

中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用

植山秀紀

Key words : 中山間地域農業, メッシュ気象図, 気温, 日射量, 50mメッシュ, G I S

目 次

I 緒 言	146	1) 調査方法	174
II メッシュ気象図による中山間地域の気温評価	148	2) 日射量分布の実態	175
1 研究目的	148	3 5 mメッシュ図と50mメッシュ図の比較	176
2 50mメッシュ気温分布図の作成方法	148	1) 方 法	176
1) 作成手順	148	2) 結 果	176
2) 気温観測装置の作成と測定精度の検証	149	3) 結 論	179
3) 50mメッシュ気温推定法	151	4 アメダスによる直達・散乱日射量の推定	180
3 中山間地域の気温分布	153	1) 既存研究	180
1) 調査方法	153	2) 推定方法	180
2) 気温地点間差の季節変化	154	3) 推定精度の検証	182
3) 最高気温分布の実態	156	4) 既存推定法との比較	185
4) 最低気温分布の実態	157	IV 中山間地域農業におけるメッシュ気象図の 利用指針	186
5) 平均気温分布の実態	161	1 メッシュ気温図の利用指針	186
6) 結 論	161	1) 中山間地域の気温多様性	187
4 1 kmメッシュ図と50mメッシュ図の比較	161	2) メッシュ気温図による中山間地域の作 型判定	187
1) 方 法	161	3) バラ栽培ハウスの気温と生産性	190
2) 月平均最高気温分布の比較	162	4) 中山間地域農業におけるメッシュ気温 図の利用指針	191
3) 月平均最低気温分布の比較	162	2 メッシュ日射量図の利用指針	192
4) 月平均気温分布の比較	164	1) 日射量に対する土壌の熱特性	192
5) 結 論	165	2) いもち病発生程度の判定	194
5 新しいメッシュ気温推定法の開発	165	3) 中山間地域農業におけるメッシュ日射 量図の利用指針	198
1) 目 的	165	V 中山間地域農業におけるメッシュ気象図利 用への提言	198
2) 推定方法	166	VI 摘 要	199
3) アメダスに準じた50mメッシュ気候図 の作成とその利用	171	謝 辞	200
4) 結 論	173	引用文献	201
III メッシュ気象図による中山間地域の日射量 評価	174	Summary	205
1 研究目的	174		
2 中山間地域の日射量分布	174		

(平成19年9月14日受付, 平成19年12月12日受理)

暖地温暖化研究近中四サブチーム

I 緒 言

国土の約7割を占める中山間地には、高齢化の進行と耕作放棄地の増加により、将来の存続が危ぶまれる地域や集落が多数存在している。このため、日本における農業の持続的発展と農地の維持には、中山間地域農業の活性化と振興が重要とされ、多くの研究が実施されてきた。しかしながら、中山間地域農業の有効な振興策は見いだされておらず、依然として、日本農業における大きな課題の一つである。

中山間地域農業の活性化を考える上で重要な概念の一つは、“地域特性”であると考えられる。地域特性とは、地域が有する多様な地域資源によるものであり、気候は農業に関わる重要な地域資源である。そして、農業と気候は密接に関わりあう事象で、古くから地域の気候を農業に利用することの重要性が指摘されてきた^{40, 68)}。また、地域特有の局地気象と地域農業との関係も数多く論じられている^{29, 30, 32, 33, 34, 38, 64)}。特に、多様な地形に起因する中山間地域の気候特性は、有益な地域資源として活用できると考えられることから、多様な農地の気候特性に応じて、作型や栽培法、そして作物立地配置を実践する事が、中山間地域農業活性化の有効な方策の一つになる。

気候特性を農業に活用するには、地域の気象状況を把握する必要があるが、それには、気象を面的に表すメッシュ気象図の利用が有効である。山田(1993)⁷⁵⁾によると、作物の適地判定のほとんどにメッシュ気候値が利用され、1993年の時点で、公立農業関係試験研究機関の1/3以上がメッシュ気候値を開発・整備し、作期や作付けの計画、適地判定などに利用している。さらに、1993年の気象業務法の一部改正により、多くの企業が気象情報を扱えるようになり、メッシュ気象情報を提供する企業が存在する。また、1 kmメッシュの気候値とアメダスの観測値とを組み合わせ、リアルタイムメッシュの作成手法も確立されている⁵⁸⁾。これらのようにメッシュ気象図は、既に広く利用されており、その利用法について、幾つもの研究がなされている^{2, 55, 72, 73)}。

メッシュ気温の推定手法には、数値モデルによる方法と気温観測値の空間内挿による方法とがあるが、数値モデルによる方法では、膨大な計算機資源が

必要うえ、物理法則に従って計算される気象値は、地表の様々な要因が影響する実際の地上気温とは、異なる場合がある。実際、気象庁の数値予報モデルの予報値は、アメダス観測値からモデル計算値を補正した、ポイント予報として発表される。

このため、現在のところ、農業利用を前提とするメッシュ気象図の作成には、気温観測値を空間的に内挿する手法が実用的である。気温観測値を空間内挿する方法には、「地形因子を用いた重回帰法」と「平年差の距離重み付け法」とがあり、栗原・村上(1982)²⁸⁾や気象庁^{20, 21)}が「地形因子を用いた重回帰法」を用いて、1 kmメッシュ気温図を作成している。また、いくつかの研究で用いられてきたリアルタイムメッシュ⁵⁸⁾は、「平年差の距離重み付け法」により作成されている。

現在多くのメッシュ気象図が利用されているが、そのほとんどは、メッシュサイズが1 km²以上のものである。しかしながら、地形が複雑な中山間地域においては、近隣の場所でも適作物が異なる可能性があり⁵⁰⁾、そのような条件における1 kmメッシュ気象図の利用は適当ではない。このため、大原ら(1998)⁴⁸⁾は、中山間地域におけるハウレンソウの適地判定を目的に、50 mメッシュの数値地形情報を用いて、50 mメッシュの気温分布図を作成した。また高山ら(1999)⁶⁷⁾は、霜害予測技術の開発を目的に、局地的な冷却強度を50 mメッシュで推定している。そして、1 kmメッシュ図では、中山間農地の日射環境の把握は難しいため、黒瀬ら(1999)³³⁾は、50 mメッシュの日射量分布図の作成法を開発し、日射量分布と水稻との関係について論じている。このようなことから、中山間地域の多様な気象条件を評価するには、50 mメッシュ気象図が適切と考えられる。

一方、近年の地理情報システム(GIS)や画像解析ソフトの進歩は著しく、様々な数値地図情報の利用が容易になっている。そして、それらを利用した地域計画に関する様々な研究が進められている²⁴⁾。このようなことから、地域の気象評価には、GISによるメッシュ気象図の利用が有効と思われる。

中山間地域のような複雑地形地では、局地気象が発達しやすく、局地的な気象条件が農業生産に利用できるのではないかと指摘されている^{32, 38)}。そして、多くの局地気象に関する既存研究で、斜面温暖帯や

冷氣湖等の特定の地形における気温の特徴が明らかにされてきた。また、三浦ら（1980）⁴²⁾ や黒瀬ら（1999）³³⁾、そしてEvansら（2000）⁹⁾ の指摘のように、日射環境の評価も、中山間地域のような複雑地形地域の農業にとっては重要である。しかしながら、中山間地域の多様な気象環境が、メッシュ気象図により有効活用された事例は少ない。

中山間地域農業において、メッシュ気象図の利用が進まない理由として、次の事が考えられる。まず、現在最も多く利用されている解像度 1 km のメッシュ気象図は、中山間地域の実際の気温や日射量を詳細に描画できないため、中山間地域における、気温分布や日射量分布の実態が不明瞭なことである。

次に、中山間地域で利用するメッシュ図の適切な解像度とは何かという問題である。1 km メッシュの気温分布図と比較した場合、定性的に 50 m メッシュ気温分布図の優位性が指摘されている⁵⁰⁾ が、50 m メッシュ図の有効性を定量的に評価した報告はない。また、地表面に入射する日射量は、刻々と変化する太陽位置毎の直達光の遮蔽状況により異なるため、中山間地域においては、1 km メッシュよりも 50 m メッシュの日射量分布図の利用価値が高い事に異論はないであろう。しかし、最近多くの自治体で整備が進められている、数 m 解像度の地形情報による日射量推定値の有効性について、定量的に評価した研究はほとんどない。このようなことから、異なる解像度のメッシュ図で把握される気象値の実態が不明瞭なことも、メッシュ図の利用が進まない理由の一つと考えられる。

そして、既存の 50 m メッシュ気象図作成法自体にも、利用を妨げている要因がある。既存の 50 m メッシュ気温図作成には、自前の観測装置による現地気温観測が必要なため、観測期間以外のメッシュ図作成は困難であるとともに、測定で生じる誤差も、観測者毎に異なる。このため、既存の 50 m メッシュ気温図では、気候値としての評価や他地域の気候との客観的な比較が困難である。

一方、50 m メッシュ日射量図の作成では、直達・散乱日射量の値が必要であるが、直達、散乱日射量の測定には、日射計、遮蔽バンド、データロガー、そして電源などが必要であり、コストだけでなく、長期の観測では測器の維持管理も問題となり、容易

に任意地点の直達・散乱日射量を取得することは困難である。このようなことから、任意地点の日射量推定には、日本全国に観測地点が配置されているアメダスデータの利用が実用的と思われる。

柴田ら（1987）⁶⁰⁾ が紹介しているように、日照時間を用いた、月平均日積算日射量および月平均日積算散乱日射量の推定手法が幾つか提案され、その推定精度が検証されている。また、全天日射量を経験式から直達・散乱日射に分離する研究もなされている⁵⁹⁾。しかし、栽培計画等の農業利用に用いるなら、月ではなく、旬・半旬での推定が必要である。また、既存研究による推定は、全天日射量をまず推定することから、全天日射量の推定精度に大きく依存する。このようなことから、アメダスの観測値を用いて、月よりも短い期間の直達、散乱日射量の推定が、簡便な手法で可能となれば、実際の農業現場において、メッシュ日射量図の利用が促進され则认为る。

さらに、メッシュ気象図の農業利用が進まない大きな理由として、中山間地域農業におけるメッシュ気象図利用に関して、具体的な指針が提示されてこなかった事が考えられる。既存研究^{33, 48, 50, 62)} において、気温および日射量の 50 m メッシュ気象図を作成し、メッシュ気象値と特定の作物との関係について論じられてきたが、中山間地域の多様な農地を対象とした利用指針は明示されていない。また、河合ら（2001）¹⁹⁾ も、5 年間の年平均気温の 50 m メッシュ気象図を作成し、その営農利用について述べているが、具体的な利用法に関する提案は行っていない。

このようなことから本研究では、中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用促進を目的として、農地レベルでの気象評価が可能な、50 m メッシュ気象図を作成し、中山間地域における気温と日射量の実態を明らかにした。そしてさらに、異なる解像度のメッシュ気象図の気象値を定量的に比較することで、中山間地域においてメッシュ気象図の解像度に応じて考慮すべき点を提示した。また、既存の 50 m メッシュ図作成法の問題点を克服するため、新しいメッシュ気温推定法および、従来の手法よりも簡便な直達・散乱日射量時別値推定法を開発した。そして最後に、具体的事例により、中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用法を示すとともに、メッシュ気象図の利用に関する提言を行った。

本論文で提示する，中山間地域の気候特性とその農業利用法には，過去に提唱されたものと類似する点もある．しかし，既報の多くは特徴的な事例のみに焦点をあてたもので，中山間地域農業の振興を目的とする施策に活用された事例は少ない．本論文の主目的は，メッシュ気象図により中山間地域の気象を把握する手法を示すとともに，その利用法を具体的に提示することで，様々な技術の現地導入策や，新たな中山間地域農業振興策の提案に寄与することである．

Ⅱ メッシュ気象図による中山間地域の気温評価

1 研究目的

中山間地域農業におけるメッシュ気温図の利用促進には，複雑地形地域における気温分布の実態を明らかにするとともに，異なるメッシュサイズで把握される気象値の特徴に関する知見が必要である．また，既存の50mメッシュ気温図では困難であった，気候値としての評価を可能とする，新しい50mメッシュ気温図作成法が必要である．

そこで本章では，以下の研究について論じる．

①50mメッシュ気温分布図の作成方法

②50mメッシュ気温分布図による，中山間地域における気温分布の実態調査

③1kmメッシュ図との比較による，50mメッシュ図の有効性評価

④既存の気象観測網を利用した，気温推定法および50mメッシュ気候図作成法の開発

2 50mメッシュ気温分布図の作成

1) 作成手順

50mメッシュの気温推定は，全国の50mメッシュの数値標高モデルの入手が容易になったことから，これまでに数例実施されてきた^{19, 48, 49, 62, 67)}．

50mメッシュの気温推定値は，気温観測値を目的変数，そして数値標高モデルによる地形因子等を説明変数とする重回帰分析で導かれた，メッシュ気温推定式により求められる．既存研究で用いられた，重回帰分析の説明変数を第1表に示す．

本研究でも，50mメッシュの気温推定は，大原(1999)⁵⁰⁾が50mメッシュ気温分布図の作成に用いた手法に従い，以下の手順で行った．

①メッシュ図作成地域における気温観測

②50mメッシュの数値標高モデルによる，説明変数の作成

第1表 50mメッシュ気温推定のための重回帰式の作成に用いられた既報の説明変数

大原(1999)	河合ら(2001)	高山ら(1999)	須藤(2000)
標高	緯度	盆地度	標高
経度	経度	海岸距離	経度
緯度	標高	陸度	緯度
平均標高	最大傾斜量	起伏度	平均標高
平均傾斜	平均傾斜	東勾配度	平均傾斜
標高差	海岸距離	西勾配度	標高差
開放度	最高標高	北西勾配度	開放度
	最低標高	南西勾配度	
	平均標高		
	起伏量		
	標高差		
	開度		
	開放度		
	方位別開放度		

- ③ステップワイズ重回帰分析による，50mメッシュ
気温推定式の作成と気温推定
- ④近傍4観測地点のメッシュ推定値と観測値との差
による，50mメッシュ気温の補正

2) 気温観測装置の作成と測定精度の検証

50mメッシュの気温推定には，気温観測を多数地点で行う必要があるが，多数地点の気温測定には，費用や設置スペースの問題から，できるだけ簡易な測定装置が必要である．そこで，大原（1999）⁵⁰⁾ が考案した自然通風式の定点観測装置を自作し，メッシュ図作成地域において，気温観測を行った．自作した気温観測装置は，測定値におよぼす日射の影響を小さくするための筒部と日除け板部とからなり（第1図），筒部内には気温測定のための温度計（サーモレコーダーミニRT-20S，タバイエスベック，W47×H62×D19mm）が設置されている．

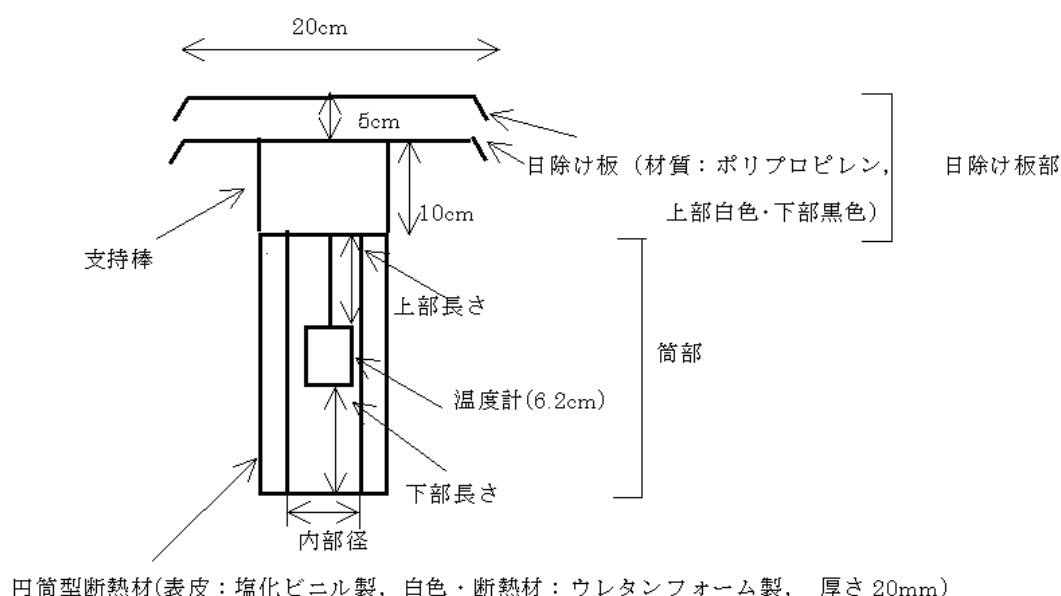
日除けの筒部は，肉厚20mmのウレタンフォームを白色の硬質塩化ビニルで覆った配管用の円筒型断熱材であり，日除け板部は筒部上面に，20cm径の白色プラスチック（下部を黒色塗装）製の日除け板2枚と，この日除け板を取り付けた，直径1mmの針金の支持棒とで構成される．白色の断熱材は，表面で日射をよく反射し，内部への熱伝導を防止して，設置した温度計周辺の温度上昇を防ぐためのものである．

気温観測に用いる定点観測装置は，強制通風を行っていないため，日射により，気温測定値に誤差が生じる可能性がある．電源を必要としない自然通風シェルターを用いた簡易な測定装置の報告例⁵⁶⁾もあるが，この場合でも，強制通風を行えないため，日射の影響が懸念されている．そこで，自作した定点観測装置の測定誤差を検証するとともに，日除け内における，最適な温度計設置位置を決定した．

(1) 方法

日除け内の温度計の測定誤差は，温度計の設置位置や日除けの筒径だけでなく，日射や正味放射といった，放射環境と風速により変化する．そこで，筒の内部径が76mmと89mmの2種，筒上面から温度計上面までの上部長さが，4，8，12，15，20，25cmの6種，筒下面から温度計下面までの下部長さが，4，7，20，25cmの4種，計12種類の装置を作成し，最適な筒の形状と温度計の位置を検討した．このとき，上部長さを検討するときの下部長さは7cm，下部長さを検討するときの上部長さは12cmに固定した．また，日除けの設置高さは，内部の温度計の位置が地上1.5mとなる高さとした．

観測は，1998年3月1～18日に，独立行政法人近畿中国四国農業研究センターの気象観測露場で行い，日射，風速のデータは，気象観測露場の観測デ



第1図 定点観測装置の日除けの断面図

ータを用いた。放射収支計 (EKO, CN-11) で正味放射量を, 通風式白金抵抗温度計 (EKO, Pt100 Ω , 4線式) で気温を測定した。

温度計の測定誤差は, 通風式白金抵抗温度計で測定した値と, 日除け内の温度計で測定した値との差である気温差で表した。本研究の全データは, 1時間平均値として求めた。また, 各日除け内の温度計と白金抵抗温度計は, 予め恒温室で器差補正を行った。

(2) 結果

非通風時の測定誤差は, 日射や風速の影響を大きく受けた。特に風速による影響は顕著であった。そのため, 温度計の設置位置と測定誤差との関係の評価する場合, まず, 風速と測定誤差との関係を検討する必要がある。測定誤差である気温差は, 第2図に示すように風速の影響を大きく受け, 風速の増加にともない小さくなり, 風速 3 m/s以上ではほぼ一定となった。このことから, 温度計の測定誤差は風速 3 m/s以上と, 3 m/s未満の場合に分けて検討する必要がある。なお, 図に示されている温度計の設置位置は, 上部長さ12cm, 下部長さ7 cmであるが, 測定したすべての設置位置において同様の結果となった。

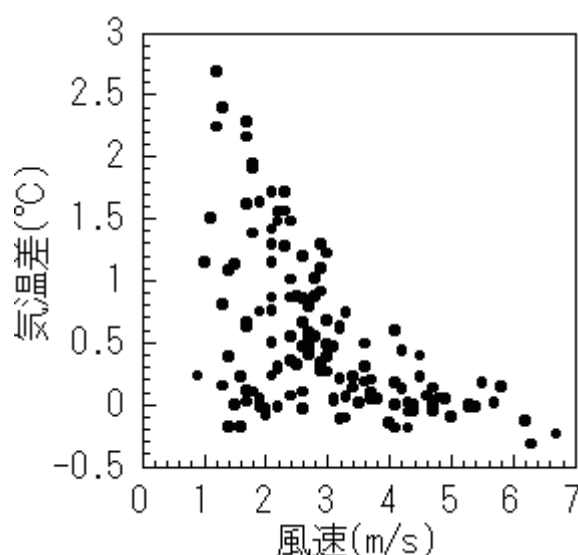
風速 3 m/s以上と 3 m/s未満における, 温度計の日除け内の設置位置と測定誤差との関係を第3図に示す。測定データは, 日中の全測定値の平均値を示した。4~25cmの上部長さでは, 12cm程度までは, 長くなるほど日射の影響は小さくなり, 測定誤差は小さくなった。とくに風速が弱い場合12cm未満の測定誤差は大きくなった。

2~20cmの下部長さでは, 設置位置の違いによる差は認められず, 測定誤差の大きい風速 3 m/s以下でも各設置位置の差はわずか0.1℃以下であった。下部長さは, できるだけ風の流れを阻害しないと同時に, 日中の日除け内の昇温を防止するため, 地面からの反射日射の筒部内への入射をできるだけ防ぐ必要がある。よって, これらのことを考慮して, 下面からの入射を半減でき, 筒径とほぼ等しい7 cmを下部長さとした。

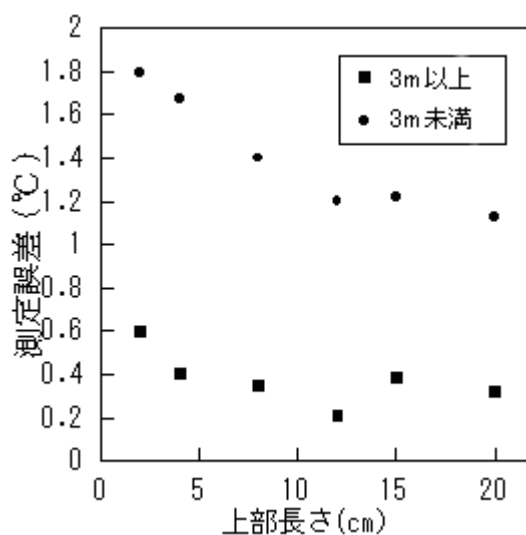
以上の結果から, 温度計の長さが約6 cmであるので, 温度計上部長さを12cm, 下部長さを7 cmとして, 日除けの長さを25cmとするのが最適と判断された。

断熱材の径の違いによる測定誤差を第4図に示す。供試した内径76mmと89mmでは径の違いによる差は認められなかった。よって, 76~89mmの間では径の違いが測定値におよぼす影響はないと考えられる。

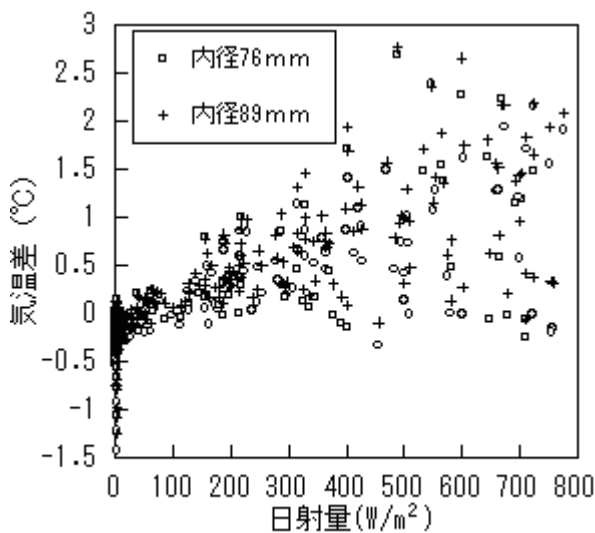
日射の影響がない夜間は, 日除け内の温度計の測定値は外気温よりも低くなり, その測定誤差も風速の影響を受けた。夜間の正味放射強度と測定誤差との関係を第5図に示す。風速が1 m/s以上のときの測定誤差は-0.6℃程度のときもあったが, 平均値では-0.2℃であった。そのため, 風速が1 m/s以上であれば, 放射冷却が測定誤差に及ぼす影響は小さいと判断された。しかし, 風速1 m/s以下のときには,



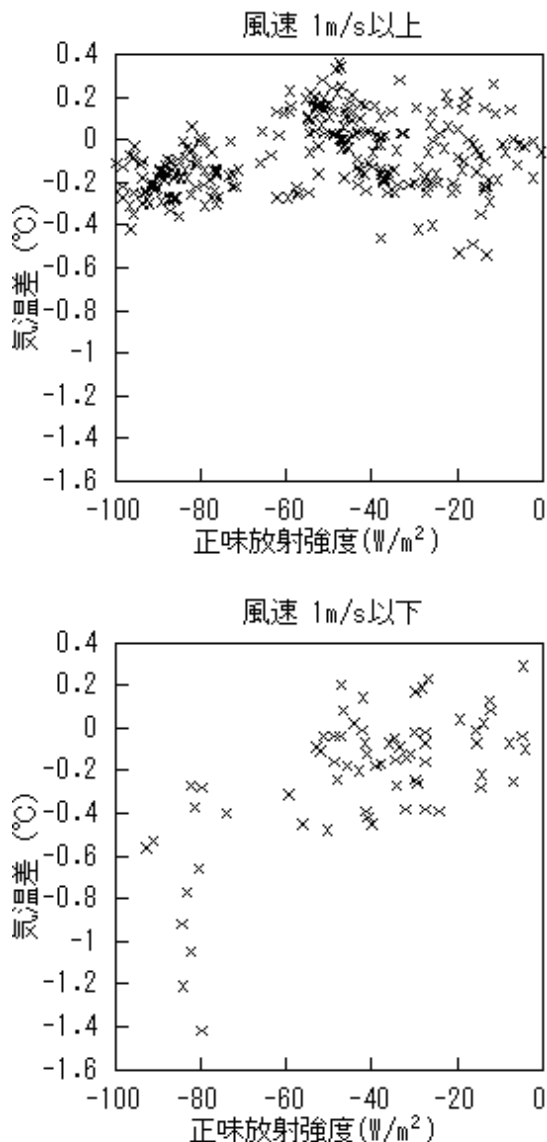
第2図 風速と気温差との関係



第3図 温度計の設置位置と気温差との関係



第4図 内部径が異なる場合の日射量と気温差との関係



第5図 夜間の正味放射強度と気温差との関係

放射冷却が大きくなるにしたがって測定誤差が増大し、最大値で -1.4°C 、平均値で -0.4°C の測定誤差が生じた。日除け内の気温が外気温よりも 0.5°C 以上低くなるような気象条件は18日間の観測のうち8時間程度であったので、最低気温を月平均で評価する場合は、それほど大きな影響ないと考えられる。

3) 50mメッシュ気温推定法

(1) 現地気温観測

気温推定式の作成に必要なデータを取得するため、50mメッシュ気温図作成地域の多数地点で、気温観測を実施する必要がある。必要な観測地点数は、ステップワイズ重回帰分析で選択される変数の数が4個程度と想定されることから、最低でも40地点以上は必要と考えられる。

自作した気温観測装置の測定誤差は、日射量と風速により変化するため、設置地点は、測定誤差のパラッキが小さくなるように、風通しがよく、日の当たり方が同じような地点を選んだ。温度計は予め恒温室で器差の校正を行い、測定値の補正をした。さらに、データ回収時に観測装置が倒れているなど、異常値が測定されている可能性があるかと判断されたデータは除外した。測定値は5分毎に記録した。

中山間地域のような複雑地形地では、観測地点毎の最高、最低気温の出現時間は、観測地点の地形により異なり、最高・最低気温出現時の天候は地点により異なる可能性がある。このため、時間別の最高、最低気温を用いると、メッシュ気温推定式の作成において、地形だけでなく、天候の違いも影響し、地域の多様な地形に応じた気温分布とならない可能性がある。そこで、最高・最低気温出現時における気象条件の違いによる影響を小さくするため、分析に用いる観測値は、全観測地点の最高、最低気温の出現時間を代表する同じ時間帯の値とした。実際には、最高気温は12～15時の平均気温、最低気温は2～5時の平均気温で代用した。

(2) 重回帰分析の説明変数

50mメッシュの気温推定式は、現地の気温観測値を目的変数、そして標高の数値情報より作成した地形因子を説明変数とするステップワイズ重回帰分析により作成される。本研究で用いた説明変数は第2

表の10種で、説明変数を求める数値地形情報として、国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）を用いた。ただし、緯度、経度はメッシュの行番号、列番号であるので、単位は記していない。また、説明変数の計算範囲であるRは、高山ら（1999）⁶⁷⁾のように1～60とした。計算範囲がRとは、観測地点のメッシュから、東西南北にR個のメッシュをとった正方形、すなわち $(2 \times R + 1)^2$ 個のメッシュを対象として、説明変数を求めることを意味する。

本研究で用いた説明変数は、栗原ら（1982）²⁸⁾の用いた地形因子の他に、新たに定義した“傾斜の通過頻度”、“水域度”を説明変数として加えている。さらに、気温への影響が大きい日射量も説明変数としてすることが特徴である。これは、従来の50mメッシュ図における最低気温の推定精度は低く、改善が必要であるという指摘⁵⁰⁾に対応するためである。

最大傾斜の通過頻度、水域度、そして日射量の定義と、説明変数とした理由は次の通りである。

最大傾斜の通過頻度を説明変数としたのは、松村ら（1988）³⁹⁾やLaughlinら（1990）³⁵⁾が霜害危険地帯の検出に用いたように、多くのメッシュを通過する傾斜の軌跡が集まる地点は、冷気が集まり低温になりやすいと考えたことによる。そして、最大傾斜の

通過頻度は、全メッシュを最大傾斜方向へ傾斜度が0になるまで辿った時に、対象メッシュに集まる軌跡が通過してきたメッシュ数の合計値と定義した。

1 kmメッシュの平均気温の推定で、広島県およびその周辺の気温分布が瀬戸内海の影響を受けることが示唆されている²⁸⁾。また、水域が地域の気温に影響を及ぼすという報告がある^{22, 44, 77)}。そのため、大きな河川や多数の溜池を有する地域では、水系が気温に影響を及ぼすと考え、地形因子の一つである海度のように、地域内に占める水系の割合を水域度と定義し、説明変数として加えた。そして水域度は次の方法で求める。まず、国土地理院の数値地図25000より水系のラスターデータを作成し、このラスターデータを5 mメッシュでリサンプリングする。次に、50mメッシュ毎に水系データに分類される5 mメッシュの数を計算し、この数を水域度と定義した。

日射量は、計算範囲内の日射量の合計値として定義した。日射量を説明変数としたのは、日射が日中の気温に影響を及ぼすと考えられる⁵⁷⁾ためである。また、50mメッシュ日射量は、直達、散乱日射量の観測値から、黒瀬ら（1999）³³⁾の方法で求めた。

水域が気温に影響を及ぼすと考えられることから、

第2表 ステップワイズ重回帰分析に用いた説明変数

説明変数	記号	定義
標高	H	50mメッシュ標高値
緯度	Y	メッシュ作成範囲における最南端を1行とした時の行番号
経度	X	メッシュ作成範囲における最西端を1列とした時の列番号
平均標高	ME (R)	東西南北にR個のメッシュをとった正方形内全てのメッシュ標高値の平均
標高差	DE (R)	東西南北にR個のメッシュをとった正方形内の最大標高値と、中心メッシュとの標高差
開放度	EXAH (R)	東西南北にR個のメッシュをとった正方形の周辺メッシュで、中心より ΔH_m 以上高くないメッシュ数の割合
平均傾斜	SL (R)	東西南北にR個先の標高をZE, ZW, ZS, ZNとすると、 平均傾斜 = $[(ZN - ZS)^2 + (ZE - ZW)^2]^{0.5} \div 2R$
水域度	W (R)	50mメッシュ内に5mメッシュを作成し、水域の含まれる5mメッシュの数を計算する。そして、東西南北方向にR個とった正方形内における、水域を含む5mメッシュの合計値
最大傾斜の通過頻度	VL (R)	全メッシュを最大傾斜方向へ傾斜度が0になるまで辿った時に、対象メッシュに到達するまでに通過してきたメッシュ数の合計値
日射量	SR (R)	東西南北方向にR個とった正方形内全ての月平均日積算日射量の合計値

