

メッシュ気候値の利活用

清野 裕（農業環境技術研究所）

1. はじめに

地形図は仕事やレジャーのために広く利用されている。国土地理院から発行されている地形図には、25,000 分の 1 や 50,000 分の 1 地形図などいくつかの種類がある。これらの地形図は、国土に関する様々な情報（建物・道路・河川・山岳等の位置、標高、土地利用など）を文字や記号で表現している。従来、このような国土に関する情報は全て地形図あるいは空中写真という形で提供され、我々は視覚的にそれらの情報を理解してきた。

地形図 1 枚に含まれる情報量は極めて多い。人間の目は、必要とする情報を地形図から探し出すことは得意である。例えば、行きたい場所までの距離と方向、その場所の状況を地形図から直ちに把握することができる。このように、画像による情報は言葉や数字で表現すると膨大な量になる内容をコンパクトに表現できる上、直感的な認識や定性的な判断が容易であるなど多くの利点をもっている。

しかし、地形図や空中写真を用いて長さ、面積、高さなどの定量的情報を得ようとする場合には必ずしも便利ではない。また、特定の情報を集計・分類しようとする場合なども多くの労力を要する。一部の定量的データは数票や統計書に収録されているが、多くの場合行政区画単位であったり、定点情報であったりするため、国土の詳細な地域分析には使えないことが多い。そのような目的のためには、地形図をコンピュータで利用できるように数値化することが必要となってくる。

昭和 50 年代になるとコンピュータ等の情報技術が進歩して、コンピュータによる地図作成技術が飛躍的に進歩した。それと同時に、地図上に盛り込まれた様々な情報を数値化できるようになった。こうして国土地理院発行の地形図が数値化され、国土数値情報が作成された。これらは数値地図と呼ばれることもある。

この時、日本全体に緯度経度に沿った網の目（メッシュ）をかけて位置を表す方法がとられ、その網の目の一つ一つの中に含まれる国土情報が数値化されるようになった。従って、そのようにして作られたデータをメッシュデータと呼んでいる。

最初に作られた国土に関するメッシュデータは、標高、土地利用、地形、地質などであった。これらは約 1km² の面積のメッシュを基本単位として作成されている。そして、国土数値情報を基礎データとして、各メッシュにおける気候値（気温、降水量など）を推定したデータが作成された。メッシュ単位で作成された気候データを「メッシュ気候値」と呼ぶ。

広島県が気象庁の協力のもとで作成したメッシュ気候図（広島県・気象庁、1982）は、従来の等値線を用いた気候図を見慣れたものにとって大きな驚きであった。それ以来、岩手、山形、和歌山、宮城、福島、千葉、長野、岡山、山口、福岡、長崎、大分、熊本、鹿児島等の県でメッシュ気候図が相次いで作成されている。また、気象庁はメッシュ気候図の手法を全国に広げ、気温と降水量の全国メッシュ気候値を作成した（気象庁、1986, 1988）。

本小文では、国土数値情報と、それを基に作成されたメッシュ気候値について解説し、さらにアメダスデータとメッシュ気候値を用いて日別の気象要素の分布をメッシュ単位で推定す

る「アメダスデータのメッシュ化」を中心に、メッシュ気候値の利活用について紹介する。

2. 国土数値情報の位置情報

メッシュ気候値を始めとする国土数値情報では、一定の経線・緯線で地域を網の目状に区画し、位置情報を表現する「標準地域メッシュ体系」をとっている。そして、その位置における様々な情報が、一定の形式で数値化・符号化されている。この位置情報は、メッシュ気候値の利用を図るうえで重要な要素であるので、「標準地域メッシュ体系」についてふれてみたい。

標準地域メッシュには次の三つがあり、第一次地域区画で大きく位置を設定し、その中を第二次地域区画、第三次地域区画に区分する方式をとっている。

1 第一次地域区画（一次メッシュ）

経度差1度、緯度差40分の区画で、日本の中央付近で約80km×80kmの面積となる。国土地理院発行の20万分の1地形図に相当する。

2 第二次地域区画（二次メッシュ）

第一次地域区画を縦横8等分したもので、日本の中央付近で約10km×10kmとなる。国土地理院発行の2万5000分の1地形図に相当する。

3 第三次地域区画（三次メッシュ）

第二次地域区画を縦横10等分したもので、日本の中央付近で約1km×1kmである。一般にこの区画を「基準地域メッシュ」あるいは「三次メッシュ」と呼ぶ。日本全国は約386,400個の基準地域メッシュで覆われる。

この方法では一つのメッシュの大きさが緯度によって異なる。つまり、低緯度（南）に位置するメッシュの面積は大きく、高緯度（北）に位置するメッシュほど小さくなる。ちなみに、札幌における一つのメッシュの面積は鹿児島に比べ約16%少ない。しかし、位置に関する情報（緯度・経度）はどの場所でも正確に取ることができる。各緯度帯における三次メッシュの大きさを表1に示した。

一次メッシュでは、緯度方向は40分ずつ変化するので、日本付近では32度00分、32度40分、33度20分、34度00分のようになる。また、経度方向は60分ずつ変化するので、131度00分、132度00分、133度00分のようになる。一次メッシュの位置は、そのメッシュの南西端の緯度経度で表現

し、緯度を1.5倍して整数化し、経度から100を引いてコード化する。従って、図1上のメッシュAの位置情報（メッシュコード）は次のようになる。

表1 三次メッシュの大きさ

地形図	メッシュコード	縦 (km)	横 (km)	面積 (km ²)
宗谷岬	684127	0.926	0.976	0.903
札幌	644142	0.925	1.018	0.942
水沢	584151	0.925	1.080	0.999
東京首都	533946	0.924	1.131	1.045
熊本	493015	0.924	1.171	1.082
枕崎	463072	0.924	1.190	1.099
与論島	402843	0.923	1.240	1.144
西表島	362306	0.923	1.271	1.173

