

九州地域における冬季の気象特性による地域区分と 夜間冷却の特徴—GISを用いた解析—

高 山 成^{*1}・早 川 誠 而^{*2}・小野本 敏^{*3}・辻 多 聞^{*4}

要 旨

冬季の九州地域を対象に AMeDAS 局における 1 月の月平均気温、日最高最低気温の月平均値、月降水量、月平均風速、日照時間月積算値を気象代表値として、主成分分析により気象特性を調べた。その結果、気温の気象代表値から抽出された主成分により、山岳地域と海岸地域とが区分され、この主成分を海洋性気象度とした。また、風速、日照、降水量の気象代表値から抽出された主成分により、九州山地を挟んだ西岸と東岸とに区分され、この主成分を東岸性気象度とした。さらに GIS (地理情報システム) を用いて調べた AMeDAS 局の近接関係とを併せて、気象特性による地域区分をした結果、冬季の九州地域は 3 つの大規模な地域区分から 15 の小規模な地域区分へと細分できた。また、区分された気象区ごとに夜間冷却の特徴を天候条件について調べたところ、気象区によって異なる冷却の形態を有することが明らかとなった。

1. はじめに

近年、社会の高度情報化に伴って我が国においても、気温、降水量、積雪、風速等の気候・気象的な要素あるいは資源が、標準地域メッシュごとに統計データとして整備されている(岡村, 1987)。これらメッシュ気候・気象値は特に農業分野において重要な気象情報となっている。山田(1993)によるとメッシュ気候値は公立農業関係試験研究機関の1/3以上が、またメッシュ気象値は約1/4が開発・整備し、作物の生育や収量の診断・予測、作期や作付の計画・適地判定、病害虫の発生予測・防除等への利用が図られつつある。

こうしたメッシュ気候・気象値といった気象情報システムは、情報技術の著しい発達や社会のより高度な情報提供に対する需要から、より細かい地域区画でかつ短時間スケールで気象要素を推定するものへと発展しつつある。すなわち、農業分野において気候資源を評価する目的に留まらず、気象災害の予測といった局

地気象分野への応用が模索されている。例えば、山田(1995)は短時間スケールの気温分布のメッシュ化手法について検討した。また菅野(1997)は東北地方を対象として、ヤマセと呼ばれる低温の北東風による冷害の被害を軽減・回避するために、ヤマセ発生時における日平均気温のメッシュ化について検討を行った。筆者らのグループはカキ産地における晩霜害の予測を目的として、山口県地域を対象に春季夜間における局地的な冷却度合いを 50 m メッシュ単位で評価することを試みた(高山ほか, 1998; 1999)。さらに冬季夜間に高速道路沿線において発生する路面凍結などの気象災害の予測を目的に、50 m メッシュ等の細密なメッシュを用いた局地的な気温予測手法について調査・検討を行っている(高山ほか, 2001)。

気象要素のメッシュ化手法として一般的に用いられる手法には主に、「地形因子を用いた重回帰法」や「年差の距離重み付け法」などがある(清野, 1993)。しかし、例えば重回帰法を行う場合に計算対象とする地域が広範囲であると、「地形」だけでなく「地理」的な因子の影響も加わってくる。すなわち、経緯度や海陸分布などの地理的な影響を除くために、あらかじめ適度な地域区分をした上で、地形因子解析を行う方が妥

^{*1} 鳥取大学大学院連合農学研究科。 ^{*2} 山口大学農学部。

^{*3} 日本気象協会福岡本部。 ^{*4} 九州大学農学部。

—2000年10月12日受領—

—2001年6月13日受理—

当であると考えられる。そこでより高精度なメッシュ気象値の整備に利用するために、冬季の九州地域を対象として気象特性による地域区分を行うことを本研究の第1の目的とした。

本研究で対象とした九州地域は、冬季の天気は地域によって著しく異なる(福岡管区気象台, 1964)。すなわち、地理的な位置や山地、海岸、海流等の存在によって、大陸からの北西季節風が地域の気象特性に異なる影響を与えていると考えられる。そこで地域によって異なる気象特性を客観的・定量的に把握するため、九州地域内の AMeDAS 局における気象観測データから算出した気象代表値に基づく、主成分分析を利用した。

主成分分析を気候区分に応用した例としては、三上(1975)や野本ほか(1983)などがある。また局地的なスケールを対象とした気候区分としては吉野(1967)などがある。しかし、こうした気候区分は本来明確な境界線が決定しづらく、線引きにある程度の任意性を伴うものであった。本研究では実用面を考慮しなるべく客観的かつ明確な地域区分を行うために、GIS(地理情報システム)を用いて求めた AMeDAS 局のポロノイ分割を基準境界とした。さらに主成分分析による AMeDAS 局の分類とポロノイ分割による境界から、気象特性による地域区分を決定した。

また九州地域の高速道路沿線における冬季の冷却現象に関する局地気象推定の基礎資料とするため、地域区分ごとに夜間冷却の特徴を考察することを本研究の第2の目的とした。

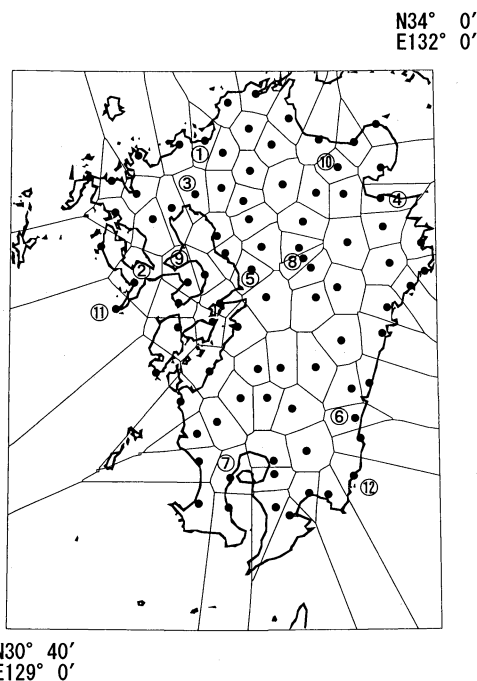
2. 解析方法

2.1 対象地域と気象データ

研究対象地域は九州地域とした。使用した気象観測データは、九州地域内の離島および南端を除く AMeDAS 観測局86地点において観測された、気温、降水量、風速、日照時間である。今回、気象観測データを使用した AMeDAS 局のうち最北端は福岡県の八幡で $N33^{\circ}51.375'$, $E130^{\circ}44.5875'$ 、最南端は鹿児島県の高山で $N31^{\circ}20.475'$, $E130^{\circ}57.8625'$ 、最東端は大分県の蒲江で $N32^{\circ}47.575'$, $E131^{\circ}55.4625'$ 、最西端は長崎県の平戸で $N33^{\circ}21.375'$, $E129^{\circ}33.1875'$ である。