説明変数の範囲Rは1～60とした。また、 ΔH は-30～30m（10m間隔）とした

説明変数に水域度を加えたが、他の土地被覆も気温に影響を及ぼす可能性はある。しかし、中山間地域の土地利用は多様であり、様々な土地被覆が狭い範囲に混在している。このため、中山間地域に存在するそれぞれの土地被覆を分類し、周辺気温に影響を及ぼす変数とする事は難しいと考え、水系以外の土地被覆は説明変数としなかった。樹林地は分類可能と思われるが、中山間地は山地が地域の大部分を占めることから、樹木がメッシュ間の気温の差に及ぼす影響は小さいと考え、説明変数とはしなかった。

(3) 気温推定式の作成

ステップワイズ重回帰分析は、統計ソフトのSASを用いて行った。SASによるステップワイズ重回帰分析では、説明変数の追加、除去を判断するため、第1種の誤りの確率が用いられる¹⁵⁾が、この値の違いにより、選択される説明変数や決定係数は異なる。そのため、実際の重回帰式の作成では、選択される説明変数の数が多すぎた場合、R値の異なる同じ説明変数が複数選択され、さらにそれらの偏回帰係数の正負が逆の場合、または、これまでに報告されている地形と気温との関係から、選択された偏回帰係数の値の正負が明らかに誤りであると思われる場合は、第1種の誤りの確率の値を変え、決定係数が0.7程度以上で、かつ妥当と考えられる説明変数が選択された重回帰式を、気温推定式として採用した。

(4) 50mメッシュ気温推定法

重回帰分析による50mメッシュ気温推定値は、与えられた説明変数による推定式から求められる。しかし実際には、用いられた説明変数以外にも、気温に影響を及ぼすため、推定値は必然的に誤差を含む。そこで、次式で求まる補正值(ΔT)で、メッシュ推定値(T_c)を補正し、50mメッシュ気温(T)を決定した。

$$\Delta T = \frac{1}{l} \left(\frac{\Delta t_1}{l_1} + \frac{\Delta t_2}{l_2} + \frac{\Delta t_3}{l_3} + \frac{\Delta t_4}{l_4} \right)$$

$$l = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4}$$

$$T = T_c + \Delta T_p$$

ここで、 $\Delta t_1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4$ は、補正值を求める任意のメッシュの近傍4地点における、推定値と観測値との差。 $l_1 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot l_4$ は補正值を求める任意のメッシュの近傍4地点までの距離である。

3 中山間地域の気温分布

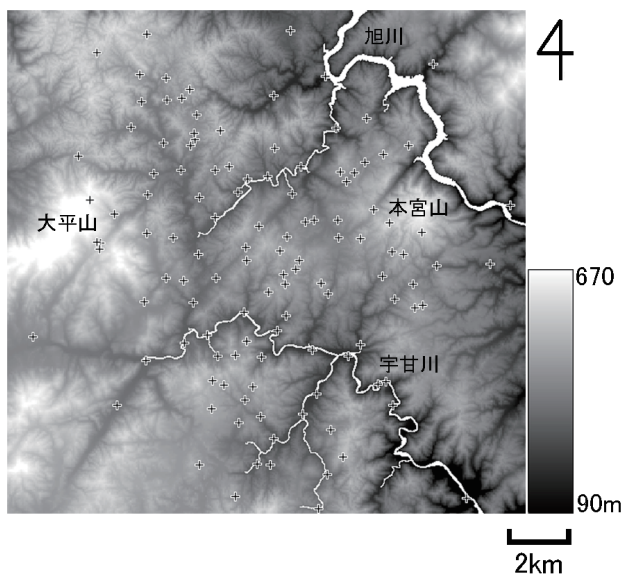
1) 調査方法

中山間地域における気温分布の実態を明らかにするため、旧岡山県御津郡加茂川町（以下加茂川町）と、その周辺地域を含む東西約17km、南北約21kmの範囲を対象として、50mメッシュ月平均気温分布図を作成した。さらに、加茂川町で明らかとした気温分布の特徴が、他の地域においても同様であることを検証するため、島根県大田市と旧島根県邑智郡邑智町（以下邑智町）の2カ所において、50mメッシュ月平均気温分布図を作成し、気温分布調査を行った。

加茂川町は、およそ北緯34.79度～34.97度、東経133.69度～133.88度の範囲にあり、岡山県のほぼ中心に位置する。加茂川町は、第6図のように、標高約60～670mの起伏の激しい複雑な地形をしており、町の北東部には川幅約100mの旭川、南部には川幅約50mの宇甘川があり、旭川水系分として豊岡川が東流し、宇甘川からは加茂川が南流している。第6図は国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）による地形と、気温観測地点（十字印）を図示したものである。観測装置の設置数は120地点で、観測は1999年4～12月に行った。

大田市の調査地域は、北緯35.032度～35.094度、東経132.400度～132.477度の範囲で、大江高山を有する標高約100～800mの地域である。一方、邑智町の調査地域は、北緯35.031度～35.094度、東経132.542度～132.619度の範囲で、江の川流域を含む標高約30～500mの地域である。また、江の川流域では、古くから桑栽培が盛んであった。両調査地域の中心地点の距離は14kmで、調査地域の広さは、どちらも約6×6kmである。

大田市および邑智町の調査地域は、加茂川町内に存在するのと同様の地形的特徴を有する。すなわち、大田市の調査地域は、地形の起伏が激しい低標高域から山頂部に至る、加茂川町の大平山周辺や本宮山



第6図 加茂川町の地形と気温観測地点（十字印）

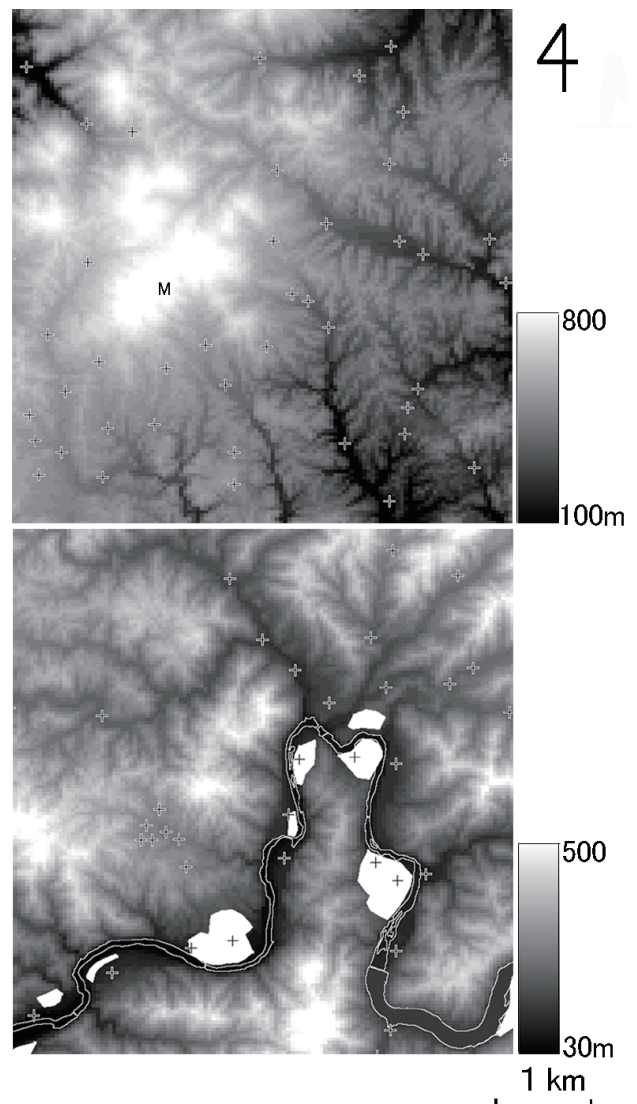
周辺と同様の地形を有し、邑智町の調査地域は、加茂川町の宇甘川、旭川周辺と同様、谷底部に比較的大きな河川を有する地域が存在する。数値地図50mメッシュ（標高）による、大田市と邑智町の地形、および気温観測地点を第7図に示す。

定点観測装置の設置地点数は、大田市で55地点、邑智町で50地点、そして観測期間は、両地域とも2002年4～10月であった。

2) 気温地点間差の季節変化

定点観測の結果、加茂川町には、月により、月平均最高気温で約4℃、月平均最低気温で約2～5℃、月平均気温で約3℃の気温地点間差が存在していた。

加茂川町内に存在する月平均気温差、月平均最高気温差、そして月平均最低気温差の各月の変化を第8図に示す。第8図は気温の月平均値が最も高い10地点の平均値と、最も低い10地点の平均値との差を図示したものである。このとき、10地点の平均値としたのは、1地点だけでは、局所的な影響が大きくなり、地点間差の概要を表していない場合があるためである。図のように、月平均最高気温の地点間差に、季節的な特徴は認められないが、月平均最低気温の地点間差は、夏季に小さく、その他の季節に大きくなる傾向が認められた。また、月平均気温の地点間差は、月平均最低気温の地点間差が大きくなる月にわずかに増加したが、大きな変化は認められな

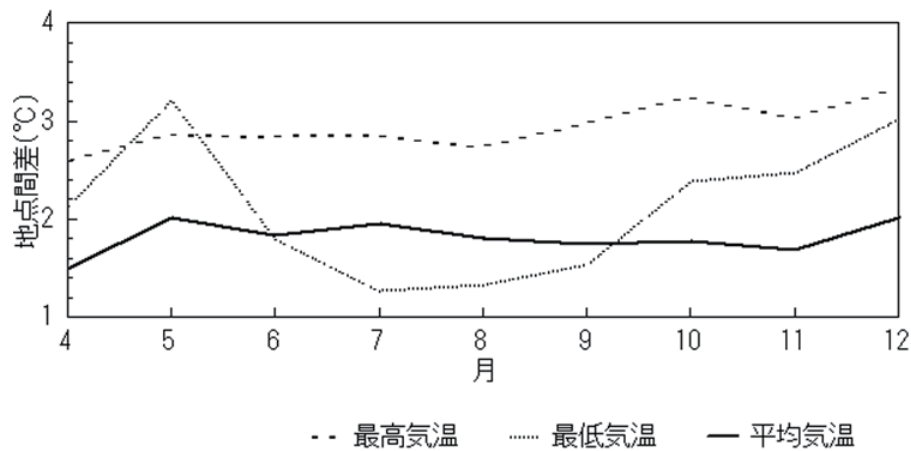


第7図 大田市（上図）と邑智町（下図）の調査地域の地形

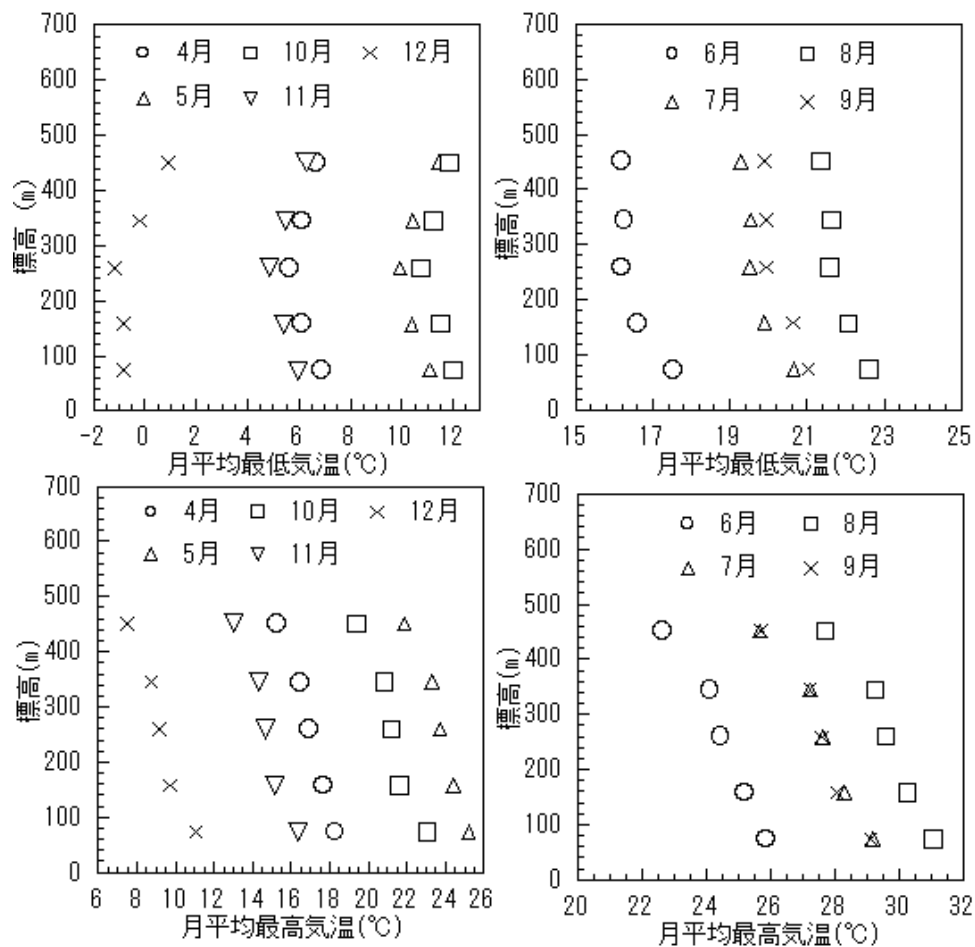
（M：大江高山，十字印：気温観測地点，白線：江の川本流界，白ポリゴン：桑畑）

かった。

気温観測地点の標高と、月平均最高気温および月平均最低気温との関係を第9図に示す。第9図は、100m単位の標高が等しい地点における、気温と標高の平均値を示したものである。図のように、月平均最高気温は、全ての月において、標高が低い地点ほど高かった。一方、月平均最低気温は、6～9月の夏期に、月平均最高気温と同様、標高の高い地点ほど低かったが、夏期以外は、標高の高い地点と河川近くの地点で高く、標高300m付近の起伏の激しい地形の複雑な地点で低かった。そして、月平均気温は、月平均最低気温と同様の傾向を示した。



第8図 加茂川町内に存在する月平均気温差の変化



第9図 定点観測地点の標高と気温の関係

このような気温分布の特徴を示した理由は、日中と夜間の気温の特徴が異なるためと考えられる。地表面で暖められる日中の大気は、垂直方向の拡散が大きく、標高の影響を強く受けるため、月平均最高

気温は、標高の高い地点で低く、標高の低い地点で高くなる。一方、夜間の大気は、地表面の放射冷却により冷やされるため安定しており、高さ方向への拡散は小さい。このため、月平均最低気温は、標高

以外の地形の影響を強く受け、地形の起伏が複雑な地点ほど低かった。そして、夜間の大気は、放射冷却の強まる時期ほど安定しており、夏期とそれ以外の時期で、異なる傾向を示した。また、夏期の月平均気温は、日中の気温の影響を強く受け、標高の高い地点で低く、標高の低い地点で高くなったが、春秋期の月平均気温は、日中の気温の影響が夏期ほど強くないため、標高と気温との相関は低く、地形が複雑な地点で低かった。

3) 最高気温分布の実態

定点観測値を目的変数とする重回帰分析で作成した気温推定式から、月平均最高気温の50mメッシュ分布図を作成した。その結果、定点観測と同様、4～12月の月平均最高気温分布は、全ての月で同様の傾向を示した。メッシュ気温推定に用いた重回帰式の自由度調整済み重相関係数と、50mメッシュ気温推定式の標準誤差は第3表のとおりで、作成した月平均最高気温分布図は、加茂川町における観測年の気温分布状況をよく表していると考えられる。

気温推定式となる重回帰式の標準偏回帰係数より、選択された説明変数が気温におよぼす影響の大きさが判断できる。そこで、重回帰式に選択された説明変数と、その標準偏相関係数を評価した。各月の重回帰式に選択された説明変数で、標準偏回帰係数が最大のものを第4表に示す。表中の記号が示す説明変数は、第2表に準じ、記号の括弧内の数字は、

第3表 4～12月の月平均最高気温の推定に用いた重回帰式の自由度調整済み重相関係数と推定値の標準誤差

月	重相関係数	標準誤差 (°C)
4	0.925	0.01
5	0.838	0.02
6	0.895	0.01
7	0.886	0.01
8	0.848	0.02
9	0.862	0.02
10	0.761	0.03
11	0.791	0.02
12	0.770	0.03

第4表 重回帰式に選択された、標準偏回帰係数が最大の説明変数と単回帰係数

月	変数	回帰係数
4	ME (7)	-0.907
5	ME (8)	-0.828
6	ME (7)	-0.878
7	ME (7)	-0.876
8	ME (4)	-0.850
9	ME (4)	-0.769
10	EX0 (60)	-0.694
11	ME (2)	-0.683
12	ME (8)	-0.719

説明変数における計算範囲Rの値である。

50mメッシュ気温分布図による、加茂川町の月平均最高気温分布調査の結果、4～12月の月平均最高気温分布の特徴は、全ての月で同様の傾向を示し、標高が低いメッシュほど高かった。そして、10月を除いて標準偏回帰係数の絶対値が最も大きかったのは平均標高であった。特に、4～8月の平均標高の単相関係数は0.83～0.88で、平均標高だけでも夏期の月平均最高気温分布の特徴をよく表した。10月のメッシュ気温推定式において、最も標準偏回帰係数が大きかったのは開放度であったが、平均標高との差はわずかであった。さらに、選択された説明変数で最も寄与率が高かったのは平均標高であった。これは、標準偏回帰係数の最も大きな変数ではなかったが、10月の月平均最高気温分布に最も大きな影響を及ぼした要因と判断される。これらのことから、月平均最高気温分布に最も影響の大きな要因は、季節によらず平均標高と考えられる。

新たな説明変数として定義した日射量、傾斜の通過頻度、そして水域度のうち、6～9月と11月に日射量が月平均最高気温の重回帰式の変数として選択された。日射量を説明変数とせずに夏期の月平均最高気温の重回帰分析を試みた結果、平均標高と、 ΔH の値が異なる開放度が変数として選択された。しかし、自由度調整済み重相関係数の変化はわずかであった。このことから、日射の影響は開放度で十分代用可能であり、日射量を説明変数とする必要性は低いと考えられる。また、傾斜の通過頻度と水域度

が重回帰式の変数として選択された月はなかった。

加茂川町において、月平均最高気温分布を決定する最大の要因は、季節に関係なく平均標高で、平均標高の高い地域ほど、月平均最高気温は低い傾向を示した。このような月平均最高気温分布の特徴は島根県の調査地域においても、同様であった。

4) 最低気温分布の実態

定点観測と同様、50mメッシュ月平均最低気温図による加茂川町の月平均最低気温分布は、春秋冬期（4～5月および10～12月）と、夏期（6～9月）とで異なる傾向を示した。メッシュ気温推定に用いた重回帰式の自由度調整済み重相関係数と、推定値の標準誤差は第5表のとおりで、作成した月平均最低気温分布図は、加茂川町における観測年の気温分布状況をよく表していると考えられる。

月平均最高気温と同様、各月の月平均最低気温の重回帰式に選択された説明変数で、標準偏回帰係数が最大の変数、そして、7月と12月の重回帰式に選択された、全ての説明変数と標準偏回帰係数を第6表、第7表に示す。

50mメッシュ気温分布図による、加茂川町の月平均最低気温分布調査の結果、6～9月の夏期の月平均最低気温は、月平均最高気温と同様、標高の高い地点ほど低かった。そして、6～8月の重回帰式の全てに選択され、標準偏回帰係数の絶対値が最大の説明変数は、月平均最高気温と同様、平均標高であ

第5表 4～12月の月平均最低気温の推定に用いた重回帰式の自由度調整済み重相関係数と推定値の標準誤差

月	重相関係数	標準誤差 (°C)
4	0.816	0.03
5	0.811	0.04
6	0.711	0.03
7	0.836	0.02
8	0.817	0.02
9	0.858	0.02
10	0.831	0.04
11	0.798	0.04
12	0.866	0.04

第6表 各月の月平均最低気温の重回帰式に選択された、最も標準偏回帰係数の大きい説明変数及びその単回帰係数

月	変数	回帰係数
4	EX0(6)	0.79
5	EX0(6)	0.62
6	ME(14)	-0.81
7	ME(14)	-0.87
8	ME(3)	-1.09
9	DE(20)	0.67
10	DE(20)	0.79
11	DE(18)	0.81
12	EX30(44)	0.78

第7表 ステップワイズ法で選択された説明変数とその標準偏回帰係数

7月	標準偏回帰係数	12月	標準偏回帰係数
ME(14)	-0.865	DE(18)	0.638
W(6)	0.303	W(16)	0.205
EX-30(48)	0.526	EX-10(6)	0.633
EX-10(26)	-0.196	EX30(44)	0.783
EX20(5)	-0.231		

った。9月の標準偏回帰係数の値が最大の変数は標高差であったが、気温観測値と作成された気温分布図では、標高が高い地域ほど、気温は低かった。さらに、寄与率が最大の説明変数は、平均標高であった。これは、標準偏回帰係数の絶対値が最大の変数ではなかったが、9月の月平均最低気温分布を決定する最大の要因は、平均標高と考えられる。これらのことから、6～9月の夏期の月平均最低気温分布を決定する最大の要因は、平均標高と考えられる。

夏期以外の月平均最低気温は、起伏が激しく、地形の複雑な、標高300m付近で低く、河川流域と標高の高い地点で高かった。夏期以外の月に標高の高い地点で月平均最低気温が高かったのは、気温の逆転層の発達により、斜面温暖帯が形成されたためと考えられる。そして、地形が複雑な標高300m付近で、気温の低い地点が現れたのは、放射冷却と複雑地形による、局地気象の発達のためと考えられる。

夏期以外の月平均最低気温の重回帰式に選択された説明変数のうち、標準偏回帰係数の絶対値が最大の説明変数は、4, 5, 12月で開放度, 10, 11月で標高差であった。しかし、他の説明変数の標準偏回帰係数と大きな差はなく、特に影響が大きいと考えられる説明変数はなかった。これらのことから、月平均最低気温分布は、様々な要因が複雑に影響し、決定されると考えられる。

加茂川町で観測された月平均最低気温分布の特徴は、夏期と冬期で異なったが、島根県の調査地域における気温分布の特徴は、5～10月のいずれの月でも同様の傾向が認められた。第8表は、島根県の調査における重回帰分析で選択された説明変数のうち、標準偏相関係数の絶対値が最大のものである。

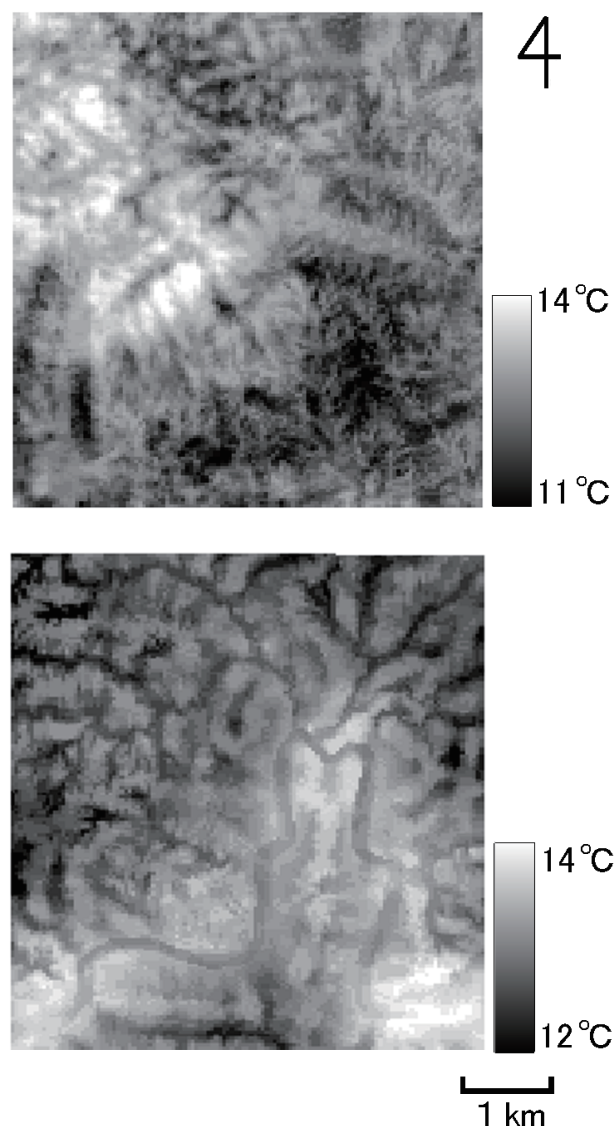
表のように、各月の気温分布に最も影響が大きいと考えられる説明変数に平均標高はなく、夏期であっても、地形の複雑さや土地被覆に関係する、傾斜の通過頻度、傾斜度、開放度、水域度が選択された。また、加茂川町の調査地域とは異なり、分布の特徴に季節的な違いはなく、大田市の大江高山中腹では、夏でも気温の逆転層がみられた。また、いずれの月においても、斜面下部や谷底で気温は低く、斜面上部、そして尾根や台地で気温は高かった。これは、島根県の調査地域は、夏期であっても、観測期間中の放射冷却は強く、地表面付近の大気が安定していたためと考えられる。このことから、月平均最低気温分布の特徴は、地形だけでなく、気象状況、特に放射冷却の強度により決定されると考えられる。

季節に関係なく、比較的標高の低い谷底部にある、加茂川町の旭川および宇甘川の本流付近、そして、

邑智町の調査地域にある江の川本流付近は、月平均最低気温の高い地域であった。これまでの研究によると、斜面温暖帯の形成が認められる夜間の気温は、標高の低い地域ほど低い^{29, 31)}。しかし今回の観測では、標高の低い河川流域で月平均最低気温は高く、月によっては、斜面温暖帯と同等と思われる気温が観測された。河川流域の月平均最低気温が高い理由として、河川の影響が考えられる。水系の影響を考慮して説明変数とした水域度は、加茂川町の4, 5, 6, 9, 12月、そして邑智町の5, 6, 7, 8, 9, 10月で、月平均最低気温の重回帰式の変数として選択された。しかし、水域度を説明変数に加えなかつ

第8表 各月の月平均最低気温の重回帰式で選択された、標準偏回帰係数最大の説明変数

月	大田市	邑智町
4	VA(30)	EX10(6)
5	VA(27)	EX10(5)
6	VA(27)	EX10(5)
7	VA(44)	EX10(6)
8	VA(32)	EX10(6)
9	VA(21)	EX10(5)
10	SL(9)	W(21)



第10図 50mメッシュ月平均最低気温分布図（上：大田市，下：邑智町）

た場合の自由度調整済み重相関係数を比較すると、その差はわずかで、水域度による重回帰式の顕著な改善は認められなかった。しかし、河川流域で明らかに気温が高いことから、重回帰式における説明変数の選択において、水域度の影響を他の説明変数が代用している可能性がある。

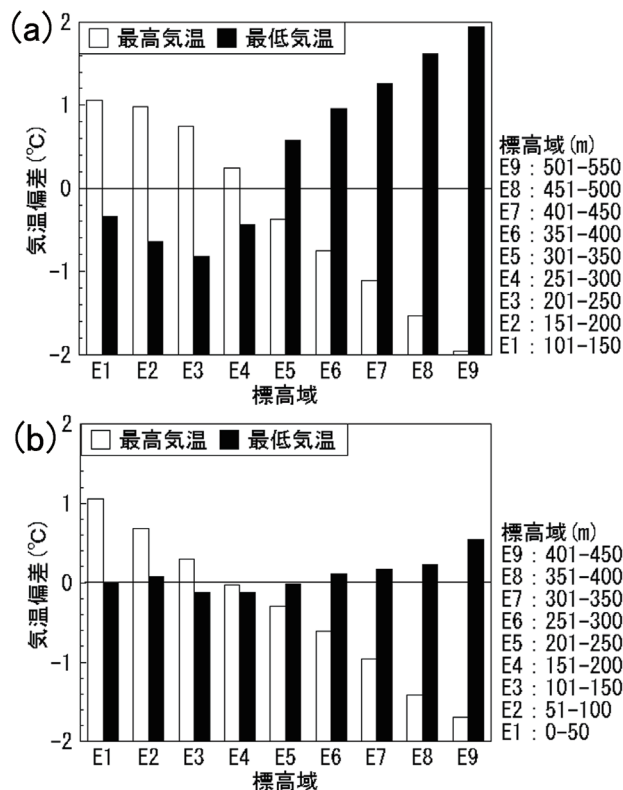
そこで、谷底部の河川付近の気温分布を調査するため、大田市の調査地域と邑智町の調査地域の気温分布を比較した。気温分布の比較は、上述したように、放射冷却が強く、地域特有の気温分布の形成が顕著であったと判断される、10月の月平均最低気温分布について行った。

第10図のように、大田市の調査地域における10月の月平均最低気温は、谷地形が多く、地形の起伏が激しい、大江高山南東山麓で低く、大江高山の中腹や稜線、そして、南側の開けた地域で気温は高かった。一方、邑智町の調査地域における10月の月平均最低気温は、大田市の調査地域と同様、斜面の上部や台地で高く、谷底部で気温は低かった。しかし、江の川本流を有する谷底部は、他の谷底部ほど最低

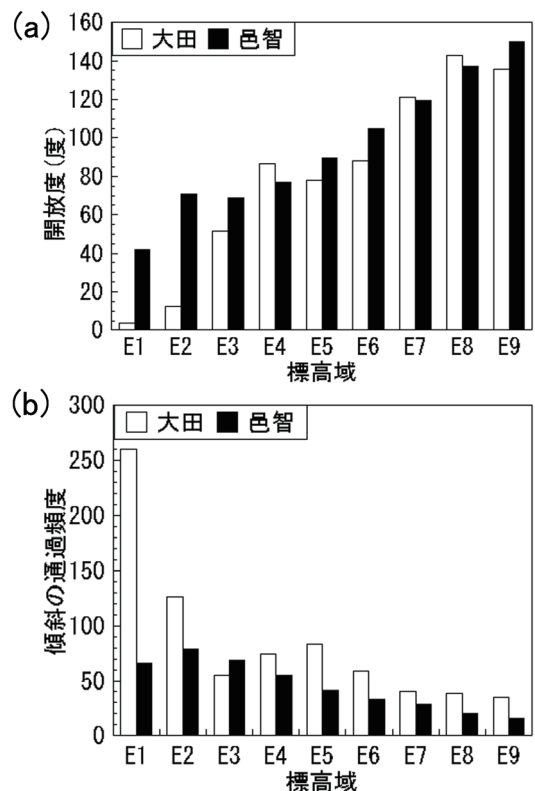
気温は低くなかったため、台地に挟まれる江の川南東部の気温は、比較的高い地域となった。

両地域における、10月の月平均最高、最低気温分布を標高別に整理したものが、第11図である。第11図は、メッシュ標高を50m毎に区切った場合に、等しい標高域にあるメッシュ気温と、全メッシュの気温平均値との差を気温偏差として、標高域内における各メッシュの気温偏差を平均した値である。大田市の調査地域の最高標高は約800mあるが、550mまでを図示している。これは、大田市の気温観測地点の標高が、居住地域と農地のある、標高550m以下であり、観測地点よりも標高の高い地域の気温推定値は、信頼性が低くなるためである。

また、メッシュ図作成地域における、標高域別の開放度および傾斜の通過頻度の平均値を示したものが第12図である。各メッシュの開放度には、後藤(1987)²⁵⁾が定義する開放度を用いた。これは、説明変数とした開放度よりも、後藤の開放度の方が、地形の相対的な特徴を描写するのに適すると判断したためである。後藤(1987)²⁵⁾の定義する開放度は、