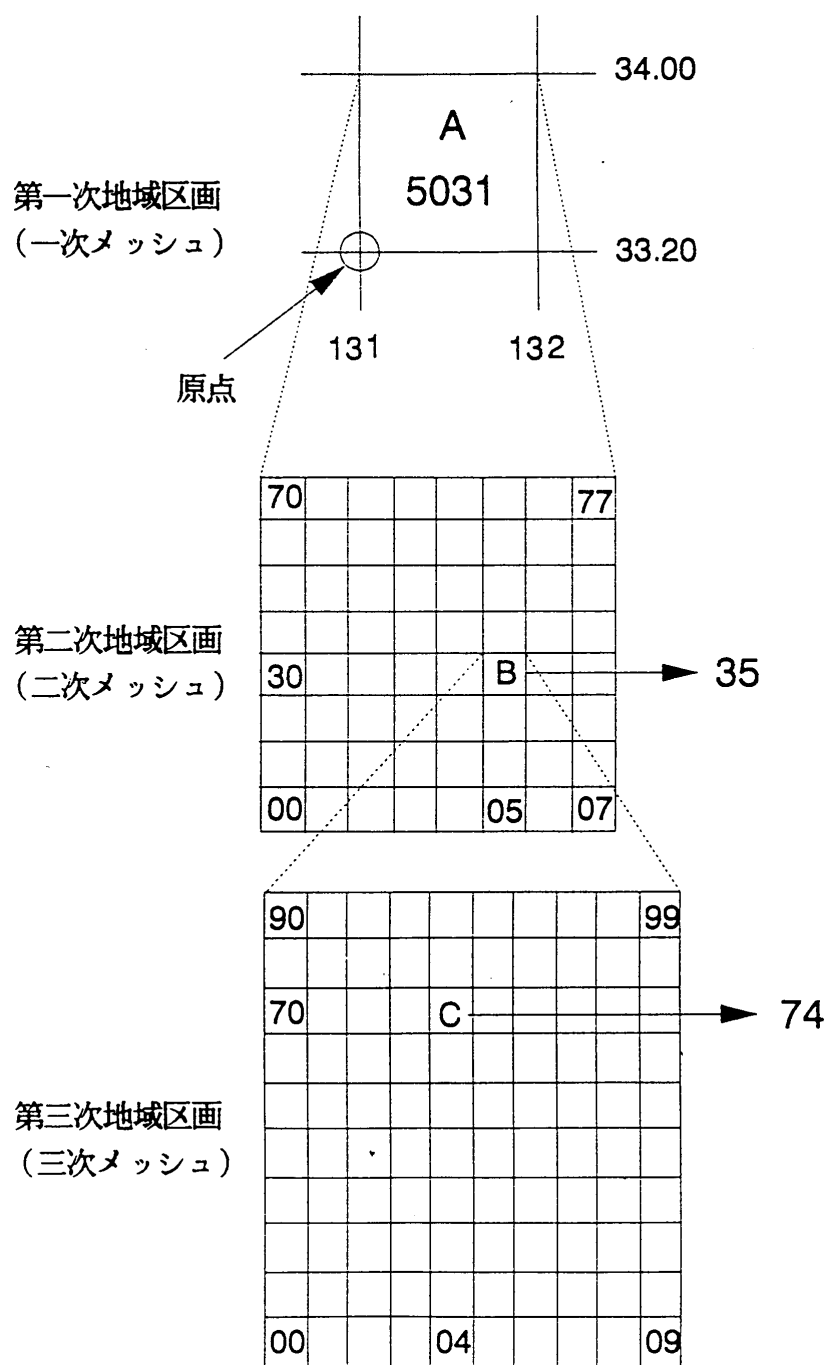


図 1 地域区画とメッシュコードの関係

緯度方向のコード： $33 \text{ 度 } 20 \text{ 分} \times 1.5 = 50$

経度方向のコード： $131 \text{ 度 } 00 \text{ 分} - 100 = 31$

一次メッシュコード： $50 \times 100 + 31 = 5031$

すなわち、「5031」が一次メッシュコードである。

二次メッシュでは一次メッシュを縦横に 8 等分し、縦横に南西端から順に 0 から 7 の数字を割り振る。先の一次メッシュの中の、南西端から北方向へ 4 番目、東方向へ 6 番目のメッシュ

(図1中のB)の二次コードは次のようになる。

緯度方向のコード： $4-1=3$

経度方向のコード： $6-1=5$

(1を引くのは番号が0から割り振られているため)

二次メッシュコード： $3 \times 10 + 5 = 35$

すなわち、この二次メッシュのコードは「503135」となる。

三次メッシュでは二次メッシュを縦横に10等分し、縦横に南西端から順に0から9の数字を割り振る。先の二次メッシュの中の、南西端から北方向へ8番目、東方向へ5番目のメッシュ(図1下のC)の三次コードは次のようになる。

緯度方向のコード： $8-1=7$

経度方向のコード： $5-1=4$

(1を引くのは番号が0から割り振られているため)

三次メッシュコード： $7 \times 10 + 4 = 74$

すなわち、この三次メッシュのコードは「50313574」となる。

この8桁の数値が三次メッシュの位置を表すメッシュコードである。国土数値情報やメッシュ気候値は共通のメッシュコードを使用しており、異なるデータの位置合わせが容易にできるようになっている。

上記の標準地域メッシュ体系が理解できれば、メッシュコードが与えられたとき容易にその位置を計算することができる。ここでは、メッシュ気候値をコンピュータの画面上に出力し、メッシュ気候図を作成する方法を紹介する。

コンピュータで位置の計算をするときは、緯度経度を秒単位に変換して処理するほうが楽である。与えられたメッシュコードが「65434761」であるとしよう。これより、緯度に関する情報は「65434761」(アンダーライン部)である。一次メッシュは40分(2400秒)刻み、二次メッシュは5分(300秒)刻み、三次メッシュは30秒刻みであるから、この場合の緯度は次のようになる。

$$65 \times 2400 + 4 \times 300 + 6 \times 30 = 157380 \text{ (秒)}$$

また、経度に関する情報は「65434761」(アンダーライン部)である。一次メッシュは60分(3600秒)刻み、二次メッシュは7.5分(450秒)刻み、三次メッシュは45秒刻みであるから、この場合の経度は次のようになる。

$$43 \times 3600 + 7 \times 450 + 1 \times 45 = 157995 \text{ (秒)}$$

実際の経度は上記の値に100度をたしたものであるが、日本付近のみを対象とする場合このままで処理できる。

コンピュータの画面上にメッシュを描く場合は、表示領域の原点と画面上の原点をあらかじめ決めておき、上記緯度経度と表示領域の原点との差をとる。表示領域の原点を、北緯 43 度 20 分、東経 143 度 00 分にとれば、原点の秒単位の緯度経度は次のようになる。

