九州における冬季の夜間最低気温の 1 km メッシュ 推定値と実測値の関係

高山 成*・早川誠而**・小野本敏***・辻 多聞****

(* 鳥取大学大学院連合農学研究科
** 山口大学農学部
*** 日本気象協会九州支社
**** 九州大学演習林)

A Relationship between Estimated 1-km-Mesh Nocturnal Minimum Temperature and Observed Points Temperature over Kyushu Region in Winter

Naru TAKAYAMA*, Seiji HAYAKAWA**, Satoshi ONOMOTO*** and Tamon TSUJI****

(* The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, Tottori, 680-0945 Japan
** Faculty of Agriculture, Yamaguchi University, Yamaguchi, 753-8515 Japan
*** The Headquarters in Fukuoka, Japan Weather Association, Fukuoka, 810-0052 Japan
**** Research Institute of Kyushu University Forests, Fukuoka, 811-2415 Japan)

Abstract

The 1-km-mesh nocturnal minimum temperatures in winter were estimated for all of Kyushu by using variational analysis. The 1-km-mesh is not sufficient for prediction of frost occurrence and prediction of road freezing. So, a method to convert the nocturnal minimum temperatures from 1-km-mesh to 50-m-mesh was examined. The estimated deviation for 1-km-mesh nocturnal minimum temperature (DT_{r-m}) was computed by subtracting 1-km-mesh nocturnal minimum temperature from observed nocturnal minimum temperature at JH (Japan Highway) weather stations. Each day from December 1, 1997 to February 28, 1998 was classified into one of five kinds of weather condition days. The properties of DT_{r-m} distribution for each weather condition were investigated by rank sum test and by using GIS with a DEM (GTOPO30). The values of DT_{r-m} tended to become nearly zero on rainy days, with large positive or negative values on fine days. But, in areas where flat topography predominates, the values of DT_{r-m} were distributed around zero regardless of the weather conditions. On fine days, the values of DT_{r-m} were large and positive in mountainous regions, and were large and negative in the West sea coastal area. The differences in the degree of localized cooling between JH weather and AMeDAS stations which depend on geographical and topographical features may cause the variation in the DT_{r-m} values.

The difference of the degree of basin (BD_{J-A}) was calculated from 50-m-mesh elevation data for the JH weather stations and the nearest AMeDAS stations. The values of BD_{J-A} have a negative relationship to the median of DT_{r-m} frequency. These results show that 1-km-mesh temperature may be convertible to 50-m-mesh temperature by using BD_{J-A} .

Key words: 1-km-mesh, 50-m-mesh, Nocturnal minimum temperature, DEM, GIS.

キーワード: 1 km メッシュ, 50 m メッシュ, 夜間最低気温, 数値標高モデル, 地理情報システム

1. はじめに

2000 年 12 月 18 日 受付, 2002 年 3 月 8 日 受理
* 現在, 鳥取大学乾燥地研究センタ

近年, 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。Yamada (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・整備しており、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、病害虫の発生予察・防除などへの利用が図られつつある。

これまでこうしたメッシュ気候・気象値の多くは、標準地域メッシュシステムの3次メッシュすなわち1kmメッシュ単位で作成されてきた。しかし、地勢が複雑な日本では中山間地の営農現場などにおいて、1kmメッシュ値では十分とは言えず、50mメッシュなどを活用した詳細なメッシュ気象値の作成が考えられつつある(Hayakawa *et al.*, 2001)。例えば Ohara and Ueyama (1998) は中山間地において50mメッシュ気温分布図の作成を試みた。また、Takayama *et al.* (1998; 1999) は晩霜害の予察を目的として、山口県地域のカキ産地を対象に春季夜間における局地的な冷却度合いを、50mメッシュ単位で評価することを試みた。

メッシュ気象値はこれまで雨量や気温の平年値(気候値)、あるいは年・月平均といった比較的長期間の気象値が、主に農業分野における栽培適地判定や作物の生育・収量診断といった目的に利用されてきた。これはメッシュ気象値が気象要素を客観的かつ面的に得られる利点がある反面、短時間スケールでのメッシュ展開の場合推定誤差が大きくなる問題点があるためである。Seino (1993) によると気温のメッシュ化に関して、月平均、旬平均、日平均と統計期間を変えた場合、平均期間が短いほど推定誤差が大きくなった。1kmメッシュを使って気温をメッシュ化する手法上の改良を検討した事例として、Yamada (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、Kanno (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。さらに Hayakawa *et al.* (1996) は山口県内の数箇所の農地を対象に晩霜害の防止を目的として、重回帰法で推定された1kmメッシュ単位の日最低気温値を、ポイント値へと変換する手法について検討した。

筆者らのグループは、主に冬季、春季に発生する霜害の予察や路面凍結の危険度予測といった、農業気象、道路気象の情報として利用可能な夜間気温のメッシュ化手法を検討している(Takayama *et al.*, 2000)。そこで冬季の九州地域を対象として、AMeDAS局において得られた気温観測データを、客観的解析法(Ninomiya and Akiyama, 1978; 1979)により内挿し、1kmメッシュ気温推定値(以下、1kmメッシュ気温値)を算出した。

さらに得られた1kmメッシュ気温値を50mメッシュ単位へと補正・変換することを検討したが、地域によって1kmメッシュ気温値と実測値との間に正または負の大きな差が生じることが判明した(Takayama *et al.*, 2000)。こうした地域は一定の傾向を持って分布しており、地理的な位置、地形、気候・気象などの地域的な差などが、1kmメッシュ気温値と実測値とに差を生じる原因として考えられた。冬季の九州地域では海洋性と山岳性、東岸性と西岸性といった気象特性が見られ、こうした気象特性により15もの小気象区に分類される(Takayama *et al.*, 2001)。さらに九州地域の気候を調べた Doi (1964) によると、九州内では年間を通じて冬季の天候に特に大きな地域間差がある。すなわち、1kmメッシュ気温値の補正・変換に際してはこうした地域間の天候条件の違いを考慮して、路線ごとに適切な方法を見出すことが必要であると考えられる。