2.2 GIS による地域区分と地形データ

本研究の第1の目的は、冬季の九州地域をある気象特性を持った幾つかのグループに分類することである。そこでまずそれぞれの AMeDAS 局の代表する地域と地域区分の基準となる境界線を得るために、GIS



第1図 研究対象地域と AMeDAS 局の位置およびポロノイ分割。図中の番号は本文中に番号付きで記述した観測点の位置を示す。

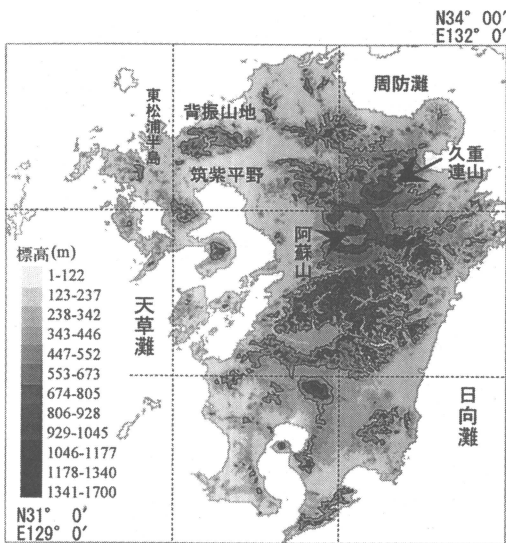
を用いて AMeDAS 局の地理的な位置に基づいてポロノイ分割を行った。使用した GIS 解析ソフトは Arc View GIS Ver. 3.0a (ESRI 社製) である。ポロノイ分割は各 AMeDAS 局にとって、他のどの AMeDAS 局よりも距離が近い範囲を示すものである。本研究では実用性と客観性を重んじポロノイ分割による境界線決定を採用し、ポロノイ分割に含まれる地域を各 AMeDAS 局が代表する地域とした。この方法では沿岸地域の平野の一部が、山地にある AMeDAS 局の代表地域に含まれてしまうといったことが起こりうるが、山岳の尾根筋と気象の変化との関係などを検討の上、改良ポロノイ分割や地形分類などを導入することにより徐々に改良できると考える。

研究対象地域内の AMeDAS 局の位置とポロノイ分割を第1図に示す。図中の点の傍に示した番号は本文中に出てくる主な AMeDAS 局の位置である。その名称や標高などを第1表にまとめる。

ポロノイ分割で得られた AMeDAS 局の代表地域と次節で説明する主成分得点から、同様の気象特性を持ったグループに地域区分する。この地域区分ごとに

第1表 主な AMeDAS 局の名称および標高.

AMeDAS 局名	標高 (m)	観測点番号
福岡管区気象台	3	①
長崎海洋気象台	27	②
佐賀地方気象台	4	③
大分地方気象台	5	④
熊本地方気象台	38	⑤
宮崎地方気象台	6	⑥
鹿児島地方気象台	4	⑦
阿蘇山	1143	⑧
絹笠山	849	⑨
院内	90	⑩
野母崎	190	⑪
油津	3	⑫



第2図 研究対象地域の標高と主な地名.

夜間冷却の特徴を把握することが、本研究の第2の目的である。夜間冷却への山塊や盆地など周辺地形の効果は無視できない。例えば夜間に形成される冷氣湖の厚さは、盆地の深さや開放度などに依存する（近藤・桑形, 1984）。そこで周辺地形の形状を見るためにGISに展開した標高のグリッドデータ上に、九州地域内の86地点の AMeDAS 局を重ね合わせた。標高データは USGS (U. S. Geological Survey) による GTOPO30 を用いた。GTOPO30は緯度・経度方向に30''×30''間隔で標高のグリッドデータが収録されており、DEM (Digital Elevation Model) の一種である。GTOPO30の E100N40のデータセットから九州地域付近の範囲である、南西端が N30°40', E129°00', 北東端が N34°

00', E132°00'までの東西360×南北400個のデータグリッドを切り出した。第2図に研究対象地域の標高と主な地名を示す。GTOPO30は世界測地系(WGS84系)に則している DEM データであるが、AMeDAS 局の位置は日本測地系における位置である。そこで AMeDAS 局をジオコーディングするには、AMeDAS 局の経緯度に WGS84系への座標変換パラメータを加えて補正を行った。日本測地系での経緯度を世界測地系に変換すると、九州地域では平均で緯度が+12.1秒、経度が-8.5秒ずれる。

2.3 主成分分析

主成分分析に用いる気象観測データは九州地域内の86地点の AMeDAS 局における、1月の気温、降水量、風速、日照時間である。主成分分析を行うにあたってそれぞれの気象要素に関する気象代表値を算出する。寒候期における気象代表値として、1月の月平均気温、月平均最高気温、月平均最低気温、月合計降水量、月合計日照時間、月平均風速を算出した。主成分分析は気温に関する3種類と、降水量、風速、日照時間に関する3種類とに気象代表値を分けて行った。これは冬季の九州地域における気象は、天気の良いし悪しと海拔高度や海洋の影響による気温の差違によって支配され则认为られるためである。それぞれの気象代表値は次式により標準化を行い、観測点における各気象代表値の相対的な大きさで気象特性を表現する。

$$CEI = \frac{CE(i) - CE_{av}}{CE_{sd}} \quad (1)$$

ここで、 CEI : 標準化気象代表値、 i : 観測点番号、 $CE(i)$: 観測点 i における気象代表値、 CE_{av} : $CE(i)$ の86地点の平均、 CE_{sd} : $CE(i)$ の標準偏差である。標準化気象代表値 CEI を説明変量 x_1, x_2, x_3 として、次式のような合成変量 z_n を算出する。

$$z_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 \quad (2)$$

ここで、 z_n : 第 n 主成分、 a_{np} : 固有ベクトルである。固有ベクトル a_{np} は x_1, x_2, x_3 の相関行列 R とその固有値 λ_n から、

$$R \begin{pmatrix} a_{n1} \\ a_{n2} \\ a_{n3} \end{pmatrix} = \lambda_n \begin{pmatrix} a_{n1} \\ a_{n2} \\ a_{n3} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$a_{n1}^2 + a_{n2}^2 + a_{n3}^2 = 1 \quad (4)$$

