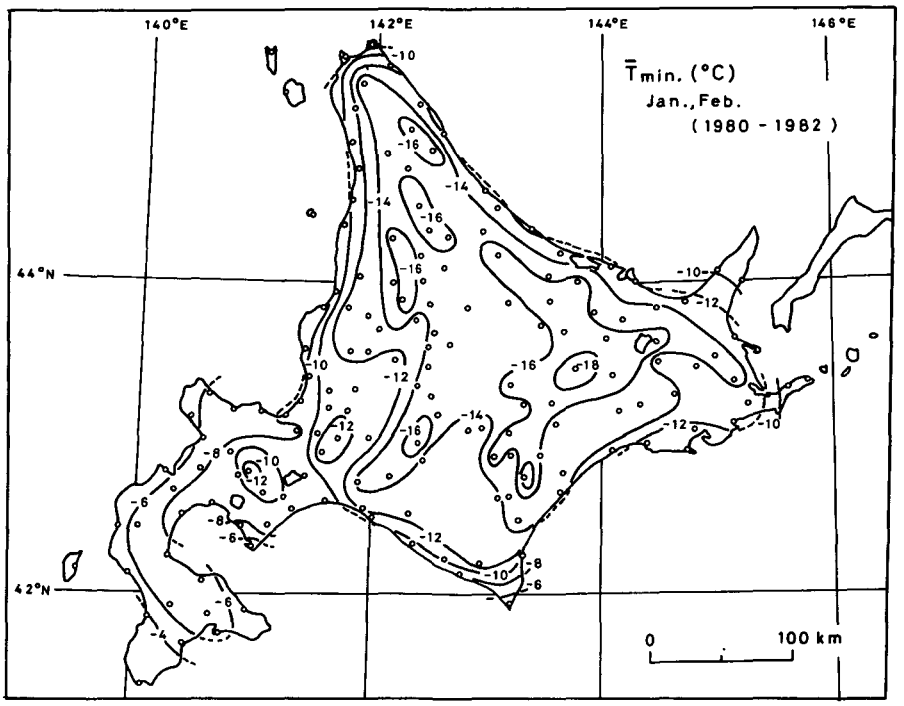


Fig. 2. Distribution of mean minimum air temperature (℃) in Hokkaido in winter (Jan., Feb.) from 1980 to 1982.

Table 1. Eigen value, proportion and accumulated proportion of each principal component in the case of daily minimum air temperature.

Principal component j	Eigen value $\lambda_j \times 10^3$	Proportion (%)	Accumulated proportion (%)
1	2.82	65.4	65.4
2	0.52	12.0	77.4
3	0.22	5.1	82.5
4	0.10	2.4	84.9
5	0.07	1.7	86.6
6	0.06	1.4	88.0
7	0.04	1.0	89.0
8	0.04	0.9	89.9
9	0.03	0.8	90.7
10	0.03	0.6	91.5

北の内陸部や道東の内陸部などで平均日最低気温は低くなっており，良く知られているように内陸の山間部ほど寒いといったパターンを示している．これに対して，海に近い観測所では最低気温はあまり低くない．また，最低気温の分布には緯度の影響も見られ一般に高緯度ではその値は低くなっている．

日最低気温の分布パターンの特徴をみるために，日最低気温を変量にとり主成分分析を行った．

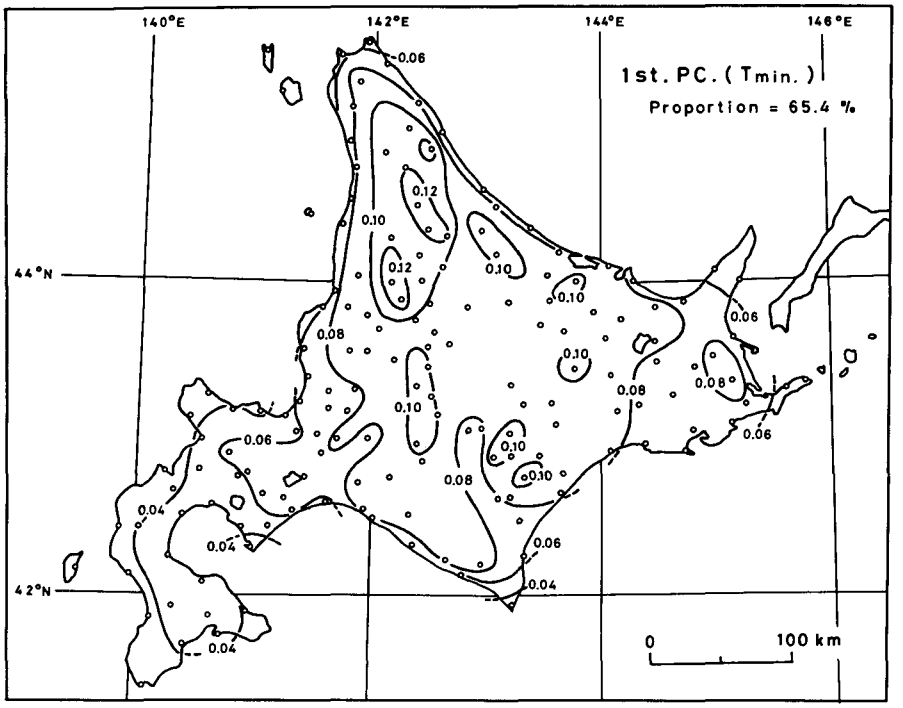


Fig. 3. Distribution of eigenvector elements of the first principal component in the case of daily minimum air temperatures.