本論でははじめに、高速道路沿線の定時気象観測点(JH気象観測点)の夜間最低気温実測値と、その場所の1kmメッシュ推定値による夜間最低気温(以下、メッシュ夜間最低気温)との差(メッシュ夜間最低気温値推定偏差: DT 値)を、高速道路沿線における夜間最低気温がメッシュ夜間最低気温とどの程度の差を生じるかの指標とした。次に研究対象期間とした冬季(12月~2月)の90日間について天気分類を行い、5種類の天気条件ごとに DT 値の相対度数分布の中央値(以下、 DT_{Me})および標準偏差(以下、 DT_{SD})を調べ、天気条件によって DT 値の分布がどのような特徴を持つのか考察した。さらに各天気条件における DT_{Me} に差があるかを順位と検定により調べ、その結果を $30'' \times 30''$ 間隔の数値標高モデル(DEM)と共に地理情報システム(GIS)上に展開させた。すなわち、天気条件ごとの DT 値が観測点の地理的(九州全域で見た位置や海拔高度)ないし地形的(盆地地形、平野、丘陵など)な条件によってどのような特徴を持つかを調べた。最後に DT 値発生の要因について、局地的な冷却現象の特徴や50mメッシュから算出した盆地度との関係などから考察し、1kmメッシュ気温値を50mメッシュ気温値へと補正・変換する手法を得るための基礎的資料とした。

2. 解析資料および方法

2.1 研究対象地域および気象データ

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気温の実測値として、九州地域を走る高速自動車道(以下、JH路線)に設置された、気象観測ロボット77地点(以下、JH気象観測点)における毎正時気温を用いた。九州地域の地形とJH気象観測点の位置をFig.

Fig. 1. Location of JH weather stations and topographical features in Kyushu.

1 に示す。JH 気象観測点の名称は後掲の Table 2 に示し、Fig. 1 の観測点番号が Table 2 の番号および本文中に出てくる観測点の番号に対応している。図が煩雑になるため AMeDAS 局の位置と 100 m および 300 m の等高線は後掲の Fig. 4 に示した。本研究では標高が 300 m 以上を山岳地域、100 m 以上 300 m 未満を山間地域、100 m 未満を平野地域と定義する。九州地域の地形と JH 路線の位置との関係を見ると、九州中央部から東側にかけて大規模な山岳地域が存在し、北東部の大分道と南部路線で山岳地域を横切っている。また九州北部では平野地域に位置する JH 路線が多いが、南部は台地地形（シラス台地）となっており JH 路線は概ね山間地域に位置する。九州自動車道および隼人道は九州地域をほぼ南北に縦断しており、最北端の観測点である 1（吉志）

が N33° 51' 49", E130° 57' 27" に、また最南端の観測点である 68（鹿児島北 I.C.）が N31° 37' 5", E130° 31' 35" に位置する。大分自動車道・宇佐別府道および長崎自動車道・西九州自動車道・長崎バイパスは九州北部を東西に横断しており、最東端の観測点である 37（大分米良 I.C.）が N33° 11' 40", E131° 38' 17" に、また最西端の観測点である 47（川平 I.C.）が N32° 47' 32", E129° 53' 13" に位置する。また宮崎自動車道は南部九州を東方向に延びている。JH 気象観測点 77 地点のうち 43 地点は、料金所（I.C.）周辺の芝地に設置されており、残りの 34 地点については、上下線間の芝地ないし沿線の芝地に設置されている。観測値の代表性を考慮して、高架橋などの建造物上に設置されている JH 気象観測点のデータは今回使用しなかった。

2.2 メッシュ気温値

メッシュ気温値データとして(財)日本気象協会九州支社で作成した毎正時 1 km メッシュ気温を用いた。このメッシュ気温値は島嶼部を含む九州地域内に位置する、101 地点の AMeDAS (4 要素観測局) における毎正時気温観測値を基に、AMeDAS 局のないメッシュについて推定値で内挿する手法である。以下のような手順で毎正時気温観測値のメッシュ化を行う。

- (1) 九州地域を含む東西 240 メッシュ、南北 400 メッシュを座標 (x, y) 上にとる。
- (2) AMeDAS 局の位置する 101 個のメッシュについて、 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の気温減率で標高補正した気温の観測値 $F_{\text{OBS}}(x, y)$ を挿入する。
- (3) AMeDAS 局のないメッシュに 101 地点の平均値を挿入する。
- (4) 求める推定値を曲線 $F(x, y)$ として、2 つの条件すなわち、AMeDAS 地点では実測値に最も近い (条件①)、 $F(x, y)$ が滑らかである (条件②)、を満たすように内挿計算を行う。気温の内挿計算には変分法を応用した客観的解析法 (Ninomiya and Akiyama, 1978; 1979) を用いた。
- (5) 対象地域の各メッシュの内挿計算値に標高補正を施した値をメッシュ気温値とする。

手順 (4) において条件①および条件②を満たすためには、式 (1) および (2) をそれぞれ最小にするように曲面の設定を行う。

$$\alpha \{F(x, y) - F_{\text{OBS}}(x, y)\}^2 \quad (1)$$

$$\beta \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} F(x, y) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} F(x, y) \right)^2 \right\} \quad (2)$$

ただし、 $\alpha: F(x, y)$ と $F_{\text{OBS}}(x, y)$ の差に関する重み、 β : 滑らかさに関する重みである。

2.3 メッシュ夜間最低気温値推定偏差

日界を 9 時として夜間 (17 時～翌朝 9 時) の最低気温について、JH 気象観測点の夜間最低気温実測値とメッシュ夜間最低気温との差を、メッシュ夜間最低気温推定偏差として次式のように定義する。

$$DT_{r-m} = T_r - T_m \quad (3)$$

ここで、 DT_{r-m} : メッシュ夜間最低気温値推定偏差 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_r : JH 気象観測点における夜間最低気温の実測値 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_m : JH 気象観測点を含む 1 km メッシュのメッシュ夜間最低気温 ($^{\circ}\text{C}$) である。

はじめに 77 地点の JH 気象観測点における DT_{r-m} (以下、 DT 値) を、1997 年 12 月 1 日から 1998 年 2 月 28 日の 90 日について算出した。次に JH 気象観測点ごとに算出した DT 値の相対度数分布を求め、その中央値および標準偏差を、各 JH 気象観測点における夜間最低

気温の実測値とメッシュ夜間最低気温との差を評価する指標とした。すなわち、 DT 値相対度数分布の中央値を DT_{Me} として、JH 気象観測点付近における夜間最低気温がメッシュ夜間最低気温より低いか高いかの傾向を調べた。さらに DT 値相対度数分布の標準偏差を DT_{SD} として、JH 気象観測点における DT 値出現のばらつき程度の評価を行った。 DT_{Me} が 0 に近い値でかつ DT_{SD} が小さい程、気温実測値とメッシュ気温値との差が少ない場所であると言える。