第11図 大田市 (a) と邑智町 (b) の調査地域における10月の各標高域の気温偏差



第12図 大田市と邑智町の調査地域における各標高域の開放度 (a) 及び傾斜の通過頻度 (b) の平均値

水平方向に一定距離まで視認できる角度の合計で、本報ではその距離を500mとした。

大田市の最低気温は、標高域E 1～4 (300m以下)で低く、E 5～9で比較的高い。大田市で最低気温の低い、標高域E 1～4の開放度はE 5～9よりも小さく、開放度の平均はE 5～9の約122度に対して、E 1～4は約47度、とくに開放度の小さいE 1, 2を除くE 3, 4でも約69度である。このことから、標高域E 1～4において、比較的最低気温が低いのは、開放度が小さく、冷気が堆積しやすい地形が、大部分を占めるためと推察される。また、標高域E 5～E 9において、標高の高い地域ほど最低気温が高いのは、気温の逆転層の発達によるためと考えられる。一方、邑智町の最低気温は、標高域E 6～9 (251～450m)の高標高域で、逆転層の発達によると思われる気温分布がわずかに見られるが、標高域間に、顕著な差はみられない。これは、傾斜の通過頻度が、大田市に比べ小さいことから推察されるように、大田市の調査地域とは異なり、各標高域間において冷気の通過がなく、各標高域内において冷気の堆積が生じているためと考えられる。そして、標高域間の気温の連続性が小さく、標高域内で平均したため、標高域間の気温差は大きくなかったと考えられる。さらに、大田市の調査地域のように、標高の低い地域の最低気温が低くならなかったことも、標高域間の気温差が小さい要因の一つと考えられる。特に、最も標高の低いE 1の地域は、斜面下部と谷底部を有しており、本来は、大田市の調査地域と同様、域内では、最低気温の低い地域となるはずである。しかし実際には、それほど最低気温の低い地域とはならなかった。

標高域E 1の最低気温が低くなかった理由として、他の谷地形とは異なり、江の川本流付近の気温

が低くなかったためと考えられる。なぜなら、江の川が、標高域E 1の大部分を占めており、さらに、第9表のように、10月の月平均最低気温の重回帰式で水域度が選択されているためである。

そこで、50mメッシュ気温分布図から江の川本流を有する谷底部を、次の手法で抽出した。まず、GISソフトを用いて、江の川から距離1000mのバッファを作成し、そのバッファ内で、調査地域内にある江の川の平均標高との差が50m以下のメッシュを谷底部のメッシュとした。バッファを発生させた距離を1000mとしたのは、1000mのバッファを用いれば、谷底部全体をカバーできる事が、GISソフトで確認されたためである。また、除外するメッシュを江の川の平均標高の50m以下としたのは、数値地図50mメッシュ(標高)の誤差が10m程度ある⁴³⁾こと、そして、調査地域内の江の川の平均標高と最大標高の差が約20mあることから判断した。

谷底部のメッシュを抽出した結果、標高100m以下のメッシュの83%がバッファ内にあり、抽出したメッシュの90%が江の川本流から距離300m以内の領域であることが明らかとなった。

重回帰式の変数に水域度が選択され、江の川本流付近の月平均最低気温の高い理由として、江の川の影響が考えられた。しかし、水域が気温に影響をおよぼしたというこれまでの報告^{44, 77)}は、河川ではなく湖沼に関するものである。またBlennowら(1998)⁴⁾は、数種の地形因子、土壌、そして湖と河川からの距離を説明変数として、気温測定値の重回帰分析を試みた結果、夜間の気温の重回帰式に、湖と河川からの距離は寄与しなかったと報告している。さらに、メッシュ気温推定のための重回帰式の変数は、与えられた説明変数から、気温観測値と最も相関の高い組み合わせとして選択されるため、気温に影響を及ぼしていると思われる説明変数が選択されていない場合もある。例えば、開放度が、冷気の堆積や気流の遮断状況だけでなく、日射の遮蔽状況や地表面の放射状況を表す変数としても選択されている場合等である。また、邑智町の高標高域で逆転層の影響が見られるにも関わらず、標高が重回帰式に選択されていない理由も、標高の影響が開放度で代用されているためと考えられる。このように、実際に選択された変数とは異なる要因が気温に影響

第9表 10月の月平均最低気温の重回帰式の説明変数とその標準偏回帰係数 (S.P.R.C)

大田市	S. P. R. C	邑智町	S. P. R. C
DE (51)	-0. 247	W (21)	0. 591
SL (9)	0. 468	EX10 (5)	0. 427
VL (5)	0. 231		
SR (19)	-0. 193		

している場合もあり、江の川が気温に影響したのではなく、江の川で代表される他の要因により、気温が高いとも考えられる。

しかしながら、黒瀬ら (1994)³¹⁾ は、ランドサットによる斜面温暖帯の観測で、河川流域のV字谷底部は比較的最低気温の高い地域であったと報告している。さらに田中ら (1983)⁶⁶⁾ は、上空の風速が2～3 m/sになると、台地上に比べ、谷底部の冷却が弱くなると報告しており、さらにBlennow (1998)³⁾ は、天空率が小さい地点の最低気温は相対的に高かったと報告している。また、霧が発生すると放射冷却が弱まり、気温低下が小さい³²⁾ ことが知られており、河川を発生源とする霧による影響も考えられる。

大田市と邑智町の調査地域における、10月の月平均最低気温分布と加茂川町の月平均最低気温分布の調査結果、さらに、既存研究の結果から、河川が直接気温を上昇させたと判断することは難しいが、斜面に挟まれた谷底部における河川付近の最低気温は、河川と谷地形が複合的に影響し、月平均最低気温が高くなっていると推察できる。

5) 平均気温分布の実態

各月の重回帰式に選択された標準偏回帰係数の絶対値が最大で、6～9月の月平均気温分布の決定に影響を及ぼす最大の要因は、月平均最低気温と同様、平均標高と考えられた。4、5月の標準偏回帰係数が最大の説明変数は、平均標高であったが、他の説明変数の標準偏回帰係数との差は小さく、平均標高が月平均気温分布を決定する最大の要因とは判断されなかった。そして、10～12月の標準偏回帰係数の絶対値が最大の説明変数は、開放度や標高差であったが、他の説明変数の標準偏回帰係数との差は小さかった。これらのように、月平均気温分布は、月平均最低気温分布と同様の傾向を示した。しかし、春、秋、冬期における標高400m以上の月平均気温は、月平均最低気温ほど、地域内で気温の高い地域ではなかった。これは第9図のように、標高400m以上の月平均最高気温は、全ての季節を通じて低いが、月平均最低気温は、逆転層の発達とともに、夏期に低く、春、秋、冬期に高い傾向を示すためである。そして、島根県においても、月平均気温分布は、月平均最低気温分布と同様、地形の起伏や土地被覆状

況の影響が強く、多様な気温分布となる特徴をもっていた。

6) 結論

旧岡山県御津郡加茂川町、島根県大田市、旧島根県邑智郡邑智町において50mメッシュ気温図を作成し、気温分布を調査した結果、以下のような実態が認められた。

- ①気象条件に関係なく、最高気温分布を決定する最大の要因は平均標高で、平均標高の高い地域ほど最高気温は低い傾向を示す。
- ②夏期のように放射冷却の弱い時期における最低気温分布を決定する最大の要因は平均標高で、平均標高の高い地域ほど、最低気温は低い傾向を示す。しかし、放射冷却の強まる気象条件下では、冷気流や逆転層などの局地気象の発達に寄与する地形の影響が大きく、谷やくぼ地など、冷気の沈滞しやすい地域で、最低気温は低く、斜面上部や尾根、台地で、最低気温は高い傾向を示す。
- ③比較的大きな谷底部の河川付近は、放射冷却の強い時期であっても、最低気温は高い。これは、水系と谷地形の複合的な影響によると考えられる。
- ④月平均気温分布は、月平均最低気温分布と同様の傾向を示す。しかし、逆転層の発達により最低気温が高くなる、高標高域の平均気温は、放射冷却の強まる気象条件でも、最低気温でみられたほどには高くない。

4 1 kmメッシュ気温図と50mメッシュ気温図の比較

1) 方法

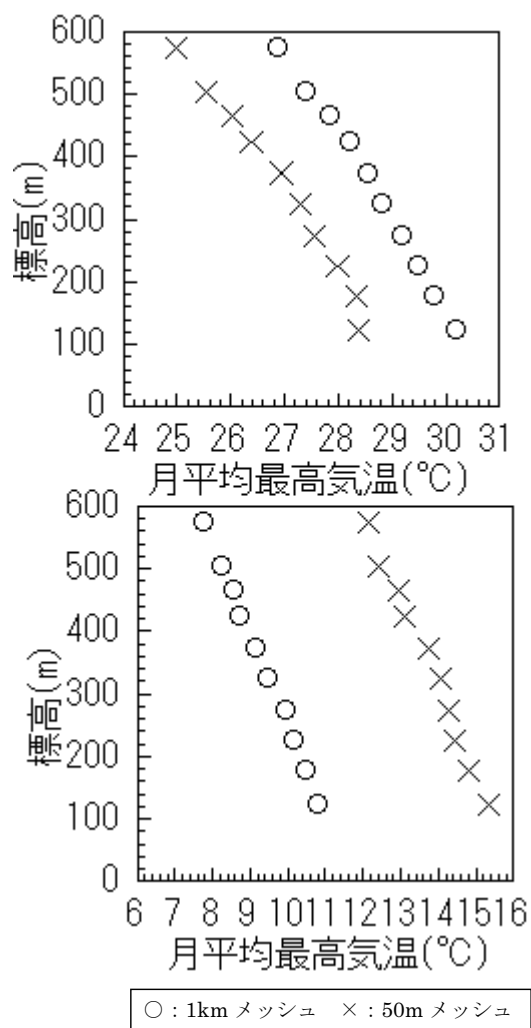
50mメッシュ気温分布図と比較する1 kmメッシュ気温分布図は、気象庁のメッシュ統計値²⁰⁾ から作成した。メッシュ統計値は、1961～1990年の気象観測所の観測値による平年値から作成されたものである。

比較する50mメッシュ図と1 kmメッシュ図とでは作成年次が異なる。しかし、局地的な気候の年々の変動は、半旬程度でも小さく²³⁾、また、大原 (1999)⁵⁰⁾ は、気温の地点間差に年次間で高い再現性があつたと報告している。これらのことから、データ年次は相違するが、本研究の50mメッシュとメッシュ気候値にもとづく1 kmメッシュは比較可能と判断した。

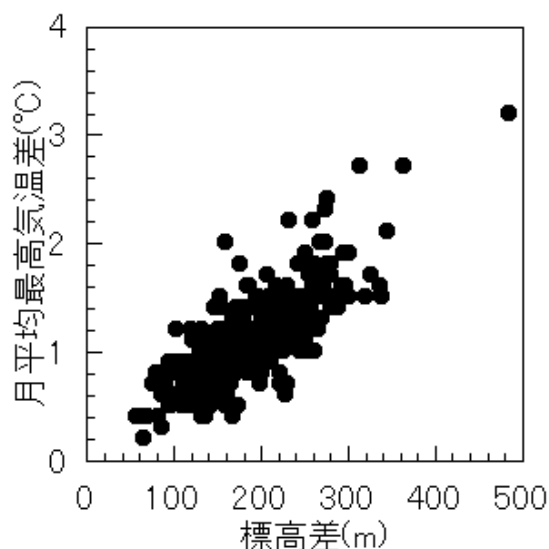
1 kmメッシュ気温分布図と、50mメッシュ気温分布図を比較するため、1 kmメッシュ気温分布図と50 mメッシュ気温分布図における気温を、第13図のように、標高域毎に比較した。さらに、両メッシュ図の違いを面的に評価するため50mメッシュ気温分布図において、1 kmメッシュに相当する縦20、横20メッシュの気温の平均値、最高値、最低値を求めた。

2) 月平均最高気温分布の比較

第13図は、7月と12月における、50mメッシュ気温分布図と1 kmメッシュ気温分布図において、50m単位の標高値が等しいメッシュの気温平均値と標高平均値との関係である。また、第14図は、1 kmメッシュ内における、50mメッシュによる7月の月平均



第13図 50mメッシュ気温分布図および1 kmメッシュ気温分布図による月平均最高気温と1 kmメッシュ平均標高との関係（上段：7月，下段：12月）



第14図 1 kmメッシュ内の7月の月平均最高気温差と標高差

最高気温の地点間差と標高差の最大値である。

両メッシュ気温分布図による月平均最高気温は、4～12月の全ての月において、ほぼ同様の割合で、標高の低下とともに気温が高くなる傾向を示した。このため、加茂川町の月平均最高気温分布は、1 kmメッシュ気温分布図でも、50mメッシュ気温分布図と同様の特徴が、把握できると考えられる。しかし月平均最高気温は、標高の影響を強く受けるため、1 kmメッシュ内の標高差が大きいほど、メッシュ内の気温の地点間差も大きく、地域内の気温差が小さかった7月であっても、1 kmメッシュ内の月平均最高気温の地点間差は、平均1.1℃、最大3.2℃あった。このように1 kmメッシュ内には、地域によっては大きな気温差が存在し、1 kmメッシュ気温分布図の気温を農地に適用するには難点がある。

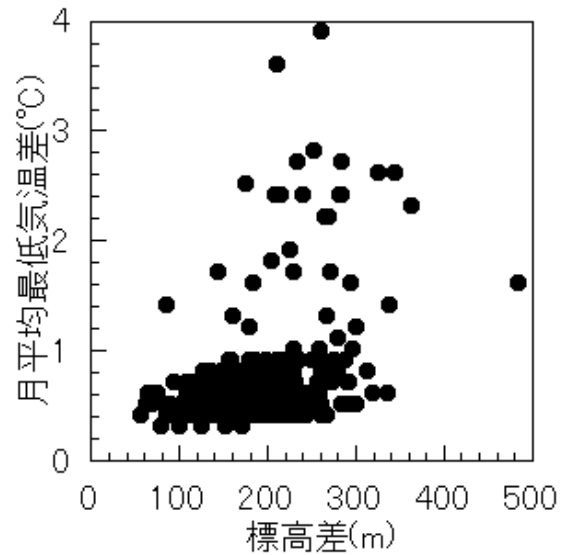
3) 月平均最低気温分布の比較

7月と12月の1 kmメッシュと50mメッシュの気温分布図において、50m単位の標高値が等しいメッシュの気温平均値と標高平均値との関係を第15図に示す。

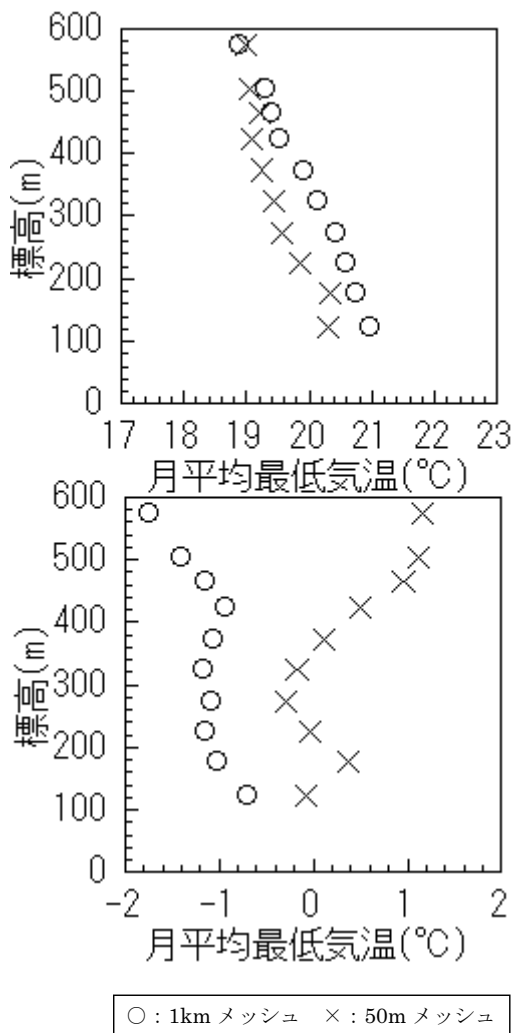
6～9月の夏期の月平均最低気温は、1 kmメッシュ、50mメッシュともに、ほぼ同様の割合で、標高の低下とともに高くなる傾向を示した。そのため、夏期の月平均最低気温分布の特徴は、1 kmメッシュの気温分布図でも、50mメッシュの気温分布図と同

様の傾向が得られると考えられる。ただし、全体的な気温分布の傾向が等しい夏期であっても、月平均最高気温と同様、第16図のように、1 kmメッシュ内の気温差は大きく、1 kmメッシュ内における7月の月平均最低気温の地点間差は平均0.7℃、最大で3.9℃あった。第16図は、50mメッシュ標高値と、50 mメッシュ気温分布図による、1 kmメッシュ内における7月の月平均最低気温の地点間差と標高値の差を示したものである。

1 kmメッシュ気温分布図による、夏期以外の月平均最低気温は、標高の高い地域ほど低くなる傾向を示すが、逆に50mメッシュ気温分布図では、標高の高い地域で高かった。そこで、両メッシュ図に表される気温変化を比較するため、西部の大平山から、



第16図 1 kmメッシュ内の7月の月平均最低気温差と標高差

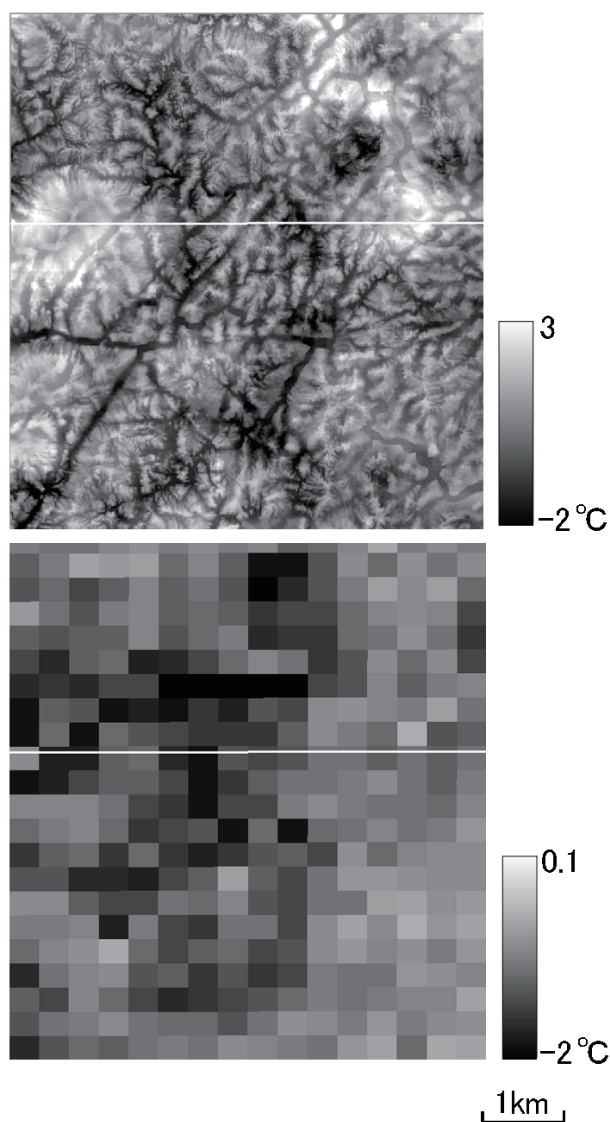


第15図 50mメッシュ気温分布図および1 kmメッシュ気温分布図による月平均最低気温と1 kmメッシュ平均標高との関係（上段：7月，下段：12月）

地形の複雑な地域を通り、東部にある本宮山、そして旭川流域へと進む、緯度方向の幅が1 kmメッシュと等しい、北緯34° 53′ 30″～34° 54′ 0″・東経133° 41′ 15″～133° 53′ 15″における、1 kmメッシュと50mメッシュの気温プロファイルを調査した。調査月は、もっとも気温地点間差の大きかった12月とした。両図を第17図に、そして気温プロファイルを示す。第18図の横軸の距離は、最西端（133° 41′ 15″）から、気温偏差を求めたメッシュの中心位置までの距離である。

1 kmメッシュ気温分布図による月平均最低気温は、標高の高い地域ほど低くなる傾向を示すが、50 mメッシュ気温分布図では、標高の高い地域で高い。さらに、1 kmメッシュ気温分布図による気温の寒暖の変化は小さく、標高の高い大平山、本宮山周辺の気温は低い。一方、50mメッシュ気温分布図の気温は、短い距離で大きく変化し、地形によっては地域全体に生じるのと同程度の気温差が、1 km程度の距離に生じている。

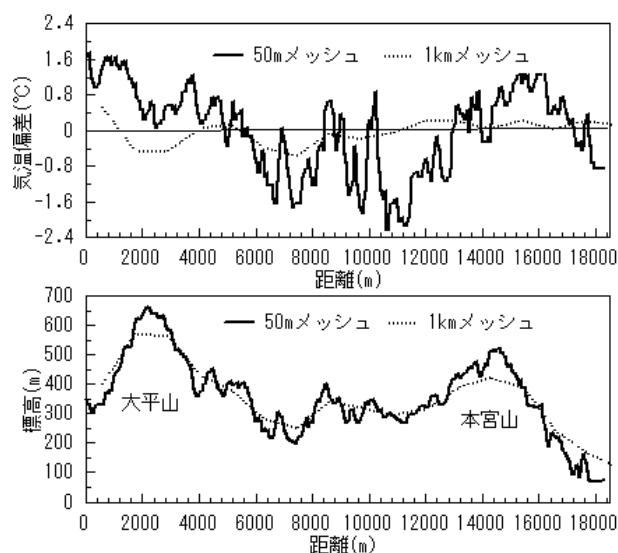
気温の寒暖の変化が異なる理由は、メッシュ気温分布図の作成に用いた、地形の解像度の違いによるが、大平山や本宮山周辺の標高500m付近の両図の違いは、1 kmメッシュ気温分布図に斜面温暖帯が表れないためと考えられる。なぜなら、斜面温暖帯の形成される標高は、地域によって異なる³¹⁾ため、



第17図 12月の月平均最低気温メッシュ図（上：50m，下：1km，白線：プロファイル作成域）

様々な地形に点在する気象観測所の観測値から、特定の地域における斜面温暖帯形成時の気温と地形との関係を推測することは難しいと考えられるからである。

斜面温暖帯の発生頻度は、その時期の放射冷却の強度に影響を受ける事から、1999年は平年と比べ、斜面温暖帯が発生しやすかった年であったという可能性もある。そこで、1999年の天候が、平年と比べどのようなであったかを岡山気象台の観測データから調査した。その結果、1999年12月の快晴日は1日、晴天日は20日であった。そして、1991～2000年の10年間における、12月の快晴日は平均2.4日、晴天日は平均16.7日であり、さらに1999年12月の月平均最低



第18図 12月の50mメッシュ気温分布図と1kmメッシュ気温分布図による、月平均最低気温プロファイルの平均偏差（上図）及び標高

気温は、平年と比べ約1.0°C高かった。このことから、1999年は平年に比べ、とくに放射冷却が強い年で、斜面温暖帯が平年よりも頻繁に発生した年とは考えられない。これらのことから、既存の1kmメッシュ気温分布図は、斜面温暖帯の気温への影響を十分に表しておらず、月平均最低気温分布の概要把握であっても、利用は難しいと考えられる。

4) 月平均気温分布の比較

月平均最低気温分布と同様、6～9月の夏期の月平均気温は、両メッシュ図とも、ほぼ同様の割合で、標高の低下とともに高くなる傾向を示した。そのため、夏期の月平均最低気温分布と月平均気温分布の特徴は、1kmメッシュの気温分布図でも、50mメッシュの気温分布図と同様の傾向が得られる。ただし、月平均最高気温、月平均最低気温と同様、1kmメッシュ内の気温差は大きく、1kmメッシュ内における7月の月平均気温の地点間差は、平均で1.1°C、最大2.0°Cあった。

月平均最高・最低気温と同様、月平均気温分布の概要として、7月と12月の1kmメッシュ図と50mメッシュ図において、50m単位の50mメッシュ標高値が等しいメッシュの平均値を第19図に示す。

図のように、夏期以外の1kmメッシュ気温分布図の月平均気温は、月平均最低気温のように、高標高

地域における顕著な気温上昇は認められなかった。これは、第8図で示したように、標高の高い地域の最低気温は高いが、最高気温は低いと考えられる。このことから、50mメッシュの月平均気温分布は、1kmメッシュと同様に、標高の高い地域で低く、標高の低い地域で高くなる傾向をもつが、その変化は、1kmメッシュ図に比べ小さい。

5) 結論

加茂川町において、1kmメッシュ気温分布図と50mメッシュ気温分布図を比較した結果、月平均最高気温分布、月平均気温分布、そして夏期の月平均最低気温分布の概要把握に、1kmメッシュ気温分布図を利用することは可能と考えられる。しかし、春・

秋・冬期のように放射冷却の強まる気象条件下の1kmメッシュ気温分布図は、斜面温暖帯等の局地気候を十分に表していないため、月平均最低気温分布の概要把握の利用には難点がある。また、春・秋・冬期の月平均気温分布は、最低気温分布の影響により、標高の高い地域と低い地域との気温変化が小さい。

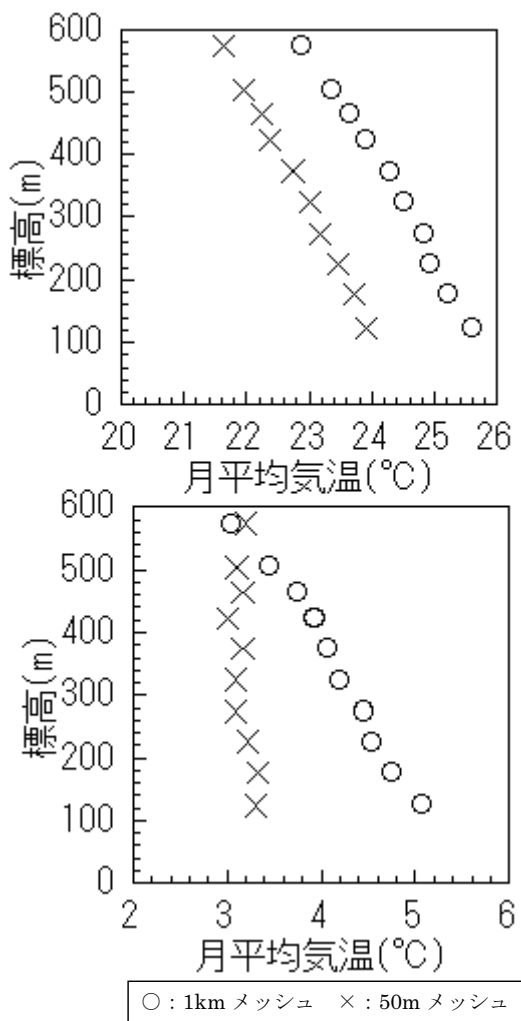
本章の結論として示した、50mメッシュ気温分布図と1kmメッシュ気温分布図との比較結果は、中国中山間地域全般に当てはまる事象であると考えられる。ただし、1kmメッシュ図と同様の傾向が見られる月平均最高気温であっても、1kmメッシュ内に大きな気温差が存在している。実際、加茂川町の和田集落は、1kmメッシュを用いた場合、2メッシュで全域が覆われ、メッシュ間の差は小さいが、50mメッシュでは、標高差にして200m、12月の月平均最低気温で2℃もの気温差が存在しており、このような集落で、圃場単位の詳細な栽培計画の立案を、1kmメッシュ気温分布図で実施する事は困難である。

5 新しいメッシュ気温推定法の開発

1) 目的

Bllennow (1998)³⁾ や大原 (1998)⁴⁸⁾ は、多数地点に設置した自作の気温観測装置の気温観測値を目的変数、そして地形因子を説明変数とするステップワイズ重回帰分析でメッシュ気温推定を行った。またLookingbillら (2003)³⁶⁾ も同様に、多数地点に設置した小型温度計の観測によるメッシュ気温推定を試みている。しかし、彼らの手法で作成されたメッシュ気温図は、一定期間の気温観測値から作成されたものであるため、気候値としては扱えない。さらに、固有の誤差を有する独自の観測装置の気温から作成されたメッシュ図は、他地域との客観的な気温の比較や、他の研究者による栽培試験結果の適用性の判定等が困難なため、気候特性に応じた適切な作目配置や栽培計画の立案に利用するには難点がある。このため、客観的な気候値としての評価が可能な、50mメッシュ気候図が必要となる。

そこで本節では、近隣の気象観測所と推定地点との気温地点間差をモデル化する事で、既存の気象観測所を利用した気温推定を可能とする、新しい気温推定法を開発した。さらに本節では、開発した推定技術を用いた、アメダス観測値に準じた気温の50m



第19図 50mメッシュ気温分布図および1kmメッシュ気温分布図による月平均気温と1kmメッシュ平均標高との関係 (上段：7月，下段：12月)

メッシュ気候図の作成法とその利用法の一案を示す。

2) 推定方法

(1) 推定理論

本手法では、Dodsonら (1997)⁸⁾と同様、気温は全て温位に変換する。これは、気温に影響を及ぼす要因のうち、標高に準じる気温減率の影響を除去することにより、メッシュ気温推定に必要な重回帰式の精度向上が期待できると考えた事による。そこで、理科年表による標準大気の定数を用いた式 (1) から気圧を推定し、気温を温位に変換した。

$$P = P_0 \left(\frac{T_b}{T_b + \lambda z} \right) \cdot \frac{mg}{\lambda R} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 P : 気圧, P_0 : 海面気圧 (1013.25hPa), T_b : 海面高度気温 (288.15K), λ : 気温減率 (-0.065K), z : 推定地点標高 (m), m : 乾燥空気分子量 (0.02897kg/mol⁻¹), g : 重力 (9.80665m/s⁻²), R : 気体定数 (8.3143J/mol⁻¹/K⁻¹) である。

気圧の計算で用いた海面高度気温などは、地域や季節により変化する。このため、式 (1) で計算される気圧にもとづく温位は、現実の温位とは異なる。しかし本手法は、正確な値よりも地点間差が重要であり、アメダスポイントと推定地点の気象が著しく変わらない限り、仮想の温位でも問題ないと判断した。

本手法は、アメダスの観測値から直接気温を推定するのではなく、近隣のアメダスポイントと推定地点との温位差をモデル化するものである。これは、同時期における気温地点間差の変動は小さく、半月値であれば、2～3年程度の観測でその気候的特徴は把握できること²³⁾、そして角野 (1962)⁶³⁾が、気象台と推定地点との気温地点間差を、気象要因と地形要因による値に分離して推定したことから発案された。また、海外においても、Svessonら (2002)⁶⁵⁾が、観測地点との気温差推定を試みている。

具体的に、本手法では地点間の温位差 ($\Delta \theta$) を、式 (2) のように2つの要素 (推定地点要素 [Estimation Site Component: T_{ESC}], 基準地点要素 [Standard Site Component: T_{SSC}]) に分離する。

$$\Delta \theta = T_{ESC} + T_{SSC} \quad \cdots \cdots (2)$$

これは、既によく知られているように、同じ気象条件下であっても地形が異なれば気温も異なる^{6, 57, 66)}ためである。本研究では、角野 (1962)⁶³⁾が用いた式を応用した、式 (3) から T_{ESC} 値を求めている。

$$T_{ESC} = \frac{1}{DAYS} \sum_{d=1}^{d=DAYS} (\Delta \theta_d - [\Delta \theta_d]) \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで、DAYS: 推定期間の総日数, $\Delta \theta_d$: d 日における推定地点とアメダスポイントとの温位差, $[\Delta \theta_d]$: 全推定地点における $\Delta \theta_d$ の平均値である。

本手法は、平均気温の地点間温位差を決定する2要素の推定モデルは、最低気温と同様、放射冷却の強度により変化するという仮定に基づく。そして、最低気温は、放射冷却の強度により変化する^{6, 35, 66)}ことから、地点間温位差を構成する各要素値を、放射冷却の強度を表す指標との関係から解析した。これは、本章3節で述べたように、50mメッシュ月平均気温分布図を用いて複雑地形地域の気温分布の調査を行ったところ、月平均気温は、月平均最低気温と同じ特徴を示したことによる。