緯度： $43 \times 3600 + 20 \times 60 = 156000$ （秒）

経度： $(143 - 100) \times 3600 = 154800$ （秒）

与えられたメッシュと原点との差をとると、

緯度方向： $157380 - 156000 = 1380$ （秒）

経度方向： $157995 - 154800 = 3195$ （秒）

となる。いま、画面上の原点を左下にとり、1 メッシュを緯度方向（Y 方向）3 ドット、経度方向（X 方向）4 ドットで表すとすると、画面上の座標 (X,Y) は次のように計算される。

X 座標： $\text{INT}(3195/45) \times 4 = 284$

Y 座標： $399 - \text{INT}(1380/30) \times 3 = 261$

ここで、INT は整数化（小数点以下切り捨て）を行なう関数である。これより、与えられたメッシュの南西端の位置は画面上では (284, 261) となる。この位置より、X 方向に 4 ドット、Y 方向に 3 ドットのボックスを描くと、与えられたメッシュを表現できる。

LINE (284,261)-(284+3,261-2),IC,BF

ここで、IC は任意のカラーコードである。BF は一メッシュ内を塗りつぶして表示させる命令である。

表 1 に示すように、三次メッシュの大きさは、東京（北緯 35 度 40 分）付近で、緯度方向 924m、経度方向 1,131m である。縦横の比率は約 5:6 となる。これをコンピュータの画面上で表現する時、縦横同じドット数で表現すると、縦方向（緯度方向）に間延びした地図ができる。これを避けるには、実際の縦横の比率に近いドット数を選ぶのがよい。上記の例では縦と横の比率を 3:4 としている。これによって実際のイメージに近い分布図が得られる。

3. メッシュデータの概要

メッシュデータは印刷された地形図とは異なり、磁気テープに収められた数値情報である。そのデータは数字の羅列であり、地形図のように視覚的に理解できるものではない。このデータはコンピュータ処理が可能で、さまざまな分野での利用が飛躍的に増大しつつある。現在、利用可能な国土数値情報（メッシュデータ）には次のようなものがある。

- 標高（平均、最高、最低、250m 格子点標高値など）
約 1km² のメッシュ内の 250m 間隔で読み取られた標高データと、それらの中の最高値と最低値および平均値が数値データとして与えられている。

- 土地利用面積・市町村コード（水田、畑地、樹園地、森林、荒地などの面積）
約 1km²のメッシュ内の土地利用面積が市町村コードと共に書き込まれている。
- 表層地質、土壌分類
約 1km²メッシュ内の代表的な地質・土壌名がコードで書き込まれている。
- 行政区界コード
市町村および都道府県の境界線、および海岸線の位置を示すデータである。
- 道路、河川、鉄道の位置
- その他国土に関する情報
- 気候値（気温、降水量、積雪、日射量、風 力、水力など）

4. メッシュ気候値の作成方法

メッシュ気候値は約 1km²のメッシュ単位で気候値（気温、降水量、日射量など）を計算した資料であり、30 年程度の期間の平均値である。これまでの地図上に作成された気候図とは異なり、磁気テープまたはフロッピーディスクに収録されており、コンピュータで読むことができる。近年の高度情報化社会においては、気象情報に対する要望も多様化し、各分野における諸計画や設計施工などに詳細な気象・気候データが利用されるようになってきた。このようなことを背景として、現在までに開発され、利用可能なメッシュ気候値を表 2 に示した。

表 2 開発済みのメッシュ気候値

対象要素	対象地域	作成機関（予算）
積雪	新潟県、秋田県	気象庁（科学技術庁特別研究促進調整費）
風力エネルギー	全国（沖縄県を除く）	農業環境技術研究所（グリーンエネルギー計画）
水力エネルギー	全国（沖縄県を除く）	農業環境技術研究所（グリーンエネルギー計画）
日射エネルギー	全国（沖縄県を除く）	農業環境技術研究所（グリーンエネルギー計画）
降水量	全国	気象庁（国土庁国土計画基礎調査費）
平均気温	全国	気象庁（国土庁国土計画基礎調査費）
最高気温	全国	気象庁（国土庁国土計画基礎調査費）
最低気温	全国	気象庁（国土庁国土計画基礎調査費）

メッシュ気候値は、気候値としての単独利用はもちろん、その他の国土数値情報と組み合わせることによって利用価値はさらに高まる応用範囲の非常に広い資料である。農業分野における利用も始まったばかりであり、今後の発展が期待されている。

メッシュ気候値は、国土数値情報の標高データと気候観測所の気温や降水量の平年値を用いて作成されている。メッシュ気候値は約 1km²のメッシュ単位で作成されており、我が国全体を 386,400 個のメッシュで覆っている。しかし、気候観測点はこのような高密度では存在していないので、観測点のないメッシュの気候値は周囲の観測点の値から推定しなければならない。

このような推定手法は、未観測地点における気象・気候値推定に関する研究の延長上に位置づけられる。とくに、地形が複雑・急峻で、それに伴って気象変化が激しく、気候区が細分化される我が国においては、未観測点における気象・気候値を地形と結びつけて推定する方法の調査研究が古くから数多くなされてきた。しかし、これまでは推定原理はわかっている、それを定量化・定式化する際の多くの困難と、人手による地図の読み取り作業が事実上不可

能であるといった事情が障害となって、限られた一部の地域で推定が行なわれたにすぎなかった。

昭和 50 年代に入ると、国土庁の国土数値情報の一つとして整備された地形に関するメッシュデータの利用が可能となった。これと高性能の電子計算機が手軽に利用できるようになったことを契機として、未観測点における気象・気候値推定方式は計算機を利用した多重回帰式による方式に発展し、推定領域も県レベルから全国レベルにまで広がった。