2.4 天気条件の分類

それぞれの JH 気象観測点における DT 値の出現が、天気条件によりどのような傾向を示すかを明らかにするため、対象期間の 90 日間を晴天、曇天、雨天、冬型、その他の 5 種類の天気条件に分類した。天気条件の分類には下関、佐賀、大分、熊本、宮崎、鹿児島、各地方気象台、福岡管区気象台、長崎海洋気象台における、18 時から翌日 6 時までの天気を考慮した。分類の手順は以下の通りである。

- (1) 当日 9 時の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。
- (2) 各 JH 気象観測点から最寄りの気象台 (福岡管区気象台、長崎海洋気象台、佐賀、大分、熊本、宮崎、鹿児島、各地方気象台) 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、前日 15 時から当日 9 時までの気象衛星ひまわりの赤外画像より、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。これはひまわりの赤外画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、冬型のいずれの天気条件にも分類するのが困難な日を、その他に分類する。

2.5 DT 値分布の有意差検定

77 地点の JH 気象観測点それぞれにおいて、各天気条件における DT 値分布の傾向に差があるのかを調べた。すなわち、77 地点の JH 気象観測点において 5 種類

の天気条件の組み合わせ 10 通りについて、母集団の DT_{Me} に差があるのか順位和検定を用いて有意水準 95% で調べた。天気条件日 1 における DT 値を $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$, 同じく天気条件日 2 を $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}$ とし、2 つのデータ群を合わせて昇順に順位を付けていく。データ数が少ないデータ群の順位和を検定統計量として両側検定を行った。

2.6 地形データ

Fig. 1 に示したように地理情報システム (GIS) 上に数値標高モデル (DEM) を展開し、77 地点の JH 気象観測点および九州地域の離島などを除く AMeDAS 局 86 地点を重ね合わせた。使用した GIS 解析ソフトは ArcView GIS Version 3.0a (ESRI 社製)、また DEM データは U.S. Geological Survey (USGS) による GTOPO30 を用いた。GTOPO30 は緯度・経度方向に $30'' \times 30''$ 間隔の標高グリッドから構成されており、このうち E100 N40 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 個のメッシュデータを切り出した。切り出した標高グリッドデータは GIS ソフト上で、10 進数経緯度座標を平面の X, Y 座標として描画させた。さらに JH 気象観測点および AMeDAS 局を WGS84 系で 10 進数緯度経度を用いて番地付けを行い、GTOPO30 の上に重ね合わせた。

まず、JH 気象観測点および AMeDAS 局の地理的な位置およびおおまかな地形条件を GTOPO30 から読み取り、 DT 値の地域的な分布やその発生要因について考察した。次に盆地地形は局地的な冷却の発達に重要な影響を与えるため、盆地度は冷却しやすい地形条件を表す指標であると考えた。そこで JH 気象観測点および AMeDAS 局周辺のより微細な地形条件を調べるため、盆地度 (BD) (Takayama *et al.*, 2001) を算出した。

$$BD = H_R - H_C \quad (4)$$

ここで H_R はメッシュ拡張数 R の周辺メッシュの平均標高 (m), H_C は観測点があるメッシュの標高 (m) である。標高データには国土地理院による数値地図 50 m メッシュ (標高) を用いた。メッシュ拡張数 R は観測点があるメッシュに隣接する 8 メッシュを $R=1$ の、さらにその外側にある 16 メッシュを $R=2$ の周辺メッシュとする。

2.7 局地冷却度の算出

ある観測点 j における気温と対象地域の平均的な気温との偏差をある期間について平均し、この値を観測点 j における地理的效果による冷却度 $GC(j)$ (°C) とする。このとき観測点 j が観測日 i に $GC(j)$ よりどの程度冷

えたかを、局地冷却度 (Sumino, 1961) として次式から算出した。

$$LC(i, j) = T(i, j) - TAM(i) - GC(j) \quad (5)$$

$$TAM(i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \{T(i, j)\} \quad (6)$$

$$GC(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{T(i, j) - TAM(i)\} \quad (7)$$

ここで、 $LC(i, j)$ は i 日の j 地点における局地冷却度 (°C), $T(i, j)$ は i 日の j 地点における夜間最低気温 (°C), n はデータ日数, m は観測点数である。 $TAM(i)$ は i 日における対象地域の平均気温と考え、 $TAM(i)$ の算出に使う観測点が対象地域の中で地理的に均等に分布していることが望ましい。AMeDAS 局は約 21 km 間隔でなるべく均等に分布するように設置されている。そこで $LC(i, j)$ (以下、 LC 値) の算出に際して AMeDAS 局の場合は、Fig. 4 に示した 86 地点の AMeDAS 局の $T(i, j)$ から $m=86$ として計算し、JH 気象観測点の場合は AMeDAS 局 86 地点 + JH 気象観測点 ($m=87$) として計算した。 $GC(j)$ は観測点ごとに $T(i, j)$ と $TAM(i)$ との偏差を、本研究の対象期間 90 日 ($n=90$) で平均した。 $GC(j)$ の値には経緯度、海陸分布などの観測点の地理的な位置や標高差といった、地理的效果による気温差が主に反映される。

3. 結果および考察

3.1 天気条件と DT 値分布の特性について

はじめに 77 地点の JH 気象観測点において 5 種類の天気条件ごとに算出した、 DT_{Me} の相対度数分布を Fig. 2 に示す。ただし図を見やすくするためにその他の天気条件は除いた。Fig. 2 から分かるように DT_{Me} は雨天日に最も 0 付近に集中するような分布を呈した。また、Fig. 3 に DT_{SD} の相対度数分布を 0.3 刻みで示した。 DT_{SD} は雨天日において最も小さい値で分布しており、 DT 値の分布にばらつきが最も小さいと言える。従って、JH 気象観測点における夜間最低気温実測値とメッシュ夜間最低気温との差は雨天日において最も小さくなる傾向にあり、メッシュ気温値が現地の気温を精度良く反映していると考えられる。 DT_{Me} および DT_{SD} の天気条件ごとの分布から算出した、標準偏差 DT_{MeSD} , DT_{SDSD} を Table 1 に示す。 DT_{MeSD} の値は雨天日が最も小さく冬型、曇天、その他、晴天の順に大きくなった。一方、 DT_{SDSD} の値は DT_{MeSD} と同様に雨天日において最も小さかったが、晴天日、曇天日、冬型日の間で大きな差はなかった。以上の結果から推察して、雨天条件下では局地的な冷却現象があまり発達せず気温の空間分布

Fig. 2. Relative frequency distribution of DT_{Me} under each weather condition. Fig. 3. Relative frequency of DT_{SD} under each weather condition.