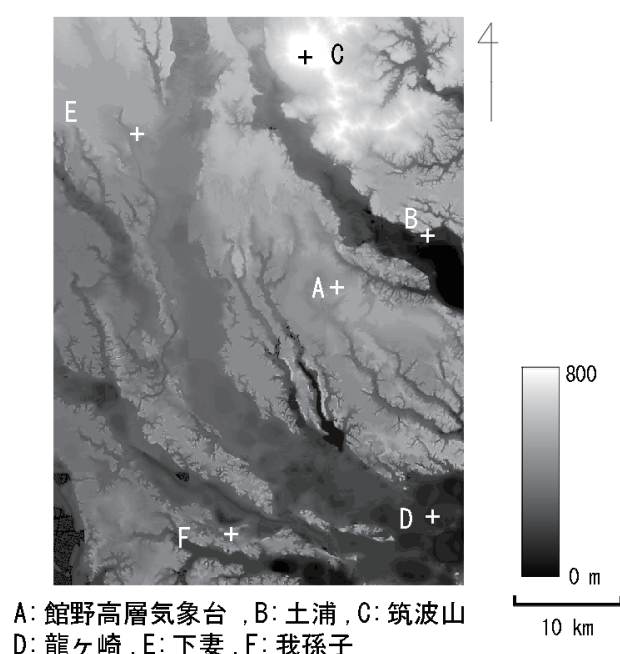
(2) 推定モデルの構築

a 解析データ

本推定モデル構築のため、2つのデータを解析に用いた。まず第1に、設置密度が粗く、地点間の気象の違いによる影響が懸念されるが、複数年の気象データの取得が可能な、既存の気象観測所データ。そして第2に、複数年のデータは得られないが、任意の多数地点に設置でき、高密度の気温データが取得可能な、自作の気温観測装置のデータである。

既存の気象観測所データとして、茨城県にある館野高層気象台を地点間差の基準地点、そして館野高層気象台から半径30km圏内にあるアメダスポイント (土浦、筑波山、龍ヶ崎、下妻、我孫子) を推定地点として選択した。そして、館野高層気象台と各アメダスポイントにおける、1991～2000年の観測値を解析データとした。館野高層気象台と各アメダスポイントの標高および位置を、第20図と第10表に示す。

気温地点間差の基準地点として高層気象台を用いたのは、気象状況、とくに放射冷却の強度との解析に、高層気象台のレーウインゾンデ観測データを用いるためである。また館野高層気象台は、全国の高



A: 館野高層気象台, B: 土浦, C: 筑波山
D: 龍ヶ崎, E: 下妻, F: 我孫子

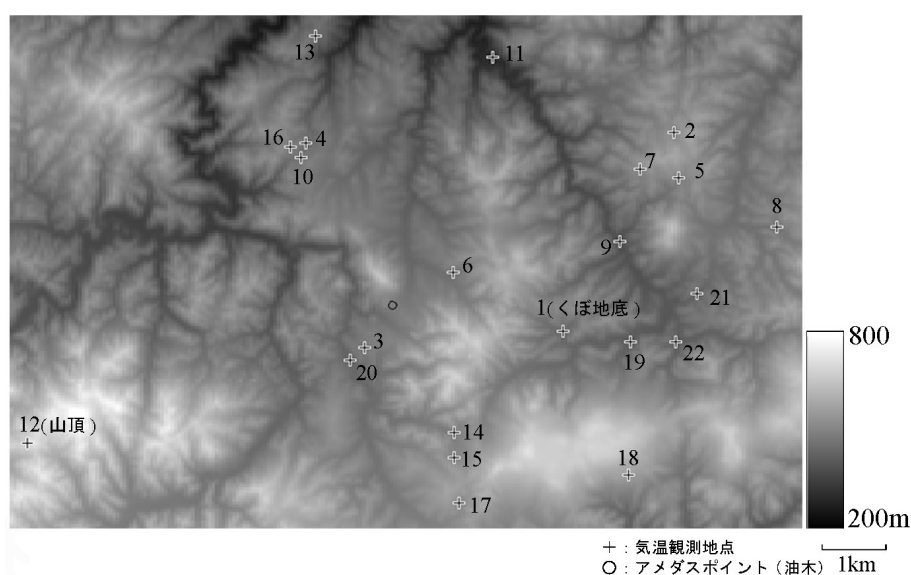
第20図 館野高層気象台およびアメダスポイント
(背景：250mメッシュ地形図)

層気象台のなかで、もっとも海岸から遠い地点に位置し、海の影響を受けにくい地点にあること、そして、日本のほぼ中心緯度に位置することから選択した。また、推定地点としたアメダスポイントを半径30km圏内から選択したのは、距離重み付けによる1kmメッシュの気温推定において、半径30km圏内にあるアメダスポイントの利用が最適と報告されている⁵⁸⁾ことから、半径30km圏内であれば各地点間の気象の違いによる影響が小さいと判断したためである。

高密度データにおける推定地点の気温として、第21図に示す、広島県神石郡神石高原町の約110km²（北緯34.713～34.807度，東経133.208～133.352度）の範囲に設置した、本章2節の気温観測装置による観測値を用いた。そして、地域の中心にあるアメダスポイント（油木）に設置した気温観測装置の観測値を基準地点の気温とした。推定地点の数は22地点で、観測は2004年6月～2005年10月に行った。

第10表 各アメダスポイントの緯度・経度，標高，および館野高層気象台からの距離

アメダスポイント	緯度(°)	経度(°)	距離(m)	標高(m)
土浦	36.093	140.212	8,300	26
筑波山	36.223	140.102	19,000	868
龍ヶ崎	35.888	140.217	20,200	4
下妻	36.167	140.950	20,500	20
我孫子	35.875	140.035	21,800	20



第21図 神石高原町における気温観測地点と50mメッシュ地形図
(1：第23図くぼ地底，12：第23図山頂)

地点間温位差を構成する2要素をモデル化するには、天候状態、とくに放射冷却の強度との関係を解析する必要がある。そこで、上層気圧面と地上との温位差として定義される、放射冷却強度指標(RCS: Radiative Cooling Scale)という新しい気象尺度を提案した。そして、この値が大きいほど接地逆転層の発達が顕著で、放射冷却の強度が強いと判断される。RCSは、毎日21時に、館野高層気象台で得られる、レーウインゾンデ観測値における、1000hPa面と地上面との温位差から、式(4)で数値化した:

$$RCS = \theta - \theta_G \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 θ : 温位(K), θ_G : 地上温位(K)である。ただし、1000hPaという気圧面はレーウインゾンデ観測におけるもっとも低高度の観測値であることから選択されたが、この指標は放射冷却の強度を直接的な数値として表すものではない。なぜなら、地上面の気圧が1000hPa以下である高標高地点においては、放射冷却の強度を数値的に表す指標とはならないからである。

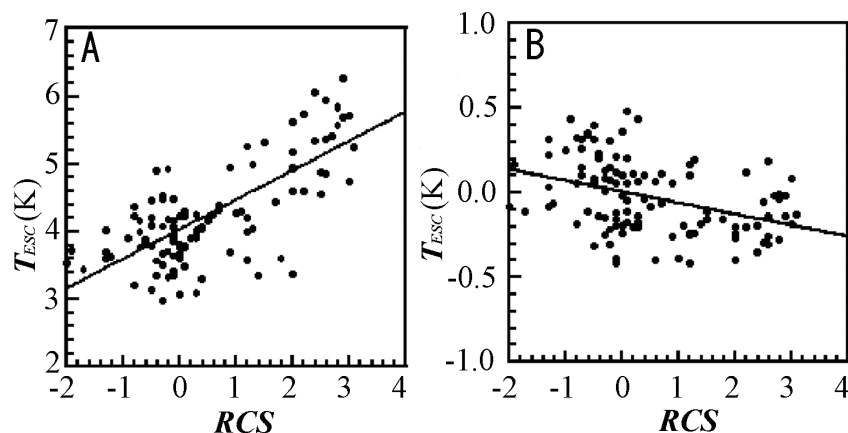
館野高層気象台で数値化されたRCS値は、放射冷却の強度を定量的に示すものではない。これは、放射冷却の強度と気象との間には、同様の関係が成り立つという仮定に基づき定義された、放射冷却の強度に影響する天気の状態を測る尺度、すなわち“Scale”である。

b T_{ESC}モデル

館野高層気象台とアメダスとの気温差から求めた、各年の月別のT_{ESC}値は、同じ年であっても、変動は大きく、放射冷却の強度により変化した。これは、放射冷却の強弱により、逆転層の発達、そして冷気の堆積や流出による気温への影響が、地形により異なるためと考えられる。また、同じアメダスポイントであっても、年、月によりデータのバラツキがある。これは、館野高層気象台とアメダスポイントにおける天候の差により生じたと考えられる。このように、実際には天候の差によると思われるデータのバラツキが認められるが、RCS値とT_{ESC}値とは相関関係にあり、T_{ESC}の推定モデルを構築する場合、1次モデルが適当であると思われる。例として、館野高層気象台からの距離が等しく、地形的特徴が異なる、筑波山と下妻におけるT_{ESC}とRCSとの関係を第22図に示す。

複数年データから、T_{ESC}の推定モデルとして、RCS値による1次式が想定されたが、その妥当性をさらに検証するため、広島県神石高原町の観測データを用いて、T_{ESC}値とRCS値との関係を解析した。

放射冷却の強度とT_{ESC}との関係を解析するには、高層気象データの無い地域において、RCS値を算出する必要がある。そこで、RCS値を任意の地域で求めるため、館野高層気象台のデータ(1991~2000年)から、式(5)[重相関係数:0.877, 標準誤差:0.05K]を作成した。重回帰式で用いた各説明変数は、放射冷却の強度と関係があると思われるアメダスの気象要素の組み合わせにおいて、もっと



第22図 T_{ESC}とRCS値との関係 (A: 筑波山, B: 下妻)

も推定精度の高かったものである。

$$RCS = 1.20L + 0.23Td - 2.39 + 4.69 \cdots \cdots (5)$$

ここで、 L ：月平均日照率， Td ：月平均気温日較差（℃）， W ：19～21時の風速の月平均値（m/s）である。

式（5）は館野高層気象台における統計値であるが、放射冷却の強度と天気との関係は他地域でも同様であると仮定することで、式（5）の他地域への適用は可能と判断した。

2004年6～12月における、アメダスの気象観測値から、式（5）を用いて推定したRCS値と、高密度の気温観測値による T_{ESC} 値には、明らかな相関関係が認められた。また、その傾きは、くぼ地や谷底のように、夜間の気温低下が大きいと思われる地点では負の傾き、山頂付近や斜面上部のように夜間の気温低下が小さいと思われる地点では、正の傾きを

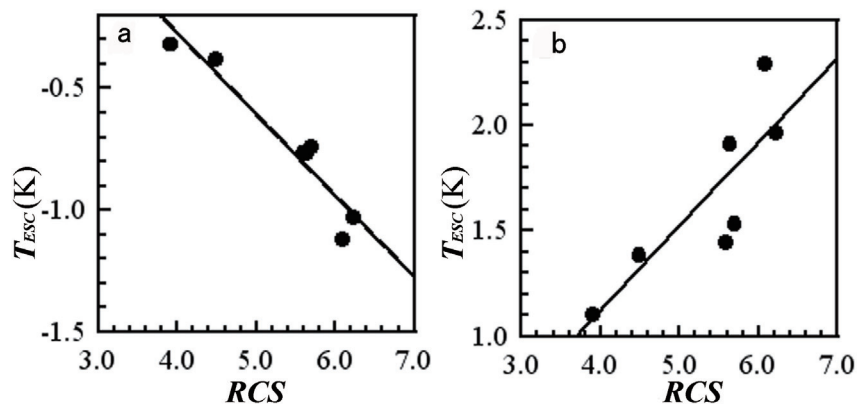
示した。そして、開けた平地ではほぼ傾きはゼロとなる傾向を示した。例として、全観測地点のうち、山頂部（第21図－a）と、周囲が斜面で囲まれたくぼ地底（第21図－b）の観測点における結果を第23図に示す。

複数年データと高密度観測データとから、 T_{ESC} 値は、式（6）の1次式でモデル化できると判断された。そして、実際の T_{ESC} 値の推定では、係数（ α ， β ）を半年程度の観測値から決定することにより、推定地点の T_{ESC} 値の推定式を作成する。

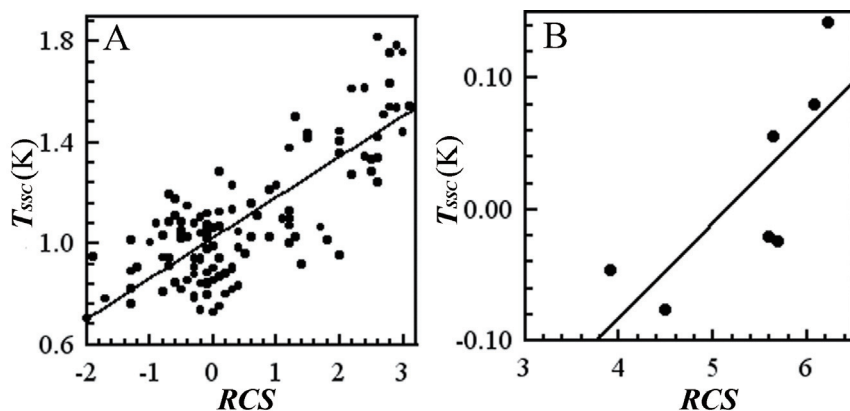
$$T_{ESC} = \alpha \cdot RCS + \beta \cdots \cdots (6)$$

c T_{SSC} モデル

T_{SSC} とRCS値との関係をみると、第24図のように、相関関係が認められることから、 T_{SSC} は T_{ESC} 同様、放射冷却の強度の影響を受けると考えられる。第24図は、館野高層気象台と神石高原町（油木アメ



第23図 神石高原町におけるRCS値と T_{ESC} 値との関係（a：山頂，b：くぼ地底）



第24図 RCS値と T_{SSC} 値との関係（A：館野高層気象台，B：アメダスポイント油木）

ダスポイント)における、 T_{SSC} と RCS との関係である。

このことから、 T_{SSC} 値も RCS との相関式による推定が妥当と考えられる。しかし、高層気象データが得られない地域で、本技術を任意の気象観測地点に適用する場合、推定値である RCS を変数とすることになり、誤差の拡大が懸念される。このことから、気温以外のデータが存在しない推定地点とは異なり、他の気象データが存在する基準地点においては、 T_{SSC} 値の推定式として、式(5)と同様の説明変数による、式(7)の重回帰式で直接推定する事が妥当であると判断した。そして実際の T_{SSC} の推定モデルの作成では、式(7)における定数項(a , β , γ , σ)を観測値より決定する。

$$T_{SSC} = a \cdot L + \beta \cdot Td + \gamma \cdot W + \delta \quad \cdots \cdots (7)$$

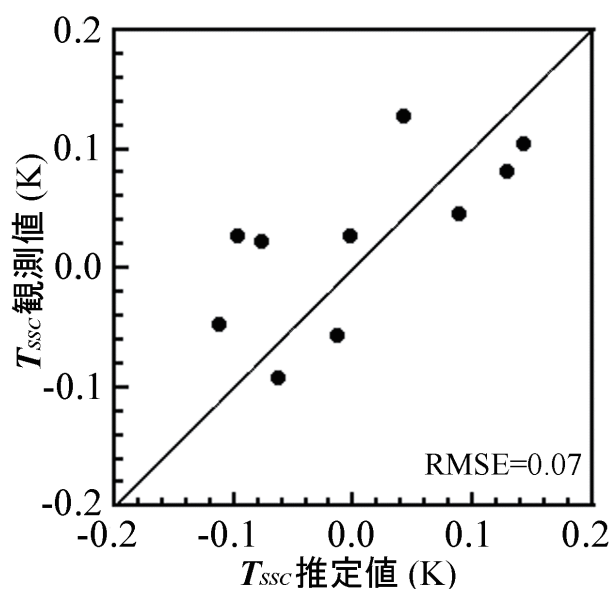
d 推定精度の検証

本手法を用いて、2004年6～12月における、第21図の22地点と基準地点との温位差から、 T_{ESC} および T_{SSC} の月平均値の推定モデルを作成した。

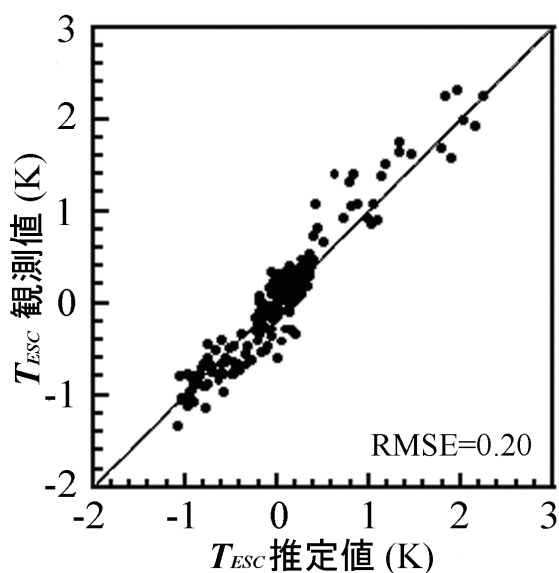
T_{ESC} の推定モデル(第11表)を用いて推定した、2005年1～10月の T_{ESC} の推定値と実測値との関係は第25図で、推定誤差(RMSE: Root Mean Square Error)は0.20Kであった。また、 T_{SSC} の推定モデルを用いて推定した、2005年1～10月の T_{SSC} の推定値

と実測値との関係は第26図で、その推定誤差(RMSE)は0.07Kであった。そして、地点間温位差($\Delta\theta$)の推定値と観測値が第27図である。

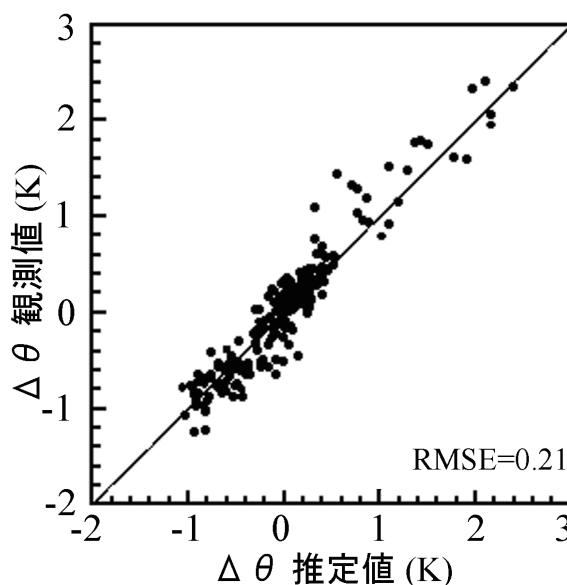
T_{ESC} の推定誤差は小さく、本手法による T_{ESC} の月平均値の推定は妥当であると考えられる。一方、 T_{SSC} の相関係数は高くない($r=0.67$)が、これは、 T_{SSC} 値の変動が約0.2Kと小さいためと考えられる。そして、 T_{SSC} は、基準地点に及ぼす気象の影響(RCS 値)により決まる値であり、 RCS との相関が明らかなことから、 RCS による変動が大きければ、



第26図 T_{SSC} の推定値と観測値との関係



第25図 T_{ESC} の推定値と観測値との関係



第27図 $\Delta\theta$ の推定値と観測値との関係

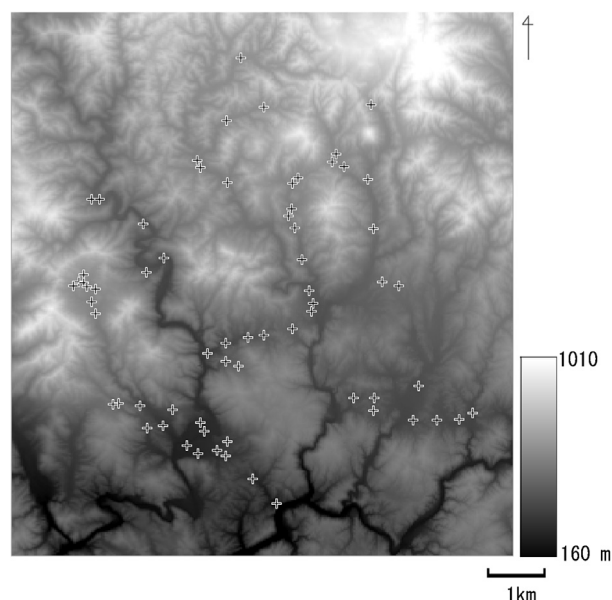
第11表 各観測地点における T_{ESC} モデル

Sites	Models
1	$T_{ESC} = -0.334 \cdot RCS + 1.064$
2	$T_{ESC} = +0.008 \cdot RSC + 0.234$
3	$T_{ESC} = -0.067 \cdot RSC + 0.444$
4	$T_{ESC} = +0.002 \cdot RSC - 0.212$
5	$T_{ESC} = -0.009 \cdot RCS + 0.375$
6	$T_{ESC} = +0.040 \cdot RSC - 0.005$
7	$T_{ESC} = +0.248 \cdot RSC - 0.408$
8	$T_{ESC} = -0.188 \cdot RSC + 0.811$
9	$T_{ESC} = -0.228 \cdot RSC + 0.320$
10	$T_{ESC} = -0.046 \cdot RSC + 0.168$
11	$T_{ESC} = -0.152 \cdot RSC - 0.233$
12	$T_{ESC} = +0.399 \cdot RSC - 0.486$
13	$T_{ESC} = +0.052 \cdot RSC - 0.348$
14	$T_{ESC} = -0.080 \cdot RSC + 0.453$
15	$T_{ESC} = +0.133 \cdot RSC - 0.490$
16	$T_{ESC} = +0.064 \cdot RSC - 0.207$
17	$T_{ESC} = +0.014 \cdot RCS + 0.128$
18	$T_{ESC} = +0.779 \cdot RCS - 2.465$
19	$T_{ESC} = -0.230 \cdot RCS + 0.476$
20	$T_{ESC} = -0.353 \cdot RCS + 1.408$
21	$T_{ESC} = -0.358 \cdot RSC + 1.271$
22	$T_{ESC} = -0.277 \cdot RSC + 0.582$

相関係数は向上すると思われる。実際、 T_{SSC} の推定誤差は低く問題はない。さらに、 $\Delta \theta$ の推定精度も実用的に問題のない値であることから、本手法による月平均気温の推定は妥当であると考えられる。

3) アメダス観測値に準じた50mメッシュ気候図の作成とその利用

本手法により、半年程度の現地観測を実施することで、アメダスポイントと気温観測地点との気温地点間差をモデル化する事ができる。そして、統計的に十分な観測地点を設ける事で、アメダス観測値に準じた、50mメッシュ気候図の作成が可能となる。そこで本項では、広島県北部の中山間地域において、アメダスに準じた50mメッシュ気候図を作成した。そしてさらに、中山間地域において有用であると考えられることから、中山間地域農業における50mメッシ



第28図 50mメッシュ平均気温平年値図作成地域の50mメッシュ地形図と気温観測地点 (+)

ュ月平均気温平年値図の利用法の一案を示す。

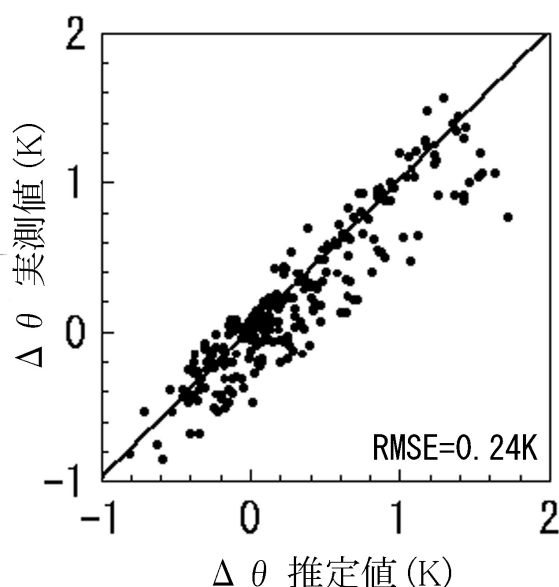
(1) メッシュ図作成地域

50mメッシュ気候図の作成は、広島県北部の三次市君田町と庄原市口和町にまたがる、第28図の地域(北緯34.845～34.955度、東経132.785～132.945度)で実施した。

(2) 地点間温位差推定モデルの作成

50mメッシュ図作成のための多数地点における気温観測は、第28図の64地点に設置した、本章2節の観測装置で実施した。また、地点間温位差の基準地点として、調査地域の中心から南へ約10km離れたアメダスポイント(三次)を選択した。観測期間は、2004年5～11月および2005年4～8月であった。

2004年の観測値および2005年4月の観測値から地点間温位差($\Delta \theta$)の構成要素である T_{ESC} および T_{SSC} の月平均値の推定モデルを作成した。そして、2005年5～8月のデータで推定精度の検証を行った。このとき、地点間温位差の各構成要素の推定モデルの作成に、年次の異なる2005年4月のデータを加えた理由は、つぎのとおりである。地点間温位差を構成する各要素値は、放射冷却との関係からモデル化されるため、推定モデルの作成には放射冷却の



第29図 地点間温位差の各要素値の推定モデルによる
2005年5～8月の推定結果

異なる時期のデータが必要である。しかし、2004年は台風の通過が多く、観測装置の多数が破損し、2004年のデータだけでは放射冷却が比較的顕著に現れる春秋期のデータが不足していると判断したためである。

第28図の64地点とアメダスポイントにおける気温観測値とから、推定地点要素の推定モデルと、基準地点要素の推定モデルを作成した。各要素の推定モデルを用いて、2005年5～8月のアメダスポイントとの地点間温位差を推定したところ、第29図のように、0.24Kの誤差 (RMSE) であった。

(3) 平年値気温推定法

気象庁では連続する30年間の累積平均値を平年値としているが、アメダスによる気温観測値は1979年からである。そこで、気象庁のメッシュ気候値2000²¹⁾と同様の方法で、アメダスにおける1979～2000年の平均値を1971～2000年の平年値に補正した。メッシュ気候値2000²¹⁾では、各気象官署において月別に、30年平均値と1979～2000年の平均値との気温差を求め、この気温差をアメダスの1979～2000年の平年値に加えることにより、30年平均値に補正している。本報では、補正値を求める近隣の気象官署として、調査地域とおなじ中国山地の気象官署の中で、最も近隣に位置する、岡山県津山特別地

域気象観測所の観測値を用いた。

作成したアメダスポイントとの温位差モデルを、過去のアメダス観測値に適用することにより、各定点観測地点における1979～2000年の各月平均温位を求め、この統計期間における平年値を求めた。そして、津山の観測値から作成した補正値を用いて、統計期間30年の月平均温位を求めた。

(4) 50mメッシュ月平均気温平年値図作成法

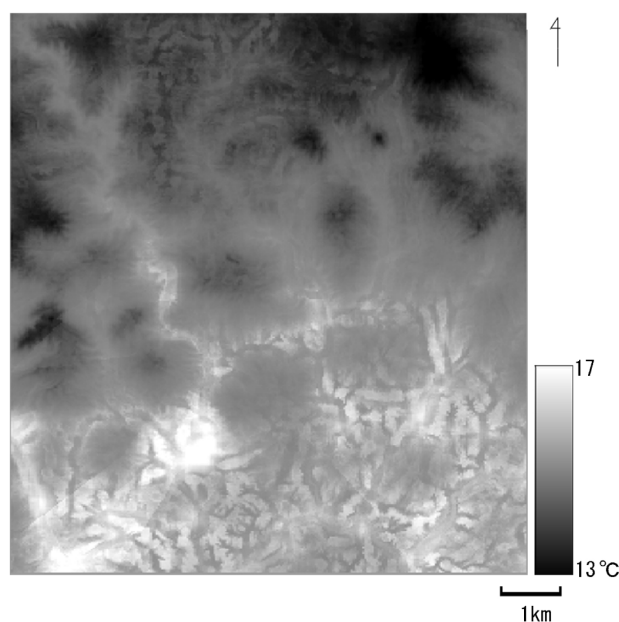
本研究で開発した手法を用いれば、任意の年における12ヶ月分の50mメッシュ図が作成可能であるが、本項はその作成方法を示すことが目的であるので、50mメッシュ図の一例として、作成地域において主に農業活動が営まれている4～11月の月平均気温図を作成した。

50mメッシュ図作成のためにまず、三次のアメダスデータから、1979～2000年における4～11月の月平均温位を64箇所の気温観測地点について求め、さらに津山气象台による補正値を適用することで、月平均温位平年値を求めた。そして各観測地点の温位を目的変数として、本章2節と同様の方法で、50mメッシュ図を作成した。さらに、メッシュ図の温位を式(8)により気温に変換し、第30図の50mメッシュ月平均気温平年値図を作成した。

$$Ta = \frac{\theta}{\frac{1000}{Pz} \cdot \frac{R}{m \cdot Cp}} - 273.15 \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 θ ：温位 (K)、 Ta ：気温 (°C)、 Pz ：推定地点における気圧 (hPa)、 R ：気体定数 ($8.3143 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、 m ：乾燥空気の分子量 ($0.02897 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)、 Cp ：定圧比熱 ($1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) である。

この地域における4～11月の気温平年値は、13.0～17.4°Cで、調査地域内には4.4°Cの平年値気温差が存在していた。そこで、この地域が有する気候の差が、日本のどの地域の気候と同様であるかを調査するため、各地方气象台における4～11月の平均気温の平年値と比較した。その結果、この地域には、第12表のように、北日本地域や、雲仙岳のように標高の高い山岳地域と同様の気候であることが明らかとなった。



第30図 50mメッシュ月平均気温平年値図

第12表 各気象官署における4～11月の平均気温平年値

北海道	岩見沢	42	13.0
北海道	寿都	33	13.2
北海道	小樽	25	13.5
北海道	函館	35	13.8
青森	むつ	3	14.1
青森	八戸	27	14.7
岩手	宮古	43	14.9
岩手	盛岡	155	15.2
山形	新庄	105	15.6
長野	諏訪	760	15.9
宮城	石巻	43	16.0
福島	白河	355	16.0
秋田	秋田	6	16.3
山形	山形	153	16.6
長野	松本	610	16.6
宮城	仙台	39	16.7
長崎	雲仙岳	678	16.8
長野	長野	418	17.0

(5) 中山間地域農業における50mメッシュ月平均気温平年値図の利用法

作成した50mメッシュ図は、全国に展開されるアメダスに準じた気温評価値であることから、全国の産地における気候と、メッシュ図作成地域内の気候とを比較することが可能である。また、過去の栽培実績がなくても、50mメッシュ図から同じ気候をも

つ全国の産地と栽培事例とを検証することが可能となる。このことから、作成した50mメッシュ月平均気温平年値図の利用法としてまず考えられる事は、新規作物や栽培法の導入に関する検討資料としての利用である。また、清野(1993)⁵⁸⁾のように、気象庁が開発した調和解析法を用いて、月別気温平年値を日別気温平年値に変換できるため、大原ら(2005)⁵¹⁾のように、他産地の作型を参考にした、対象地域における作物毎の播種・定植から収穫までの期間推定が圃場単位で実施できる。さらに、本手法は各年のメッシュ気温を推定できることから、参考とする産地との気温の年変動を比較することで、特定作物に対して、気象災害の発生頻度や収穫量のシミュレーションが可能となり、新規作目の導入判定における有用な資料になると考える。

4) 結論

本節で示した、新しい気温推定法を用いる事により、アメダス観測値に準じた、50mメッシュ月平均気温平年値図の作成が可能となる。しかし、実際の利用においては、平年値ではなく各年における、より短期間の気温推定値の方が利用価値は高いと思われる。本手法は、旬平均値における適用例は報告されている⁶⁹⁾が、日値の気温推定では精度が劣ると考えられる。なぜなら、本報で紹介した手法は、重要な変数となるRCS値を、統計的手法で推定しているためである。

このようなことから、農業上有益な温度情報である、日平均気温や日最低気温の推定には、RCS値を統計的手法とは別の方法で推定する必要がある。統計手法以外で有望なのは、数値モデルによりRCS値をもとめる方法と思われる。気象シミュレーションにより、アメダスポイントとの気温差を求めることで、実際の気温観測なしに、アメダス観測値にもとづく、高解像メッシュ気温推定が可能となるかもしれない。これらについては、今後の課題であり、研究の発展が期待される。

Ⅲ メッシュ気象図による中山間地域の日射量評価

1 研究目的

中山間地域農業における、日射量のメッシュ気象図の利用促進には、日射量分布の実態を明らかにするだけでなく、日射量のメッシュ図に関して、以下の問題解決が必要である。

第一に、作成するメッシュ図のメッシュサイズに関する問題である。気温と異なり日射は、地形と太陽位置との幾何学的関係で決定されることから、中山間地域の日射環境を評価するには、より解像度の高い地形データを用いる事が有効と考えられる。現在、全国的には、国土地理院の50mメッシュの数値地形情報が利用可能であるが、中山間地域等直接支払制度の開始にともない、数メートルメッシュに相当する標高データを有する県もある。しかし、メッシュサイズが小さくなると、扱う情報量は増え、日射量の計算やデータ管理等に要する費用や労力が大きくなる。このことから、中山間地域の日射量評価において、日射量推定値とメッシュサイズとの関係に関する知見が必要である。