Table 1 に各主成分の固有値，寄与率，累積寄与率を示す．各主成分の固有値はその主成分の分散に等しく，全固有値の和は変量であるところの日最低気温の分散和に等しい．したがって，最大の固有値をもつ第 1 主成分は日最低気温の空間的変動を最も良く代表しているということができる．表には第 10 主成分までを示したが，第 3 主成分までの累積寄与率は 82.5%であり，第 3 主成分までで日最低気温の空間的変動を十分説明することができる．

Fig. 3 に第 1 主成分の固有ベクトルの要素の分布パターンを示す．第 1 主成分の寄与率は 65.4%と圧倒的であり，固有ベクトルの要素は全地点で正で，内陸の山間部，あるいは海岸に比較的近い観測所でもまわりが山で囲まれているような所では大きな値となっている．したがって，第 1 主成分としては，内陸の山間部ほど寒いといった最低気温の平均的な分布パターンを表わす因子であるといえるであろう．

最低気温は前日の夕方の気温と夜間冷却量によって決る．最低気温の緯度依存性，海抜高度依存性（例えば，久保田，1961）といった観測所の地理的な分布による違いは主として夕方の気温の違いによると思われる．近藤(1982)の理論的考察によれば，夜間冷却量のこれらのファクターに対する依存性は，冬季の場合わずかであり，夜間冷却量は主として，まわりの地形が一般風をさえぎるかどうか，あるいは冷気をためやすいかどうかといった地形によって決ってくる．したがって，異常冷却と地形の関係を明らかにするためには，最低気温よりも夜間冷却量に注目するのがより妥当であると思われる．

Table 2. As in Table 1 except for daily nocturnal cooling.

Principal component j	Eigen value $\lambda_j \times 10^3$	Proportion (%)	Accumulated proportion (%)
1	1.22	47.1	47.1
2	0.47	18.2	65.3
3	0.14	5.2	70.5
4	0.10	3.8	74.3
5	0.07	2.6	76.9
6	0.05	2.1	79.0
7	0.04	1.6	80.6
8	0.04	1.4	82.0
9	0.03	1.2	83.2
10	0.03	1.2	84.4

Table 2に夜間冷却量を変量にとった場合の各主成分の固有値，寄与率，累積寄与率を示す．全固有値の和は 2.59×10^3 であり日最低気温の場合の全固有値の和 4.32×10^3 に比べ小さくなっている．このことは，全固有値の和が変量の分散和に等しいことを考慮するならば，夜間冷却量の時間的，空間的変動は日最低気温の場合に比べ小さいことを示している．なお，夜間冷却量を変量にとった場合の累積寄与率は第7主成分までで80.6%であった．

一般に各主成分の物理的意味付けは困難な場合が多いが，ここでは意味のある分布パターンが得られた第3主成分までの各固有ベクトルの要素を Fig. 4 に示す．第1主成分の寄与率は 47.1% であり，固有ベクトルの要素は全て正となっている．その値は山間部で大きく，日最低気温の場合と同様に山間部ほど冷却量が大きいという平均的な分布パターンを示している．

第2主成分の寄与率は 18.2%であり固有ベクトルの要素は日本海側で負，太平洋側で正となっている．固有ベクトルの要素は主成分の定義式，(1)式における係数 a_j $(j=1, 2, \cdots\cdots, p)$ であるから，第2主成分の値，すなわち主成分スコアが大きいということは太平洋側での冷却量が大きいということを意味する．したがって，第2主成分としては日本海側と太平洋側の冷却を表わす因子ということができるであろう．このような分布パターンは，冬季の北西季節風のもとで，いわゆる脊梁山脈を境として一般に太平洋側では天気が良いといった気象状況に対応するものであると考えられる．

第3主成分の寄与率は 5.2%であり，固有ベクトルの要素は北海道北部のオホーツク海側で負，北海道南部で正となっており，第3主成分としては南北のコントラストを表わす因子ということができるであろう．

固有ベクトルの要素の絶対値は，以上3つの主成分ともに内陸の山間部あるいは比較的海に近い所でもまわりが山にかこまれているような所で大きな値となっている．このことは，山間部では平野部や海岸部に比べて大きな冷却を受けることを示すものである．第3主成分までの主成分スコアの時系列を Fig. 5 に示す．固有ベクトルの要素の分布パターンから，各主成分スコアの絶対値が大きい時には，特に山間部で強い冷却を受けることが予想される．