の連続性が良くなるため、AMeDAS 観測値の空間内挿によるメッシュ展開手法が有効に機能すると考えられる。逆に晴天条件下では局地的な冷却現象が発達しやすく気温の空間分布の局地性が強くなるため、場所によっては実際の夜間気温とメッシュ気温値との差が大きくなると考えられる。

Table 1. Standard deviations calculated from DT_{Me} and DT_{SD} for all JH weather stations under each weather condition.

Weather condition	DT_{MeSD}	DT_{SDSD}
Fine days	1.36	0.24
Cloudy days	0.94	0.28
Rainy days	0.47	0.15
Winter pattern days	0.75	0.26
Other days	1.04	0.38

Table 2. Result of rank sum test between “fine days or winter pattern days” and “rainy days”, and DT_{Me} for fine days, winter pattern days and rainy days.

JH weather station	DT_{Me} (°C)		Rainy	Result of rank sum test		JH weather station	DT_{Me} (°C)		Rainy	Result of rank sum test	
	Fine	Winter		Fine-Rainy	Winter-Rainy		Fine	Winter		Fine-Rainy	Winter-Rainy
1 (Kishi)	1.8	0.3	0.3	>	=	40 (Kurokibarubashi)	0.0	-1.1	-0.4	>	<
2 (Kokurahigashi I.C.)	-1.1	0.0	-0.1	<	=	41 (Higashisonoki I.C.)	1.4	0.3	0.2	>	=
3 (Fukuiyama)	0.3	-0.2	-0.2	<	=	42 (Omura I.C.)	-0.3	-0.3	0.0	>	=
4 (Yahata I.C.)	-0.2	-0.5	-0.5	=	=	43 (Suzutagawa)	-2.1	-1.7	-0.1	<	<
5 (Ongagawa)	-0.3	-0.3	0.0	<	<	44 (Isahaya I.C.)	-2.7	-1.6	-0.5	<	<
6 (Wakamiya I.C.)	-1.9	-1.0	-0.7	<	=	45 (Nagasaki I.C.)	-2.2	-1.9	-0.7	<	<
7 (Misakatouge)	2.2	-0.7	-0.5	>	=	46 (Maetake)	-0.5	-1.0	-0.5	=	<
8 (Koga I.C.)	0.8	0.4	-0.3	>	=	47 (Kawahira I.C.)	-0.8	-0.4	-0.1	=	=
9 (Tataragawa)	-0.3	0.0	0.0	=	=	48 (Amagasetakatsuka I.C.)	2.2	0.9	1.2	>	=
10 (Dazaifu I.C.)	0.4	-0.1	-0.3	>	=	49 (Tanokuti)	-1.0	-0.5	-0.6	<	=
11 (Kiyama)	0.6	0.2	0.1	>	=	50 (Kusu I.C.)	-1.0	-0.6	0.1	<	=
12 (Houmangawa)	-0.2	0.1	0.0	=	=	51 (Kokonoe I.C.)	-0.3	-0.8	-0.3	=	<
13 (Kurume I.C.)	0.2	0.3	-0.3	>	>	52 (Obiradanigawa)	-0.2	-1.3	-0.8	=	=
14 (Yabegawa)	-0.5	-0.3	-0.3	=	=	53 (Yufuin I.C.)	0.6	-0.5	-0.4	>	=
15 (Tosudaimi I.C.)	-0.5	-0.6	-0.6	=	=	54 (Shiratakigawabashi)	2.6	-0.2	-0.6	>	=
16 (Tadegawabashi)	-0.4	-0.8	0.2	=	<	55 (Beppu I.C.)	2.9	0.2	-0.1	>	>
17 (Sagayamato I.C.)	-0.2	-1.3	-0.7	>	<	56 (Hayami I.C.)	0.6	-0.7	-0.5	>	=
18 (Beppubashi)	-0.9	-0.9	0.0	<	<	57 (Kunoogawabashi)	0.2	-1.5	-1.2	>	=
19 (Taku I.C.)	-1.9	-1.3	-0.4	<	<	58 (Kawaradani)	2.4	0.5	0.4	>	=
20 (Takeokitakata I.C.)	-2.5	-1.4	-0.6	<	<	59 (Maegawa)	0.6	0.4	0.2	>	=
21 (Takeominami I.C.)	-1.9	-1.5	-0.8	<	=	60 (Hitoyoshi I.C.)	-0.3	-0.4	0.2	<	<
22 (Ureshino I.C.)	-1.2	-1.4	-0.6	<	=	61 (Ogouchi)	0.4	-0.4	-0.3	>	=
23 (Shiotagawa)	-0.2	-1.2	-0.3	=	=	62 (Kakutouminami)	2.5	0.7	1.1	>	=
24 (Amagi I.C.)	0.1	0.1	0.1	=	=	63 (Amorigawa)	-1.8	-1.3	-0.3	<	<
25 (Satagawa)	-1.0	-1.1	-0.9	=	=	64 (Mizobekukou I.C.)	0.6	-0.6	-0.3	>	=
26 (Asakura I.C.)	-0.5	-0.6	-0.5	=	=	65 (Kajiki I.C.)	-0.2	-0.8	0.1	<	<
27 (Hakiyama)	—	—	—	—	—	66 (Takutubashi)	-1.1	-1.2	0.1	<	<
28 (Hita I.C.)	-0.8	-0.8	-0.2	<	<	67 (Satumayoshida I.C.)	-1.7	-1.1	0.0	<	<
29 (Nankan I.C.)	-1.8	-1.7	-0.7	<	<	68 (Kagoshimakita I.C.)	-2.0	-1.2	0.2	<	<
30 (Kikutigawa)	-1.7	-1.5	-0.1	<	<	69 (Shimuzugawa)	0.6	0.1	0.6	=	<
31 (Ueki I.C.)	-0.5	-1.2	-0.5	=	<	70 (Ebino I.C.)	-1.2	-0.9	-0.4	<	<
32 (Shirakawabashi)	-1.2	-1.8	-1.1	=	<	71 (Ikeshimagawa)	-1.0	-0.4	0.0	<	<
33 (Midorikawabashi)	-0.6	-0.6	-0.1	<	<	72 (Idenoyama)	0.7	0.3	0.0	>	=
34 (Matsubase I.C.)	-0.5	-0.5	-0.2	=	=	73 (Takaharu I.C.)	-1.7	0.0	-0.2	<	=
35 (Yatsushiro I.C.)	0.8	1.3	0.9	=	>	74 (Oyodogawa)	-2.5	-1.1	-0.1	<	<
36 (Oita I.C.)	1.6	0.8	0.6	>	=	75 (Miyakonojo I.C.)	-2.5	-1.4	-0.5	<	<
37 (Oitamera I.C.)	-2.0	-1.9	-1.5	<	<	76 (Tenjin)	-1.7	-2.0	-1.2	=	<
38 (Ajimu I.C.)	-3.0	-2.2	-0.9	<	<	77 (Tano I.C.)	1.0	-0.7	-0.5	>	=
39 (Innai I.C.)	-2.5	-2.0	-0.2	<	<	78 (Miyazaki T.B.)	0.4	-0.2	0.2	>	=