第二に、メッシュ日射量の計算に必要な、太陽位置毎の直達、散乱日射量の取得方法の問題である。現在のところ、直達、散乱日射量の観測地点は少なく、任意地域における直達、散乱日射量の取得には、直接の観測によるか、アメダス等の既存の気象観測値による推定が考えられる。しかし現実には、電源、用地、費用等、様々な制約があり、アメダスの気象観測値を利用することが最適であろう。

本章では、中山間地域農業におけるメッシュ日射量図の利用促進を目的に、以下の研究を行った。

- ①中山間地域における日射量分布調査
- ②5 mメッシュの地形情報による日射量との比較による、50mメッシュ日射量の有効性の検証
- ③アメダスの気象観測値による、直達、散乱日射量時別値の月、旬、半旬平均値推定法の開発

2 中山間地域の日射量分布

1) 調査方法

本研究では、旧岡山県御津郡加茂川町（現加茂郡吉備中央町）において、全天日射量と散乱日射量の観測を行い、その観測値から、第6図の範囲における、50mメッシュ月積算日射量分布図を作成した。そして、作成したメッシュ図と、2年間の全天日射量および散乱日射量の測定値とから、中山間地域の日射量分布の実態を調査した。

メッシュ日射量の推定は、気象庁が作成したメッシュ気候値2000²¹⁾のように、メッシュ毎の日照率を用いて推定する手法⁷²⁾と、黒瀬ら(1999)³³⁾のように、数値地形情報から求めた日射の遮蔽状況を用いて推定する、第31図のような方法とがある。

第31図の手法は、まず、各メッシュの遮蔽角、方位角、天空率と、水平面直達、散乱日射量の値から、斜面直達日射量および斜面散乱日射量を計算する。そして、太陽方位と太陽高度から地形により直達光が遮断されるかを判断し、直達光が遮断される場合は、斜面日射量＝斜面散乱日射量、遮断されない場合は、斜面日射量＝斜面直達日射量＋斜面散乱日射量として、メッシュ日射量を推定する。

数値地形情報による、メッシュ地形情報(1～4)の計算

1. 傾斜角 2. 方位角 3. 天空率
4. 直達光の方位別最大遮蔽角* (φ)

直達日射量(Sb)の計算

$$Sb = Sb \cdot \sin(h')$$

$$\sin(h') = \sin(h) \cdot \cos(\theta) + \cos(h) \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(A - \alpha)$$

h' : 斜面に対する太陽高度, h : 太陽高度, A : 太陽方位角, θ : 斜面の傾斜角, α : 斜面の方位角, Sb : 法線面直達日射量

散乱日射量(Sd)の計算

$$Sd = Sdt \cdot U$$

Sdt : 水平面散乱日射量, U : 天空率

全天日射量(St)の計算

$$h > \phi \text{ の場合: } St = Sb + Sd$$

$$h < \phi \text{ の場合: } St = Sd$$

*本報では、5度刻み、72方位について計算した

第31図 メッシュ日射量の推定手順

本研究における50mメッシュ日射量の推定は、黒瀬ら（1999）³³⁾の手法を用いて作成した、メッシュ日射量推定プログラムと、国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）を用いて行った。

直達日射量と散乱日射量の値を得るため、全天日射量と散乱日射量の観測を行った。観測は、加茂川町の南東に位置する、周囲に太陽光を遮断するものがない、牧草地で行った。この牧草地に第32図のように全天日射計（MS-801、英弘精機）2台を設置し、そのうちの一台に直達日射を遮断するための遮蔽バンド（MB-11、英弘精機）を取り付けた。測定は10秒ごとに行い、その30分平均値をデータロガー（Greenkit-80、ESD）で記録した。観測は、1998年9～11月、1999年5～11月に行った。



第32図 全天日射量（前）および散乱日射量（奥）の観測装置

遮蔽バンドは散乱日射も遮蔽するため、散乱日射量は、バンド幅、測定地点の緯度、そして測定日の赤緯に応じた補正係数で、日射計出力値を補正した値とした。赤緯の変化に応じた遮蔽バンドの調整は、3日に一度行った。

直達日射量は、全天日射量の観測値から、散乱日射量の観測値を差し引いた値とした。

2) 日射量分布の実態

全天・散乱日射量の観測値から、50mメッシュ月積算日射量分布図を作成した。そして、月積算日射量分布図から求めた、月積算日射量の最大、最小値、そして最大値に対する最小値の割合は、第13表のとおりであった。計算された月積算日射量の最大地点に対する最小地点の日射量割合は、5月、6月、7月は約7割程度であったが、その後小さくなり、11月は約2割程度となった。

同じ月を年次間で比較した場合、1999年10月に比べ、1998年10月の日射量最大値に対する最小値の割合は大きく、域内における日射量の地点間差は小さかった。この日射量の地点間差の違いは兩年の天候によると考えられる。第14表のように、1998年は1999年に比べ日照率は小さく、天候が悪かったと判断される。第14表の日照率データは、加茂川町に最も近いアメダスポイント（岡山県福渡）の日照時間データから求めたものである。

天候の違いが地域の日射量分布に及ぼす影響を見

第13表 月積算日射量の最大値、最小値とその割合

1999年	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
最大日射量	652	462	509	826	408	475	395
最小日射量	433	344	369	462	241	132	67
最小値／最大値	0.66	0.74	0.72	0.56	0.59	0.28	0.17
1998年	9月	10月	11月				
最大日射量	323	390	407				
最小日射量	206	159	93				
最小値／最大値	0.64	0.41	0.23				

単位は全て、MJ/m²・月

第14表 観測期間中の各月の日照率

日照率	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1999年	0.53	0.30	0.32	0.37	0.29	0.47	0.42
1998年					0.31	0.35	0.43

第15表 5月17日と18日における、直達日射量と散乱日射量の域内の最大値と最小値

	5月17日		5月18日	
	最大値	最小値	最大値	最小値
直達日射量	22.8	9.5	0.3	0.1
散乱日射量	6.2	5.0	7.4	5.9

単位は全て、MJ/m²・日

るため、太陽高度がほぼ同じで、天候が大きく異なった、1999年5月17日と18日の50mメッシュ日積算直達・散乱日射量分布図を作成した。5月17日は日照率0.78で天気が良かったと判断される日で、5月18日は日照率0.00で天気が悪かったと判断される日である。計算されたそれぞれの日の直達日射と散乱日射の最大値と最小値を第15表に示す。直達日射量は、天候の影響により大きく変化した、散乱日射量は、天候の影響をほとんど受けなかった。

加茂川町における調査結果から、中山間地域の日射量分布は、以下のとおりであった。

- ①季節による太陽高度の低下にともない、月積算日射量の地点間差は大きく増加する。
- ②散乱日射割合の大きい地点は、散乱日射割合の小さい地点よりも、天候の変化による日射量の増減は小さい。

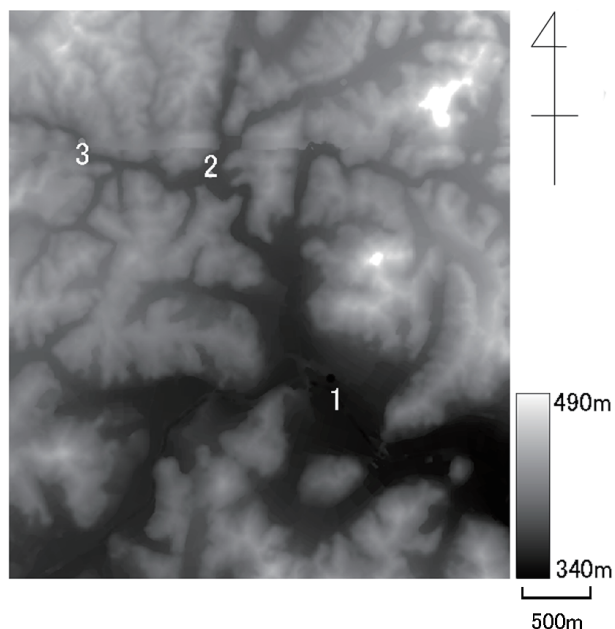
3 5mメッシュ図と50mメッシュ図の比較

1) 方法

日射量の計算に用いた数値地形情報は、国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）と、広島県が、中山間地域等直接支払制度に対応するため整備したtinデータを、5mメッシュデータに変換したものを、用いた。tinデータとは、標高のサンプリング点を等間隔格子点ではなくランダムに、あるいは地形の特徴をよく反映するように選定し、そのサンプル点を頂点とする三角形網とした地形データである。

5mメッシュと50mメッシュの地形情報による日射量の比較は、広島県世羅郡の平坦部と、山間部の平地および谷で行った。第33図は、この地域における、5mメッシュ標高図である。

本研究では、日射量推定値の差を%で評価するが、これは、50mメッシュ日射量に対する、5mメッシュおよび50mメッシュの日射量推定値の差の絶対値割合である。



第33図 広島県世羅郡におけるメッシュ日射量推定地域の5mメッシュ標高図
(1：平坦部，2：山間部平地，3：山間部谷)

メッシュ日射量の計算に必要な、直達、散乱日射量は、2001年のアメダスの日照時間データから、つぎの方法で推定した。まず、気象庁がメッシュ気候図の作成で採用している吉田・篠木 (1978)⁷⁶⁾ の手法を用いて、月平均日照率から月平均日積算全天日射量を推定する。次に、Iqbal (1979)¹⁷⁾ の手法を用いて、散乱日射量を分離し、直達、散乱日射量の月平均日積算値を求めた。そして、清野・内嶋 (1985)⁵⁹⁾ が見いだした、時角を変数とする、直達、散乱日射の日変化曲線を用いて、10分毎の直達、散乱日射量を推定した。

本研究では、作成した50mメッシュ日射量推定プログラムを改良し、5mメッシュの月平均日積算日射量を推定した。

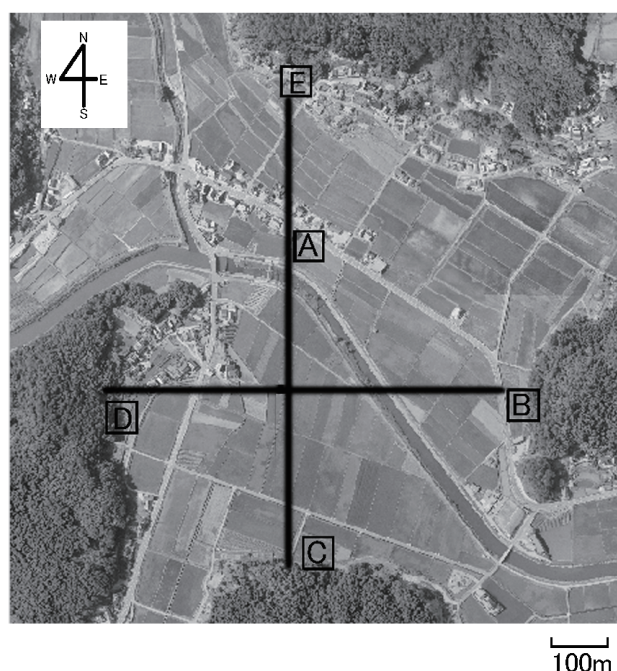
2) 結果

(1) 平坦部における比較

日射量推定値の比較を行った平坦部は、東西南北に約800mの広がりを持ち、四方を山に囲まれた地域である。第34図は、この平坦部の航空写真である。日射量の比較は、図中に記した平坦部の中心付近と、東側、南側、西側、北側の斜面近くの50×50mの枠A～E内と、黒線上のメッシュにおいて実施した。

各枠内における日射量の推定結果を第16表に示す。第16表は、枠内における、5月と11月の50mメッシュ日射量と5mメッシュ日射量の平均値、5mメッシュ日射量の最大値、最小値、そして標準偏差を示したものである。さらに、枠内における、50mメッシュ日射量平均値に対する5mメッシュ日射量平均値の比率を示している。また、5月と11月の値を比較したのは、降雨と降雪の影響が小さく、太陽高度の高低差が大きいと判断したためである。

第16表のように、近くに斜面があったとしても、各枠の平均日射量の差は、太陽高度の高い5月では数%、そして11月で最大約14%と、1割程度以下で

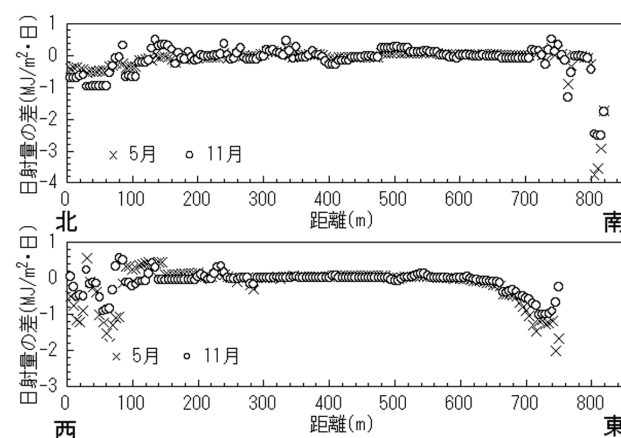


第34図 平坦部の航空写真および日射量比較地点（黒枠A～Dおよび黒線）

あった。しかし、南側斜面に近い、黒枠（第34図-C）内においては、11月の50mメッシュ日射量（ $6.68\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ）に対して、5mメッシュ日射量の最小値（ $3.84\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ）は、約43%小さく推定された。このように、地点によっては、50mメッシュの地形情報で計算された日射量は、5mメッシュの日射量とは、大きく異なった。

太陽高度の高い5月は、東側、西側、南側に斜面をもつ枠内において、日射のバラツキが大きかった。しかし11月は、南側に斜面のある枠以外、日射のバラツキは小さかった。これは、11月の日出没時の太陽方位が、5月よりも南よりであるため、日射に及ぼす斜面の影響が小さかったためと考えられる。

5mメッシュ毎に比較した場合、斜面近くでは、40%程度の差が生じる地点があったが、平坦部の中心付近（第34図黒枠A内）の差は、5月で約1%、11月で約17%と、斜面近くの地域よりも小さかった。



第35図 図34の線上における、5mメッシュと50mメッシュの月平均日積算日射量の差

第16表 黒枠A～E内（図3.5）における、50mメッシュと5mメッシュの日射量推定値、および5mメッシュ日射量の標準偏差

	50m メッシュ日射量平均値 (ア)		5m メッシュ日射量平均値 (イ)		5m メッシュ日射量最大値		5m メッシュ日射量最小値		枠内における標準偏差		(イ)/(ア)	
	5月	11月	5月	11月	5月	11月	5月	11月	5月	11月	5月	11月
A	16.69	6.68	16.76	6.89	16.89	7.85	16.67	6.59	0.07	0.35	1.004	1.031
B	16.58	6.68	15.22	6.20	16.22	6.77	12.12	5.30	0.85	0.30	0.918	0.928
C	16.56	6.68	15.81	5.73	16.63	6.58	12.64	3.84	1.16	0.99	0.955	0.858
D	16.25	6.49	15.46	6.29	16.49	6.85	12.39	5.20	1.03	0.33	0.951	0.969
E	17.01	7.54	16.45	7.45	16.74	7.98	15.34	6.56	0.25	0.30	0.967	0.988

日射量は、全て月平均日積算日射量 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)

そこで、斜面からの距離と日射量推定値との関係を、第34図の線上における日射量推定値で比較した。第34図中の線は、標高差約60mの東側斜面から標高差約60mの西側斜面、そして、標高差約100mの北側斜面から標高差約70mの南側斜面への線である。

東西、南北方向の線上における、月平均日積算日射量の推定値を比較したところ、第35図のように、斜面から150m程度以上離れると、日射量の差の絶対値は、 $0.5\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下となった。

(2) 山間部における比較

山間部における、5mメッシュと50mメッシュの日射量推定値の比較は、約150m四方の広がり

る平地と、北西から南東に伸びる、谷底との標高差約60mの斜面に挟まれた、幅約50mの谷で行った。第36図は、それぞれの地域の航空写真で、日射量推定値は、図中の枠内の全域と、A～Cおよびア～ウの5mメッシュについて比較した。平地の黒枠の一边は150m、谷の黒枠の一边は50mである。

第17表のように、平地における斜面近くのカ地点の日射量の差は、5月で最大約11%、11月で最大約38%あった。そして、谷の斜面際（第36図－ウ）における日射量の差は、5月で約17%、11月で約30%あった。しかし、両地域の中心付近の差（第36図－A、ア）は、平地で約1%、谷で約3%と小さかった。また、第18表のように、平地と谷における、日射量



第36図 山間部において日射量の比較を行った地点の航空写真（左図：平地、右図：谷）

第17表 図36中の黒枠内における各地点の月平均日積算日射量推定値 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)、及び50mメッシュ月平均日積算日射量に対する5mメッシュ月平均日積算日射量の比率

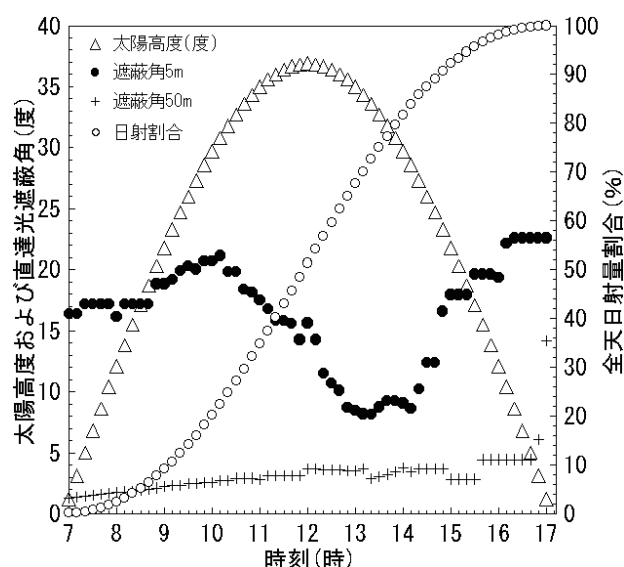
平地	5月			11月		
	50mメッシュ 日射量(ア)	5mメッシュ日 射量(イ)	(イ)/(ア)	50mメッシュ 日射量(ア)	5mメッシュ 日射量(イ)	(イ)/(ア)
A	16.58	16.49	0.996	6.64	6.57	0.989
B	15.69	15.63	0.996	6.69	7.75	1.152
C	16.56	14.59	0.881	6.58	4.11	0.624

谷	5月			11月		
	50mメッシュ 日射量(ア)	5mメッシュ日 射量(イ)	(イ)/(ア)	50mメッシュ 日射量(ア)	5mメッシュ 日射量(イ)	(イ)/(ア)
ア	16.19	16.09	0.994	6.08	6.25	1.028
イ	16.97	15.93	0.939	7.10	6.57	0.925
ウ	16.19	13.50	0.834	6.08	4.23	0.696

第18表 図36の枠内全域における、メッシュ日射量推定値

	枠内の 50m メッシュ 日射量の平均値		枠内の 5m メッシュ日 射量の平均値		5mメッシュ日射量/ 50mメッシュ日射量		枠内の 5m メッシュ 日射量の標準偏差	
	5月	11月	5月	11月	5月	11月	5月	11月
平地	16.33	6.63	16.23	6.46	0.994	0.974	0.84	0.90
谷	16.45	6.68	15.52	6.13	0.943	0.918	0.87	0.57

日射量は、全て月平均日積算日射量 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)



第37図 5 mメッシュ日射における、日積算値に占める時刻毎の積算日射量の割合、及び5 mメッシュと50mメッシュの地形情報による直達光の遮蔽角

推定範囲全体の平均値の差は、10%以下であった。

5 mメッシュと50mメッシュとでは、解像度に10倍の差があり、太陽光の遮蔽状況は大きく異なると思われるが、50m四方程度の広さにおける平均日射量を比較した場合、5 mメッシュの地形情報を用いても、50mメッシュの地形情報を用いて計算される日射量との差は、太陽高度の低い11月でも10%以下と小さかった。そこで、それぞれのメッシュ地形情報を用いた場合における、直達光の遮蔽状況と積算日射量の日変化の推移を調べた結果、第37図が得られた。

第37図は、谷の中心地点（第36図－ア）における、5 mメッシュと50mメッシュの地形情報から求めた、直達光の遮蔽角と、11月の5 mメッシュの日射量推定値における、日積算日射量に占める時刻毎の積算日射量の割合、および太陽高度である。

第37図のように、各時刻の太陽位置から計算され

る、太陽の出現時刻は、5 mメッシュの場合、8時40分～15時30分、50mメッシュの場合、7時10分～16時50分で、3時間程度の差が生じる。しかし、5 mメッシュの地形で、直達光が遮断されていた時間の日射量の割合は、1日の総日射量の10%以下となった。このことから、1日の総日射量として比較すると、5 mメッシュの日射量推定値は、50mメッシュの日射量推定値に近い値になったと考えられる。

3) 結論

広島県世羅郡の中山間地域において、5 mメッシュと50mメッシュの地形情報を用いた日射量推定値を比較した。その結果、5 mメッシュで日射量を推定した場合は、数十%の差が生じる場合があったが、50m四方の範囲における平均値として推定した場合には、50mメッシュであっても、5 mメッシュの地形情報を用いた場合と、ほぼ同様の計算結果が得られた。

メッシュ日射量推定において、5 mメッシュの地形情報が有効となるのは、数m四方の日射量推定を目的とする場合に限られると考えられる。しかしながら、5 mメッシュという解像度で推定を行うのならば、地物の影響も考慮する必要があるが、地物の影響を完全に考慮することは難しく、必然的に、推定値は誤差を含む。このため、特定の地点における日射量が必要なら、実際に測器を設置する事が現実的であると思われる。

中山間地域の日射量分布を、メッシュ地形情報を用いて評価する場合は、50mメッシュの評価で十分であり、現実的である。しかし、太陽高度の低い、朝夕に限定した日射量推定が必要な場合は、第37図のように、太陽の日出没時刻に差が生じることから、5 mメッシュの地形情報による推定が有効である。

4 アメダスによる直達・散乱日射量の推定

1) 既存研究

気象データによる日射量推定法として、日照率から全天日射量の月平均日積算値を推定することが試みられてきた⁶⁰⁾。また、月平均日積算日射量を直達、散乱日射量の月平均日積算値に分離することが、Iqbal (1979)¹⁷⁾ など幾人かの研究者により試みられている。しかしながら、中山間地域のような複雑地形地の日射量を評価するには、黒瀬ら (1999)³³⁾ のように、数値地形情報から、太陽位置毎の直達、散乱日射量を推定することが妥当である。

太陽位置毎の直達、散乱日射量を推定するため、清野・内嶋 (1985)⁵⁹⁾ は、観測値から、時角を変数とする、月平均直達、散乱日射量の日変化曲線を導いた。また、全天日射量の時別値から直達、散乱日射の時別値の推定も試みられている^{1, 5, 11, 18, 54, 74)}。

地域の日射環境による作型や栽培作物の計画立案等、実際の農業現場での利用を考えた場合、月値ではなく、旬・半旬値が必要となる。さらに、日本において任意の地域の直達、散乱日射量を推定するには、アメダスの気象観測値を用いることが、費用面などから考えた場合効率的であろう。しかしながら、アメダスの観測項目を用いて日射量時別値を推定する既存研究の多くは、月平均値の推定^{1, 53, 60)} であり、月よりも短い期間での推定を試みた研究は、全天日射の時別の測定値を必要とする手法^{61, 74)} や、アメダスで観測されていない気象要素である、水蒸気圧¹¹⁾ や大気中のオゾン量¹²⁾ を必要とする手法である。

2) 推定方法

(1) 推定理論

本研究で開発した推定法は、アメダスポイントで観測される、日照時間および降水量の時別値を変数として、直達、散乱日射量の時別値の月平均値、旬平均値、半旬平均値を、以下の手法で推定する。

a 直達日射量

大気外日射のうち、直達成分は大気、雲、そしてエアロゾルにより減衰し、そこで散乱されたものが散乱成分となる。そして、直達、散乱日射量の割合が大気の混濁度により決定されることから、便宜的に式 (9) で大気透過率 (P) を定義すると、水平面

直達日射量 (Rb) は式 (10) で求められる。

$$P = \left(\frac{Rbn}{Ro} \right)^{\sinh} \dots\dots\dots (9)$$

$$Rb = Ro \cdot \sinh \cdot P^{\cos \theta} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 Rbn ：放線面直達日射量、 Ro ：大気圏外日射量、 h ：太陽高度角、 Rb ：水平面直達日射量である。

大気透過率 P は、雲量、直達光の通過する大気の厚さ、そして水蒸気の影響を受けることから、式 (11) の重回帰式で求まると仮定した。これは、雲量のみで、大気透過率の80%が説明できると報告されていること⁷⁴⁾、また大気透過率は、大気外日射を減衰させる大気の厚さやエアロゾル、そして水蒸気量¹¹⁾ の影響を受けるためである。

説明変数のうち、日照率は、雲量、水蒸気量、エアロゾルに関係すると仮定し、降水量は、雲量、水蒸気量に関係すると仮定した。そして、大気圏外水平面日射量は、直達光の通過する大気の厚さと関係すると仮定し、説明変数とした。

$$P = \alpha \cdot L + \beta \cdot R + \gamma \cdot Q + \delta \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 L ：日照率、 R ：降水量 (mm)、 Q ：大気外水平面日射量 (MJ/m^2)、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ ：定数である。

b 散乱日射量

日射量の変動には、太陽高度や可照時間の季節変化による年周期変動が含まれるので、Bugler (1977)⁵⁾ と同様、本推定モデルでも、以下に示す各日射量の無次元指標を作成する。

$$Kt = \frac{Ra}{Ro \cdot \sinh}, Kd = \frac{Rb}{Ro \cdot \sinh}, Ks = \frac{Rd}{Ro \cdot \sinh}$$

ここで、 Ra ：水平面全天日射量、 Rb ：水平面直達日射量、 Rd ：水平面散乱日射量、 Ro ：大気圏外日射量、 h ：太陽高度角である。

そして、渡辺ら (1983)⁷⁴⁾ が新たに定義した、次式の無次元指標 Kds を用いることにより、水平面散乱日射量は式 (12) で求まる。

$$Kds = \frac{Rb}{Ro * \sinh - Rd} = \frac{Kd}{1 - Ks} \therefore Ks = \frac{1 - Kd}{Kds}$$

$$Rd = Ro * \sinh * \left(1 - \frac{Kd}{Kds}\right) \dots\dots\dots (12)$$

さらに、渡辺ら (1983)⁷⁴⁾ は、 Kds が式 (13) で回帰できるとしており、本研究でも式 (13) を用いて Kds を推定した。

$$Kds = Kd + a \cdot Kd^b + (1 - Kd)^c \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 a 、 b 、 c は定数項である。

(2) 推定式の作成

式 (10)、(12) より、大気透過率 (P) と無次元指標 (Kds) が既知となれば、水平面直達、散乱日射量は求まる。そこで、潮岬気象台の1991～2000年の全天、直達日射量の時別値から、 P 、 Kds の時別値の推定式を作成した。このとき、散乱日射量は、全天日射量から直達日射量を引いた値とした。また、潮岬気象台を選んだのは、ほぼ日本の中心緯度であり、積雪による反射の影響が少ないと判断されるためである。

大気透過率 (P) と無次元指標 (Kds) の推定式を導くため使用した観測値は、 $\sinh > 0.1$ の値を用いた。これは、Flintら (1987)¹¹⁾ が指摘したように、太陽の日出没時は、評価誤差が大きくなり、推定式の作成には適さないと考えたためである。また、各

時間の太陽高度角は、毎時30分の値とした。

大気圏外日射量 (Ro) は次式で求めた。

$$Ro = Io \cdot \left(\frac{r}{r^*}\right)^2$$

ここで、 Io ：太陽定数 (1367W/m^2)、 r/r^* ：太陽と地球の間の平均距離と計算日での距離の比で、 r/r^* は次式で決定される。

$$\frac{r}{r^*} = \frac{1}{[1.000110 + 0.034221 \cdot \cos(\theta) + 0.001280 \cdot \sin(\theta) + 0.0007219 \cdot \cos(2\theta) + 0.000077 \cdot \sin(2\theta)]^{0.5}}$$

ここで、 θ は元旦からの通し日数 dn に基づく値で、次式で表せる。

$$\theta = 2\pi \left(\frac{dn-1}{365}\right)$$

a 大気透過率 (P)

重回帰分析で導かれた、 P 値の月、旬、半旬平均時別値における、各推定式の係数および定数項、そして相関係数を第19表に示す。

月、旬、半旬平均時別値の推定式の相関係数は高く、作成された式による推定は妥当と判断できる。

Coopsら (2000)⁷⁾ は、日平均大気透過率の推定式に気温を用いている。そして、大気透過率に、空気中の水蒸気量が影響するという報告¹¹⁾ があるが、アメダスの気象観測項目のうちでは、気温が水蒸気量に最も関係があると考えられる。このため、大気透過率 (P) の推定式の作成では、説明変数に気温

第19表 式 (11) の偏相関係数 (α 、 β 、 γ) と定数 (δ)、および重相関係数 (R)

	α	β	γ	δ	R
半旬平均値	0.5288	-0.01473	-0.1206	0.4903	0.809
旬平均値	0.5596	-0.01403	-0.1244	0.4873	0.808
月平均値	0.5879	-0.02104	-0.1360	0.5099	0.820

第20表 式 (13) の定数項 (a 、 b 、 c) および相関係数 (R)

	a	b	c	R
半旬平均値	0.7696	1.2455	0.9281	0.953
旬平均値	0.8597	1.3160	1.0695	0.953
月平均値	1.4326	1.5733	1.6208	0.945

を加えた場合についても検討した。

気温を加えた重回帰分析を試みた結果、その半旬平均における自由度調整済み決定係数はわずかしき変化しなかった ($r^2=0.6549 \rightarrow 0.6589$)。このことから、大気透過率 (P) の推定式としては、大気圏外水平面日射量、日照時間、降水量の3変数による式が妥当であると判断される。なぜなら、重回帰分析の場合、変数の少ない方がより一般化された推定式であると考えられるためである。

b 無次元指標 (Kds)

潮岬気象台の観測値から、リニア最小自乗法で求めた、式 (14) の変数の定数項と、推定式の相関係数を第20表に示す。

3) 推定精度の検証

(1) 気象台における推定精度

第21表は、日本で全天日射量と直達日射量の観測を行っている気象台である。本推定式による直達、散乱日射量時別値の推定精度を検証するため、潮岬を除く、11の気象台において、直達、散乱日射量時別値の観測値に対する推定値の平方自乗平均誤差 (RMSE; Root Mean Square Error) を求めた。

推定した直達、散乱日射量時別値のRMSEおよび観測値に対するRMSEの割合の、11気象台における10年間 (1991~2000年) の平均値を第22表に示す。

月平均、旬平均、半旬平均のいずれも、RMSEは、直達日射で約0.1MJ/m²、散乱日射で約0.2MJ/m²と

第21表 全天・散乱日射量の観測を行っている気象台

気象台名	経度(度)	緯度(度)	標高(m)
札幌	141.324	43.060	17
根室	145.581	43.333	25
宮古	141.961	39.650	43
秋田	140.096	39.720	6
松本	137.970	36.236	610
輪島	136.892	37.395	5
潮岬	135.757	33.453	73
米子	133.335	35.438	6
福岡	130.373	33.585	3
鹿児島	130.545	31.556	4
石垣島	124.161	24.336	6
那覇	127.686	26.207	28

第22表 10年間の直達、散乱日射量推定値のRMSEと、観測値に対するRMSE割合の11気象台における平均値

半旬平均

時刻	直達日射		散乱日射	
	RMSE (MJ/m ²)	割合	RMSE (MJ/m ²)	割合
5	0.012	1.091	0.070	1.167
6	0.039	0.886	0.124	1.088
7	0.089	0.712	0.168	0.836
8	0.127	0.500	0.192	0.651
9	0.152	0.307	0.221	0.459
10	0.167	0.231	0.229	0.350
11	0.193	0.221	0.226	0.284
12	0.212	0.229	0.223	0.251
13	0.204	0.230	0.220	0.239
14	0.177	0.234	0.221	0.250
15	0.143	0.254	0.218	0.279
16	0.113	0.299	0.213	0.325
17	0.085	0.383	0.207	0.392
18	0.050	0.526	0.195	0.519
19	0.035	0.814	0.197	0.732