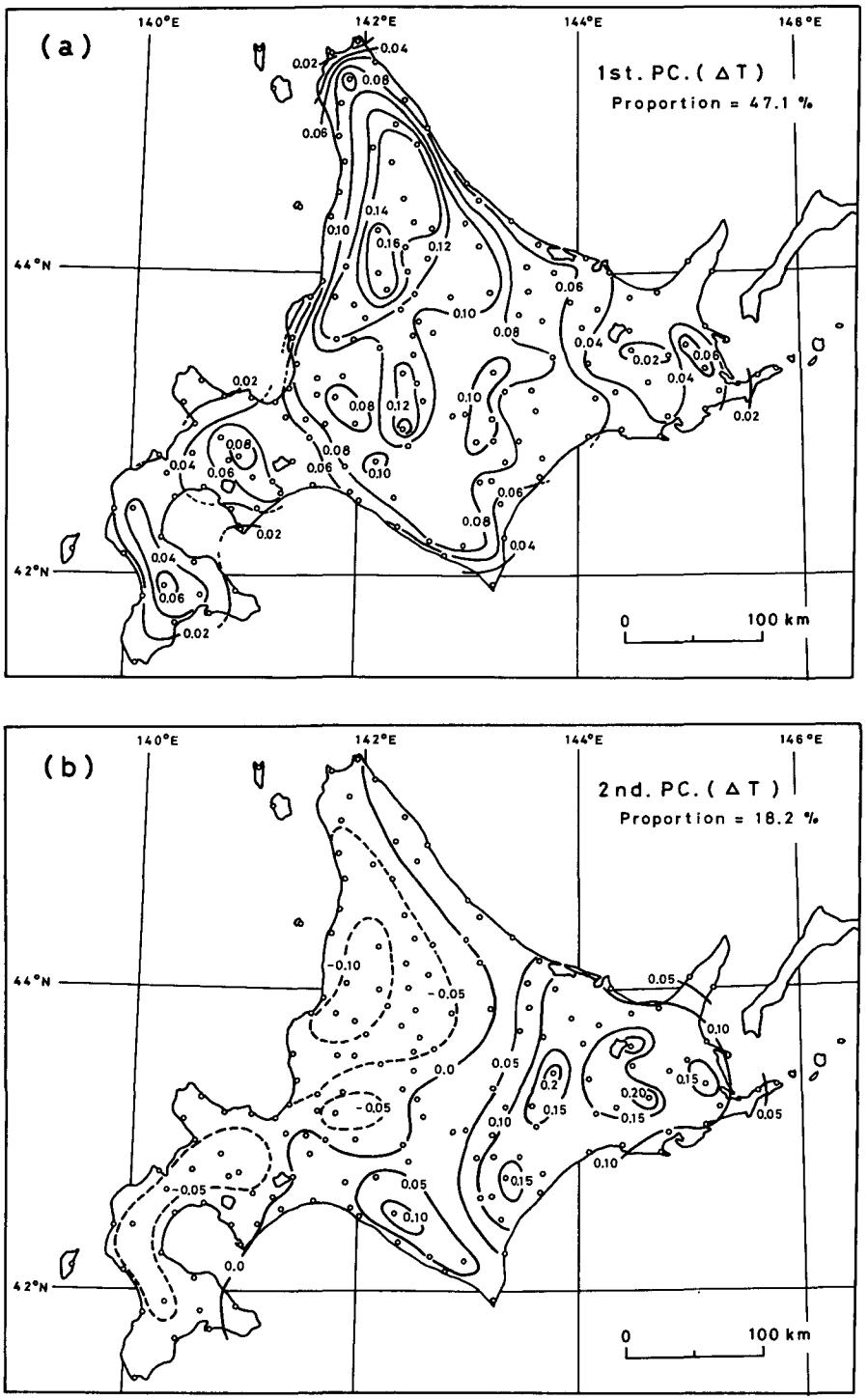
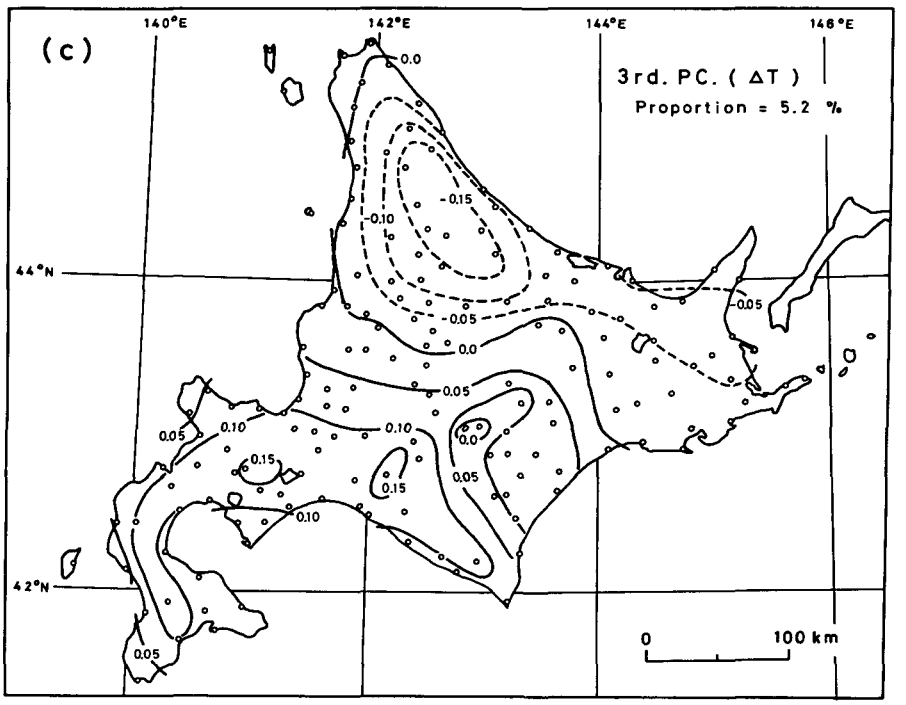