Fig. 4. Classification of JH weather stations into four cases. Case (a) $-0.5 \leq DT_{Me} \leq 0.5$ and $DT_{SD} \leq 0.6$. Case (b) In rainy days, $DT_{Me} \leq -1.0$ or $DT_{Me} \geq 1.0$. Case (c) As a result of rank sum test, DT_{Me} for fine days is larger than for rainy days, and $DT_{Me} \geq 1.5$ on fine days. Case (d) As a result of rank sum test, DT_{Me} for fine days is smaller than for rainy days, and $DT_{Me} \leq -1.0$ for both fine and windy days.

3.2 DT 値分布の地域的な傾向および特徴

3.2.1 DT 値分布の傾向による場合分け

各 JH 気象観測点における天気条件ごとの DT_{Me} を比較するために、順位と検定を用いて 5 種類の天気条件ごとの DT 値分布における中央値 (DT_{Me}) に、有意水準 95% で差があるかを調べた。はじめに DT 値の分布にばらつきが最も小さい雨天日を基準として考え、雨天日と晴天日、雨天日と曇天日、雨天日と冬型日の間で検定を行った。次に晴天日、曇天日、冬型日それぞれの間で検定を行い、最後に DT_{Me} の値と併せて天気条件と DT 値分布の地理的な傾向との関係について考察した。各 JH 気象観測点における晴天日と雨天日、冬型日と雨天日についての検定結果および DT_{Me} を Table 2 に示す。

順位と検定の結果 DT_{Me} に有意差がある場合は、「<」あるいは「>」の記号を記し、有意差がない場合は「=」の記号を記した。各天気条件における DT_{Me} および DT_{SD} の分布および各 JH 観測点における順位と検定の結果を、GIS 解析ソフト上に重ね合わせ、 DT 値分布の地域的な傾向とその特徴について考察した。 DT_{Me} 、 DT_{SD} の指標と順位と検定結果を用いて、 DT 値分布の傾向と特徴を 4 つのパターンに分類したところ、 DT 値分布の傾向に関して地域的な特徴が見出された。すなわち、天気条件に関係なく DT 値分布にばらつきが小さい地域 {Case (a)}、すべての天気条件において DT 値の分布にばらつきが大きい地域 {Case (b)}、 DT 値の分布が特に晴天日に正の傾向にある地域 {Case (c)}、 DT 値

の分布が特に晴天日や冬型日に負の傾向にある地域 (Case (d)) である。それぞれの Case の分類方法は以下の通りである。

Case (a) 77 地点の JH 気象観測点における 90 日間の DT 値の分布について、 $-0.5 \leq DT_{Me} \leq 0.5$ かつ $DT_{SD} \leq 0.6$

Case (b) 雨天日において $DT_{Me} \leq -1.0$ あるいは $DT_{Me} \geq 1.0$

Case (c) 晴天日に DT_{Me} が雨天日より大きくかつ $DT_{Me} \geq 1.5$

Case (d) 晴天日における DT_{Me} が雨天日より小さくかつ、晴天日および冬型日に $DT_{Me} \leq -1.0$

それぞれの Case に分類された JH 観測点の分布を Fig. 4 に示す。

3.2.2 天気条件に関係なく DT 値分布にばらつきが小さい地域

天気条件に関係なく DT 値分布にばらつきが小さい Case (a) として分類されたのは、9 (多々良川) から 15 (鳥栖第二 I.C.), 24 (甘木 I.C.) に至る 8 地点を含む区間であった。この路線は筑紫平野から筑後平野にかけて平坦な地形であり、8 地点すべてが平野地域に位置していた。1 km メッシュ気温値が 1 km 四方の平均的な気温と考えると、1 km 四方よりも微小な局地的現象に支配されうる場所では、必ずしも現場における気温を反映していない可能性がある。しかし、平坦な地形が広範囲に広がる平野地域では気温分布が微小な地形に影響される割合が少ないため、JH 路線と AMeDAS 点の気温に類似性があり、AMeDAS 観測値の空間内挿による気温推定が有効であると考えられる。

3.2.3 すべての天気条件において DT 値の分布にばらつきが大きい地域

雨天日は先に述べたように DT 値の分布に、ばらつきが最も小さい天気条件である。しかし Fig. 2 を見ると雨天日にも DT 値の分布に、正または負の大きな値をとる傾向がある観測点が数箇所存在し、これらは Case (b) として分類された。Case (b) の JH 気象観測点のうち $DT_{Me} \leq -1.0$ すなわち、雨天日に DT 値の分布が負の大きな値をとる傾向にあったのは、32 (白川橋)、37 (大分米良 I.C.), 57 (久木野尾川橋)、76 (天神トンネル) の 4 地点である。逆に $DT_{Me} \geq 1.0$ すなわち DT 値の分布が正の大きな値をとる傾向にあったのは、48 (天ヶ瀬高塚 I.C.), 62 (加久藤南) でいずれも山岳地域に位置していた。これらの 6 地点は天気条件に関係なく、夜間最低気温実測値とメッシュ夜間最低気温とに差が大きい観測点である。これら 6 地点は特定地域に偏らず九州全域に点在しており、うち 4 地点が I.C. 以外に

Fig. 5. Relationship between “ $LC(i, j)$ at No. 54 and No. 55 JH weather stations” and “ $LC(i, j)$ at their nearest AMeDAS stations”.