旬平均

時刻	直達日射		散乱日射	
	RMSE (MJ/m ²)	割合	RMSE (MJ/m ²)	割合
5	0.010	0.909	0.050	0.847
6	0.030	0.698	0.104	0.929
7	0.074	0.602	0.150	0.761
8	0.112	0.441	0.175	0.593
9	0.129	0.261	0.197	0.410
10	0.131	0.181	0.195	0.298
11	0.151	0.173	0.185	0.232
12	0.167	0.180	0.178	0.200
13	0.161	0.182	0.182	0.198
14	0.137	0.181	0.193	0.218
15	0.113	0.200	0.202	0.259
16	0.096	0.255	0.205	0.314
17	0.074	0.336	0.206	0.392
18	0.045	0.473	0.202	0.540
19	0.036	0.735	0.206	0.755

月平均

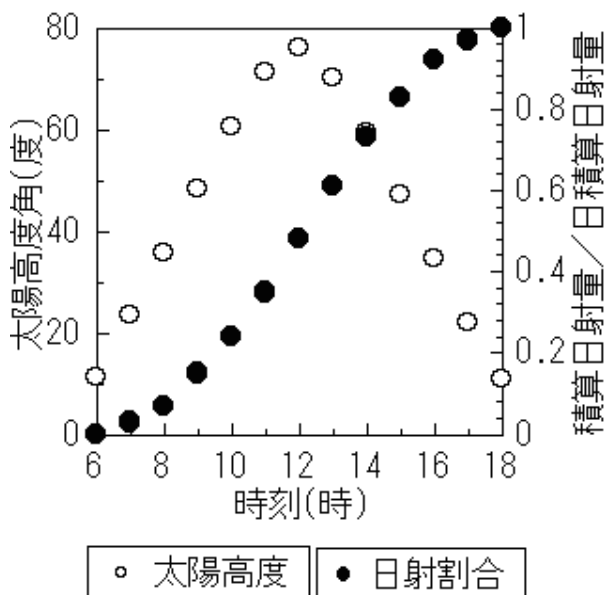
時刻	直達日射		散乱日射	
	RMSE (MJ/m ²)	割合	RMSE (MJ/m ²)	割合
5	0.008	0.889	0.026	0.473
6	0.023	0.590	0.075	0.721
7	0.064	0.552	0.129	0.683
8	0.102	0.402	0.163	0.553
9	0.109	0.221	0.183	0.380
10	0.098	0.136	0.174	0.266
11	0.119	0.136	0.154	0.193
12	0.137	0.148	0.139	0.156
13	0.130	0.147	0.145	0.158
14	0.103	0.136	0.164	0.186
15	0.084	0.149	0.183	0.235
16	0.079	0.213	0.196	0.303
17	0.063	0.299	0.208	0.405
18	0.038	0.413	0.220	0.599
19	0.037	0.725	0.216	0.803

小さかった。また、誤差の割合は、朝夕に大きく、日中は小さかった。これは、朝夕は、日射量の絶対値が小さく、日射の通過する大気の厚さが長いことにより、透過率 P の推定誤差が大きくなったためと考えられる。また、直達日射よりも散乱日射の推定誤差が大きいのは、本推定モデルが、周辺からの反射日射量を散乱成分としていないためと思われる。

本推定モデルでは、太陽高度の低い時間の推定誤差は非常に大きい。しかし、第38図のように、太陽高度が約10度以上の時の積算日射量の値は、日積算日射量の90%以上となるため、日値として考える場合、それらの時間帯の誤差はあまり問題にならない。第38図は、潮岬における各時刻の太陽高度と、日積算日射量に対する、各時刻の積算日射量割合の1991～2000年における平均値である。

このため、第23表のように、日積算直達、散乱日射量の推定誤差は10%以下であった。さらに、全天日射量に対する直達、散乱日射量の推定誤差割合は、より小さくなるため、全天日射量の推定誤差はおおむね5%以下であった。また、夏期に比べ、冬期の誤差が大きかったが、これは、反射量の大きい雪の影響のためと考えられる。

Flint and Childs (1987)¹¹⁾の報告では、地表面からの反射成分の割合は、年平均で8%，冬には、



第38図 潮岬気象台における、各時刻の太陽高度角および、日積算日射量に対する各時刻までの積算日射量の割合の10年平均値

15%にもなる。しかし、各気象台における推定誤差は、これよりもかなり小さい値であった。これは、各気象台が比較的開けた地点に設置されており、反射日射の影響が小さかったためと考えられる。

地表面からの反射の影響を考慮すると、地点によっては、周囲からの反射成分が大きく、推定誤差は第22表よりも大きくなる可能性がある。しかし、農業現場で利用する場合、本推定モデルの精度は、十

第23表 11気象台における各月のRMSE (MJ/m²) およびRMSEの割合

半月平均

月	全天日射量		直達日射		散乱日射	
	RMSE	誤差割合	RMSE	誤差割合	誤差割合	RMSE
1	0.283	0.040	0.290	0.096	0.233	0.058
2	0.345	0.036	0.382	0.090	0.336	0.064
3	0.603	0.048	0.558	0.100	0.444	0.064
4	0.759	0.047	0.819	0.107	0.683	0.081
5	0.849	0.048	0.906	0.108	0.743	0.079
6	0.984	0.058	0.857	0.120	0.752	0.077
7	0.937	0.053	0.807	0.099	0.662	0.070
8	0.728	0.042	0.608	0.068	0.711	0.084
9	0.586	0.042	0.513	0.076	0.584	0.081
10	0.481	0.042	0.490	0.085	0.363	0.063
11	0.423	0.050	0.411	0.101	0.285	0.064
12	0.414	0.059	0.385	0.121	0.231	0.061

旬平均

月	全天日射量		直達日射		散乱日射	
	RMSE	誤差割合	RMSE	誤差割合	RMSE	誤差割合
1	0.326	0.046	0.280	0.091	0.231	0.057
2	0.373	0.039	0.353	0.082	0.333	0.062
3	0.476	0.038	0.472	0.083	0.436	0.062
4	0.535	0.033	0.696	0.091	0.579	0.068
5	0.587	0.033	0.710	0.085	0.645	0.068
6	0.673	0.040	0.673	0.094	0.530	0.054
7	0.693	0.039	0.681	0.083	0.490	0.052
8	0.558	0.032	0.500	0.056	0.543	0.064
9	0.363	0.026	0.326	0.048	0.397	0.055
10	0.446	0.039	0.437	0.076	0.269	0.046
11	0.431	0.051	0.378	0.093	0.189	0.043
12	0.474	0.068	0.356	0.111	0.236	0.062

月平均

月	全天日射量		直達日射		散乱日射	
	RMSE	誤差割合	RMSE	誤差割合	RMSE	誤差割合
1	0.409	0.057	0.217	0.070	0.358	0.087
2	0.452	0.047	0.297	0.069	0.463	0.086
3	0.408	0.032	0.383	0.067	0.507	0.071
4	0.446	0.027	0.594	0.077	0.439	0.051
5	0.403	0.022	0.543	0.065	0.475	0.050
6	0.446	0.026	0.523	0.073	0.387	0.039
7	0.605	0.034	0.477	0.058	0.439	0.046
8	0.458	0.026	0.367	0.041	0.359	0.042
9	0.319	0.023	0.290	0.043	0.258	0.035
10	0.380	0.033	0.332	0.058	0.149	0.025
11	0.415	0.049	0.334	0.082	0.177	0.039
12	0.464	0.066	0.263	0.081	0.310	0.081

分と考える。なぜなら、黒瀬ら (1999)³³⁾ が指摘したように、植生面からの反射は光合成有効放射の割合が極端に小さいため、周辺が森林の場合が多い中山間地域においては、農業生産における反射日射量の影響は、無視できると判断されるからである。

(2) 任意地点における推定精度

本研究の目的は、近隣のアメダスポイントの観測値から任意の地域における日射量分布図を作成することであり、任意地点における直達、散乱日射量の推定精度についても評価する必要がある。そこで、加茂川町で行った全天、散乱日射量の観測値と、観測地点から約 6 km離れた近隣のアメダスポイント（岡山県福渡）の気象データから推定した、直達、散乱日射量を比較した。

観測値に対する推定値のRMSEを第24表に示す。さらに、観測値と推定値の関係を第39図に示す。

月、旬平均値のRMSEは、気象台での推定誤差と、ほぼ同値であったが、半旬平均の場合、推定誤差は大きくなった。これは、期間が短くなるほど、雲量の違いなど、アメダスポイントとの気象条件の差による影響が、強く表れるためと考えられる。このことから、推定に用いるアメダスポイントは、推定地点との気象の差を考慮して決定する必要がある。さらに、本研究の目的は、50mメッシュ日射量分布図を作成するために必要な、直達、散乱日射量の時別値を推定する事であるので、日射量時別値は、周囲が遮蔽されていない状況での値が必要である。このことから、時別値を推定するアメダスポイントの可照時間についても十分考慮する必要がある。

(3) 結論

潮岬気象台の10年間の観測値より導かれた、大気透過率 (P) と無次元指標 (Kds) を用いて、直達、散乱日射量の時別値を推定する本推定法は、月、旬、半旬平均の直達、散乱日射量の時別値を、RMSE約 0.1~0.2MJ/m²で推定した。そして、日積算日射量のRMSEは、約0.2~0.6MJ/m²であり、本手法は、日照時間と降水量の時別データがある地点では、直達、散乱日射量の時別値の月、旬、半旬平均を精度良く推定する。さらに、任意の地点において、本推定モデルは、旬までの期間では、RMSEで約0.1~

第24表 加茂川町における、5~11月の直達、散乱日射量観測値に対する推定値のRMSE (MJ/m²) の平均値 (a : 半旬平均, b : 旬平均, c : 月平均)

半旬平均

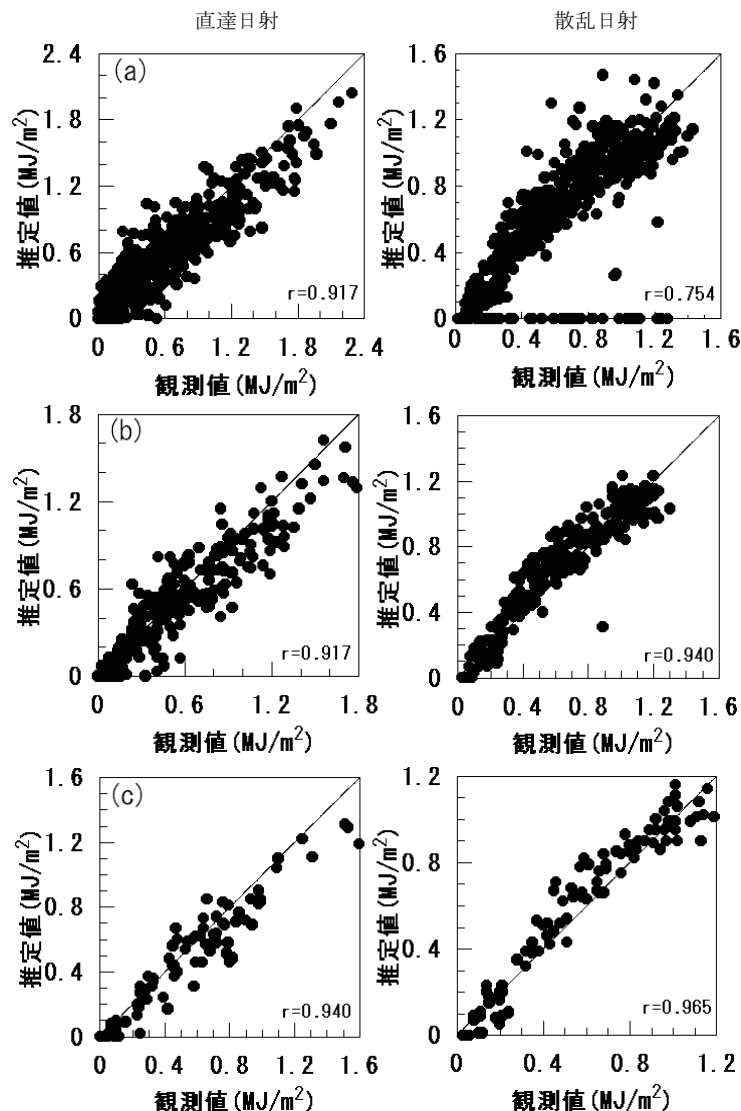
時刻	直達日射	散乱日射
5	0.007	0.035
6	0.079	0.115
7	0.110	0.103
8	0.185	0.261
9	0.251	0.171
10	0.234	0.377
11	0.242	0.247
12	0.275	0.428
13	0.248	0.220
14	0.222	0.382
15	0.151	0.171
16	0.109	0.221
17	0.071	0.099
18	0.038	0.109

旬平均

時刻	直達日射	散乱日射
5	0.009	0.036
6	0.073	0.070
7	0.097	0.092
8	0.164	0.118
9	0.211	0.122
10	0.182	0.149
11	0.220	0.186
12	0.240	0.123
13	0.231	0.112
14	0.179	0.133
15	0.117	0.110
16	0.076	0.100
17	0.053	0.062
18	0.037	0.039

月平均

時刻	直達日射	散乱日射
5	0.010	0.038
6	0.063	0.106
7	0.089	0.092
8	0.137	0.134
9	0.161	0.129
10	0.135	0.137
11	0.172	0.096
12	0.226	0.094
13	0.177	0.076
14	0.180	0.113
15	0.083	0.056
16	0.050	0.077
17	0.034	0.032
18	0.036	0.021



第39図 加茂川町における5～11月の直達、散乱日射量時別値の推定結果
(a：半旬平均，b：旬平均，c：月平均)

0.2MJ/m²，そして半旬では，RMSEで約0.1～0.4MJ/m²の誤差で時別値を推定した。

本手法により，任意地点の直達，散乱日射量の時別値が，近隣のアメダス気象観測地点のデータから推定可能となり，その周辺における月，旬，半旬平均の50mメッシュ日射量分布図の作成が可能となる。

4) 既存推定法との比較

(1) 比較モデル

社団法人日本建築学会は，2000年1月に，全国842地点の15年間8要素（外気温，絶対湿度，水平面全天日射量，大気放射量，風向，風速，降水量，日照時間）の時別データと標準年気象データを収録

した，拡張アメダス気象データを刊行している。

拡張アメダスに収録される全天日射量は，二宮ら(1997)⁴⁷⁾の手法を用いてアメダス観測値から推定されたもので，添付のEADDataNaviと呼ばれる処理プログラムを介して，直達・散乱日射量の時別値が出力できるようになっている。

拡張アメダスでは，5つの直達・散乱分離モデル^{10, 45, 52, 70, 74)}から，ユーザが自由に選択して計算を行う。そこで本研究では，これらのモデルのうち，快晴時を前提としたモデルで，曇天時の適用に問題があるとされる⁶¹⁾永田ら⁴⁵⁾のモデルと，相対湿度を用いるPerezら⁵²⁾のモデルを除く，3つのモデルとの比較を行った。

(2) 比較方法

本研究で開発した直達・散乱日射量推定法はメッシュ日射量図の農作業計画への利用を前提としていることから、月、旬、半旬平均値の推定式である。しかし、拡張アメダスに収録されるモデルは、日毎の時別データである。そこで、拡張アメダスに採用された推定モデルと比較するため、本研究で開発した直達・散乱日射量推定式の係数を、日毎の時別値推定のための係数として新たに算定した。

水平面全天日射と法線面直達日射の両方を観測している気象台において、1992年から1996年にかけて、WMO勧告に基づき、自記直達日射計を1/2開口角 3.98° のものから、 2.5° のものに順次変更し、現在では、14地点とも後者の自記直達日射計(Kipp&ZonenCH-1,あるいはEKO MS-54)が使用されている⁶¹⁾。このことから、月、旬、半旬平均の推定とは異なり、日別値の推定では、測器の違いに

第25表 日別のP推定式およびKds推定式の係数

P 推定式	α	β	γ	δ
係数	0.7001	-0.00293	-0.0766	0.2244
Kds 推定式	a	b	c	
係数	1.2364	1.0808	1.4870	

第26表 1997～2001各気象台における推定誤差RMSE (MJ/m²・h)

直達日射

期間	Erbs	渡辺	宇田川	植山
札幌	0.278	0.215	0.307	0.223
福岡	0.250	0.246	0.272	0.254
石垣島	0.312	0.208	0.371	0.230

散乱日射

期間	Erbs	渡辺	宇田川	植山
札幌	0.276	0.395	0.287	0.333
福岡	0.303	0.450	0.303	0.403
石垣島	0.336	0.456	0.356	0.393

全天日射

期間	二宮	植山
札幌	0.377	0.335
福岡	0.380	0.414
石垣島	0.462	0.393

よる影響に配慮する必要があると考え、日別データを推定するための係数は、潮岬気象台における1997～2001年の5年間のデータから求めた。

本研究で新たに求めた直達・散乱日射量時別値推定式の係数を第25表に示す

比較データは、札幌、福岡、石垣島の各気象台における1997～2001年までの5年間の全天、直達日射量観測値で、散乱日射量は全天日射から直達日射を差し引いた値とした。また、太陽高度(h)が低いデータ($\sin h < 0.1$)および、降雪のあった月(札幌11～4月、福岡1月)のデータは用いなかった。

(3) 結果

各モデルとの比較結果を第26表に示す。気象台の比較においては、ほぼ同様の誤差(RMSE)を示し、特に有効なモデルを断定することはできなかった。しかし、拡張アメダスによる直達・散乱日射量の推定法に比べ、本手法のモデル構造は単純であり、利便性は高いと考える。また、本研究で示した推定精度は、気象観測機器の保守管理が十分になされている気象台の結果であり、アメダスの観測値による推定では、本研究で示された誤差よりも大きくなる可能性がある。なぜなら、アメダスポイントの中には、周囲が構造物や防風林などで覆われているため、日照率が現実とは異なる地点が存在するためである。

Ⅳ 中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用指針

本章では、メッシュ気象図から得られる気温と日射量の具体的な利用事例から、中山間地域におけるメッシュ気象図の利用指針を提示する。

1 メッシュ気温図の利用指針

Ⅱ章で示したように、中山間地域は、地域固有の地形により、多様な気温分布を有している。そこで本節では、メッシュ気温図の利用指針を示すため、中山間地域農業におけるメッシュ気温図の利用事例として、以下の3項について論じる。

①中山間地域の気温多様性

②メッシュ気温図による中山間地域の作型判定

③バラ栽培ハウスの気温と生産性

1) 中山間地域の気温多様性

Ⅱ章3節で述べたように、調査した中山間地域には、月平均気温で、2.5～3.2℃、月平均最高気温で3.5～4.8℃、月平均最低気温で1.7～4.5℃の地点間差が生じていた。これは、第27表のように、数km四方の範囲に、日本各地の気温が存在することを意味する。第27表は、岡山気象台の月平均気温平年値と、各地方気象台の月平均気温平年値との差である。

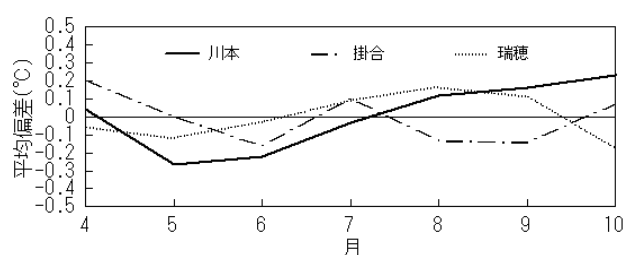
第27表の値は、30年間の平均値で、単年の観測値

第27表 岡山気象台と各地方気象台との、月平均気温、月平均最高気温、月平均最低気温の平年値の差

月平均気温	札幌	松本	松江	鹿児島
4月	-4.2	-3.9	-1.6	2.5
5月	-4.1	-3.3	-1.7	1.2
6月	-4.6	-3.3	-1.8	0.7
7月	-4.8	-3.6	-1.7	1.0
8月	-3.8	-3.6	-1.6	0.3
9月	-3.3	-4.2	-1.6	2.1
10月	-2.8	-4.8	-1.2	3.2
11月	-3.0	-5.0	-0.8	3.5
12月	-2.7	-5.0	-0.3	3.4

月平均最高	札幌	松本	松江	鹿児島
4月	-4.4	-1.7	-1.0	2.1
5月	-4.6	-1.5	-1.6	0.4
6月	-5.2	-1.7	-1.7	0.0
7月	-5.5	-2.2	-1.9	0.3
8月	-4.2	-1.6	-1.3	-0.1
9月	-3.6	-2.7	-1.3	2.0
10月	-3.0	-3.1	-0.8	3.0
11月	-3.1	-3.2	-0.6	3.4
12月	-3.1	-3.5	-0.4	3.6

月平均最低	札幌	松本	松江	鹿児島
4月	-3.6	-5.4	-1.5	3.3
5月	-3.3	-4.7	-1.5	2.6
6月	-3.8	-4.3	-1.6	1.5
7月	-4.2	-4.6	-1.4	1.4
8月	-3.0	-4.4	-1.3	0.9
9月	-2.8	-4.7	-1.4	2.4
10月	-2.6	-5.5	-1.1	3.5
11月	-2.9	-6.1	-0.6	3.7
12月	-2.2	-5.9	0.2	3.3



第40図 島根県のアメダスポイント（赤名）と近隣の3アメダスポイント（川本、掛合、瑞穂）との月平均気温差の20年間（1981～2000年）の平均偏差

である本研究の結果とは異なる。しかし、地域の寒暖な地点の出現パターンは、繰り返される²³⁾ことから、気温の地点間差は、単年の観測値であっても気候値と比較可能と考えられる。実際、1981～2000年における、島根県のアメダスポイント間の月平均気温の地点間差をみると、第40図のように、20年間の平均偏差の平均値は、各月とも約0.2℃で、地点間差の変動は小さかった。

2) メッシュ気候図による中山間地域の作型判定

気候に応じた栽培計画を立案するためには、栽培開始時期や収穫時期等の作期と気候との関係を明らかにする必要がある。真木・玉置（1986）³⁷⁾は、野菜栽培においては、気候要素の中で気温がもっとも重要であるとして、気温の等温線から、四国地域における、作型毎の野菜栽培地域の区分図を作成した。そこで本節でも、現地調査における聞き取り調査と、メッシュ気候図から判断した、露地野菜の栽培開始時期と収穫期の限界温度による、メッシュ気候図による作型判定の事例を示す。

(1) 栽培開始時期と収穫時期における限界温度の決定方法

栽培の開始時期と収穫時期は温度で決定されると仮定し、加茂川町において、現地調査とメッシュ気候図とから、栽培開始時期と収穫時期の限界温度を決定した。

各作期の限界温度は、調査地点における栽培開始時期と収穫時期の平均気温の上下限值と仮定した。作期の早晩限期を判定する野菜の種類と、栽培開始時期の生育段階は、現地の栽培状況より決定した。

各作期の限界温度の決定に使用したメッシュ気候

図は、気象庁のメッシュ統計値に調和解析法を適用して作成した。メッシュ統計値を用いたのは、本調査の目的が、各作期の限界温度を明らかにすることではなく、現地における作期の差を気温に換算する事であり、それには、単年のデータではなく平年値データの方が適当と判断した事、またⅡ章3節で示したように、平均気温であれば、地域全体の気温分布は、1 kmメッシュでも概ね把握できるためである。

調査した野菜とその作期を第28表に示す。調査の結果、加茂川町の円城地区は野菜栽培が盛んで、多くの露地野菜が栽培されていた。しかし、円城地区以外は野菜の栽培農家や栽培されている露地野菜の種類は少なかった。また、町の全域で栽培される露地野菜は、主にハクサイ、ナス、キュウリであった。現地調査によると、ハクサイの苗はハウス内で栽培されており、ナス、キュウリの苗の多くは購入されていた。そして、加茂川町における夏どりハクサイ、ナス、キュウリの定植方法は、ほとんどがマルチによるキャップ栽培であった。このような現地の栽培状況から、栽培の開始時期と収穫時期の限界温度を

判定する野菜は、ハクサイ、ナス、キュウリとし、夏どりハクサイ、ナス、キュウリの調査対象は、マルチでキャップ栽培のものとした。ただし、ナス、キュウリの収穫終了時期は、霜の発生など、気温以外の気象要因の影響が大きいいため、ナス、キュウリの定植晩限期は判定しなかった。

1999年と2000年における、複数の農家からの聞き取り調査で特定できた定植期は、半旬、収穫期は旬であった。このため、定植早限期の判定は半旬、定植期の晩限と収穫期の早晩限の判定は旬で行った。

(2) 加茂川町の定植期および収穫期の早晩限期

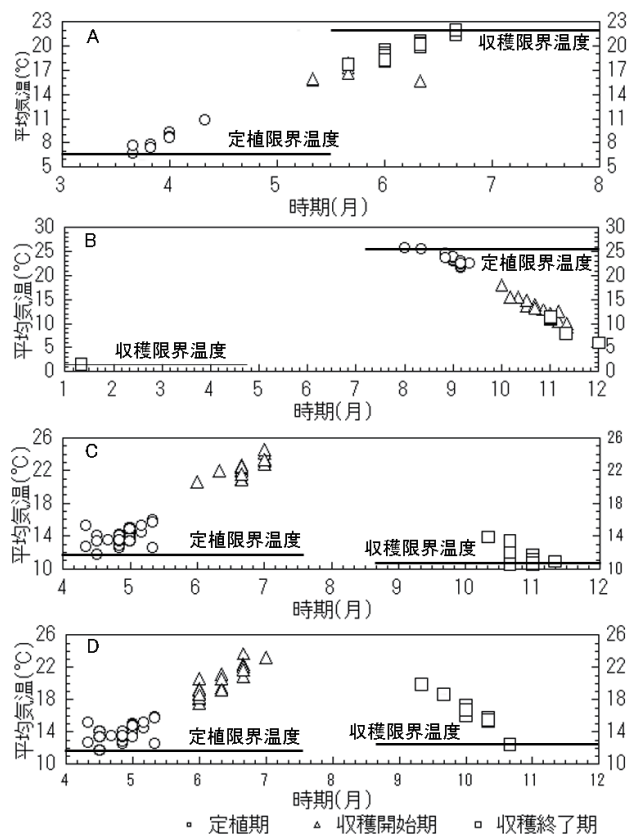
全調査地域におけるハクサイ、ナス、キュウリの定植期および収穫期と、メッシュ統計値から求めた平均気温を第41図に示す。決定された定植期の限界温度は、夏どりハクサイで6.8℃、ナス、キュウリで11.7℃、秋冬どりハクサイで25.5℃であった。そして、収穫期の限界温度は、夏どりハクサイで22.0℃、ナスで10.9℃、キュウリで12.5℃、秋冬どりハクサイで1.2℃であった。

第28表 加茂川町で調査した野菜の種類とその作型

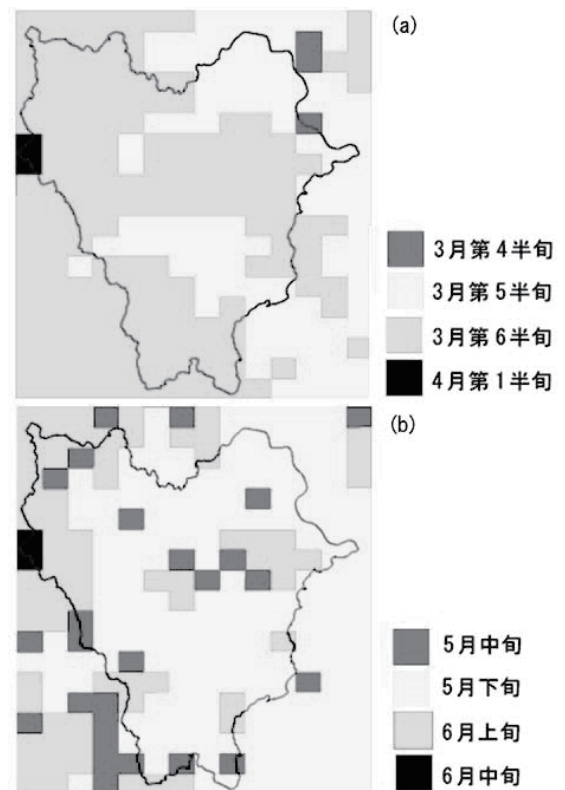
作目	品種	栽培法	播種期	定植期	収穫期
キュウリ	夏すずみ、つばさ、みどり1号	裸地、マルチ	4月下旬～5月上旬	4月第5半旬～5月第2半旬	6月中旬～10月中旬
	庄屋大長、千両		4月下旬～5月中旬	4月第5半旬～5月第2半旬	6月下旬～11月下旬
トマト	桃太郎、サターン	裸地、マルチ、ハウス	4月下旬～5月中旬	4月第5半旬～5月第2半旬	6月下旬～11月下旬
			3月上旬～3月下旬		6月上旬～7月上旬
ピーマン	京みどり	裸地、マルチ		4月下旬～5月上旬	6月中旬～8月中旬
トウモロコシ	ニューゴールド、スイートコーン	裸地	3月中旬～5月中旬	5月上旬～6月上旬	7月下旬～8月中旬
			9月上旬～9月中旬	11月上旬～11月中旬	5月下旬～6月下旬
タマネギ	アマ70号、OP、ソニック、アスター	裸地			
カボチャ	えびす、ホウコウ、くりあじ	裸地、マルチ		4月下旬～5月中旬	7月上旬～8月中旬
レタス	パークレー、リーフレタス	マルチ	4月上旬～4月中旬		6月上旬～6月下旬
夏どりハクサイ	ゆきむら、無双	マルチ	2月中旬～3月上旬	3月第6半旬～4月第3半旬	5月下旬～6月中旬
秋冬どりハクサイ	王将、黄ごころ60、黄ごころ75	裸地、マルチ	7月上旬～8月下旬	8月第3半旬～9月第2半旬	9月下旬～12月下旬
キャベツ	オキナ、コウヨウ	裸地、マルチ	2月下旬～9月上旬	3月中旬～11月上旬	6月上旬～1月下旬
シュンギク	おたふく	ハウス(裸地)	7月下旬～10月上旬	8月中旬～10月下旬	9月下旬～4月中旬
ハウレンソウ	アクティブ、オーラ	ハウス(裸地、マルチ)	3月中旬～5月以外年中		

調査した露地野菜における、各作期の早晩限期のメッシュ図を作成した。メッシュ図の作成では、栽培開始時期の早限と収穫時期の晩限は、各メッシュの気温がそれぞれの限界温度に達する時期、そして栽培開始時期の晩限は、収穫期の晩限から逆算したときの積算気温が現地で栽培に必要とした積算気温と等しくなる時期とした。さらに、収穫期の早限は、栽培開始時期の早限からの積算気温が現地で栽培に必要とした積算気温と等しくなる時期とした。また、ナスとキュウリの定植期の早限はほとんどの地域で4月の第4、第5半旬で、4月の下旬には全ての地域で定植可能と判定された。一例として、ハクサイの定植早晩限を第42図、第43図に示す。

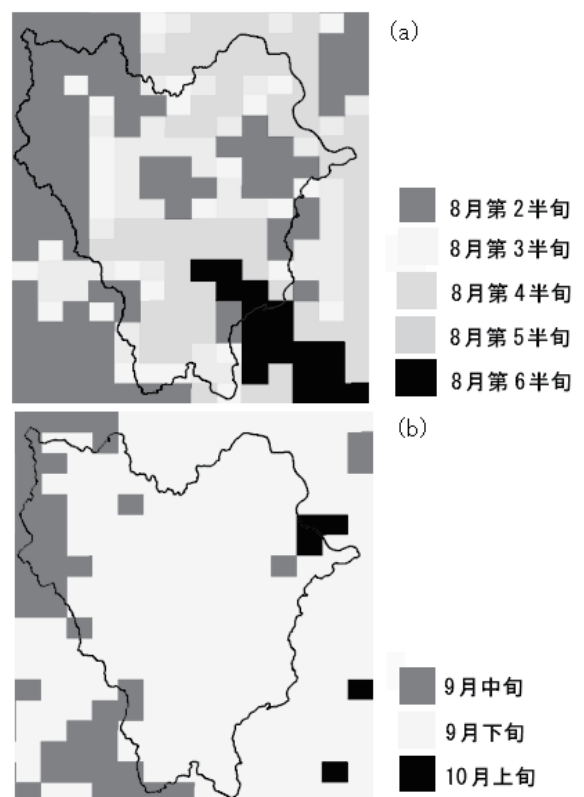
Ⅱ章2節で示したように、加茂川町には、月平均気温で、約2.5～3.2℃の気温差が存在したが、調和解析法によると、3、4月期に2℃気温を上昇するには約10日間必要である。この10日という時間差は、定植期を10日程度早めるために多くの労力や資材を