Fig. 4. Distribution of eigenvector elements of the first principal component (a), the second principal component (b), the third principal component (c) in the case of daily nocturnal cooling.



なお，日最低気温についての第2，第3主成分の固有ベクトルの要素の分布パターンは，夜間冷却量の場合とほぼ同じであった．

IV. 夜間冷却量極値の地形による違い

主成分分析から，日々の夜間冷却量が地形と密接な関係があることが明らかとなった．この章では，地形分類毎の観測所で最も大きな冷却を受けるような場合，その冷却量が各地形でどの程度の値をとるかを調べた．ここで，夜間冷却量極値は各観測所で，1978年から1982年の5年間（1月，2月，12月）の最大の夜間冷却量と定義した．

一般に，夜間冷却量は雲量に大きく依存し，快晴夜間ほど地表面の放射冷却により冷却量は大きくなる．したがって，夜間冷却量の極値が観測されるような日は快晴夜間であることが予想される．実際，アメダスデータの日照時間，夜間の降水量，道内数ヵ所の気象官署の地上観測の記事欄，更に，稚内，札幌，釧路における高層気象観測のデータから接地逆転層の有無を調べてみると，夜間冷却量の極値日は快晴あるいは晴れた日であったと判断できる．このような状況のもとでは，地上付近の風速が冷却量に大きな影響を与える気象要素の1つとなる．風速が小さいと，地表面と大気の間の熱交換が弱められ夜間冷却量は大きくなる．したがって，まわりの山が一般風をさえぎり大気の鉛直混合が妨げられるような盆地などでは特に強い安定層が形成され，地上付近の風が弱められ強い冷却を受けることが予想される．

Fig. 6に各観測所における夜間冷却量極値と地上付近の平均風速との関係を示した．ここで，地

上付近の平均風速は，夕方から最低気温が観測されるまでの毎正時の風速の平均値である．ばらつきはあるが，全般的には地上付近の風速が大きくなるにつれて夜間冷却量極値は小さくなる傾向がみられる．細かくみると，山間部では風が弱く冷却量が大きいのに対し，海岸部では風が強く冷却量は小さくなっている．

前述したように，山間部で地上付近の風が弱いのはまわりの山が一般風をしゃへいするためであると考えられる．このことを見るために，Fig. 7 に地上付近の平均風速と上空の一般風との関係を示した．地上付近の平均風速は各観測所で夜間冷却量の極値が観測された日のものであり，上空の風速は，稚内，札幌，釧路における 21 時，3 時，9 時のラジオゾンデの記録で，900 mb, 850 mb, 800 mb 高度の風速を平均した値である．海岸部では上空の一般風に対し地上付近の風速は山間部や平野部に比べ大きい．これに対し，特に山間部では地上付近の風速は 1 m/s 以下の場合が大部分を占めている．