となるように求める。得られた固有ベクトル a_{np} から観測点 i における主成分得点を次式より算出した。

$$z_n(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}) = a_{n1}x_{1i} + a_{n2}x_{2i} + a_{n3}x_{3i} \quad (5)$$

はじめに1988年から1997年までの10年間の各年度毎に主成分分析を行った。その結果6年については同じ主成分が抽出された。また残りの4年のうち1992年度から1994年度の3年は、AMeDASに欠測が多く使用可能な観測局数が少ない年だった。すなわち、主成分分析を用いて得られる気象特性の抽出結果には、ある程度の再現性が期待できるものと考えられる。しかし、本研究は気象特性による地域区分を目的とするため、長期間の気象データがあることより、解析データとして使える観測局が、地理的に均等に分布していることが重要であると著者らは考えた。そこで観測局の変更があったと思われる、1992年度以前の4年間は除外した。1992年度以降の6年間については、1992年度から1994年度までは欠測個所が平均して6.5個所と多く、1995年度から1997年度までは0.94個所と欠測が少なかった。そこで1995年度から1997年度まで3年間の気象代表値の平均値から主成分分析を行い、抽出された主成分を気象特性による観測点の区分に用いることにした。

2.4 天候分類

気象代表値の主成分分析とAMeDAS局のボロノイ分割により決定した地域区分（以下、気象区）において、天候条件による冬季夜間の冷却現象の特徴を調べるため、天候分類を行った。天候条件は以下の手順で冬型、晴天、曇天、雨天、その他の5種類に分類した。

- (1) 地上天気図で西高東低の冬型気圧配置となっており、850 hpaの気温が -5°C 以下となっている場合、すなわち寒気移流場となっている日を冬型に分類する。以下のどの条件よりもこの条件が優先する。
- (2) 福岡管区气象台、長崎海洋气象台、佐賀、大分、熊本、宮崎、鹿児島各地方气象台合計7個所における夜間天気概況（18時～翌日6時）から、晴天、曇天、雨天を分類する。ここで、晴天は晴れ、晴れ一時曇り、晴れ時々曇り、薄曇りの場合である。曇天は曇り、曇り一時晴れ、曇り時々晴れの場合である。雨天は雨、曇り時々雨、曇り一時雨、曇り後一時雨の場合である。
- (3) 気象概況の晴れ後曇りおよび曇り後晴れについては、気温の低下具合から晴天と曇天に分類する。

- (4) 晴天条件に分類された日について、GMS赤外面像により雲が多い場合は曇天にする。
- (5) 晴天条件に分類された日について夜間の気温の低下が極めて少なく、放射冷却が顕著でない場合をその他に分類する。これはGMSの赤外面像では確認できない低層雲がある日や風が強い日に相当する。
- (6) 晴れ、曇り、雨が混在し、晴天、曇天、雨天、冬型のいずれの天候条件にも分類するのが困難な日を、その他に分類する。

天候条件による夜間の冷え込み方の差違は、次式で定義される天候別夜間最低気温偏差を使って調べた。

$$DM_s = (Tw_s - Ta_s) - (Tw_a - Ta_a) \quad (6)$$

ここで DM_s ：気象区 s における天候別夜間最低気温偏差 ($^{\circ}\text{C}$)、 Tw_s ：ある天候条件日の夜間最低気温の気象区 s における平均値 ($^{\circ}\text{C}$)、 Ta_s ：全観測日の夜間最低気温の気象区 s における平均値 ($^{\circ}\text{C}$)、 Tw_a ：同天候条件日の夜間最低気温の全AMeDAS局における平均値 ($^{\circ}\text{C}$)、 Ta_a ：全観測日の夜間最低気温の全AMeDAS局における平均値 ($^{\circ}\text{C}$) である。この天候別夜間最低気温偏差（以下、 DM_s 指標）は、ある気象区における普段（全観測日平均）と比べたある天候条件日の冷え込み方を、すべての気象区平均の場合と比較するものである。主成分分析を行う際に気温に関する気象代表値として、1995年から1997年までの1月の月平均気温、月平均最高気温、月平均最低気温を用いた。そこで主成分分析の結果得られた気象区分の妥当性を検証する意味も含め、夜間冷却の特徴はそれ以外の期間のデータを用いて調べた。1997年12月1日から1998年2月28日までの90日間の日界を9時とした夜間最低気温を使って、 DM_s 指標を1997年12月から1998年2月までの1か月ごとに算出した。

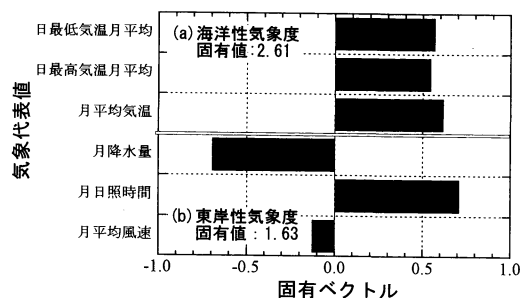
2.5 地形因子

夜間冷却に及ぼす地形条件の影響を調べるため、GTOPO30のグリッド標高値を基に地形因子を算出した。算出した地形因子は南東斜面勾配度および盆地度で次式のように定義する。

$$SEsl = (NWL - SEL) / 2 \quad (7)$$

$$BD = CiL - CeL \quad (8)$$

ここで $SEsl$ ：南東斜面勾配度、 NWL ：当該グリッドの北西方向にあるグリッドの標高 (m)、 SEL ：当該



第3図 主成分分析により得られた第1主成分の固有ベクトルおよび固有値。(a) 気温に関する場合、(b) 降水量、風速、日照時間に関する場合。

グリッドの南東方向にあるグリッドの標高 (m) である。また BD : 盆地度 (m), CiL : 当該グリッドの周辺にある8個のグリッドの平均標高 (m), CeL : 当該グリッド標高 (m) である。