多変量解析によるメッシュ気候値の作成に用いる資料は、観測地点の気候値（累年平均値）と地形因子であり、未観測地点の未知の量（気候値）を既知の量（地形因子）を用いて推定するものである。

ここで、求めようとする推定値が「気候値」であることが重要な点である。その理由は、地形条件は気象要素の分布に影響する重要な要因ではあるが、時間スケールの短い時・日・旬等の気象値の分布は、気圧配置、低気圧や前線の規模・経路等の気象学的因子に支配されることが多く、地形因子で説明できる部分が少なくなるからである。

地形の気候要素の分布に対する影響は複雑で、要素、場所、季節等によって異なってくる。そこで、気候要素との相関が高いと考えられる地形の特徴を地形因子として定義し、これらの地形因子と気候値との関係を次の重回帰式で表現する。

$$Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_nX_n \quad (1)$$

ここで、Y は求めようとする気候値、 $X_1 \sim X_n$ は地形因子でメッシュ標高データから作成される。 $a_0 \sim a_n$ は回帰係数である。

メッシュ気候値を算出するためによく用いられる地形因子は以下のようなものがある。

①該当メッシュの標高

該当メッシュの標高に関するデータを地形因子として使用する。用いられるのはメッシュ平均標高、起伏度（1 メッシュ内の 250m 間隔の格子点における最高標高と最低標高の差）等である。

②該当メッシュの周りの標高

該当メッシュを中心として東西南北に R 個のメッシュを拡大した正方形（1 辺は $2R+1$ メッシュ）を設定し、この拡大したメッシュの情報を使用する。これらの地形因子としては、以下のようなものがある。

平均高度： 正方形内の各メッシュの平均標高の平均値

標高差： 正方形内の各メッシュの平均標高の最大値と中心メッシュの平均標高との差

起伏度： 正方形内の周辺メッシュの平均標高の最大値と中心メッシュの平均標高との差

標高の RMS： 正方形内の全てのメッシュの平均標高と中心メッシュの平均標高との差から次式で求める。

$$RMS = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ \frac{(Z_0 - Z_j)^2}{n} \right\}} \quad (2)$$

ここで、 Z_0 は中心メッシュの平均標高、 Z_j はj番目のメッシュの平均標高、 n はメッシュ数である。

陸度：正方形内で平均標高が0m以上のメッシュの占める割合

海度：正方形内で平均標高が0mのメッシュ（海）の占める割合

方位別開放度：正方形の東西南北4辺の周辺メッシュで、中心メッシュの平均標高より・Hm低いメッシュ数の割合

開放度：正方形内で、中心メッシュの平均標高より・Hm低いメッシュの総メッシュ数に対する割合

方位別勾配量：正方形の周辺メッシュで、中心メッシュから8方位のメッシュ8個の平均標高と、中心メッシュの平均標高との差をRで除した値

以上のような地形因子と気候値を用意して、それらを多変量解析することによって(1)式を月別に気候区分ごとに各月毎に作成し、メッシュ気候値を作成する。

この方法で重要なことは、気候区分に準拠して重回帰式の適用範囲を設定することである。複雑な地形に起因する気候特性の地域差の大きい我が国においては、上記の適用範囲の設定の適否が推定値の精度を大きく左右する。気象庁が全国のメッシュ気候値（気温）を作成したときは、全国を次の10の気候区に分けて重回帰式を作成している（気象庁、1988）。

①南西諸島、②九州、③四国・山陽・近畿、④山陰、⑤東海・関東、

⑥北陸、⑦東北東部、⑧東北西部、⑨北海道西部、⑩北海道東部

多変量解析によって得られた重回帰式の例を以下に示す（東海・関東地域の7月の最低気温の例）。

$$\begin{aligned} Y_T = & 46.0519 - 0.2472 * ZME - 0.0107 * VDS - 0.4148 * SLA - 0.2352 * SLO \\ & + 0.0039 * DSM - 0.2745 * ZMM + 0.0892 * ZDF - 0.0080 * RLD - 0.0035 * DEW1 \\ & - 0.0031 * DEE1 - 0.0025 * DEE2 + 0.0026 * DES2 - 0.0014 * GSW \\ & - 0.0019 * GNN \end{aligned}$$

ここで、使用された各地形因子は以下の通りである。

ZME：平均標高、VDS：谷密度、SLA：緯度、SLO：経度、DSM：海岸距離

ZMM：平均高度、ZDF：標高差、RLD：陸度、DEW1：西方向開放度

DEE1：東方向開放度1、DEE2：東方向開放度2、DES2：南方向開放度2

GSW：南西方向勾配量、GNN：北方向勾配量

得られた重回帰式の適用性と精度を検証するには、まず基礎資料として整備した観測地点の気候値（実測値）を解析に用いるデータ（従属資料）と検証のみに用いるデータ（独立資

料)に区分しておき、従属資料によって重回帰式を求める。

次に、この式を用いて解析用データの残差分布と、解析に関与しなかった(重回帰式作成に使用しなかった)検証用データの残差分布が、同一母集団に属するものと考えられるかどうかを検討する。そして重回帰式の従属資料への適用結果と独立資料への適用結果との間に有為な差のないことを確認した上で、最終的な推定式として使用する。

非常に精度のよい重回帰式が得られても、回帰推定値が実測値と完全に一致することはない。つまり、残差は依然として残っており、任意地点(メッシュ)の気候値を推定しても残差に相当する誤差(推定誤差)が含まれていることになる。そこで、メッシュ気候値を作成する過程においては、各メッシュの回帰推定値にそれぞれのメッシュの推定誤差(周辺の観測地点メッシュの残差より求める)で補正を施して、最終的な推定値としている。メッシュ気候値の誤差は、平均気温で ± 0.5 、最高・最低気温では $\pm 0.7 \sim 0.8$ といわれている。

気象庁の作成したメッシュ気候値は、全国を 1km^2 メッシュという非常に細かい単位で、しかも一定の方法で求めた均質かつ一定レベルの精度を持つ定量的データであり、未観測地点に関しては現状で考えられる最高品質の気候値ということができる。もちろん、各県単位で作成されたメッシュ気候値についても同様のことが言える。