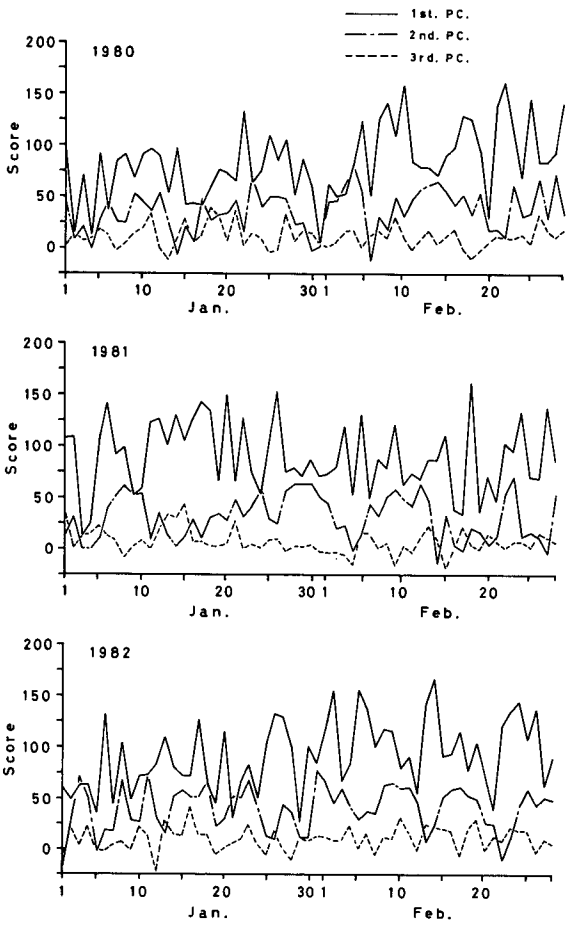


Fig. 5. Time variations of the first, second and third principal component scores in the case of daily nocturnal cooling.

このように，山間部で夜間冷却量極値が大きくなる 1 つの理由としては，まわりの山が一般風をしゃへいし地上付近の風速が小さくなるためであることがわかる．

Fig. 6 において，夜間冷却量極値は地上付近の平均風速が小さくなると大きくなる傾向があるが，風速が 1m/s 以下の微風状態でも，地形により冷却量が異なっている．このことは，夜間冷却量が地形による一般風のしゃへい効果とは異なる他のメカニズムによっても決まることを示すも

Table 3. Extreme nocturnal cooling when wind speed near the surface is lower than 1 m/s.

Topography	Case	Maximum value (℃)	Mean value (℃)	Standard deviation (℃)
mountainous area	44	26.5 (Shimukappu)	20.9	2.9
plain area	31	23.2 (Bekkai)	18.6	2.4
seaside area	6	19.4 (Ohtsu)	16.3	2.7

のであろう．各地形分類において，地上付近の風速が1 m/s以下の場合について，夜間冷却量極値の最大値，平均値をTable 3に示す．冷却量極値の地形による違いは，平均値では山間部，平野部，海岸部でそれぞれ約2℃づつ異なっている．最大値は，山間部で26.5℃であり，平野部に比べ約3℃大きくなっている．