第41図 調査した野菜の生育段階ごとの半月・旬平均気温の平年値とその時期の関係
(A：夏どりハクサイ，B：秋冬どりハクサイ，C：ナス，D：キュウリ)



第42図 夏どりハクサイの定植早限期 (a) と定植晩限期 (b)



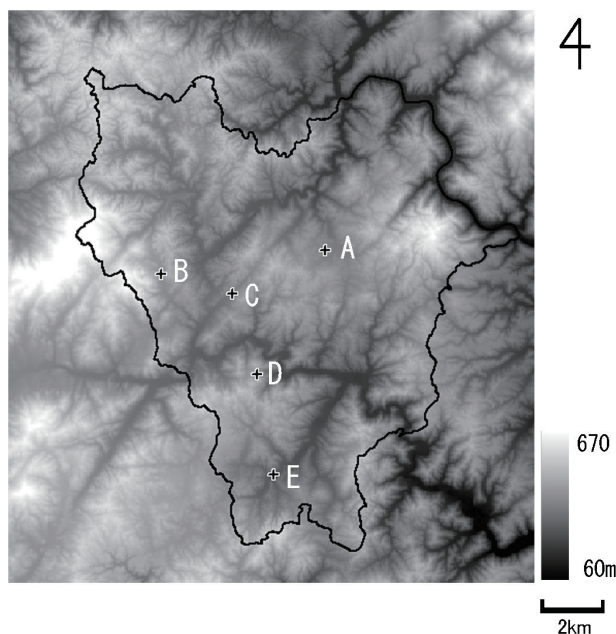
第43図 秋冬どりハクサイの定植早限期 (a) と定植晩限期 (b) (黒線は町の境界)

かけて定植方法の改良に取り組んでいる農家が存在することから、夏どりハクサイの定植には重要である。このことから、町が有する気温分布特性を考慮すると、多様な栽培時期や栽培法を農地ごとに選択できる可能性があると思われる。また、秋冬取りハクサイは、町の有する気温分布特性を考慮して効率よく栽培を行うと、作型ごとに品種は異なるが、約4ヶ月間継続的に出荷できる可能性がある。

本研究では、集落単位での栽培面積が小さかったため、町全体を対象として作型調査を行った。このため本調査では、作型と気温との関係調査に用いたメッシュ気温図は、1kmメッシュの平年値気温を用いている。しかし、集落内を対象として同様の調査を実施するためには、Ⅱ章5節で作成したような、50mメッシュ気候図が必要となる。

3) バラ栽培ハウスの気温と生産性

わずかの距離で気温が異なる中山間地域では、冷房や暖房を行う栽培施設の燃料消費量は、設置地点により異なると予想される。そこで本項では、メッシュ気温図を用いて加茂川町で調査した、バラ栽培ハウスの設置地点の気温と暖房燃料消費量との関係を調査し、気温分布と栽培施設の生産性との関係について論じる。



第44図 加茂川町における調査ハウス設置位置
(十字A～E：ハウス設置位置，黒線：旧加茂川町行政界)

バラの冬期栽培の直接生産費に対する光熱動力費の割合は、2000年の調査でも約30%と依然大きく¹⁶⁾、暖房燃料の削減が、コスト削減による生産性の向上に直結する作目である。このことから、調査対象としてバラ栽培のハウスを選択した。さらに、バラは加茂川町の特産品の一つであり、調査への協力を得やすかった事も、バラを選択した理由である。

(1) 調査ハウスの概要と暖房燃料消費量

ハウスの暖房燃料消費量の調査は、第44図に示されるA～Eの5地点のビニールハウスでバラの周年栽培を営む農家にアンケートを配布し、後日回収するという方法で行った。また、各ハウスの気温は、Ⅱ章で作成した、加茂川町の50mメッシュ月平均気温分布図の値を用いた。アンケート項目は、ハウス床面積、暖房燃料消費量、保温カーテンの種類、ハウス内の最低設定温度とした。

各ハウスの概要を第29表に、そして各ハウスにおける12月の暖房燃料消費量およびハウス内の設定温度を第30表に示す。ハウスは全て、保温カーテンをもつビニールハウスで、各ハウスの標高差は最大約200mあった。そして1999年12月における各ハウスの月平均最低気温差は約3℃あった。また、A、Bのハウスの農家からは、保温カーテンの商品名に関して回答を得られたため材質まで特定できたが、他

第29表 各ハウスの面積、標高、12月の月平均最低気温及び、保温カーテンの種類

ハウス	面積	標高	最低気温	保温カーテンの種類
A	2325m ²	301m	-0.6℃	PVA フィルム
B	3300m ²	347m	0.6℃	ポリオレフィン
C	3960m ²	280m	-1.1℃	ビニール+不織布
D	1650m ²	371m	0.8℃	ビニール
E	2640m ²	187m	-2.0℃	ビニール

第30表 各ハウスの暖房燃料消費量及び設定最低温度

ハウス	燃料消費量(kl/m ² ・月)	設定温度 (℃)
A	5.2	16
B	3.5	18
C	5.1	16
D	5.4	17
E	4.8	16

のハウスの農家からは商品名についての回答を得られず、カーテンの材質は特定できなかった。

12月の月平均最低気温でみたとき、ハウス間に存在する最大約3℃という気温差は、第27表の各地方気象台における月平均最低気温でみると、岡山と鹿児島、あるいは岡山と札幌の気温差に匹敵するものであり、同じ町内であるが、各ハウスは、気候的に日本の多様な地域に設置されているのと同じである。

今回のアンケート調査の結果、A～Eのハウスには、以下の傾向がみられた。

- ①最低気温の低い地点にあるA、Cのハウスは、保温性に優れたカーテンを使用している。
- ②最低気温の低い地点にあるA、C、Eのハウス内の最低設定温度は、気温の高い地点にあるB、Dのハウスよりも低い。

(2) ハウス設置地点の気温と生産性との関係

多くの農家は、より簡便な栽培よりも、市場価格の高い品種の栽培を望んでいると思われる。しかし、温度がバラの品質や生育に及ぼす影響は品種により異なる⁴¹⁾ため、ハウス設置地点の気候が、栽培資材や栽培方法、そして品種の選定に影響を及ぼし、必ずしも生産性の高い品種が栽培可能とは限らない。

気温の低い地点のハウスで保温性に優れたカーテンが使用されていたという調査結果は、バラの販売価格に対する資材費として生産性を考えた場合、A、Cのハウスは比較的生产性の低い地点にあると考えられる。なぜなら、一般に保温性の優れたカーテンは、保温性の劣るカーテンよりも価格は高いと考えられるからである。

一方、設置地点の月平均最低気温の低い、A、C、Eのハウスの設定温度が低かったという調査結果からは、以下の2つが考えられる。

- ①A、C、Eのハウスでは、生育や品質に影響を及ぼす温度の低い品種が栽培されている。
- ②A、C、Eのハウスでは、暖房燃料消費量を節約するため、生育適温よりも低い温度で栽培している。

アンケート調査では、栽培している品種の中には設定温度を18℃以上とするのが理想的なものもあるが、生産コストを低く抑えるため、16℃にしているという回答が得られ、ハウス内の設定温度が低かつ

たのは、①だけでなく、②も大きな理由であったことが推察された。

ハウスの暖房燃料消費量節約のため、ハウス内の温度を低く設定して栽培することは、栽培管理等に多大な労力が必要になると推察される。このことから、暖房燃料消費量だけでなく、バラの販売価格に占める労働力で生産性を考えた場合でも、A、C、Eのハウスは比較的生产性の低い地点にあるハウスと考えられる。

気候と暖房燃料消費量との関係を考慮した場合、B、Dのハウスは、他のハウスと同量の暖房燃料を使用しても、ハウスの設定温度の幅は広く、多様な品種を栽培することが可能であると考えられる。さらに、低い温度で栽培しなければならないハウスよりも栽培管理等に要する労力が少ない上に、燃料費が品種の選定に及ぼす影響が小さく、市場ニーズに柔軟に対応した品種選定が容易であると考えられる。これらのことより、B、Dのハウスは気候的に生産性の高い位置にあると考えられる。

4) 中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用指針

本研究から提言できる、中山間地農業におけるメッシュ気象図の利用指針を以下に示す。

- ①中山間地域が有する多様な気温分布を把握し、同じ作目に対する、多様な作型や栽培法の適用可否の判定に利用する。
- ②中山間地域が有する多様な気温分布に基づいた栽培施設の設置地点の選択に利用し、生産性や品質の向上を図る。
- ③日中の気温が低く、夜間の気温が高い、高標高地域の斜面上部、台地、尾根は、定植期の霜害の回避と収穫期の高温の回避が重要な、夏どりハクサイや、レタス、ナスなどの栽培に向く地域とするなどの適地判定に利用する。
- ④加温ハウスの作目および栽培法評価への利用と、ハウス間の作型調整に利用する。
- ⑤1 kmメッシュ図は、気温の概要把握を目的とする場合のみに利用する。
- ⑥農業生産において重要な気象資源になることが期待される、斜面温暖帯などの局地気象の把握や、実際の計画段階においては、50mメッシュ図を利

用する.

$$R\downarrow = (1 - \text{ref}) \cdot S + Ld = H + IE + G + Lu \cdots \cdots (14)$$

2 メッシュ日射量図の利用指針

本節では、メッシュ日射量図の利用指針を示すため、中山間地域の多様な日射量分布特性の利用例として、以下の2項について論じる。

- ①日射量に対する土壌の熱特性
- ②いもち病発生程度の判定

1) 日射量に対する土壌の熱特性

日射に対する、土壌の熱特性を明らかにするため、独立行政法人近畿中国四国農業研究センターの土壌検定層（約 3×3 m）で、アルベド、正味放射量、地中伝熱量、地表面温度、地温、含水比の測定を行った。また同時に、乾湿球温度、風向、風速、日射量の測定を行った。

各検定層の土壌は、灰色低地土、礫質褐色森林土、細粒赤色土、中粗粒褐色森林土、洪積砂層母材の中粗粒黄色土、細粒灰色台地土、安山岩母材の中粗粒黄色土、表層多腐食質黒ボク土の8種で、各土壌につき2つの検定層がある。

観測中のアルベドは、長波短波放射計（EKO, MR-41）で、正味放射量は、2台の放射収支計（EKO, CN-11, MF-11）で、そして地中伝熱量は、各土壌の深さ2cmに埋設した熱流計（EKO, MF-81）で測定した。地表面温度および地温は、深さ1cmと10cmに銅-コンスタンタン熱電対温度計を、一つの土壌種毎に2箇所設置して測定した。含水比は、地表面から深さ5cmまでの土壌を乾燥炉法により測定した。乾湿球温度は、通風白金抵抗温度計（EKO, Pt100, 4wire）で、風向・風速は、牧野応用測器研究所の風向発信器（VFO17）と風速発信器（F751）で測定した。測定は1999年8月25日～10月20日に実施した。

測定期間中の各土壌の含水比は、第31表のように、検定槽の排水性は良く、各土壌とも降雨後3日ではほぼ一定の含水比を示した。

地表面への入射エネルギーは、式（14）のように、同じ気象条件ではアルベドにより決まる。各土壌のアルベドは、第32表のように、黒ボク土、灰色低地土、赤色土で小さく、黄色土で大きい。第32表は、観測期間中に測定されたアルベドの平均値である。

ここで、 $R\downarrow$ ：入力放射、 ref ：アルベド、 S ：日射量、 Ld ：上からの長波放射、 Lu ：地表面からの長波放射、 H ：顕熱、 IE ：潜熱、 G ：地中伝熱量である。

地表面への入射エネルギーによる顕熱と潜熱は、式（15）（16）のように、地表面温度と気温との差である地気温差と関係がある。そして、土壌の日射量と地気温差は、正の相関関係にある。一例として、黒ボク土および黄色土における、日射量と地気温差との関係を第45図に示す。そして、各土壌の地気温差が日射100W/m²あたりに上昇する温度が第33表である。さらに、土壌に入射した純放射量に占める、地中伝熱量の割合を第34表に示す。

$$H = C_p \rho \cdot CHU(T_s - T) \cdots \cdots (15)$$

ここで、 H ：顕熱、 $C_p \rho$ ：空気の体積熱容量、 CH ：顕熱輸送のバルク輸送係数、 U ：風速、 T_s ：地表面温度、 T ：気温

第31表 観測期間中の各土壌の含水比

土壌種	含水比(%)
灰色低地土	9.6～17.0
礫質褐色森林土	8.1～13.0
細粒赤色土	16.0～21.0
中粗粒褐色森林土	9.3～12.0
中粗粒黄色土（洪積砂）	6.4～10.0
細粒灰色台地土	9.9～15.0
中粗粒黄色土（安山岩）	12.0～16.0
表層多腐食質黒ボク土	23.0～28.0

第32表 観測期間中に測定した、各土壌のアルベドの平均値

土壌種	アルベド
灰色低地土	0.191
礫質褐色森林土	0.203
細粒赤色土	0.204
中粗粒褐色森林土	0.244
中粗粒黄色土（洪積砂層）	0.265
細粒灰色台地土	0.239
中粗粒黄色土（安山岩）	0.243
表層多腐食質黒ボク土	0.120

$$IE = \gamma \cdot \rho \cdot \beta \cdot CHU(qs - q) \cdots \cdots (16)$$

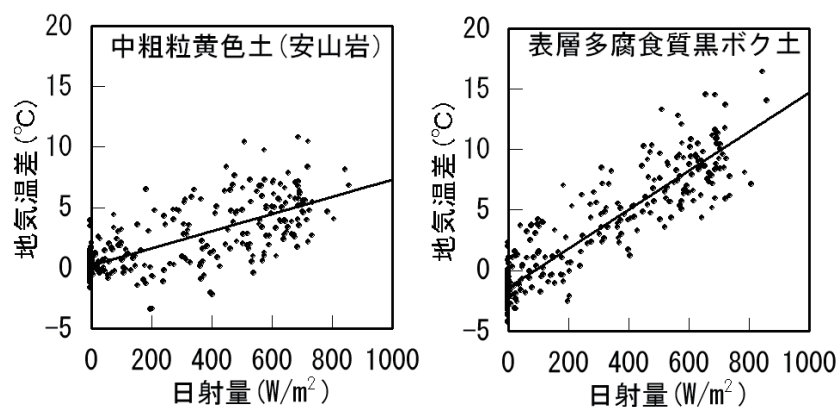
ここで、 IE ：潜熱， γ ：水の気化の潜熱， ρ ：空気の密度， β ：蒸発効率， CH ：顕熱輸送のバルク輸送係数， U ：風速， qs ：地表面温度に対する飽和比湿， q ：大気の比湿

8種類の土壌のうち、アルベドが小さく入力エネルギーの大きい、黒ボク土、赤色土の地気温差は高く、アルベドの大きい、安山岩母材の黄色土、灰色台地土の地気温差は低い。しかし、灰色低地土の地気温差は、比較的アルベドが小さいにもかかわらず地気温差は低い。これは、灰色低地土のエネルギー配分における潜熱の占める割合が大きいと考えられる。一般に、式(16)で示されるように、潜熱へのエネルギー変換量は、気温の他、蒸発効率 β に強く依存する。蒸発効率 β はごく薄い表層の土壌水分の関数であり、この水分量が増えるほど β は大きくなる。このため、地表に水の溜まりやすい性質の灰

色低地土は潜熱へのエネルギー配分が多いため、顕熱へのエネルギー配分が少なく、地気温差は小さかったと考えられる。また、洪積砂層を母材とする黄色土の地気温差は、アルベドが大きいにもかかわらず比較的大きかった。これは、含水比からも分かるように、黄色土は、保水性が弱く、土壌水分は少ない。このため、入射エネルギーは、潜熱よりも、顕熱に変換される量が多く、地気温差も高いと考えられる。

表層多腐食質黒ボク土の地気温差は、8種類の土壌中もっとも高かったが、深さ10cmの地温はもっとも低かった。これは、第34表に示されるように、黒ボク土は、純放射量に占める地中伝熱量の割合が小さいためと考えられる。

本調査結果から、同じ日射環境の場合、安山岩母材の黄色土、細粒灰色台地土は、地温を低く保つには適した土壌と判断される。また、細粒赤色土や表層多腐食質黒ボク土は、地温は低い、地表面温度



第45図 日射量と土壌の地気温差の関係

第33表 各土壌の地気温差が日射100W/m²あたりに上昇する温度

土壌種	上昇温度(°C)
灰色低地土	0.99
礫質褐色森林土	1.20
細粒赤色土	1.45
中粗粒褐色森林土	1.19
中粗粒黄色土 (洪積砂層)	1.37
細粒灰色台地土	0.83
中粗粒黄色土 (安山岩)	0.71
表層多腐食質黒ボク土	1.61

第34表 各土壌の日中の正味放射量に対する地中伝熱量割合

土壌種	地中伝熱量／純放射量
灰色低地土	0.171
礫質褐色森林土	0.223
細粒赤色土	0.237
中粗粒褐色森林土	0.207
中粗粒黄色土 (洪積砂層)	0.173
細粒灰色台地土	0.213
中粗粒黄色土 (安山岩)	0.118
表層多腐食質黒ボク土	0.107

は高く、地表面温度を低く保つには不適な土壌と判断される。

2) いもち病発生程度の判定

いもち病は、稲の病気の中で最も被害の大きい病気である。このことから、気象データを用いた発生予測に関する研究も数多くなされ^{26, 27, 71)}、いもち病発生予測プログラムBLASTAM(BLAST+AMeDAS)が開発されている。このBLASTAMは、直前5日間の平均気温が19～25℃、そして葉の濡れ時間が8時間以上で、なおかつ濡れ時間中の平均気温が15～25℃のときを、いもち病菌が侵入しやすい感染好適日として、いもち病の発生時期を予測するプログラムである。また、上原ら(1988)⁷¹⁾は、アメダスデータを用いて推定した葉面湿潤時間から、いもち病の発生を予測するシステムを開発している。さらに、いもち病は、稲の濡れ時間と気象条件とが、いもち病の発生に関係することが明らかにされている¹³⁾。これらのことから、いもち病の被害程度は、結露量が多く、穂表面の水分が乾燥しやすい地域ほど少ないと推察される。

一般的に、日射量が多い地域にある水田ほど、穂表面の水分が乾燥しやすい地域であると判断される。また、最低気温が高い地域ほど結露量も少ない傾向があると考えられる。このような仮定にもとづき、いもち病の被害程度と水田日射量および最低気温との間には何らかの関係が見いだせると考えた。そこで、日射量および最低気温の推定値から、いもち病巡回調査データを元に、いもち病発生被害程度を推定し、危険度マップを作成した。

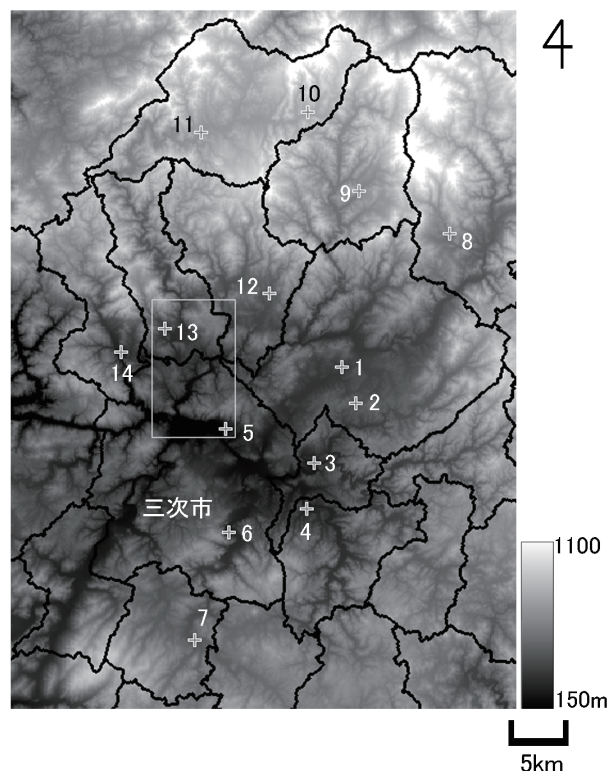
(1) 方法

a いもち病発生データ

使用したデータは、広島県病虫害防除所において、1993年および1996～2003年の9年間に実施された、広島県備北地域における14地点の巡回調査結果である。各調査地点の位置を第46図に、そして各地点名および標高を第35表に示す。

葉いもちの調査は、6月上・下旬、7月上・下旬、8月上旬に、穂いもちの調査は、7月下旬、8月上・下旬、9月上旬に行われた。また、いもち被害発生状況の指標は、平均発生程度が用いられる⁷¹⁾。

平均発生程度は、1圃場よりランダムに選んだ25株について、第36表の基準によりグレイド分けし、圃場毎に式(17)により算出される。そして、算出さ



第46図 巡回調査地点と50mメッシュ標高
(黒線：旧行政界、白枠：マップ作成範囲)

第35表 巡回調査地点名および標高 (番号は図4.9に対応)

地点 No.	地点名	標高(m)
1	庄原市三日市町	249
2	庄原市一木町	326
3	三良坂町田利	211
4	吉舎町敷地	194
5	三次市島敷町	183
6	三次市梅渡町	197
7	三和町敷名	309
8	西城町大屋	460
9	比和町木屋原	435
10	高野町上湯川	623
11	高野町下門田	568
12	口和町湯木	288
13	君田町石原	237
14	布野町下布野	215

れた数値は、平均発生株数1.00の場合、被害無を意味し、数字が大きいほど被害が大きい事を意味する。

$$\text{平均発生程度} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{25} \quad \dots (17)$$

ここで、 $n_1, \dots, n_5$ ：グレイド1, 2, $\dots$ 5の株数である。

第36表 いもち病発生調査基準

グレイド	葉いもち発生状況 (病斑形成状況)	穂いもち発病確率 (%)
1	病斑なし	0
2	下葉にのみ	< 5
3	中葉までかなり、上葉に点在	< 15
4	上葉までかなり、軽いズリコミ	< 40
5	下葉枯死、ズリコミ症状	≥ 40

b 日射量推定

メッシュ日射量推定には、斜面に対する太陽位置と太陽光の遮蔽状況を計算するための数値地形情報、そして、直達・散乱日射量が必要である。そこで、Ⅱ章4節の手法を用いて直達・散乱日射量時別値の旬平均値をアメダスデータから推定した。

対象地域の近隣には、三次の他、高野、庄原のアメダスポイントが存在するが、高野および庄原のアメダスポイントの周囲には建築物や樹木があり、日射量の推定データには適さないと判断し、三次のアメダスデータのみを用いた。

日射量計算に用いた数値地形情報は、広島県が整備したGISデータの標高tinデータから作成した、5mメッシュデータを用いた。ただし、庄原市においては、tinデータが未整備なため、国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）を用いた。

5mメッシュの地形情報を用いたのは、Ⅲ章3節で示したように、中山間地域において50mメッシュの地形情報と比較した場合、日の出の時間に約3時間の差が生じたためである。

c 最低気温推定

最低気温の旬平均値は、Ⅱ章5節で示した新手法を用いて推定した。ただし、Ⅱ章5節の放射冷却強度指標（RCS）の推定式は、月平均値をもとめるものであった。そこで本研究では、館野高層気象台

の1991～2000年の観測値から新たに、式（18）のような、RCS値の旬平均値推定式を作成した。

$$RCS = 1.252 \cdot L - 0.214 \cdot Td - 1.626 \cdot W \dots \dots \dots (18)$$

ここで、 L ：日照率、 Td ：気温日較差（℃）、 W ：19～21時の平均風速である。

気温の5mメッシュ推定値の利用価値は低いと判断し、気温は、国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）を用いて推定した。

巡回調査地点の気温観測は行っていないので、巡回調査地点の旬平均最低気温を次の方法で推定した。まず、2004年5月～2005年9月に実施した、三次市君田町および庄原市口和町の64地点の気温観測（第28図参照）から、アメダスポイントとの温位差推定モデルを64地点で作成し、巡回調査期間における旬平均最低温位を求めた。次に、64地点において推定した、各年の旬平均最低温位を目的変数、地形因子（第2表参照）を説明変数として、50mメッシュ旬平均最低温位推定式を作成した。そして、各巡回調査地点の地形因子と作成した推定式を用いて、旬平均最低温位を推定し、さらに標高から気温に変換した。

d いもち病危険度分類

いもち病の危険度に応じた地域分類を行うため、まず、各メッシュにおけるいもち病平均発生程度の推定式を作成した。推定式は、穂の濡れ時間が短く、結露量の少ない地域ほど、いもち病の発生程度が低いと仮定し、日射量および最低気温の旬平均値を説明変数、そして巡回調査による平均発生程度を目的変数とする重回帰分析により作成した。

実際には、いもち病の発生は、日射量と最低気温以外の影響も受けることから、説明変数に対する目的変数のバラツキが大きくなる。そこで、このバラツキを小さくするため、重回帰分析に用いた変数は、平均発生程度によりランク分けしたときの、ランク毎の平均値とした。各ランクは、葉いもちの場合0.5刻み、穂いもちの場合1.0刻みで分けた。

作成した推定式により、マップ作成地域（第46図の白枠内）における、5mメッシュ毎のいもち病平均発生程度を推定した。

第37表 いもち病危険度分類基準

平均発生程度推定値	危険度
1.00	低
1.01 以上 2.99 以下	中
3.0 以上	高

いもち病危険度分類は、各メッシュにおける平均発生程度推定値の9年間（1993、1996～2003年）の平均値を求め、第37表の基準で行った。

危険度分類マップの解像度は、実用性を考慮して、5 mメッシュではなく、国土地理院の細密数値情報（土地利用）と同じ、10mメッシュとした。

(2) 結果

いもち病の平均発生程度と、積算日射量との関係を、日の出から1時間ごとに調査した結果、葉いもちは8月上旬、穂いもちは8月下旬における午前9時までの積算日射量を用いて分類するのが妥当と判断した。葉いもちおよび穂いもちの平均発生程度と午前9時までの積算日射量の旬平均値との関係を第47図に示す。

図のように、いもち病発生程度は、同じ日射量であっても、降水量や平均気温など日射以外の気象要素が異なるため、水田の調査年により差がある。また、日射量は三次のアメダスポイントでの推定値であるため、日射量推定値と気象条件が異なる場合もあり、日射量といもち被害との関係が表れてない年や時期があった。しかしながら、午前9時までの積

算日射量が、葉いもちについては1.5MJ/m²、穂いもちについては0.9MJ/m²以上であれば、いもち病の発生が認められないと判断できる。また、日射量といもち病発生程度との関係は、葉いもちよりも、穂いもちの方がデータのバラツキが大きい。これは、表面張力の違いから、同じ日射量であっても、表面に付着する水分は、穂表面よりも葉表面の方が蒸発しやすいためであると考えられる。

本手法による旬平均最低気温の推定精度検証のため、作成したメッシュ気温推定式を、モデル作成に用いた64地点以外の気温観測地点（20地点）に適用したところ、第48図のように、RMSE0.32℃の精度で推定された。第48図は、20地点における2004年および2005年の8月上・下旬の推定値と実測値である。

8月上・下旬における、午前9時の積算日射量および最低気温の旬平均値を説明変数とする重回帰分析の結果、葉いもち（式19）および穂いもち（式20）の平均発生程度の推定式が導かれた。そして、第37表の基準で、いもち病危険度地域マップを作成した。例として、葉いもち危険度マップを第49図に示す。

葉いもち平均発生程度（Linc）

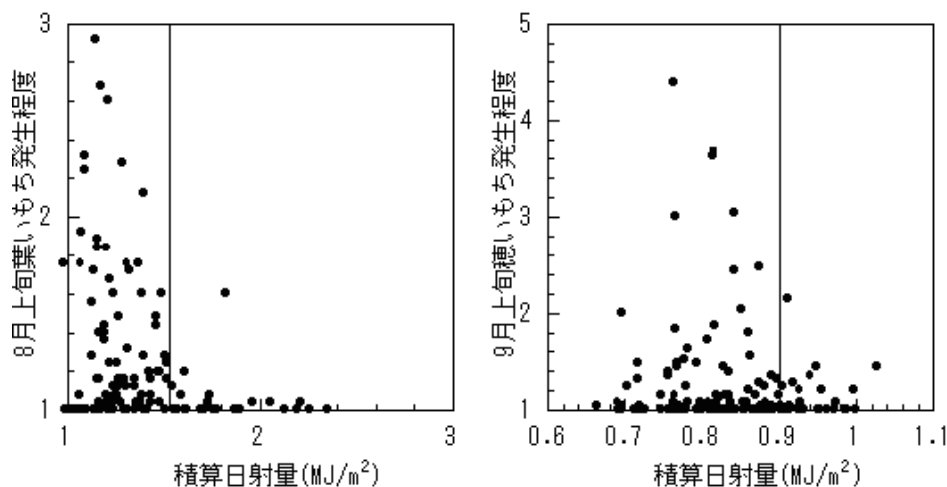
$$Linc = -4.743 \cdot SR - 0.119 \cdot Tmin + 11.913 \cdots (19)$$

$$R = 0.928$$

穂いもち平均発生程度（Pinc）

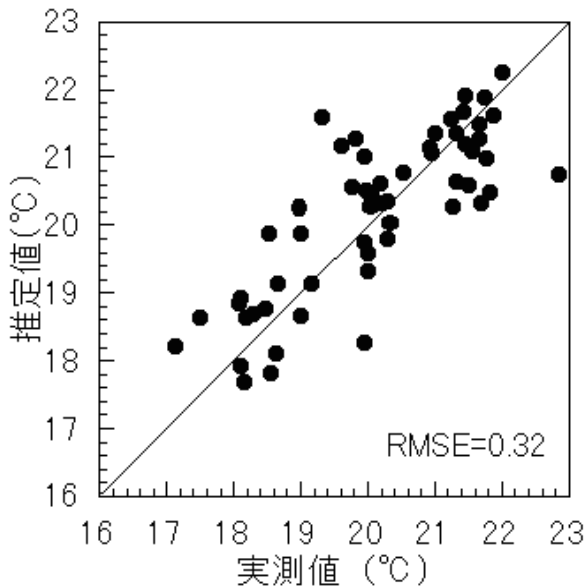
$$Pinc = -13.581 \cdot SR - 0.080 \cdot Tmin + 16.155 \cdots (20)$$

$$R = 0.998$$



第47図 日の出から午前9時までの積算日射量といもち病発生程度との関係

ここで、SR：旬平均積算日射量 (MJ/m^2)，Tmin：旬平均最低気温 ($^{\circ}\text{C}$) である。



第48図 旬平均最低気温推定結果



第49図 葉いもち危険度マップ

(3) 考察

本研究では、いもち病の発生危険度を、濡れ時間との関係を想定した2つの気象データのみから推定したが、実際の葉の濡れ時間には、湿度や風など、他の気象要素も影響をおよぼす。このことから、日射量と最低気温のみから、いもち病の発生程度を推定することには、難点があるかもしれない。しかしながら、本マップの作成目的は、2つの気象要素から、直接的に稲の濡れ時間やいもち病の発生被害程度を推定することではなく、地域におけるいもち病発生の傾向を評価することである。また、本評価は11年間の調査結果を平均化したものである。これらのことから、本研究の目的においては、最低気温と日射量のみでの分類でも十分であると考ええる。

稲の乾きやすさの指標の一つとして、日射量に注目したが、これは、日照時間でも代用可能かもしれない。しかし、蒸発という物理現象の指標としては、日射量を用いる方が適当であろう。さらに、天空率と密接に関わる散乱日射の要素を加味することで、日射量以外の影響、すなわち、谷や平地といった地形の差に起因する湿度差などが重回帰式に内包され、日照率を用いた場合よりも、評価値の信頼性は高くなる可能性がある。

最低気温の推定に用いたRCS値は、統計的手法で求めるため、短期間の推定では精度が劣る場合もある。しかし、推定結果の誤差(RMSE)の値は、許容できる程度であり、旬平均であれば、本手法の推定値は利用可能と判断される。ただし、本研究のように夏期の推定ではなく、春・秋・冬期における最低気温の推定精度は劣ると考えられる。なぜなら、日本の夏期は、湿潤で、放射冷却の強度は弱いいため、放射冷却の強度が、局所的な気温におよぼす影響は、他の時期よりも小さいためである。