設置された観測点である。62 (加久藤南)、76 (天神トンネル) はトンネルの入口付近に、また 32 (白川橋)、57 (久木野尾川橋) は河川近くに設置されている。これらの JH 気象観測点はすべての天気条件においてトンネルなどの周辺地形の影響を受け、特異的な気温分布を呈している可能性がある。

3.2.4 DT 値の分布が正の傾向にある地域

Case (c) には 6 地点が分類された。ただし、既に Case (b) として分類した 48 (天ヶ瀬高塚 I.C.) と 62 (加久藤南) は、条件を満たしたが Case (c) に加えなかった。Case (c) の 6 地点のうち 54 (白滝川橋)、58 (川原谷) は山岳地域に、55 (別府 I.C.) と 7 (見坂峠) は山間地域に位置していた。山岳・山間地域は平野地域と比較して地形が複雑であり、逆転層の影響なども加わって冷却現象の発達度合いや発生の傾向が大きく異なる。54 (白滝川橋)、55 (別府 I.C.) と、それぞれの JH 観測点から最も距離が近い AMeDAS 局 (以下、近傍 AMeDAS) における局地冷却度との関係を Fig. 5 に示す。JH 気象観測点では晴天日において LC 値が正の値となることが多く、地理的效果による冷却量 (以下、 GC 値) よりも冷え込んでいない。逆に近傍 AMeDAS では局地冷却度が負の値をとることが多く、 GC 値よりも冷え込む観測点であったことが分かる。また、南部の山岳地域に位置する 58 (川原谷) においても同様の傾向が得られた。山岳地域の路線である大分道付近を拡大した図を Fig. 6 に示す。JH 気象観測点は山地の中腹斜面に多く位置しているが、山岳・山間地域の AMeDAS 局の多くは盆地に位置していることが分かる。AMeDAS 観

Fig. 6. Topographical features and locations of JH weather stations in the vicinity of Oita Highway.

測値の空間内挿により気温値のメッシュ展開を行った場合、近傍 AMeDAS における観測値は対象メッシュの予測値に最も強い影響を及ぼす。山岳・山間地域においては地形が複雑で気温分布の局地性が強いので、対象地域と AMeDAS 観測点の立地条件の違いにより冷え込み方に大きな差がある。実際、九州地域の最低気温の地理的分布特性を調べた Hayakawa *et al.* (1985) によると、最低気温の出現確率から求めたエントロピは山岳地帯で大きくなっており、最低気温の出現の仕方に地形が複雑に関与していた。このため局地的な冷却現象が卓越するような天気条件下では、AMeDAS 観測値の内挿によるメッシュ気温値が現場の気温を十分に捉え切れなれないと考えられる。また、48 (天ヶ瀬高塚 I.C.) と 62 (加久藤南) は 3.2.3 に述べたように、雨天日にも DT_{Me} が正の大きな値となる傾向があった。しかし、これらの JH 気象観測点は晴天日に DT_{Me} がさらに大きくなっており、周辺地形からの影響に加えて AMeDAS 局との立地条件の違いが、このような DT 値分布の特徴を生じる

要因となっていると考えられる。

また、山岳・山間地域では冬型日と雨天日とで DT_{Me} に有意差が認められた観測点が少なかった。これは冬型気圧配置や雨天日の気温は、スケールの大きい場の現象が卓越し、局地的な冷却現象が現われにくいためと思われる。

3.2.5 DT 値の分布が負の傾向にある内陸地域

Case (d) に分類された JH 気象観測点は、晴天日や冬型日において夜間最低気温の実測値がメッシュ夜間最低気温よりかなり低くなる傾向を持ち、九州西部の佐賀、長崎、また南部の鹿児島などの路線に多く分布していた。ただし、既に Case (b) に分類した 37 (大分米良 I.C.)、76 (天神トンネル) は除いた。

はじめに、夜間気温降下量を 5 時の気温 - 前日 19 時の気温と定義して、21 (武雄南 I.C.) における DT 値との関係を調べたものを Fig. 7 に示す。Fig. 7 に示したような、夜間気温降下量と DT 値との間に 95% 有意で正相関が得られた JH 気象観測点は、 DT_{Me} が晴天日、

Fig. 7. Relationship between decreases of temperature for the night (T_5-T_{19}) and deviation of temperature estimated by 1-km-mesh (DT_{r-m}) at No. 21 JH weather station.

冬型日などにおいて雨天日よりも負の大きな値をとった観測点にほぼ対応していた。特に九州北西部の 19 (多久 I.C.), 20 (武雄北方 I.C.) や九州南部の台地上にある 74 (大淀川), 75 (都城 I.C.) など内陸の地域に位置する地点では、夜間気温降下量と DT 値との間に高い正の相関が得られた。すなわち、大部分が晴天日に現われる冷却量が多い (夜間気温降下量が小さい) 日において、 DT 値が負の大きな値となっていることを示唆する。

次に JH 気象観測点と近傍 AMeDAS における局地冷却度の関係について、19 (多久 I.C.) および 20 (武雄北方 I.C.) の場合を Fig. 8 (a) に、63 (天降川), 74 (大淀川), 75 (都城 I.C.) の場合を Fig. 8 (b) に示す。これらの JH 気象観測点では特に晴天日の $LC(i, j)$ が負の大きな値となっていたが、近傍 AMeDAS の $LC(i, j)$ も類似した値で分布していた。また、Case (d) のうち北東部の 38 (安心院 I.C.) や 39 (院内 I.C.) でも同様の傾向が得られた。しかし、上記の 7 地点における $GC(j)$ を近傍 AMeDAS の $GC(j)$ と比較したところ、63 (天降川) 以外の 6 地点において近傍 AMeDAS よりも JH 観測点における $GC(j)$ は低い値となっていた。すなわち、 $LC(i, j)$ 分布の傾向は類似しているが、JH 観測点は近傍の AMeDAS 局よりも潜在的に冷え込む場所にあり、気温の偏差は晴天日に特に顕著となると考えられる。このことは 3.1 に述べた、 DT 値分布のばらつきが雨天日に最も小さく晴天日に最も大きかった事実とも合致する。Fig. 6 には北東部のみ地形図を示したが、Case (d) に分類された九州北西部の 19 (多久

Fig. 8. Relationship between $LC(i, j)$ at several JH weather stations and $LC(i, j)$ at their nearest AMeDAS stations. (a) Inland plain area in the northwest part of Kyushu including No. 19 and No. 20 JH weather stations. (b) Highland area in the south part of Kyushu, including No. 63, No. 74 and No. 75 JH weather stations.