3. 結果および考察

3.1 優勢な気象特性

3.1.1 海洋性気象度

はじめに気象代表値として気温に関係する3変量のみを用いて、主成分分析を行った場合の第1主成分の固有ベクトルと固有値を第3図aに示す。気温に関する変量のみを用いた場合には、第1主成分の固有値は2.61となり、また第2主成分は0.39であった。第2主成分は固有値が小さいので気象特性因子として採用しなかった。第1主成分は月平均気温、日最高気温の月平均値、日最低気温の月平均値、のいずれについても値が大きくなるほど正に働いている。第1主成分は冬季において温暖な気象特性を示すと言える。第1主成分得点の地理的分布をGIS上で調べたところ、九州南部沿岸が最も得点が高く、ついで九州東沿岸(日向灘)、西沿岸(天草灘)などで正の大きな値となった。他方、⑧阿蘇山などの山岳地帯などでは第1主成分得点は負の大きな値で分布していた。そこで、気象代表値として気温に関係する3変量のみを用いた場合の第1主成分を、海洋性気象度として採用した。海洋性気象度は固有値が2.61と最も大きく、またすべての気象代表値を用いて主成分分析を行った場合にも第1主成分として検出されることから、気象4要素のうち冬季の九州地域における気象特性に最も強く表れるのは気温であると考えられる。

3.1.2 東岸性気象度

次に気温以外の気象代表値である3変量を用いて、主成分分析を行った場合の第1主成分の固有ベクトルと固有値を第3図bに示す。気温以外の気象要素に関する変量を用いた場合には、第1主成分の固有値は1.63となり第2主成分は1.00であった。

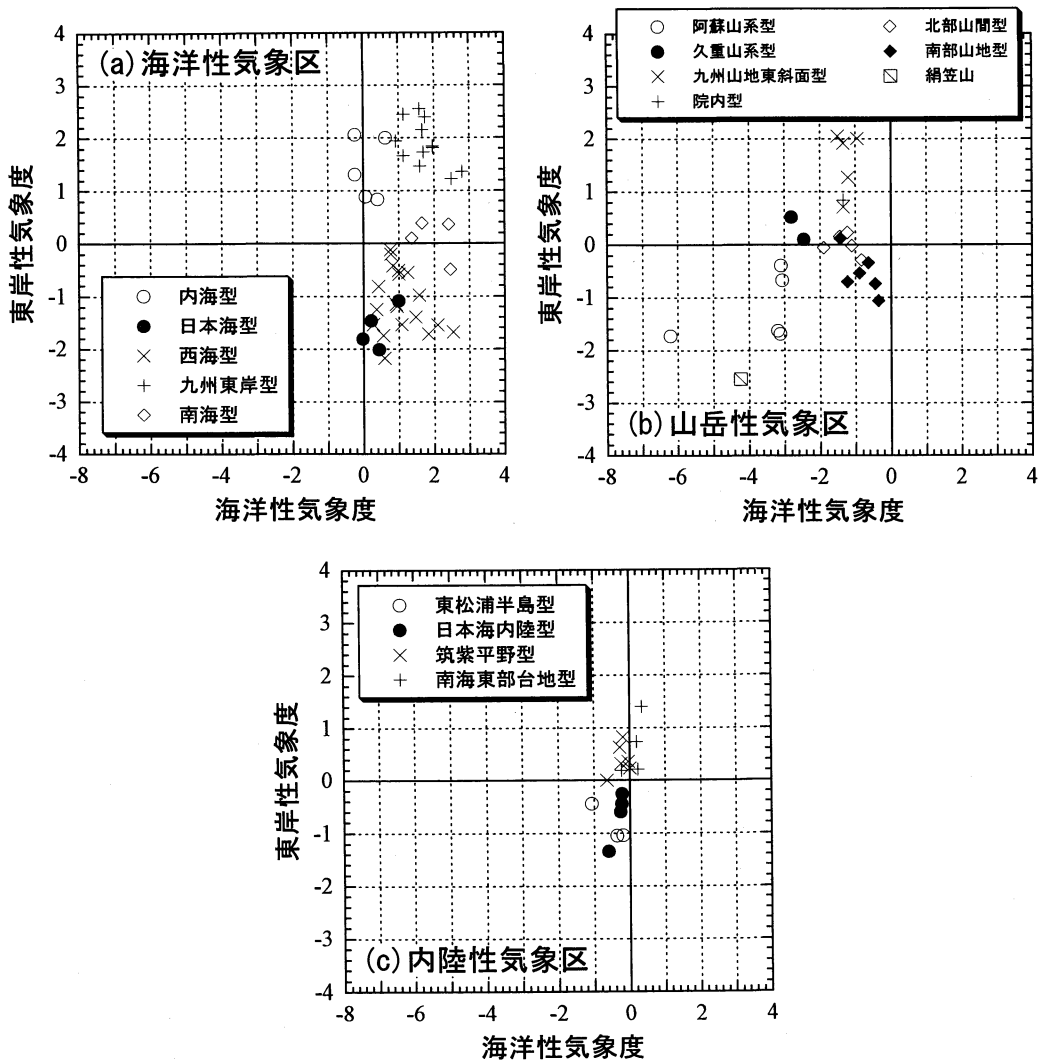
第1主成分は日照時間について値が大きくなるほど正に働いており、逆に降水量については負に働いていた。すなわち第1主成分は冬季において降水が少なく、好天条件である傾向が強い気象特性を表すと言える。第1主成分得点の地理的分布をGIS上で調べたところ、九州の東側に正の値をとる観測点が集中していた。図には示していないがスプライン関数を用いて第1主成分得点の等値線を引いたところ、0の等値線が九州山地を南北に縦断するように描かれた。また九州北部の背振山地南東側にも、第1主成分得点が正の値をとる観測点が集まる地域があった。そこで、気象代表値として日照時間、平均風速、降水量の3変量を用いた場合の第1主成分を、東岸性気象度として採用した。冬季における大陸からの季節風の吹き出しは、九州地域の気象を支配する重要な気象要因であると考えられる。東岸性気象度は冬季の季節風が山岳によって降雨・降雪をもたらすような地域で負の値をとり、山岳を越えた季節風が吹走し晴天をもたらす地域では正の値をとると考えられる。