しかしながら、メッシュ気候値は従来の観測所の気候値とは異なり、統計的解析方法を用いて地形因子から間接的に求めた推定値であり、推定の誤差を伴っている。また、観測所が低い標高に集中しているため(北へいくほどこの傾向が強い)、観測所標高の分布範囲を越えるような標高の高いメッシュに関しては、推定精度の低下が考えられる。また、メッシュ気候値はメッシュの平均標高における値であり、かつ 1km^2 メッシュ単位に平滑化された地形因子が推定の基礎となっているので、メッシュ平均標高から著しくかけ離れた高い(あるいは低い)場所や、 1km^2 より小規模の地形の影響を受けやすい条件の場所では、さらに大きな差が見込まれることを考慮する必要がある。

5. メッシュ気候値の利用法

メッシュ気候値は、先に述べたように、月集計値(気温の場合は月平均値、降水量は月合計値)の平年値データである。このまま利用すれば、月別値を用いたメッシュ気候図を作成することができる。しかし、メッシュ気候値が提供する月別値だけでは農業場面への利用は限られてしまう。一般に、農業場面への利用を図るには日、半旬あるいは旬の統計値が必要になる。

気温については、調和解析法により日別値に変換することができる。調和解析法は気温の月別平年値を用いて日別平年値を計算するために気象庁が開発した手法である。これは、気温周期が1年 $\sim 1/6$ 年の6個の正弦波の和で表せるものと仮定している。調和解析法を用いて求められる日平均気温は、長期間の日平均気温の平均値にほぼ等しい値を与える。

3~7月:

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \left\{ \frac{2\pi k(j+16)}{365} \right\} \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \left\{ \frac{2\pi k(j+16)}{n} \right\} \right]$$

8～2月：

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \left\{ \frac{2\pi k(j+15)}{365} \right\} \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \left\{ \frac{2\pi k(j+15)}{365} \right\} \right]$$

ここで、

$$B_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} T_{m,i}$$

$$B_k = \frac{2}{12} \sum_{i=1}^{12} \left\{ T_{m,i} \cos \left(\frac{2\pi i k}{12} \right) \right\} \quad (k=1 \sim 5)$$

$$R_c = 0$$

$$C_k = \frac{2}{12} \sum_{i=1}^{12} \left\{ T_{m,i} \sin \left(\frac{2\pi i k}{12} \right) \right\}$$

ここで、 $T_{m,i}$ は月平均気温、 j は1月1日からの通算日数である。

調和解析法を用いて求められる日別気温平年値は、長期間（30年程度）の日別気温の平均値にほぼ近い値を与える。広島県における調査結果（河野ら、1984）によれば、調和解析法による日平均気温と日別平均気温の長期平均値との差は0.2～0.3の範囲にあり、日別平均気温の平年値として使用しても差し支えない。また、調和解析法は平均気温のみならず最高・最低気温についても適用できる。ただし、平均化の期間が短いデータを調和解析すると実際の値と合わないこともあるので、注意が必要である。

メッシュ気候値を日別平年値に変換すると、例えば、次のようなことを行なうことが可能である。

- 1) 特定の気温の出現の初日・終日、初終間日数などの季節の統計の作成
- 2) 任意期間の積算値の統計の作成
- 3) 半旬・旬の統計値の作成
- 4) 平年の気候状態における作物の生育状況の把握、適地判定
- 5) 最低気温メッシュ気候値と霜害発生事例資料を用いた霜害発生危険地域のメッシュ図作成

さらに、その他のデータ、例えば土壌データと組み合わせることによって、気候と土壌条件の両面から作物の平年状態における適地判定などを行なうことができる。

6. アメダス気温実況値のメッシュ展開

6.1 方法

前節に説明したメッシュ気候値は、月別値あるいは日別値のいずれを用いても平年値であるから、平年の状態での作物の生育状況は把握できる。しかし、ある特定の年における気象状態がメッシュ単位で得られれば、より詳細な生育状況の把握が可能となる。

そのような目的のために、メッシュ気候値（平均・最高・最低気温）とアメダス気温実況値を組み合わせ、各メッシュごとの気温実況値を推定する試みが行なわれてきた（森ら、1984；清野、1990）。これをアメダス気温データのメッシュ化という。

アメダス気温実況値をメッシュ化する方法として、次の二つがあげられる。

1) 地形因子を用いた重回帰法

メッシュ気候値（平年値）を求める時と同様に、標高や開放度等の地形因子を説明変数として各メッシュの気温を推定する方法である。

2) 平年差の距離重みづけ法

アメダス観測点の平年値と観測値との差（平年差）を求め、これを距離の逆数で重みづけを行い各メッシュの気温を推定する方法である。

上記二つの方法の推定精度はそれほど違わないと言われているが、1)の方法は予め国土数値情報を用いて地形因子を用意し、重回帰式を求めておく必要がある。メッシュ気候値の推定方法で述べたように、重回帰式の決定にはかなりの労力を要する。しかし、メッシュ気候値を必要としない。

これに対し、2)の方法はメッシュ気候値を基礎データとするが、プログラムおよび計算は容易である。そのため、一般には2)の方法が用いられている。以下に、「平年差の距離重み付け法」を用いて作成された著者のプログラム（清野、1993）を例に、本方法の考え方を説明する。

この方法では、以下の手順でメッシュの実況値を推定する。

- 1 推定しようとするメッシュの周りに存在するアメダス観測点の気温実況値と平年値との差（平年差）を求める。
- 2 その差をメッシュと観測点間の距離の逆数で重みづけを行なって内挿する。
- 3 対象メッシュの日別平年値に平年差を加えて、メッシュの実況値とする。

この時、アメダス観測点とメッシュの日別平年値は、観測点が含まれるメッシュおよび該当メッシュのメッシュ気候値を調和解析して日別変換された値を用いる。一般に、アメダス観測点標高とメッシュ平均標高との間には差があるので、標高差補正を行う。図2に、この考え方の模式図を示している。式で表せば次のようになる。

$$d_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{T_j - A_j}{R_j} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)} \quad (3)$$