I.C.)~21 (武雄南 I.C.), 中央部の 29 (南関 I.C.), 30 (菊池川), 北東部の 38 (安心院 I.C.), 39 (院内 I.C.) は、平野地域の中でも周囲を山間地域に囲まれた盆地地形である。こうした地形条件では冷気が滞留しやすいため、変分法による気温の空間内挿値より低温な地域が点在していると推察される。従って、観測点が位置する場所の潜在的な冷え込みやすさを評価することにより、メッシュ気温値を補正できる可能性がある。このことに関しては 3.3 に述べる。

Fig. 9. Relationship between $LC(i, j)$ at several JH weather stations and $LC(i, j)$ at their nearest AMeDAS stations. (a) Coastal area in the west part of Kyushu, including No. 43, No. 44 and No. 45 JH weather stations. (b) Coastal area in the south part of Kyushu, including No. 66, No. 67 and No. 68 JH weather stations.

3.2.6 DT 値の分布が負の傾向にある沿岸地域

次に Fig. 4 に示した Case (d) に分類された JH 気象観測点のうち、九州西部沿岸地域の 43 (鈴田川), 44 (諫早 I.C.), 45 (長崎多良見 I.C.) および南部沿岸地域の 66 (高附橋), 67 (薩摩吉田 I.C.), 68 (鹿児島北 I.C.) における、近傍 AMeDAS と JH 気象観測点における局地冷却度の関係を Fig. 9 (a), (b) に示す。これらの路線では近傍 AMeDAS と JH 気象観測点とで局地冷却度の傾向が異なり、晴天日には近傍 AMeDAS で GC

値よりも冷えず、逆に JH 気象観測点では GC 値より冷え込む傾向にある。西海沿岸は Fig. 4 から分かるように特に海岸の入り組んだ複雑な地形であり、AMeDAS 局の多くは沿岸部に位置し観測点数も少ない。晴天夜間条件下では内陸の盆地地形などは冷え込みやすいが、沿岸地域や高台地形などでは局地冷却があまり発達しない (最近の例では Takayama *et al.*, 1999)。また、西海沿岸地域は対馬海流の影響で海岸に近い地域ほど温暖であるため (Doi, 1964)、西海の海岸までの距離が JH 気象観測点よりも短い AMeDAS 局周辺における冷え込み方は、JH 気象観測点がある場所と比べて顕著でないと考えられる。従って、沿岸地域に偏った AMeDAS 観測値を用いて夜間最低気温をメッシュ化した場合、JH 気象観測点においてそれほど冷却が顕著でなくても、 DT 値の分布が特に大きな負の値となる傾向を持つと考えられる。

3.3 地形条件と DT 値との関係

3.2.4 から 3.2.6 までは述べたように、 DT 値の分布が晴天日や冬型日に正または負の大きな値をとる傾向にある地域が存在し、これは局地的な冷却現象の発達の仕方が JH 沿線と AMeDAS 局周辺とで異なるためであることが、一つの大きな要因であると推察された。局地的な冷却現象は一般に放射冷却が卓越する晴天夜間において、盆地や谷といった冷気が滞留しやすい地形で発達する。そこで JH 気象観測点と近傍 AMeDAS 局の盆地度との差を盆地度偏差 (BD_{JA}) と定義し、JH 気象観測点周辺での局地的な冷却が AMeDAS 局周辺と比較してどの程度発生しやすいかの指標とした。 BD_{JA} は次式で示される。

$$BD_{JA} = BD_J - BD_A \quad (8)$$

ここで BD_{JA} は盆地度偏差 (m), BD_J , BD_A はそれぞれ JH 気象観測点メッシュ, JH 気象観測点の近傍 AMeDAS 局メッシュにおける盆地度 (m) である。盆地度偏差は盆地度のメッシュ拡張数 $R=1\sim60$ について算出し、値が大きい程 JH 気象観測点周辺において局地的な冷却が発達しやすいと考えられる。

Fig. 4 に示した Case (b), (c), (d) に分類された 29 地点の JH 気象観測点における盆地度偏差と、晴天日および冬型日における DT_{Me} との関係調べた。その結果、北部の日本海沿岸に近い 1 (吉志), 7 (見坂峠), 西海沿岸地域の 43 (鈴田川), 44 (諫早 I.C.), 45 (長崎多良見 I.C.) を入れた場合には、95% 有意で相関が得られなかった。これらの JH 気象観測点においては DT 値発生の要因が、3.2.4 や 3.2.5 で述べたような盆地の冷却効果よりも、3.2.6 に述べたような海洋の影響などが大きいと思われる。また、南部の山岳地帯にある 58

Fig. 10. Relationship between BD_{J-A} and DT_{Me} at 22 JH weather stations.

(川原谷) および 62 (加久藤南) を入れた場合も、盆地度偏差と DT_{Me} とに有意な相関が得られず、南部山岳地帯にある路線については再検討の余地があると思われる。上記の 7 地点 (1, 7, 43, 44, 45, 58, 62) を除く 22 地点の JH 気象観測点における、晴天日と冬型日の盆地度偏差と DT_{Me} との関係を調べた。晴天日では盆地度のメッシュ拡張数が $R=24\sim60$ の場合に、また冬型日では $R=28\sim60$ の場合に、盆地度偏差と DT_{Me} との間に 95% 有意で負相関が得られたが、冬型日では $R=-0.60$ であり相関は高くなかった。Fig. 10 には、最も強い相関が得られた拡張数 $R=51$ の盆地度偏差と晴天日における DT_{Me} との関係を示した。盆地度偏差と DT_{Me} とに一定の相関関係が得られたことから、50 m メッシュ標高から算出した盆地度により JH 気象観測点および AMeDAS 局の地形による冷却効果を考慮することで、 DT 値分布が特に正または負の大きな値をとる傾向にある JH 気象観測点について、1 km メッシュ気温値をより細密に変換できる可能性が得られた。また、海洋の影響が DT 値発生の大きな要因と思われる西海沿岸地域などについては、陸度、海岸距離といった地形因子による変換手法について今後検討したい。

4. ま と め

冬季の九州地域を対象として、夜間最低気温における JH 気象観測点での実測値と 1 km メッシュ気温値との差 (メッシュ夜間最低気温値推定偏差: DT 値) が、どのような出現の特徴を持つか 5 種類の天気条件について調べた。さらに DT 値が生じる原因について、局地的な冷却現象や 50 m メッシュ標高から算出した盆地度との