一方、第2主成分は風速が大きく正に働いている主成分であり、主成分得点が⑧阿蘇山、⑨絹笠山といった山岳観測点の他に⑪野母崎、⑫油津といった岬に位置する観測点などで大きかった。平均風速が大きいのには標高が高いことや岬のように周辺に風を遮蔽する地形が少ないといった理由の他、谷などの地形効果によるものなどが考えられる。しかし、第2主成分の主成分得点分布のみからは原因の特定が難しく、また固有値も小さいので気象特性因子として採用しなかった。

3.2 大規模および小規模な気象区分

3.2.1 気象区分

気象代表値の主成分分析の結果抽出された、海洋性気象度と東岸性気象度の主成分得点の関係を第4図a～cに示す。海洋性気象度に注目すると、主成分得点が正の値をとるAMeDAS局、負の値をとる局およびほとんど0に近い局に分類することができる。これらは大規模な気象区を表すと考えられ、それぞれ海洋性気象区、山岳性気象区および内陸性気象区とした。



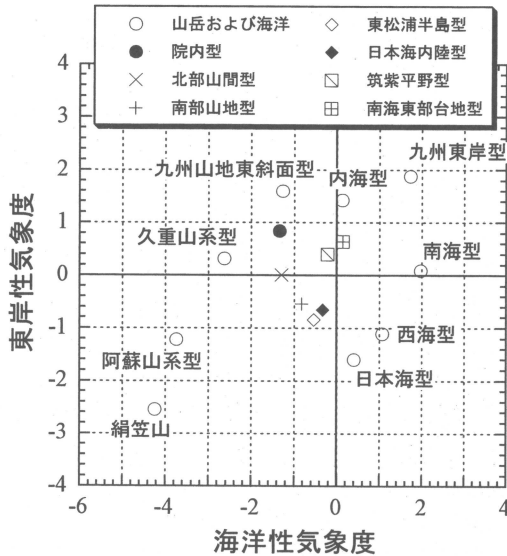
第4図 各 AMeDAS 局における海洋性気象度と東岸性気象度の主成分得点の関係。(a)海洋性気象, (b)山岳性気象, (c)内陸性気象。

主成分得点が近い AMeDAS 局は気象の特徴が類似していると期待できる。これに AMeDAS 局の地理的な近接関係を考慮し、小規模な気象区（以下、小気象区）への分類を試みた。小気象区の境界は、第4図における座標が近くかつ距離的に近隣にある AMeDAS 局を同一の小気象区としてまとめ、第1図に示したボロノイ分割により決定する。その結果、冬季の九州地域を第4図 a～c の凡例に示したように、15の小気象区へと分類することができた。⑨ 絹笠山は地理的には海洋性の西海型気象区に含まれるが、山岳性の気象特性を持つ観測点である。これは、⑨ 絹笠山が島原半島

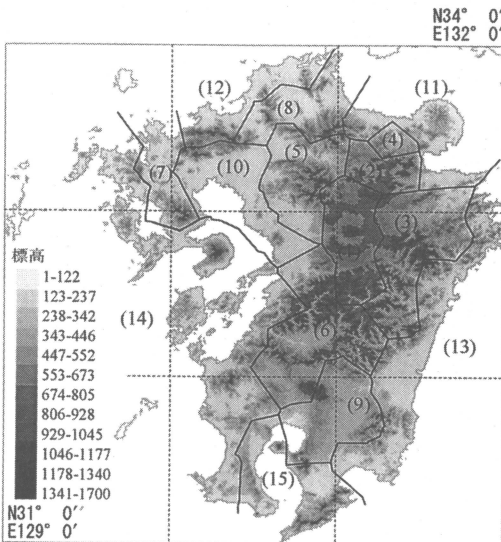
の孤立峰という特異な立地条件にあるためである。この特異性から⑨ 絹笠山は地域代表性が乏しいと判断し、以後の解析では⑨ 絹笠山のデータを除外することとした。それぞれの小気象区の海洋性気象度と東岸性気象度の重心を第5図に示す。

3.2.2 海洋性気象区

海洋性気象度の主成分得点が正の大きな値をとる海洋性気象区の結果を示す(第4図 a および第5図)。海洋性の気象特性が顕著な小気象区として5区分が抽出された。この5つの小気象区名は、内海型、日本海型、西海型、九州東岸型、南海型とした。大分県の周防灘



第5図 各小気象区における海洋性気象度と東岸性気象度の重心。



第6図 冬季の九州地域における小気象区分。図中の番号は第2表の小気象区番号と対応する。

に面した地域は沿岸地域であるが、海洋性気象度は日本海型より若干小さく、日本海型とは逆に東岸性の気象特性を有していた。そこでこの地域は内海型（福岡管区気象台，1967）の気象特性を有する地域と考え、内海型気象区とした。冬季の九州地域における小気象区分図を第6図に、またそれぞれの気象区名称、気象

第2表 分類された気象区の名称と平均標高。

大気象区名称	小気象区名称	平均標高 (m)	AMeDAS 局数	番号
山岳性気象	阿蘇山系型	729.5	5	(1)
	久重山系型	583.8	2	(2)
	九州山地東斜面型	469.6	5	(3)
	院内型	293.5	1	(4)
	北部山間型	265.0	5	(5)
	南部山地型	508.4	6	(6)
内陸性気象	東松浦半島型	153.7	3	(7)
	日本海内陸型	204.6	4	(8)
	南海東部台地型	300.5	4	(9)
	筑紫平野型	91.4	6	(10)
海洋性気象	内海型	145.6	5	(11)
	日本海型	167.0	4	(12)
	九州東岸型	166.7	12	(13)
	西海型	137.7	19	(14)
	南海型	183.4	4	(15)