ここで、 d_0 は対象メッシュの平年差、 T_j はj番目のアメダス観測点の気温実況値、 A_j はj番目のアメダス観測点の気温の平年値、 R_j は対象メッシュからj番目のアメダス観測点までの距離である。nは推定に使用するアメダス観測点の数である。

推定に使用するアメダス観測点は4～6点、距離にして約30km以内の観測点を使用した時が最も精度が高く、これより多くても推定精度は向上しないことがわかっている。本プログラムでは、対象とするメッシュから半径30kmの円内にあるアメダス観測点を選び、推定に使用する。一般に、内陸部ではnの数は4～5となるが、海岸部や県境付近ではnは3以下となることもある。この場合、プログラム内ではnは最小で3、最大で5となるよう設定されている。

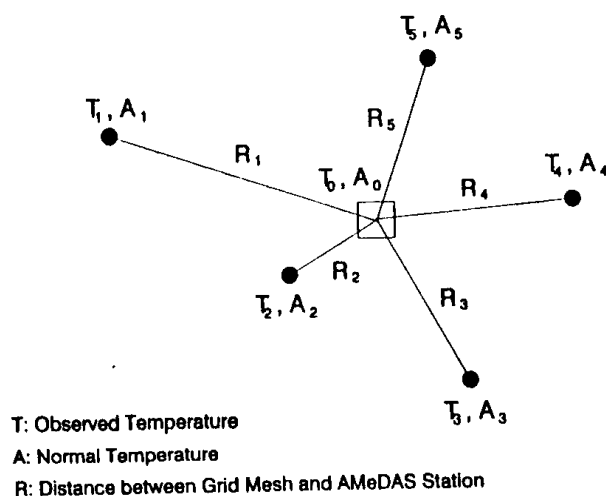


図2 平年差の距離重み付け法の概念図(清野, 1993)

また、アメダスデータにはしばしば欠測が生じる。この場合、欠測となったアメダス地点は平年差の推定に使用できないことになる。プログラム中では、欠測が現われた場合は、欠測でない残りの観測点を用いて平年差を推定するようになっている。平年差の推定に使用する周りの全観測点が欠測であった場合は、そのメッシュのその日の平年値が埋められる。これは、他に推定の方法がないためであるが、平年差の推定に使用する周りの全観測点が欠測になることは非常にまれである。

こうして求められた対象メッシュの日別気温の平年差 (d_0) にそのメッシュの日別気温平年値 (A_0) を加えて、対象メッシュにおけるその日の気温とする。

$$T_0 = d_0 + A_0 \quad (4)$$

(3)、(4)式は、各アメダス観測点の実況値と平年値との差をとって、その平年差を内挿し、対象メッシュの気温実況値を推定している。なぜ、このような間接的な推定を行なうのであろうか。実況値をそのまま内挿して求めれば、計算も容易でメッシュ気候値も不必要ではないかと思われるかも知れない。これは次のような理由による。

メッシュ気候値の説明のところで述べたように、気温の分布は地形の影響を非常に強く受ける。我が国のように地形が複雑に変化しているところではなおさらである。気温の分布に対する地形の影響の程度は、平均化を行なう時間単位が長いほど大きくなる。従って、30年程度の長期間の平均値である気候値を地形条件（地形因子）から推定することができるのである。

いま問題にしている日別の気温の場合、気候値に比べれば小さいが、地形の影響を受けている。推定に使用するアメダス観測点の場所の地形条件は、それぞれの場所で異なっている。ある地点は平野部にあり、ある地点は台地上にあり、ある地点は盆地にあるかも知れない。このような地形条件の違いはその場所の気温に微妙に影響している。従って、これらの気温データは質の異なるデータであると考えられ、単純に内挿を行なうと推定誤差が大きくなってしまふ。それを避けるためにメッシュ気候値を利用する。

メッシュ気候値の気温データは、その場所の地形条件を考慮して作成されたものである。そして、アメダス気温実況値も、程度の差はあれ、その場所の地形条件の影響を受けて決まった

ものである。(3)式に示すように、両者の差（平年差）をとることで地形の影響を取り除くことができる。もちろん、日別気温は気候値に比べ地形の影響の程度が小さいので、求められる平年差は地形の影響が完全には取り去られてはいない。しかし、実況値どうしを使って内挿するのに比べれば、はるかに質のそろったデータになっているので、推定精度が向上する。

また、(3)式では距離の逆数の重み付けという方法を使っている。これは、推定に用いる観測点全てが同じように影響するのではなく、より近くの観測点の影響は大きく、遠く離れた地点の影響は小さくなるようにしたものである。このような内挿法は、気温のように変化が連続的な現象に適用できる。

6.2 推定誤差の検討

「平年差の距離重み付け法」を用いてアメダス気温データのメッシュ化を行なった場合の推定誤差がどのくらいであるかを知っておくことは、その後の利用を考える上で重要である。

推定誤差は、メッシュ化に用いるアメダス地点以外の気象観測点、例えば小・中学校、消防署、農業試験場等で観測されている気象データを使って、それらの観測点が含まれるメッシュの推定値と比較して見積もることができる。

しかし、これらの気象観測点における観測方法はアメダスの観測方法と一致しないことが多い。例えば、アメダスでは日平均気温は24回の毎正時のデータを平均しているが、上記のような観測点では、最高気温と最低気温の平均値であったりする。このような状況で両者を比較すると、その差は $\pm 2 \sim 3$ に達する場合もある。

また、一般に気象庁以外の気象観測点では、測器の更新や検定が不十分である場合もあり、そのような場合のデータの信頼性は必ずしも高いとはいえない。従って、気象庁の気象観測点以外のデータを検証用を使用するときには十分な注意が必要である。

著者のプログラムでは、メッシュ化と同じ手法を用いて各アメダス観測点を順次マスクし、マスクされた観測点の気象値を周りの観測点から推定し、実測値と比較するという方法をとっている。この方法では気象観測点の観測精度を問題にする必要はなくなるが、アメダス観測点を順次マスクするため、推定距離がやや長くなってしまう。

推定誤差の評価は、推定された値と実況値を比較して得られる推定誤差の平方和の平方根(Root Mean Square Error、RMSE)を用いて行なう。RMSEは次式で計算する。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_{e,j} - Y_{o,j})^2}{n}} \quad (5)$$