関係から考察し、1 km メッシュ気温値を 50 m メッシュ単位へと補正・変換できるか検討を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- 1) 九州地域における夜間最低気温分布のばらつきは雨天 < 冬型 < 曇天 < その他 < 晴天の順に大きくなり、 DT 値の分布のばらつきも同様の順に大きくなる。
- 2) 平坦な地形が広範囲に広がる平野地域では、気温の空間的分布にかなりの連続性があり、変分法による気温推定手法が有効である。しかし、山岳・山間地域は複雑な地形条件を有するため気温の空間的な分布の局地性が強い。例えば、山岳の斜面などで局地的な冷却の発達が顕著でない場所で、近傍の AMeDAS 局が山間の盆地などに設置されている場合は、 DT 値の分布が正の大きな値となる傾向がある。また、放射冷却や冷気の滞留などによる局地的な冷却現象が発達しやすい内陸の平野地域では、近傍の AMeDAS よりも冷却が顕著となり、 DT 値の分布が負の大きな値となる傾向がある。
- 3) 九州の西海沿岸地域には AMeDAS 局数が少なく、立地も夜間温暖な沿岸に偏っている。そのため晴天日において、局地的冷却の発達が顕著にならない AMeDAS 局の観測値の影響が、夜間気温のメッシュ展開に際して相対的に大きくなる。その結果、 DT 値の分布がより大きな負の値をとる傾向がある。
- 4) 盆地度偏差 BD_{J-A} と DT_{Me} との間には 95% 有意で負相関が得られた。すなわち、50 m メッシュ標高による盆地度を用いて、高速道路周辺と AMeDAS 局周辺との冷却に関する地形効果を考慮することにより、1 km メッシュ気温値を 50 m メッシュ単位へと変換できる可能性が示された。

今回の解析で明らかとなった DT 値の出現傾向とその発生要因に基づいて、現行の 1 km メッシュ気温値をより細かい空間スケールへと変換する手法について、今後より詳細な検討を行いたい。

謝 辞

本研究において使用した気象観測データを提供していただいた、日本道路公団九州支社の関係者の方々に感謝します。

References

- Doi, K., 1964: Climate of Kyushu. In *Climate of Kyushu* (ed. by Kuraishi, Y.). Fukuoka district meteorological observatory, Fukuoka, pp. 14-17 (土井謙二, 1964: 九州の気候. 福岡管区気象台, pp. 14-17).
- Hayakawa, S., Maki, T. and Suzuki, Y., 2001: In-

- strumentation and control in agricultural field. Yokendo, Tokyo, pp.151-157 (早川誠而・真木太一・鈴木義則, 2001: 耕地環境の計測・制御. 養賢堂, pp. 151-157).
- Hayakawa, S., Takayama, N. and Kawamura, H., 1996: The advanced utilization system for meteorological mesh information allowing for the 21st century. In *The food production and agricultural environment of the 21st century* (ed. by Eguchi, H., Kimura, K. and Hayakawa, S.). The Society of Agricultural Meteorology of Japan, Tokyo, pp. 99-108 (早川誠而・高山 成・河村宏明, 1996: 21世紀に向けたメッシュ気象情報の高度利用システム. 21世紀の食糧生産と農業環境, 日本農業気象学会, pp. 99-108).
- Hayakawa, S., Wakimizu, K., Yamamoto, K., Iwaya, T. and Motoda, Y., 1985: Studies on the climate in Kyushu district on the geographical distribution of minimum air temperature in Kyushu district. *Agric. Meteorol. Kyushu*, **21**, 43-47 (早川誠而・脇水健次・山本 香・岩屋照実・元田雄四郎, 1985: 九州地域の最低気温の地理的分布特性. 九州の農業気象, **21**, 43-47).
- Kanno, H., 1997: Estimation of daily-mean air temperatures on a 1 km² mesh during the occurrence of a Yamase wind. *J. Agric. Meteorol.*, **53**, 11-19.
- Ninomiya, K. and Akiyama, T., 1978: Objective analysis of heavy rainfalls based on radar and gauge measurements. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **56**, 206-210.
- Ninomiya, K. and Akiyama, T., 1979: Objective analysis of rainfall distribution and displacement of heavy rainfall area based on radar and gauge measurements for surveillance of heavy rainfalls. *TENKI*, **26**, 19-26.
- Ohara, G. and Ueyama, H., 1998: Estimation of 50-m-mesh temperature over local region. In *Proceedings of the 98th Meeting of the Society of Agricultural Meteorology of Japan*. The Society of Agricultural Meteorology of Japan, Tokyo, pp. 104-105 (大原源二・植山秀紀, 1998: 局地の50mメッシュ気温分布図の試作. 日本農業気象学会 1998年度全国大会講演要旨, 日本農業気象学会, pp. 104-105).
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *J. Agric. Meteorol.*, **48**, 379-383.
- Sumino, M., 1961: On the estimation of minimum air temperature in Miyagi Prefecture. *TENKI*, **8**, 226-230.
- Takayama, N., Hayakawa, S. and Kawamura, H., 1998: Research of mesh-temperature during the night in Yamaguchi Prefecture. In *Proceedings of the 98th Meeting of the Society of Agricultural Meteorology of Japan*. The Society of Agricultural Meteorology of Japan, Tokyo, pp. 106-107 (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, 日本農業気象学会, pp. 106-107).
- Takayama, N., Hayakawa, S. and Kawamura, H., 1999: Analysis of localized cooling for prediction of frost damage occurrence by using 50-m mesh topographical data. *J. Agric. Meteorol.*, **55**, 235-246.
- Takayama, N., Hayakawa, S. and Onomoto, S., 2000: Research of estimated deviation for 1-km mesh minimum temperature over Kyushu region in winter. In *Proceedings of the 2000th Meeting of the Society of Agricultural Meteorology of Japan*. The Society of Agricultural Meteorology of Japan, Tokyo, pp. 78-79 (高山 成・早川誠而・河村宏明, 2000: 九州地域における冬季の1kmメッシュ気温値の推定偏差について. 日本農業気象学会 2000年度全国大会講演要旨, 日本農業気象学会, pp. 78-79).
- Takayama, N., Hayakawa, S. and Onomoto, S., 2001: Meteorological classification and characteristics of cooling at night over Kyushu Region in Winter. ~GIS Analysis~. *TENKI*, **48**, 535-545.
- Yamada, K., 1993: Situation of meteorological data and its intelligence system.—On summarizes of questionnaires to the prefectures—. *Agric. Inf. Res.*, **2**, 1-15.
- Yamada, K., 1995: Short-term air temperature on a regional scale and its estimation with a nocturnal cooling model. *J. Agric. Meteorol.*, **51**, 345-354.