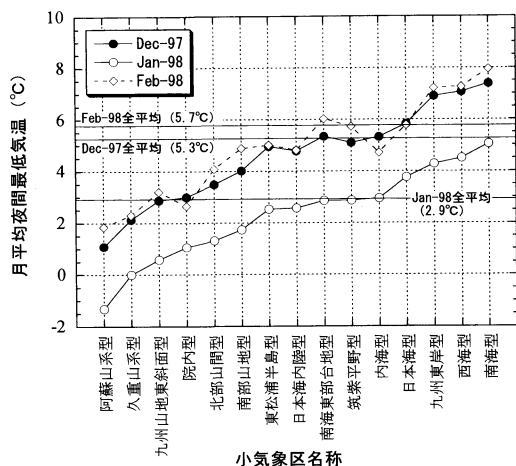
区毎に集計した平均標高および含まれる AMeDAS 局数を第2表に示す。海洋性気象区に含まれる地域はほぼ九州の沿岸全域である。最も南に位置する南海型小気象区は最も温暖で、これに対して九州北部にある日本海型や内海型小気象区は低温傾向にあった。南海型以外の4つの小気象区は東岸性と西岸性に分かれ、東岸性に分類された小気象区は九州東岸型と内海型であり、逆に西岸性は日本海型と西海型であった。

3.2.3 山岳性気象区

海洋性気象度の主成分得点が負の値をとる山岳性気象区の結果を示す(第4図bおよび第5図)。山岳性の気象特性が顕著な小気象区として6区分が抽出された。すなわち、阿蘇山系型、久重山系型、九州山地東斜面型、院内型、北部山間型、南部山地型である。⑩院内については久重山系型の隣りで気象特性も似ていたが、標高差があり第3.3節の図で示すように夜間の冷却度合いにも差があったため、本論では独立した小気象区として分類した。山岳性気象区に含まれる小気象区のうち阿蘇山系型や南部山地型は西岸性の気象特性を、逆に九州山地東斜面型や院内型は東岸性の気象特性を有していた。

3.2.4 内陸性気象区

海洋性、山岳性の大規模な気象区のいずれにも該当しない地域は内陸の平野部等であり、内陸性の気象特性を有する気象区である。第4図cおよび第5図に示したように、内陸性気象区に含まれる小気象区は東松浦半島型、日本海内陸型、筑紫平野型、南海東部台地型の4区分である。海洋性気象度の主成分得点を見ると内陸性気象区は山岳性と海洋性の中間に位置し、冬季の九州地域において中間的な気温環境にある小気象区群と考えられる。しかし、東岸性気象度について見



第7図 各小気象区における夜間最低気温の月別の平均値 (1997年12月～1998年2月)。

ると西岸性と東岸性に分類できる。すなわち、東松浦半島型と日本海内陸型は西岸性、逆に筑紫平野型と南海東部台地型は東岸性の気象特性を有していた。筑紫平野型は九州北部に位置するが季節風に対して背振山地の山陰になるため、東岸性の気象特性を有すると思われる。

3.3 小気象区における夜間冷却の特徴

3.3.1 夜間最低気温の特徴

冬季の局地的な冷却現象推定の基礎資料とするため、1997年12月1日から1998年2月28日までの90日間を対象に、冬季の夜間における冷え込み方が気象区によってどのような違いがあるかを調べた。⑨ 網笠山を除く AMeDAS 局における夜間 (19時～翌朝6時) の最低気温を、小気象区ごとにまとめ月平均したものを第7図に示す。気象区は1月における最低気温の平均が低い方から昇順に並べた。各月の全気象区平均の夜間最低気温を見ると、12月と2月はそれぞれ5.3°C、5.6°Cで差はなく1月が2.9°Cで最も低かった。また、月平均夜間最低気温は第4図および第5図に示した海洋性気象度と同様に、山岳性気象区で低く内陸性、海洋性気象区の順で高くなった。すなわち、本研究で得られた海洋性気象度による気象区分については、冬季の気象区分として大体妥当であることを示している。ただし、2月の気象区分については若干、検討の余地がある。

第2.4節に示した天候分類により、7個所の気象官署のうち5個所以上が同一の天候条件であった日を選び

第3表 4種類の天候条件における夜間最低気温の月別の平均値 (°C)。

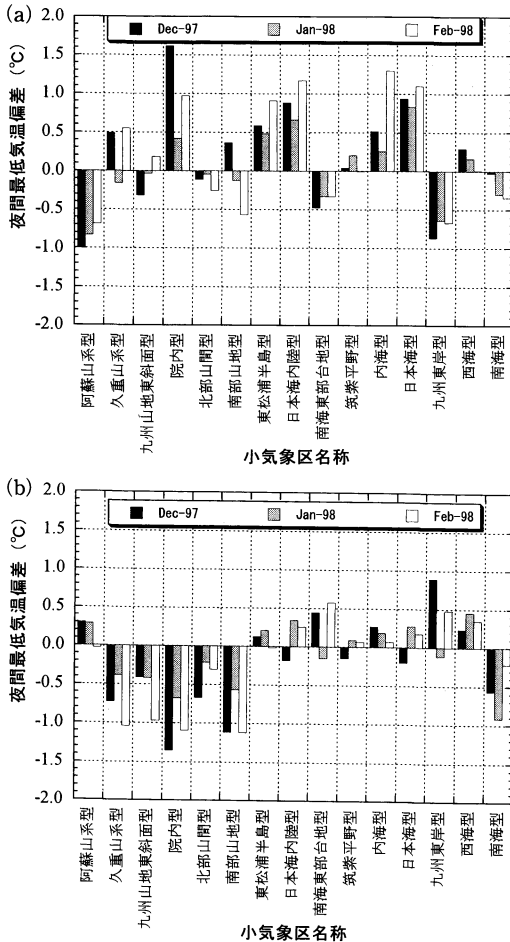
天候条件	Dec-97		Jan-98		Feb-98	
	日数	平均値	日数	平均値	日数	平均値
冬型日	6	2.6	8	0.3	3	3.5
晴天日	6	3.6	6	1.2	7	2.9
曇天日	2	6.2	2	2.0	3	6.5
雨天日	6	10.1	8	6.6	5	10.5
全日	31	5.3	31	2.9	28	5.7