また本研究では、調査地域における絶対湿度に差がないと仮定しているが、現実には異なる可能性がある。しかしながら、調査地域は、十数平方キロメートルの範囲内であり、また、旬平均値であることから、それほど大きな差は生じないと考えられる。これらのことから、最低気温は、結露量の傾向を示すための指標として利用可能と判断した。

いもち病危険度マップ作成において、危険度を3段階で分類したが、より細分化したマップが適当か

もしれない。しかし、巡回調査における平均発生程度の最大値は4以下であり、また本手法では、日射量と最低気温の2つのみを用いた、単純な分類であることから、これ以上の細分化の必要性は低く、3段階の分類が適当と判断した。

3) 中山間地域農業におけるメッシュ日射量図の利用指針

本研究より提言される、中山間地農業におけるメッシュ日射量図の利用指針を以下に示す。

- ①高温に弱く、遮光などによりハウス内温度を低下させることが必要な、夏どりホウレンソウなどの作目の栽培促進地域の判定に利用する。ただしハウス栽培では、土壌の種類により、地温だけでなく気温も大きく異なることを考慮する。
- ②いもち病の発生被害程度など、日射量と密接に関係する病虫害の危険度を評価し、休耕田や転作田の選定に利用する。
- ③中山間地域農業に利用するメッシュ日射量図のメッシュサイズは50mメッシュ図が最適である。ただし、日の出後数時間の評価を行う場合など、太陽高度が低い時間帯の日射量を把握するには、50mよりも解像度の高いメッシュ図を利用する。

V 中山間地域農業におけるメッシュ気象図利用への提言

本章では、本研究のとりまとめとして、メッシュ気象図の利用により、中山間地域の農業振興を実現するために目指すべき方向性について提言する。

多くの農家は、農地の生産性を高めるための情報収集に努めているが、地形が複雑な中山間地域においては、各農地の気象特性は大きく異なる場合があり、他の農地で有効な技術が、自分の農地にも適用可能かを判断することは難しい。そのため、個々の農地の生産性を高める上で、50mメッシュ気象図を用いて農地毎の気象特性を比較することは有効であろう。しかし、生産コストの低い諸外国との競争により、多くの農産物の価格は今後も低迷を続けるであろうことから、各々の農家の生産性向上だけを目的とした技術や施策には限界があると考えられる。なぜなら、新たに開発された生産技術が、どのような地

域においても導入可能な普遍的技術である限り、より低コストに栽培可能な地域にいずれ導入されるため、結局競争に勝つことは難しいからである。このため、中山間地域農業が将来的に存続するには、他地域には真似のできない、その地域特有の農業形態を作り上げる事が必要と考える。

中山間地のような複雑地形地域の特徴の一つは、同じ町村内に多様な気候が存在する事である。このため、地域の気候を固有の資源と考え、活用することが重要である。それには、個々の農地で生産性を高める事ではなく、地域全体を一つの農用地と考え、例えば従来よりも収益性の劣る農地があったとしても、地域全体で最も生産性の高い土地利用計画を策定し実践することである。そして、地域全体を一つの農用地として、メッシュ気象図を利用した、効率的で生産性の高い農業を実践するには、集落営農や営農組合等の組織的営農が適していると考える。

地域全体を一つの農用地とする農業の実践例として、効率的な少量多品目生産の実現が、メッシュ気象図の利用場面として考えられる。大規模大量生産が難しい中山間地では、苦肉の策として、少量多品目生産を選択している場合があるが、必ずしも、大規模生産に比べ、少量多品目生産が不利とは考えない。工業製品の製造現場では、従来のベルトコンベアによる流れ作業から、消費者ニーズに柔軟に適用できる、セル生産方式への移行が進んでいるが、これと同様に、低コスト大量生産ではなく、市場ニーズに柔軟に対応した生産を行う事で、中山間地域農業は、高い生産性を維持することが可能と考える。また、卸売市場だけを出荷先として考えるのではなく、加工から販売までを一貫して行う事で、より生産性の高い地域農業を展開できるであろう。

中山間地域における組織的営農を成功させる重要な要因は、地域特有の資源を的確に把握し、それを活用した他産地との差別化であると考えられるが、それには、本研究で示したように、メッシュ気象図の活用が有効である。さらに、気候だけでなく、その土地特有の文化、風俗等もまた、地域特有の資源であり、それら全てを有効に活用した農業形態と、それに適した農地整備や農村整備計画が中山間地域農業の活性化につながると考える。

これまで、中山間地域振興を目的として、様々な

施策が実施されてきたにも関わらず、現在中山間地域で営まれている農業の多くは、活力を失い続けている。これまでに実施された多くの試みが成果を上げることができなかった理由は、“中山間地域”という、実態の曖昧な概念に対して作り出された施策を、全ての地域に適用可能なものとして実践してきたことであると考えられる。しかし現実には、百の地域があれば、百の自然環境があり、そして、百の歴史・文化・風俗が存在し、全ての地域に適用可能な施策など存在しないはずである。真に有効な中山間地域農業の振興策を立案するためには、汎用的な施策の策定を目指すのではなく、各地域の特性に応じた施策を個別に立案しなければ意味がない。そしてそれには、地域特有の環境把握に有効なメッシュ気象図の利用が不可欠と考える。

Ⅵ 摘 要

メッシュ気象図を用いた中山間地域農業に関する研究が実施されてきた。しかし、中山間地域の複雑な気象環境が、メッシュ気象図により、農業現場において有効活用された事例は少ない。その理由として、既存のメッシュ図の気象値と実際の気象との関係が不明瞭なことが考えられる。さらに、中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用法が、ほとんど示されていない事も理由の一つと考えられる。

本研究では、中山間地域農業におけるメッシュ気象図の有効利用の促進を目的に、50mメッシュ気象図を作成して、中山間地域における気温と日射量の実態を詳細に調査した。さらに、異なる解像度のメッシュ気象図の定量的な比較を行い、中山間地域においてメッシュ気象図を利用する際に考慮すべき点を明らかとした。また、新しいメッシュ気温推定法および直達・散乱日射量の推定法を開発し、アメダスによる気温のメッシュ気候図の作成を可能にするとともに、メッシュ日射量図作成の簡便化を図った。そして、中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用指針を示すとともに、メッシュ気象図の利用に関する提言を行った。

1 中山間地域の気温分布の実態調査のため、旧岡山県御津郡加茂川町、島根県大田市、旧島根県邑

智郡邑智町において50mメッシュ気温図を作成した。このとき、メッシュ気温推定式作成のための重回帰分析では、推定精度向上のため、新たな説明変数として、水域度、傾斜の通過頻度を提案した。

本研究の結果、中山間地域の気温分布の実態として、以下のことが認められた。

- ①気象条件に関係なく、最高気温分布を決定する最大の要因は平均標高である。
 - ②夏期のように放射冷却の弱い時期の最低気温は、最高気温と同様の分布を示す。しかし、放射冷却の強まる時期は、局地気象に起因する開放度や標高差などの地形の複雑さが最低気温分布を決定するため、最低気温分布と最高気温分布は異なる。
 - ③大きな河川を有する谷底域の最低気温は、水系と谷地形の複合的な影響により、放射冷却の強い時期であっても高い。
 - ④平均気温は、最低気温と同様の分布を示す。しかし、逆転層の発達により最低気温が高い、高標高域の平均気温は、放射冷却の強い時期でも最低気温ほど高くない。
- 2 1 kmメッシュ気温図と、本研究で作成した50mメッシュ気温図とを比較し、中山間地域における1 kmメッシュ気温図の実用性を検証した。本研究の結果、最高気温分布、および放射冷却の強度が弱い時期における平均気温分布と最低気温分布の概要は、数十km²の範囲であれば、1 kmメッシュ図でも十分把握可能な事が明らかとなった。しかし中山間地域では、1 kmメッシュ内に大きな標高差と気温差が存在するため、1 kmメッシュ図の気温を農地に直接適用するには難点がある。また、放射冷却の強度が強い時期に発生する斜面温暖帯等の局地気象は、1 kmメッシュ気温図には十分に描かれていないため、数十km²の範囲であっても、最低気温の概要を把握することは、1 kmメッシュ図では不可能である。
- 3 放射冷却の強度を示す新しい気象尺度として、放射冷却強度指標（RCS：Radiative Cooling Scale）を提案し、RCS値を変数とする新しい気温推定法を開発した。本手法は、アメダスポイントのような既存の気象観測地点と任意地点との気温差を、RCS値を変数とする1次モデルを作

成することで、任意地点の気温を推定するものである。本手法を広島県北部の中山間地域に適用したところ、RMSE (Root Mean Square Error) 0.21Kの誤差で、任意地点の月平均気温が推定された。また、本手法を用いたアメダスに準じた気温の50mメッシュ気候図作成法を示すとともに、その利用法を提案した。

4 加茂川町における5～11月の直達・散乱日射量の観測値と50mメッシュの数値地形情報を用いて、50mメッシュ日射量図を作成し、中山間地域の日射量分布の実態を調査した。本研究の結果、太陽高度の低下にともない、日射量の地点間差は増大すること。そして、散乱日射割合の大きい地点は、天候の変化による日射量の増減が小さいことが明らかとなった。

5 5mメッシュと50mメッシュの数値地形情報による日射量推定値を比較した結果、50×50mの範囲においては、50mメッシュ図は、5mメッシュ図とほぼ同様の日射量推定値を示した。この結果から、斜面傾などごく限られた地点の日射量を評価する場合以外、1日の総日射量の評価には、50mメッシュの推定で十分であると判断された。しかし、太陽の日出没時刻に、数時間の差が生じることから、太陽高度の低い朝夕の日射量推定が必要な場合に限り、5mメッシュの地形情報による推定は有効と考えられた。

6 アメダス観測値から直達・散乱日射量の時別値を、簡便に推定する手法を開発した。開発した推定モデルは、日照率、水平面大気圏外日射量、降水量を説明変数とする、重回帰式で推定した大気透過率を用いて、直達日射量の時別値を推定する。そして、散乱日射量の時別値は、推定した直達日射量の無次元指標を用いて推定する。

7 メッシュ気候図と現地の聞き取り調査とから、ハクサイの作型分類を試みた。また、加温ハウスにおけるメッシュ気候図の利用指針を示すため、メッシュ気候図と栽培農家への聞き取り調査とから、バラ栽培ハウスの設置地点における気温と暖房燃料消費量との関係を調査した。これらのことから、中山間地域の多様な気温分布に則した作物立地配置および作型設定、そして栽培法の選択による、生産性の高い農業の実践が、中山間地域農

業においてメッシュ気候図を利用する際に目指すべき方向であると提案された。

8 土壌の違いによる、日射量と地気温差（地温と気温との差）との関係を調査した。さらに、メッシュ日射量図による病害対策として、日射量および最低気温の推定値といもち病被害との関係を調査した。これらのことから、高温に弱く、遮光などによりハウス内温度を低下させることが必要な、夏どりホウレンソウなどの作目の栽培促進が、中山間地域農業においてメッシュ日射量図を利用する際に目指すべき方向であると提案された。

9 メッシュ気候図の利用による、中山間地域農業の振興には、個々の農地を対象とした生産性向上策を図るのではなく、地域全体を一つの農用地と考え、従来よりも収益性の劣る農地があったとしても、地域全体で最も生産性の高い土地利用計画を策定し実践すること。そして、地域全体を一つの農用地として、メッシュ気候図による効率的で生産性の高い農業を実践するには、集落営農や営農組合等の組織的営農が適することが提言された。

謝 辞

本論文で実施した研究の幾つかは、独立行政法人中央農業総合研究センター農業気象災害研究チームの大原源二氏の示唆による。メッシュ気候図の作成方法および、現地観測の方法や観測データの解析等に関し、多くの点で御指導・御助言をいただいた。ここに深謝の意を表する。また、本研究におけるメッシュ日射量計算では、近畿中国四国農業研究センター暖地温暖化研究近中四サブチームの黒瀬義孝氏および筑波大学大学院生命環境科学研究科の林陽生教授から多くの御助言を頂いた。そして、近畿中国四国農業研究センター生産支援システム研究近中四サブチームの高橋英博氏には、GISおよび数値地図情報の処理方法に関して御指導・御助言を頂くとともに、職務作成プログラムを提供していただいた。

本研究を進める上で、多数のコンピュータープログラムを作成した。このプログラム作成にあたり、近畿中国四国農業研究センター生産支援システム研究近中四サブチーム吉田智一氏および中央農業総合研究センターデータマイニング研究チーム法隆大輔

氏には非常に多くの御助言を頂いた。また、生物系特定産業技術支援センターの清野豁氏には、調和解析法のプログラム作成において御指導頂いた。そして、近畿中国四国農業研究センター農業・農村のやすらぎ機能研究チーム網藤芳男氏には、統計ソフトSASの利用法を御指導頂いた。これら各氏にも深謝の意を表したい。

本研究では、中国中山間地域における複数の市町村で現地調査を実施したが、その際非常に多くの方々のお世話になった。独立行政法人農村工学研究所都市農村交流研究チームの山下裕作氏には、本研究を遂行するにあたり、多くの御助言を頂くとともに、現地調査において多大なる御尽力を賜った。また、島根県中山間地域研究センターの藤山浩氏には、島根県の調査において、多くの情報を御提供頂き、広島県病害虫防除所には、広島県備北地域のいもち病発生調査データの提供等で御協力頂いた。そして、岡山県加茂郡吉備中央町の柏原明人氏には、バラ栽培農家へのアンケート用紙の配布、回収に御尽力いただき、島根県邑智郡美郷町の浜原茶業組合長波多野康正氏には、調査地域における様々な情報を提供して頂いた。さらに、近畿中国四国農業研究センター研究支援センター業務第一科の佐藤良守氏、藤村一人氏、門田克史氏、そして福岡康治氏には、気温および日射量の観測で御尽力いただいた。これらの方々にも深謝の意を表したい。

最後に、本研究のとりまとめにおいて、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科清田信教授には、長期間にわたり全般的な御指導・御校閲を賜った。ここに深謝の意を表したい。また、同北宅善昭教授、小山修平教授からも適切な御助言と御校閲を賜った。そして、相賀一郎大阪府立大学名誉教授には、本研究を遂行する上で、多くの御助言を頂いた。これらの方々にも深謝の意を表したい。

本研究で実施した重回帰分析は、農林水産研究計算センターのSASにより実施した。またアメダスおよび気象台データは、農林水産研究情報センターの農学情報資源システムより取得した。

引用文献

- 1) Antonic, O., Marki, A. and Krizan, J. 2000. A global model for monthly mean hourly direct solar radiation, *Ecological Modelling* 129: 113-118.
- 2) 安部 章・林 勝實・山田芳文・佐藤 如 1991. メッシュ気候値を利用したダイコン、ブロッコリーの作型設定, 大分県農業技術センター研究報告21: 27-41.
- 3) Blennow, K 1998. Modeling minimum air temperature in partially and clear felled forests, *Agric. For. Meteorol.* 91: 223-235.
- 4) Blennow, K., Persson, P. 1998: Modeling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. *Agric. For. Meteorol.* 89: 59-71.
- 5) Bugler, J.W. 1977. The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation. *Solar Energy* 19: 477-491.
- 6) Bootsma, A. 1976. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain. *Agric. For. Met.* 16: 435-443.
- 7) Coops, N. C., Waring, R. H., Moncrieff, J. B. 2000. Estimating mean monthly incident solar radiation on horizontal and inclined slopes from mean monthly temperatures extremes, *INT. J. Biometeorol.* 44: 204-211.
- 8) Dodson, R., Marks, D. 1997. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *CLIMTATE RESEARCH* 8: 1-20.
- 9) Evans, T. P. and Winterhalder, B. 2000. Modified solar insolation as an agronomic factor in terraced environment. *Land degradation & Development* 11: 273-287.
- 10) Erbs, D. G., Klein, S. A., Duffie, J. A. 1982. ESTIMATION OF THE DIFFUSE RADIATION FRACTION FOR HOURLY, DAILY AND MONTHLY-AVERAGE GLOBAL RADIATION. *Solar Energy* 28(4): 293-302.
- 11) Flint, A. L. and Childs, S. W. 1987. Calculation of solar radiation in mountainous terrain.

- 1) Antonic, O., Marki, A. and Krizan, J. 2000. A

- Agric. For. Meteorol. 40: 233-249.
- 12) Gueymard, C. 1989. An atmospheric transmittance model for the calculation of the clear sky beam, diffuse and global photosynthetically active radiation. Agric. For. Meteorol. 45: 215-229.
- 13) 橋本 晃 1976: イネいもち病菌感染と水滴－結露計の試作とその応用－. 植物防疫第30巻第7号: 264-268.
- 14) 林 陽生・黒瀬義孝 1997. 中山間地域農業における250mメッシュ日射環境の分布の特徴. 地理学評論70(5): 307-320.
- 15) 芳賀敏郎・野澤昌弘・岸本淳司 1996. S A S による回帰分析. 東京大学出版会.
- 16) 堀内雅美 2000. バラ栽培, 経営面からみた国内産地の課題. 農業および園芸75(7): 773-777.
- 17) Iqbal, 1979. Correlation of average diffuse and beam radiation with hours of bright sunshine. Solar Energy 23: 169-173.
- 18) 紙井泰典・近森邦英・丸山利輔 1996. 時間全天日射量からの散乱日射量の推定. 農業土木学会論文集183: 41-46.
- 19) 河合 誠・内山泰行・皆川秀夫・他3名 2001. 青森県上十三地域における50mメッシュ気象値分布図の作成とその営農への利用. 日本農業気象学会耕地気象改善研究部会第22・23回研究会講演論文集: 23-26.
- 20) 気象庁 2001. 平年値, 統計期間1971年～2000年.
- 21) 気象庁 2002. メッシュ気候値2000解説. メッシュ気候値2000C D - R O M.
- 22) 小林哲男 1977. 中海北西沿岸, 本庄地域の気温について. 農業気象33(2): 61-66.
- 23) 小林哲夫・坂上 務・元田雄四郎 1983. 気温の小気候特性の年ごとの繰り返し度について. 農業気象39(2): 107-111.
- 24) 高阪宏行・岡部篤行編 1996. G I S ソースブック データソフトウエア応用事例, 古今書院.
- 25) 後藤純一 1987. 数値地形図を用いた地形分類. 高知大学農学部演習林報告14: 57-63.
- 26) 越水幸男 1983. AMeDASの利用による葉いもち発生予察システム. 植物防疫37(10): 454-457.
- 27) 越水幸男・林 孝 1984. アメダスの利用による葉いもち発生予察の適用範囲. 日植病報50(3): 383-384.
- 28) 栗原弘一・村上律雄 1982. 広島県メッシュ気候図(1) 1 km²メッシュ平均気温の推定. 研究時報34(1): 17-28.
- 29) 黒瀬義孝・真木太一 1988. 赤外線放射温度計による大麻山の斜面温暖帯の測定. 農業気象43(4): 275-283.
- 30) 黒瀬義孝・林 陽生 1993. 四国地域を対象にした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(1): 11-17.
- 31) 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(1): 9-15.
- 32) 黒瀬義孝・深石一夫・林 陽生 1998. 愛媛県大洲に発生する盆地霧の気候学的な特徴. 農業気象54(1): 13-21.
- 33) 黒瀬義孝・長田健二・大場和彦 1999. 数値地図50mメッシュを用いたポテンシャルな日射量分布の推定. 農業気象55(4): 315-322.
- 34) 黒瀬義孝・大場和彦・丸山篤志・真木太一 2002. 局地風「まつぼり風」の特徴とその農業被害. 農業気象58(2): 103-113.
- 35) Laughin, G. P., Kalma, J. D 1990. Frost risk mapping for landscape planning: A methodology. Ther.Appl.Climatol 42: 41-51.
- 36) Lookingbill, T. R., Urban, D.L. 2003. Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments. Agric. For. Met. 114: 141-151.
- 37) 真木太一・玉置巖彦 1986. 気象指標からみた四国傾斜地における野菜栽培の立地配置. 農業気象42: 239-247.
- 38) 真木太一・黒瀬義孝 1988. 寒候季に西条市神戸地域に吹く局地風アラセの特性とハウレンソウの適地判定. 四国農業試験場報告 51: 31-45.
- 39) 松村伸二・堀口郁夫・谷 宏・元木敏博 1988. 国土数値情報と衛星データを用いた霜害

- 危険地帯の検出について. 農業気象44 (2): 101-110.
- 40) 三澤勝衛 1952. 風土産業. 古今書院.
- 41) 水戸喜平 1987. バラの切花生産の現況と問題点 [4] - 生産技術と環境調節 -. 農業および園芸56 (8): 84-88.
- 42) 三浦健志・三野 徹・丸山利輔・四方田穆 1980. 傾斜地の日射量分布計算法 - 傾斜地における温度環境形成気候に関する研究 (I). 農業土木学会論文集88: 1-7.
- 43) 村上拓彦・寺岡行雄・今田盛生 2000. 国土地理院数値地図50mメッシュによる地形因子の算出とその精度の評価. 森林計画学会誌34 (1): 13-26.
- 44) 宮沢哲男・山下修二・野村典男 1980. 都市域の気温分布に与える小水体の影響. 水温の研究23 (6): 32-38.
- 45) 永田忠彦, 沢田康二 1978. 晴天空による水平面散乱日射の試算. 日本建築学会大会学術講演梗概集: 519-520.
- 46) 日本気象協会 1982. 昭和56年度サンシャイン計画委託調査研究成果報告書. 太陽エネルギーシステムの研究.
- 47) 二宮秀興・赤坂 裕・松尾 陽・曾我和弘 1997. AMeDASのデータを用いた時刻別日射量の推定法 第2報 回転式日照計および改良型太陽電池式日射系への適用. 空気調和・衛生工学会論文集No.65: 53-65.
- 48) 大原源二・藤森英樹・植山秀紀 1998. 局地の気温分布と野菜作付け適地の事例的検討. 日農気講要: 142-143.
- 49) 大原源二 1998. 世羅台地の気象資源とその活用. 地域資源活用アグリゾーン形成検討調査 (別冊: 課題別報告書), 中四国農政局計画部資源課: 1-34.
- 50) 大原源二 1999. 50mメッシュでの気温環境の推定とその農業利用. 日本農業気象学会局地気象研究会講演論文集第15号: 1-11.
- 51) 大原源二・吉田智一・高橋英博 2005. 露地野菜の栽培適地・適作期ならびに導入適品種判定法の開発. 農業および園芸80巻10号: 1071-1080.
- 52) Perez, R. R., Ineichen, P., Maxwell, E.L., Seals, R. D., Zelenka, A. 1992. Dynamic Global to Direct Conversion Models. ASHRAE Transactions Research Series: 154-168.
- 53) Rietveld, M. R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agricultural Meteorology19: 243-252.
- 54) Roderick, M. L. 1999. Estimating the diffuse component from daily and monthly measurements of global radiation. Agric.For. Meteorol. 95: 169-185.
- 55) 貞井慶三・藤原多見夫 1985. 広島県におけるメッシュ気候図によるカンキツの適地判定. 広島県果樹試験場研究報告11: 77-91.
- 56) 佐々木香織・菅谷 博・佐藤恵一 1997. 自然通シェルターの有効性 - 夜間弱風時の測定誤差について - 日本農業気象学会中国・四国支部会誌: 94-95.
- 57) 佐藤典人・岡田恭子・杉山 保・内藤次郎 1987. 谷方位の相違と気温の分布. 水利科学176: 39-58.
- 58) 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 (4): 379-383.
- 59) 清野 豁・内島善兵衛 1985. 複雑地形地 (阿蘇カルデラ) における太陽放射資源量の評価. 農業気象41 (3): 247-255.
- 60) 柴田和雄・内嶋善兵衛 1987. 日本分光学会測定法シリーズ15 太陽エネルギーの分布と測定. 学会出版センター.
- 61) 曾我和弘・赤坂 裕・二宮秀興 1998. 全日射量から直達日射量と天空日射量を推定する各種モデルの比較と評価. 日本建築学会計画系論文集第512号: 17-24.
- 62) 須藤健一 2000. 淡路島南部における50mメッシュ気温の推定と果樹類への適用. 近畿中国農業試験研究推進会議情報研究会資料. 中国農業試験場偏: 30-34.
- 63) 角野迪夫 1961. 宮城県の最低気温分布の推定について. 天気8. 7: 16-20.
- 64) 鈴木義則・佐藤正一・川尻桂合 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 (4): 289-295.

ンドスケープ研究61 (5): 731-736.

- 65) Svensson, M.K., Eliasson, I., Holmer, B. 2002. A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Goteborg urban area during the night. Clim.Res. 22: 215-226.
- 66) 田中夕美子・藤原滉一郎・小林大二 1983. 台地と谷すじの夜間冷却について (2) 地形による冷却過程の差異. 農業気象39 (3): 213-217.
- 67) 高山 成・早川誠而・河村宏明 1999. 霜害発生予察のための50mメッシュ地形情報を用いた局地的冷却現象. 農業気象55 (3): 235-246.
- 68) 坪井八十二 1986. 気象と農業生産. 養賢堂.
- 69) 植山秀紀・黒瀬義孝・下田星児 2005. アメダスによる霜害危険地域の推定. 中国四国の農業気象第18号: 10-13.
- 70) 宇田川光弘・木村健一 1978. 水平面全天日射量観測値よりの直達日射量の推定. 日本建築学会論文報告集 第267号: 83-90.
- 71) 上原由子・井本征史・酒井泰文 1988. 広島県におけるアメダスデータを利用したいもち病発生予察システム. 広島県立農業試験場報告第51号: 1-15.
- 72) 上原由子・清野 豁・原田昭彦 1989. 広島県における日照時間および日射量のメッシュ化について. 農業気象45 (3): 159-163.
- 73) 梅津敏彦・木村和則・中野憲司・ほか6名 1993. メッシュ気候値を活用した水稻適地区分 (1) 好適作期の策定と適地判定. 山形県立農業試験場研究報告27: 1-21.
- 74) 渡辺俊行・浦野良美・林 徹夫 1983. 水平面全天日射量の直散分離と斜面日射量の推定. 日本建築学会論文報告集第330号: 96-108.
- 75) 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.
- 76) 吉田作松・篠木誓一 1978. 日本における月平均全天日射量およびその年々の変動度のマップの作成. 天気25 (5): 61-75.
- 77) 横張 真・加藤好武・山本勝利 1998. 都市近郊水田の周辺市街地に対する気温低減効果. ラ

The Utilization of Mesh Meteorological Data Maps for Agricultural Activity in Hilly and Mountainous Area

Hideki UHEYAMA

Summary

Hilly and mountainous areas occupy approximately 70% of Japan, and the area of farmland in these regions is decreasing; these areas are defined as those from the outer plains to the mountains. The development of strategies for the revitalization of local agriculture in hilly and mountainous areas is therefore a significant problem in Japan.

Systematic agriculture is efficient in hilly and mountainous areas, and distribution maps are effective planning tools for evaluating the meteorological conditions for individual farms in those areas where farms are small and interspersed.

Public agricultural research centers in each prefecture of Japan have developed mesh meteorological data maps with some kilometers grid cell resolutions for local agriculture, and have been made many studies using mesh meteorological data maps. However, critical variations exist between estimated mesh data and actual meteorological condition within the area of each grid cell. To address this problem, methods of estimating air temperature and solar radiation on a 50m mesh (latitude 1.5" × longitude 2.25") were developed.

While many studies with mesh meteorological data maps have been made, numbers of concrete examples of utility for agricultural activity in hilly and mountainous areas have been few. This paper presents therefore some studies for utilization facilitated of mesh meteorological data maps in hilly and mountainous areas. And furthermore, it is proposed some guides to utilize mesh meteorological data maps for the purpose of revitalizing an agricultural activity in hilly and mountainous area with concrete examples. The summary in this study are as given below.

It was clarified the real states of air temperature distribution in hilly and mountainous area by means of a stepwise multiple regression analysis: a feature of maximum air temperature distribution was decided by mean elevation in the whole year; a feature of minimum air temperature distribution was decided by mean elevation in weaker season of radiative cooling intensity, but a feature in stronger season of radiative cooling intensity was decided by a degree of geographical complexity; minimum air temperature was comparatively high in valleys having large rivers even if stronger season of radiative cooling intensity; a feature of mean air temperature distribution was similar to a feature of minimum air temperature distribution.

It was clarified appropriate mesh resolution by comparison between air temperature maps on the 50m and 1km meshes. The features of both air temperature distributions of monthly maximum and monthly mean on the maps are similar in all seasons. Notably, the average difference between monthly air temperatures inside of the 1km mesh may be more over 3°C, since the area with a single mesh cell may contain more over 400m variation in elevation. The features of monthly minimum air temperature distributions on the 50m and 1km

meshes are dissimilar in stronger seasons of radiative cooling intensity at particular higher elevations but in weaker seasons of radiative cooling intensity features are similar. Then the thermal belt did not appear in the 1km mesh maps of minimum monthly air temperature at those times.

A new method is developed to estimate monthly mean air temperature using two different data sets: data measured over a short period at estimation sites, and data measured by the permanent meteorological observatory adjacent to estimation sites. The method developed involves estimating air temperature from the air temperature difference at an estimation site and at a permanent observation site. The air temperature is converted to potential temperature for compiling more accurate meteorological grid data estimated by a multiple regression analysis with the explanatory variates computed from the digital terrain model. Difference of the potential temperature is partitioned into two contributing factors: an impact degree influenced by radiative cooling intensity at the estimation site (T_{ESC}), and an impact degree influenced by radiative cooling intensity at the permanent observation site (T_{SSC}). A new meteorological scale “RCS (Radiative Cooling Scale)” proposed in the present study represents strength of the radiative cooling intensity determined from difference in potential temperature between an upper air pressure surface and the ground surface, since values of T_{ESC} and T_{SSC} are related to the strength of radiative cooling intensity. The RCS values in optional area is estimated by the multiple regression equation using three meteorological variables: the percentage of possible sunshine, daily range in temperature, and average nocturnal wind speed from UTC 1000 to 1200. The equation is formulated from observed data for 10 years (1990-1999) at Tateno aerological observatory in Ibaraki prefecture, Japan. The model used to estimate T_{ESC} is a linear expression that uses RCS as a variable. T_{SSC} is also correlated with RCS. However, the model used to estimate T_{SSC} is a multiple regression equation that uses similar explanatory variates as those used in the RCS model for more accuracy, since meteorological data is measured directly. Using the new method, it was estimated the root mean square error (RMSE) of monthly differences of the potential temperature in hilly areas to be 0.21 K.

It was clarified the real states of solar radiation distribution in hilly and mountainous areas using 50m mesh solar radiation maps. Amount of solar radiation on slope was increasing with declination of solar altitude. Amount of solar radiation on the 50m and 5m meshes was similar in hilly and mountainous area. However, possible sunshine duration on 50m meshes may be shorter three hours than on 5m meshes.

It was developed a new method for estimating daily, five-day, ten-day and monthly means of hourly direct and diffuse solar radiation to compiled mesh solar radiation maps more easily. The essence of the method is the estimation of two important factors related to solar radiation, atmospheric transmittance and a dimensionless parameter, using empirical and physical equations and data from general meteorological observation stations. This method estimated the RMSE (Root Mean Square Error) of hourly direct and diffuse solar radiation to be approximately $0.0 \sim 0.2 \text{ MJ}/\cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ for all mean period.

It was proposed some guides to utilize mesh meteorological data maps for agricultural activity in hilly and mountainous area with concrete examples: estimation of variety of air temperature existing in hilly and mountainous areas; estimation of a relationship at greenhouse for rose cultivation between productivity and difference of minimum air temperature; estimation of properties of eight kinds of soil under equal amount of solar radiation; Developing of cartography of leaf blast disease occurrence risk map using meteorological data and patrol data.

It was proposed that effective utilization of meteorological variety in hilly and mountainous areas would be efficient to enhance agricultural productivity and to practice precise agricultural activity using Geographical Information System (GIS) with some local data detailed. The detailed assessing of meteorological condition in

target area is absolutely essential for effective utilization of meteorological variety and utilization of mesh meteorological data maps is an effective means for assessing areal meteorological condition. Systematic agriculture based on an idea which compares all farms existing in the whole area to one farm would be most appropriate agricultural form in hilly and mountainous areas.