上記の方法を用いて、最高気温、最低気温、平均気温の推定精度の検討を行なった結果を図3と図4の左に示す(清野、1993)。図3～4は、平坦部の多い北海道十勝支庁と山間地の多い長野県を対象に行われた結果である。

図左に示される気温のRMSEは、平坦部の多い十勝支庁で小さく、山間地の多い長野県で大きくなっている。日別でみた平均気温と最低気温のRMSEは、両地域とも冬季に大きく春季から秋季にかけては小さくなる季節変化を示した。最高気温のRMSEは十勝では5～8月に

かけて大きく、長野では11～4月にかけて大きくなった。

日別でみたRMSEの年間平均値は、平均気温で ± 0.83 、最高気温で $\pm 0.97 \sim 1.16$ 、最低気温で $\pm 1.34 \sim 1.48$ であった。平均気温に比べ、最高・最低気温の推定誤差が大きいのは、平均気温は毎正時の値の24回平均であるのに対し、最高・最低は毎正時の値そのものであるためである。また、最低気温の推定精度が悪いのは、最低気温の分布を決める要因が複雑であることを反映している。

推定誤差の地域的分布をみると、推定領域の中央部とくに平野部で小さく、山間部および推定領域の周辺部で大きくなる。

このように、メッシュ化された気差の推定誤差は日単位でみると問題となる場合もある。例えば、日最低気温の分布を求め霜害との関係を調べようとする場合、上記の誤差は大きすぎるかもしれない。しかし、農業環境研究においては、メッシュ化された日々の気温値を使うことは少なく、多くは数十日間の積算や、その平均値を使うことが多い。最近広く行われている作物の生育ステージ予測等でも、長期間の積算値として利用されている。

日別に推定された気温を旬・月間で積算すると、図3～4および表3に示されるように、積算期間が延びるにつれてRMSEは小さくなることがわかる。表3によれば、旬平均になると平均気温のRMSEは $\pm 0.26 \sim 0.27$ 、最高気温で $\pm 0.24 \sim 0.25$ 、最低気温で $\pm 0.51 \sim 0.52$ となり、月平均でもその誤差は大きく変わらない。

以上の結果から、旬あるいは月平均値（または積算値）として利用する場合は実用的には問題ない。ただ、計算領域の中で推定誤差が常に大きくなる地域が生じることがあり、そのような地域では利用にあたって注意が必要である。

表3 メッシュ化手法の推定精度（1979～89年平均；清野，1993）

要素	十勝支庁			長野県		
	日別値	旬別値	月別値	日別値	旬別値	月別値
平均気温	0.83	0.27	0.26	0.83	0.40	0.39
最高気温	0.97	0.25	0.24	1.16	0.53	0.53
最低気温	1.48	0.53	0.51	1.34	0.53	0.51
日射量	1.73	0.66	0.64	1.95	0.75	0.74
降水量	3.13	0.70	0.60	8.25	2.02	1.89

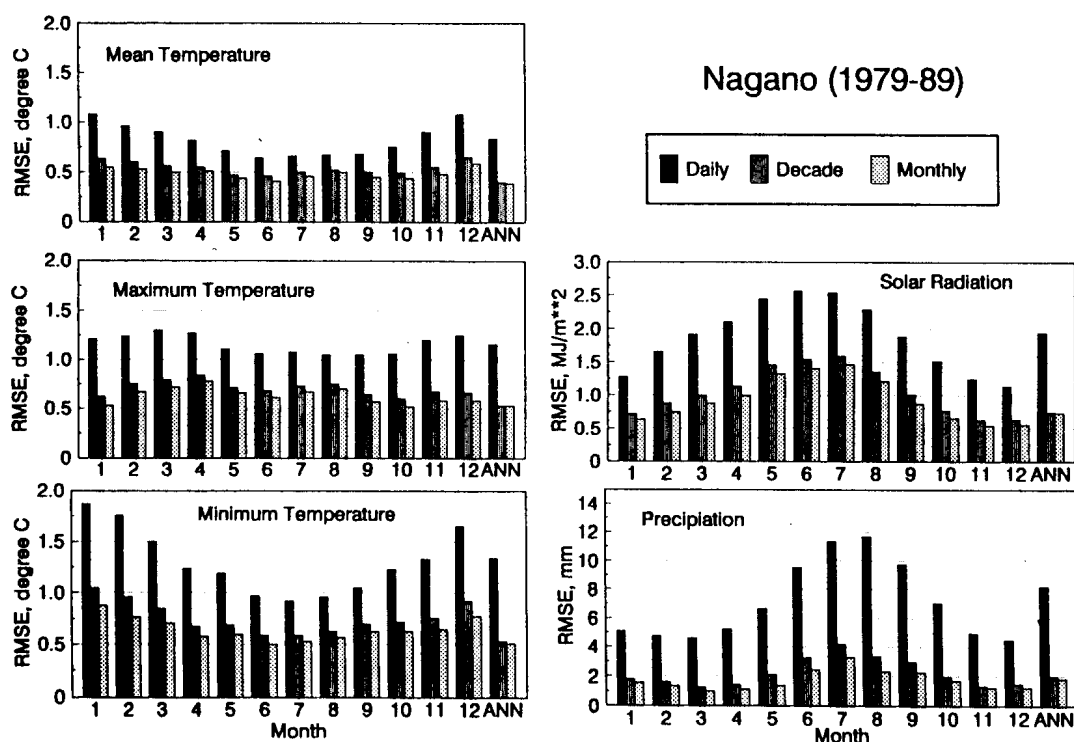


図4 長野県におけるメッシュ化推定誤差(清野, 1993)

7. その他の気象要素のメッシュ化

アメダス観測点では気温以外にも、風向、風速、降水量、日照時間が観測されている。これらの要素もメッシュ化がはかれれば、局地気象の評価や作物の生育状況の把握等にとって有用である。現在、利用可能なメッシュ気候値には気温（平均・最高・最低）以外にも、降水量や日射量がある。しかし、気温は連続的に変化しながら分布するのに対し、日別降水量の分布の変化は連続的ではない。従って、平年差を使っても推定精度の向上は難しい。このため、降水量のメッシュ化は実況値をそのまま距離の重み付けによって内挿することになる。