出し、その他の天候条件を除いた4種類の天候条件ごとに、⑨ 網笠山を除いた全 AMeDAS 局の夜間最低気温の平均値を算出した。夜間最低気温の4種類の天候条件日における月平均値および全日の月平均値を、第3表に月別に示す。12月と1月では冬型日の冷え込みが最も強く、次いで晴天日、曇天日、雨天日の順であったが、2月では冬型日より晴天日が冷え込む特徴があった。すなわち、冬型日および晴天日が冬季の夜間において、最も冷え込む天候条件であると言える。

3.3.2 天候別夜間最低気温偏差の特徴

冬季夜間において最も冷え込む傾向にある冬型日および晴天日を対象に、小気象区ごとの冷え込みの程度と原因を調べた。小気象区における冬型日および晴天日の DM_s 指標 (第2.4節参照) をそれぞれ第8図aおよびbに示す。 DM_s 指標は値が小さい (負の大きな値) ほど冷え込みが大きいことを示す。さらに冬型日および晴天日における冷え込みの特徴と地形との関係調べるために、南東斜面勾配度 (以下、 $SEsl$) および盆地度 (以下、 BD) と DM_s 指標との関係を1次の単回帰で調べた。2種類の地形因子は研究対象地域に含まれる GTOPO30の海洋、島嶼部を除く全グリッドについて算出し、小気象区に含まれるすべてのグリッドを対象に平均した場合 (以下、ゾーン集計による地形因子) と、AMeDAS 局に最も距離が近いグリッドを対象に平均した場合 (以下、近傍グリッドの地形因子) を調べた。ゾーン集計による地形因子には AMeDAS 局が代表する地域全体の地形条件が反映し、近傍グリッド地形因子には AMeDAS 局周辺の狭い地域における地形条件が反映される。

冬型日において DM_s 指標が負の大きな値をとる傾向にあったのは、阿蘇山系型、南海東部台地型、九州東岸型の小気象区であった (第8図a)。すなわち、これらの気象区では普段 (全日平均) と比べて冬型日の冷え込みの程度が、九州全域の平均と比較して大きい。1997年12月から1998年2月までの各月の冬型日および



第8図 各月における天候別夜間最低気温偏差 (DM_s 指標) の分布。(a) 冬型日の場合, (b) 晴天日の場合.

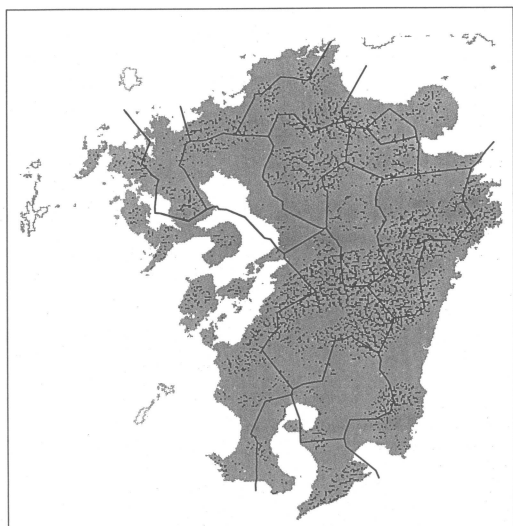
晴天日について、それぞれの気象区の地形因子 ($SEsI$, BD) 平均値と DM_s 指標との相関係数を第4表に示す。有意水準5%の F 検定により有意な相関が得られた組み合わせには、表中にハッチをかけた。まず $SEsI$ の場合について見ると、冬型日の場合は、ゾーン集計による $SEsI$ とすべての月の DM_s 指標との間に、有意な負相関が得られた。一方、晴天日の場合は、近傍グリッドによる $SEsI$ と1月の DM_s 指標との間にだけ有意な負相関が得られた。すなわち、急傾斜の南東斜面地形を多く含んだ、南海東部台地型や九州東岸型などの気象区は、冬型日において DM_s 指標が負の大きな値をとる傾向にあったと考えられる。また、冬型日には近傍グリッドの $SEsI$ と DM_s 指標との間に有意な相関が得

第4表 南東斜面勾配度 ($SEsI$) および盆地度 (BD) と DM_s 指標との間の1次単回帰分析における相関係数。回帰分析の結果、有意水準5%で有意な相関が得られた組み合わせには、ハッチをかけた。双方の地形因子とも研究対象地域に含まれるGTOPO30の全グリッドについて算出し、近傍はAMeDAS局に最も距離が近いグリッドを対象に平均した場合、ゾーン集計は小気象区に含まれる陸上のすべてのグリッドを対象に平均した場合である。

天候条件・年月	南東斜面勾配度 ($SEsI$)		盆地度 (BD)	
	近傍	ゾーン集計	近傍	ゾーン集計
冬型日 Dec-97	-0.18	-0.72	0.46	-0.01
Jan-98	-0.35	-0.56	0.00	-0.17
Feb-98	-0.36	-0.54	0.08	-0.02
晴天日 Dec-97	-0.06	0.49	-0.61	-0.34
Jan-98	-0.52	-0.16	-0.54	-0.31
Feb-98	-0.10	0.29	-0.68	-0.49

られなかったことから、冬型日の冷え込みはスケールの大きな場に支配されていると考えられる。これは九州山地の上に南下してきた寒気が斜面に沿って吹き降りるボラ現象が発生し、南東風下にある気象区の冷え込みを相対的に大きくしていることや、季節風の風下側の山麓では乾燥した晴天になるため放射冷却が発達したことなどが、可能性として考えられる。何れにしてもこのような冬型日における冷却の特徴を生じる原因の特定については、山地の風上・風下・頂上付近などにおける風や気温・湿度の垂直分布や、高層も含めた詳細な観測が必要である。しかし、冬型日の DM_s 指標が最も小さかった阿蘇山系型小気象区は、上に挙げた気象区の中で唯一、北西斜面に面した気象区である。阿蘇山系型気象区は九州地域において最も平均標高が高い気象区である。日本の山岳における気温減率を調べた吉野 (1961) によると、冬の発達した季節風の天候条件の場合に気温減率は最も大きくなる。すなわち、阿蘇山系型気象区は冬型日において、季節風の吹き出しによる寒気の移流が夜間の冷却に直接影響しており、九州地域の中で特異的な冷却の形態を有していると考えられる。