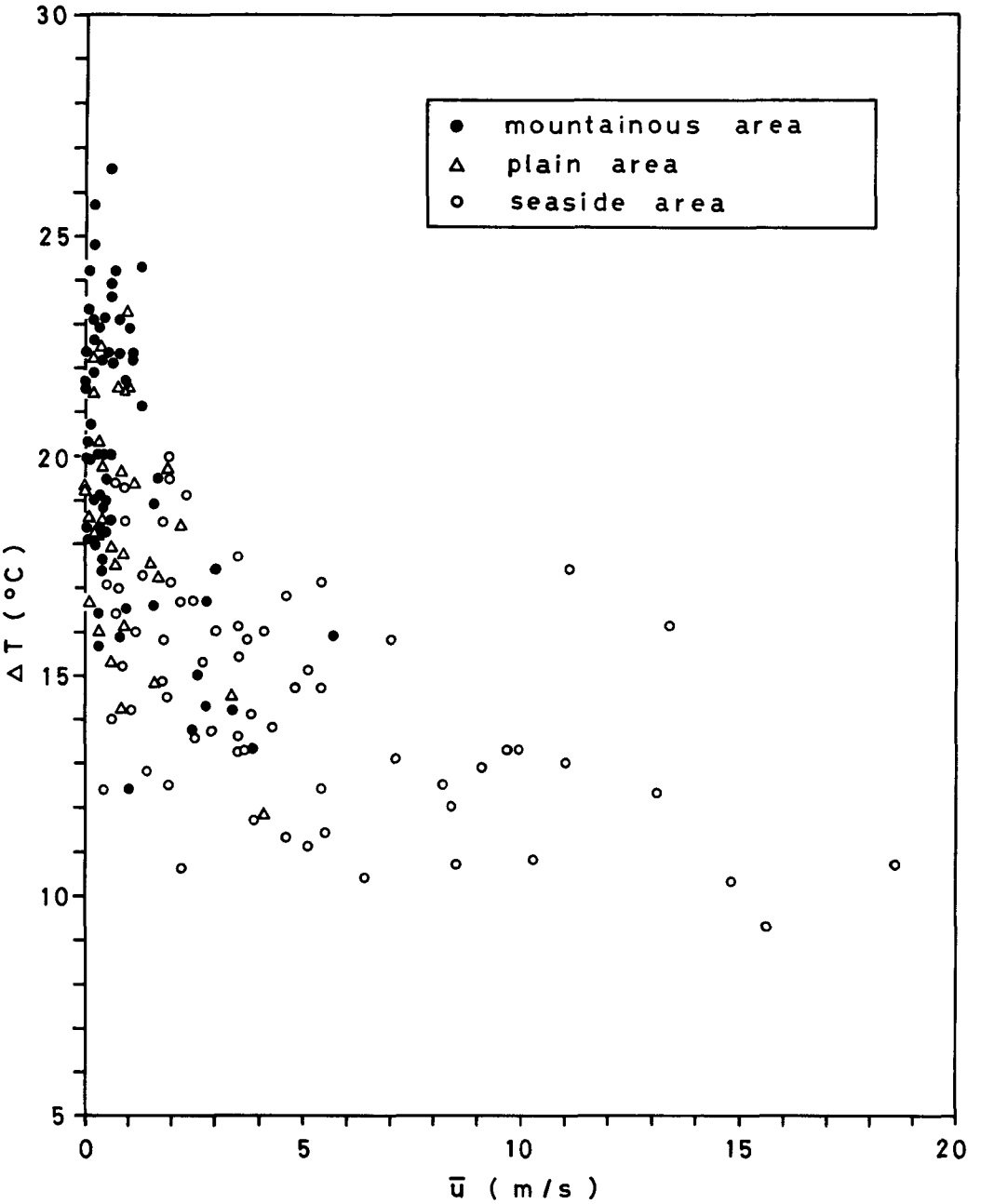


Fig. 6. Relationship between extreme nocturnal cooling and mean wind near the surface (at about 10 m height).

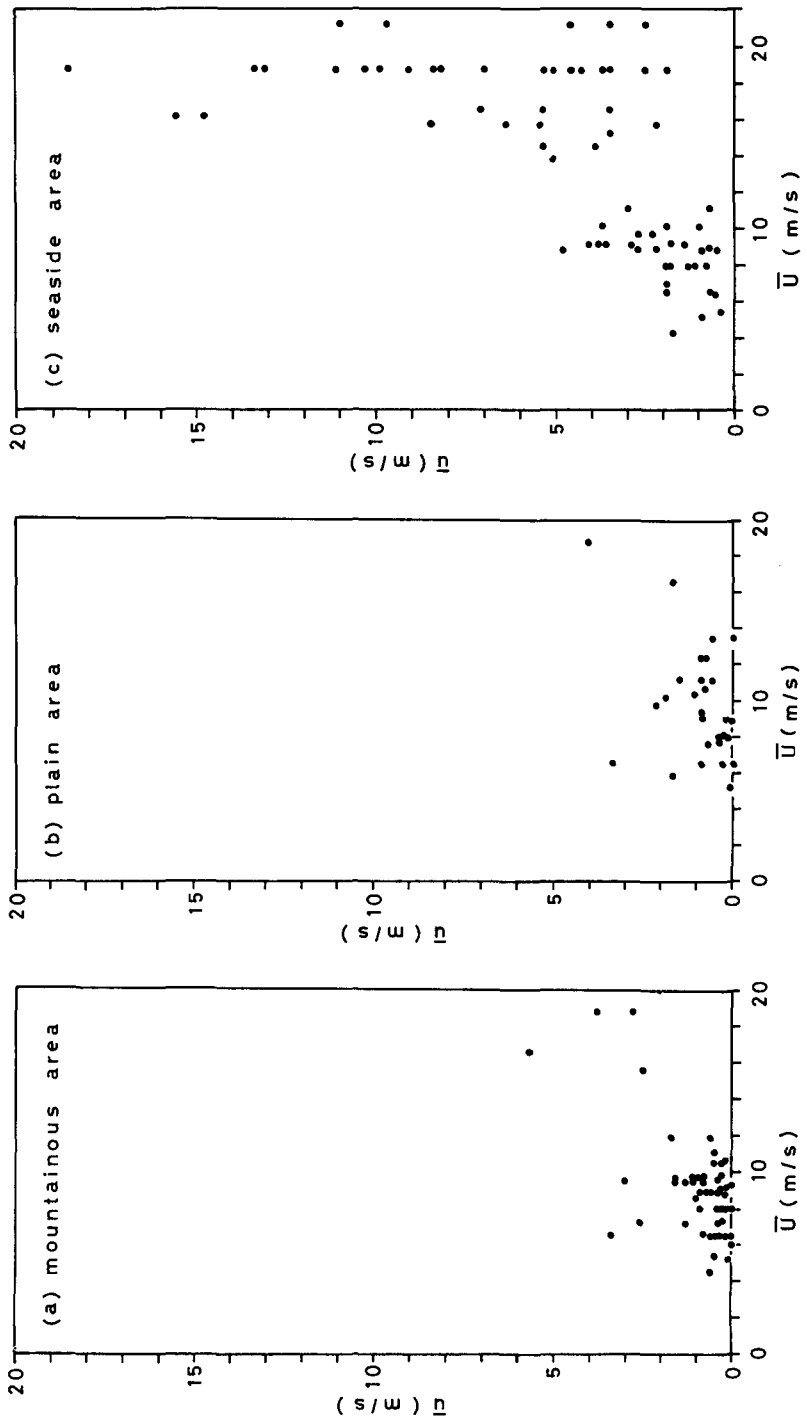


Fig. 7. Relationship between wind speed aloft and mean wind speed near the surface when extreme nocturnal cooling was observed.