一方、晴天日において DM_s 指標が負の大きな値をとる傾向にあったのは、久重山系型、九州山地東斜面型、院内型、北部山間型、南部山地型、南海型などの小気象区であった(第8図b)。第4表中の BD と DM_s 指標との間の単相関分析結果を見ると、晴天日の場合はすべての月で、近傍グリッドの BD と DM_s 指標との間に有意な負相関が得られた。一方、冬型日の場合には、



第9図 盆地度 (BD) が50 m より大きいグリッドの地域分布。黒点で示した BD > 50 m の地域は周辺グリッドの平均標高と比べて50 m より低いグリッドである。

BD と DM_s 指標との間に有意な相関は得られなかった。すなわち、晴天日には AMeDAS 局付近が深い盆地地形にある程冷え込む傾向を持つと考えられる。また、ゾーン集計による BD と DM_s 指標との間に有意な相関が得られなかったことも、晴天日における冷え込みが局地的な現象に支配されていることを示唆している。晴天夜間における盆地地形などの冷却効果の局地性については、吉野 (1960)、鈴木ほか (1982) など多数の報告がある。BD が50 m より大きい地域の分布を第9図に示す。高低差が大きい盆地地形は、起伏に富んだ山間地域やシラス台地上にほぼ均等に分布している。上記の気象区に含まれる地域は盆地地形が多く、AMeDAS 局の多くが盆地地形に位置していたと考えられる。

以上の結果より考察して、DEM に基づく地形因子解析の手法から、冬季の冷却現象に関する局地気象推定を試みる場合、適切なメッシュスケールは天候条件によって異なると考えられる。すなわち、冬型日のように冷え込みが比較的スケールの大きな場に支配されるような場合は、広範囲の地形を捉えることができる地形情報を用いることが必要である。一方、晴天日のように冷え込みが局地的な現象に支配されるような場合に、より詳細な夜間冷却の解析を行うためには、50 m メッシュ等の空間分解能が高い地形情報を用いる

ことが望ましい。

4. まとめ

九州地域内の離島を除く86地点の AMeDAS 局における、1月の気温、降水量、風速、日照時間より算出した気象代表値を用いて主成分分析を行った。この主成分分析の結果と GIS を用いた AMeDAS 局の空間解析より、冬季の九州地域における気象特性による地域区分と地域ごとの夜間冷却の特性について考察した。その結果、以下のような知見を得た。

- 冬季の九州地域は気温の寒暖によって、海洋性と山岳性およびその中間に位置する内陸性の大気象区に分けられる。
- 冬季において九州山地を挟んで西岸と東岸で気象特性は大きく異なり、西岸性は悪天で降水が多く東岸性は好天で降水が少ない。
- 冬季の九州地域を海洋性気象度および東岸性気象度を指標として、気象特性により地域区分した結果、3つの大気象区からさらに15の小気象区へと細分できた。
- 盆地地形を多く含む山間部や九州南部の気象区では、晴天日の夜間に冷え込む傾向があった。これは局地的に発達する冷気湖により、冷却度合いが大きくなるためと考えられる。
- 冬型日の夜間冷却は晴天日と比較して、スケールのより大きな場に支配される。
- 九州地域の中で阿蘇山系型気象区は、冬型日の冷え込みが最も大きかった。これは季節風による寒気移流の影響が、最も強く現われた結果と考えられる。
- 季節風に対して風下となる九州山地南東斜面に位置する気象区では、冬型日に冷え込む傾向があった。これは九州山地を越えて発生するボウ現象による冷却や、季節風の風下側の山麓では乾燥した晴天になるため放射冷却が発達したことなどが、可能性として考えられる。

参考文献

- 福岡管区気象台, 1964: 九州の気候, 14-17.
 菅野洋光, 1997: ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定, 農業気象, 53, 11-19.
 近藤純正, 桑形恒男, 1984: 盆地内に形成される夜間冷気層 (冷気湖) の厚さと地形との関係, 天気, 31, 727-737.
 三上岳彦, 1975: 主成分分析による日本の夏季気温分布

- 型の表現とその動気候学的考察, 地理学評論, 48, 784-797.
- 野本眞一, 千葉 長, 矢島栄三, 1983: 気候要素の地域区分への主成分分析の応用 (降水量によるわが国の地域区分), 天気, 30, 385-394.
- 岡村敏夫, 1987: メッシュ気候値—その作成, 利用の現状と将来—, 天気, 34, 157-173.
- 清野 豁, 1993: アメダスデータのメッシュ化について, 農業気象, 48, 379-383.
- 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.
- 高山 成, 早川誠而, 河村宏明, 1998: 山口県における夜間気温のメッシュ値について, 日本農業気象学会 1998年度全国大会講演要旨集, 106-107.
- 高山 成, 早川誠而, 河村宏明, 1999: 霜害発生予察のための50 m メッシュ地形情報を用いた局地的冷却現象の解析, 農業気象, 55, 235-246.
- 高山 成, 早川誠而, 小野本敏, 辻 多聞, 2001: 九州地域における冬季の夜間最低気温の1 km メッシュ推定値と地点実測値について, 農業気象 (投稿中).
- 山田一茂, 1993: 農業気象情報とシステム化について—自治体における動向分析—, 農業情報研究, 2, 1-15.
- 山田一茂, 1995: 短時間スケールの気温分布特性とそのメッシュ化手法, 農業気象, 51, 345-354.
- 吉野正敏, 1960: 霜の危険度を地形図によって小気候学的に推定する方法, 農業気象, 15(3), 83-87.
- 吉野正敏, 1961: 小気候, 地人書館, 1-27.
- 吉野正敏, 1967: 関東地方の気候区分, 東北地理, 19(4), 165-171.

Meteorological Classification and Characteristics of Cooling at Night over Kyushu Region in Winter. —GIS Analysis—

Naru TAKAYAMA*¹, Seiji HAYAKAWA*², Satoshi ONOMOTO*³
and Tamon TSUJI*⁴

*¹ (Corresponding author) The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, Tottori 680-0945, Japan.

*² Faculty of Agriculture, Yamaguchi University.

*³ The Headquarters in Fukuoka, Japan Weather Association.

*⁴ Department of Agriculture, Kyushu University.

(Received 12 October 2000 ; Accepted 13 Jun 2001)