V．夜間冷却量の地形依存性に関する一考察

Fig. 6 と Table 3 において，地上付近の平均風速が同じでも夜間冷却量が地形によって異なることを前章で述べた．この章ではそのメカニズムについての考察を行う．

Fig. 6 において，同じ地形分類に属するとした観測所でも相当なばらつきが見られる．たとえば，風速が 1 m/s 以下の場合，山間部でも冷却量の小さい観測所がある．これは地形を大きく 3 つに分類したためであり，山間部ではあるが，傾斜地に位置するような観測所では夜間冷却量極値は小さくなっている．また，平野部という場合も完全に平坦な場所だけではなく，片側に山地があるような観測所も含まれる．したがって，Fig. 6 の観測値のばらつきは各観測所のまわりのより細かな地形の影響を受けたものと思われる．

そこで典型的な地形であると思われる赤井川，長沼，西野幌の 3 地点を選んで快晴夜間の微風時における冷却過程を調べた．赤井川はまわりが比高 300 m から 400 m の山に囲まれた盆地状の地形であり，盆地底の水平スケールは約 4 km である．長沼は石狩平野にある平坦な地形である．西野幌は海抜高度が約 90 m の丘陵地に位置し，これら 3 地点は水平距離が約 80 km 以内にあって，気候上，地理上の差はほとんどないと考えられる．地上付近の風速が 1 m/s 以下で快晴夜間と思われる日をそれぞれの地点で 5 例づつ選び出し，15 分ごとの気温から平均的な冷却速度を計算した．ただし，ここで用いたデータはこれまでのアメダスデータではなく，赤井川のデータは農業気象観測所，西野幌のデータは農水省林木育種場，長沼のデータは日本気象協会北海道本部

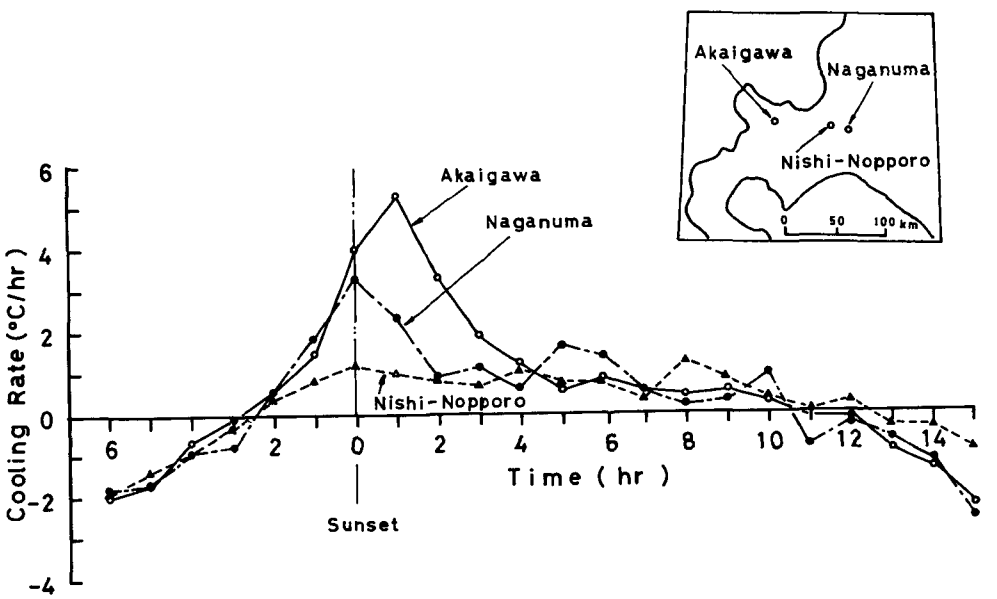


Fig. 8. Cooling rate at the land basin (Akaigawa), the plain (Naganuma) and on the hill (Nishi-Nopporo) when wind speed near the surface is lower than 1 m/s.

のものである．

各地点における冷却速度の時間変化を Fig. 8 に示す．図から明らかなように，盆地では平野や丘陵地に比べ日没直後に大きな冷却を受けており，各地形における冷却の違いは日没直後の数時間で生じているように思われる．この様な微風時における夜間冷却量の地形依存性は Yoshino（1975）や森他（1983）が指摘するように冷気流が何らかの形で関与してくるためであろう．Nakamura *et al.*（1982）は母子里盆地での観測から，斜面における日没時の冷却が盆地底よりも早く始まることを指摘している．近藤（1982）は，盆地の場合，まわりの山地斜面で形成された冷気が盆地中央部へ移流・堆積し，その結果，下向き大気放射量が減少すると述べている．盆地では，冷気流の関与してこない平野に比べ，下向き大気放射量の減少量に応じて夜間冷却量が大きくなる．一方，丘陵地では地表付近で形成された冷気は高度の低い所へ流出し，その補償流としての暖気移流が存在するため冷却量は大きくならない．このように，盆地状をした地形では，微風時において，特に日没直後の数時間，下降冷気流が夜間冷却量にかなりの効果を及ぼすと考えられる．今後，この効果を熱収支観測から定量的に明らかにすることが重要であると考えられる．

VI. まとめ

北海道地方における日々の夜間冷却量の分布パターンの特徴を客観的に知る目的で主成分分析を行った結果，次のことがわかった．

(1) 第 1 主成分の寄与率は 47.1%であり，固有ベクトルの要素は全ての観測所で正であり，内陸ほど良く冷えるといった平均的な冷却のパターンを示す．

(2) 第 2 主成分の寄与率は 18.2%であり，固有ベクトルの要素は太平洋側で正，日本海側で負となっており，冬季の北西季節風のもとでの日本海側と太平洋側の冷却のコントラストを表わすものである．

(3) 第 3 主成分の寄与率は 5.2%であり，固有ベクトルの要素は北海道南部で正，北部で負となっており，南北の冷却のコントラストを表わす因子である．

(4) 以上 3 つの主成分で，累積寄与率は 70.5%となり，もとの夜間冷却量の空間的変動の約 70%を説明することができる．いずれの主成分においても，固有ベクトルの要素の絶対値が大きいところは山間部であり，山間部が平野部や海岸部に比べ大きな冷却を受けることを示している．

日最低気温を変量にとった場合の各主成分の分布パターンは，夜間冷却量の場合とほぼ同じであったが，夜間冷却量の空間的変動の方が日最低気温の場合よりも少なかった．これは，日最低気温の分布が，緯度や海抜高度といった地理的な影響や，寒気の襲来といった影響をも反映するためであろう．

日々の夜間冷却量は一般に雲量，地上付近の風速といった気象要素により支配される．快晴夜間であると思われる夜間冷却量の極値日について風速依存性を調べた結果，次のことがわかった．

(1) 夜間冷却量極値は地上付近の平均風速が小さいほど大きく，山間部では平野部や海岸部に

比べ地上付近の風が弱く，夜間冷却量が大きくなる．

(2) 山間部で地上付近の平均風速が小さいのは，上空の一般風をまわりの山がしゃへいし大気の鉛直混合が弱められるためである．

(3) 地上付近の平均風速が1m/s以下の微風時においても，夜間冷却量極値は地形により異なり，5年間（1978年～1982年）の冬期間（1月，2月，12月）の最大値は山間部で26.5℃，平野部で23.2℃，海岸部で19.4℃であった．このことは，微風時においては，山間部での夜間冷却量がまわりの山による一般風のしゃへい効果とは異なった他のメカニズムによっても支配されることを示唆するものである．特に盆地のような場合，斜面で形成される冷気流が何らかの形で関与してくるものと考えられる．

謝辞 この研究にあたり，アメダス磁気テープデータを快く貸してくださいました北海道大学環境科学研究科環境基礎学講座の高橋英紀助教授ならびに，気温・風のデータを貸してくださいました農林水産省西野幌林木育種場，倶知安測候所，日本気象協会北海道本部に感謝いたします．

本研究の計算の一部には，北海道大学大型計算機センターのHITAC M-280Hを使用した．

なお，本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究「作物被害の要因としての接地層内の異常冷却の発生機構と量的予知に関する研究」（研究代表者，東北大学近藤純正教授）（研究課題番号57020006）の一環として行われたものである．

文　献

AKIYAMA, T., 1981. Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Sea coastal region. Part 1. Principal time and space variations of precipitation described by EOF. *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 578－590.

KATO, H., 1983. Environmental regionality in Hokkaido as revealed by multivariate analysis of thermal climatic elements. Doctoral thesis, Hokkaido University, 1－170.

川口至商，1973．多変量解析入門1．森北出版株式会社，1－161.

近藤純正，1982．複雑地形の夜間冷却――研究の指針――．天気，**29**，935－949.

近藤純正・森洋介，1982．アメダス（地域気象観測所）データを用いた夜間冷却量の解析と最低気温予報式 (1)．天気，**29**，1221－1233.

久保田効，1961．宮城県における気温の統計的な分析．天気，**8**，10－15.

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・高平進・阿部愛美，1983．山地の夜間冷却と熱収支．天気，**30**，259－267.

NAKAMURA, C. and C. MAGONO, 1982. The extremely low temperature in Hokkaido, Japan during 1976－77 winter and its numerical simulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 956－966.

NAKAMURA, C., C. MAGONO and Y. YOSHIDA, 1982. Nocturnal cooling of the Moshiri Basin, Hokkaido in midwinter. *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 1106－1116.

札幌管区気象台，1982．北海道の気候．1－299.

東京天文台，1982．理科年表．丸善株式会社，暦47－暦48.

山崎孝治・木並良夫，1977．関東甲信地方の日雨量の主成分分析．研究時報，**29**，81－87.

YOSHINO, M., 1975. *Climate in a small area.* University of Tokyo Press, 407－412.