十勝支庁および長野県を対象に行われた調査結果（清野、1993）を図3～4右および表3下に示した。降水量の推定誤差（RMSE）は、日別で $\pm 3.13 \sim 8.25 \text{ mm}$ であり、山間部の多い長野県では推定誤差が大きい。しかし、旬別値のRMSEは $\pm 0.70 \sim 2.02 \text{ mm}$ と小さくなるので、利用にあたっては旬あるいは月合計値を利用する方がよい。

アメダス日照時間のメッシュ化も降水量と同様の考え方になる。すなわち、アメダス観測点における実況値を距離の重み付けのみで内挿する。

アメダス観測点の日照時間を日射量に変換してメッシュ化する方法も作成されている（清野、1993）。これは、アメダス日照時間と気象台で観測される日射量との相関関係を求め、まずアメダス日照時間を日射量へ変換する。そして、メッシュ気候値（日射量）を調和解析で日別値に変換して平年差を求め、その平年差を距離の重み付けで内挿する。

十勝支庁と長野県で調査された結果が図3～4右および表3下に示されている。日別日射量のRMSEは $\pm 1.73 \sim 1.95 \text{ MJ/m}^2$ 、旬平均値で $\pm 0.66 \sim 0.75 \text{ MJ/m}^2$ であった。ただし、日射量の場合

は日照時間から日射量への変換の過程で同程度の誤差を含んでいるので、実際の誤差は旬平均で $\pm 1.0 \text{ MJ/m}^2$ 程度になる。従って、日射量も旬あるいは月集計値として利用するのがよい。日射量のメッシュ化の精度は、将来アメダス地点で日射量が直接測定されるようになれば、旬平均値で $\pm 0.66 \sim 0.75 \text{ MJ/m}^2$ に高まると考えられる。

風向・風速データのメッシュ化は、メッシュ気候値がないため、距離重み付け法による内挿のみで行うことになる。現在のところ、風向風速のメッシュ化は行われていない。

8. メッシュ気象値の利活用

アメダス気温実況値をメッシュ化することによって作成されるメッシュ気象値の利用法として、次のようなことが考えられる。

- 1) アメダス観測点の情報だけでは得られない細かな気象値の分布を知ることができる。これを用いて気候資源の詳細な分布と変動特性を明らかにすることができる。
- 2) 気象と作物の生育・生長との関係が明らかになれば、約 1km^2 の細かさで作物の現在の生育状況や被害状況を把握することができる。

メッシュ化された気象値はあくまでも推定値であり、作物生育・生長等の予測を行う場合は、常に現場の調査データで検証を行うことが必要である。アメダスデータをメッシュ化し、利用している例としては次のようなものがある。

- 1) 水稻、ムギ、トウモロコシ等の作物の生育ステージ分布の推定
- 2) 冷害による水稻の不稔歩合の分布の推定
- 3) 害虫の世代促進の分布の推定

等がある。これらは、いずれも、主として気温のみを用いて現象を説明できるモデルが作成されており、メッシュ単位で推定することによって、地域的な広がりをもった生育ステージ・被害分布が得られている。

8.1 水稻生育の気象的予測モデル（堀江ら、1986）

水稻の玄米収量 Y は作物の全乾物重 W_t の一部として、

$$Y = h \cdot W_t$$

によってとらえられる。 W_t 及び収穫係数 h は、作物の成長につれて変化するのみならず、環境条件によって強く影響される。このモデルは、病虫害、雑草、及び肥料・水が適正に管理されていることを前提とし、気象からみた可能生育量と収量の動態変化を予測しようとするものである。

$$\Delta W_t = C_s \cdot S_s$$

C_s : 日射から乾物への変換効率

$$C_s = 1.95 \text{ (g/MJ)}$$

(DVI1、出穂前)

$$C_s = 1.95 / \left[1 + \beta \exp \left\{ 1 + \beta \exp \left\{ (DVI - 1) \right\} / \tau \right\} \right]$$

(DVI > 1、出穂後)

$$DVI = \sum_{i=1}^n DVR_i$$

$$DVR = \frac{1}{G} \left[\frac{1 - \exp\{B(L - L_c)\}}{1 + \exp\{-A(T - T_h)\}} \right]$$

DVR : 発育速度、 T : 日平均気温、 T_h : 発育速度が最大値の 1/2 になるときの温度、 L : 日長（可照時間）、 L_c : 発育の限界日長、 G : 対象品種の出穂までの最小日数、 β, τ, A, B : 係数

S_s : 水稻個体群に吸収される一日当りの日射量（MJ/m²）

$$S_s = S_0 [1 - r - (1 - r_a) \exp(-kF)]$$

S_0 : 入射日射量、 r : 植被の反射率、 r_a : 地面の反射率

k : 日射の消散係数、 F : 葉面積指数

このモデルは、毎日の気象データを入力することにより、水稻の生育の程度を気象のみから予測することが可能である。

8.2 生育速度（DVR）を用いた生育予測

作物の発育の進み方を表わす指標としては様々なものが用いられているが、堀江ら（1986）は水稻の発育段階を、出芽時に 0、出穂期に 1、そして成熟期に 2 の値をとる発育指数（Developmental Index, DVI）なる連続指数で表わし、出芽後 n 日目の DVI は、その日までの毎日の発育速度（Developmental Rate, DVR）を積分するという概念を提案した。

$$DVI = \sum_{i=1}^n DVR_i$$

8.1 で述べたように、堀江らは DVR を気温と日長の関数として与えているが、発育が主として感温性によって支配される場合には、気温のみの関数として十分高い精度の予測が可能である。

田村ら（1988）は、この DVI の概念を利用して北海道十勝地域におけるトウモロコシの生育ステージ予測を三次メッシュ単位で行っている。彼らは、気温と DVR の関係をノンパラメトリック法（竹澤ら、1988）を用いて決定している。

この他、DVI の概念は各地で生育ステージ予測に利用されている。上に説明されているように、生育が主として気温に支配される作目や地域では、DVI は極めて有用な手法である。

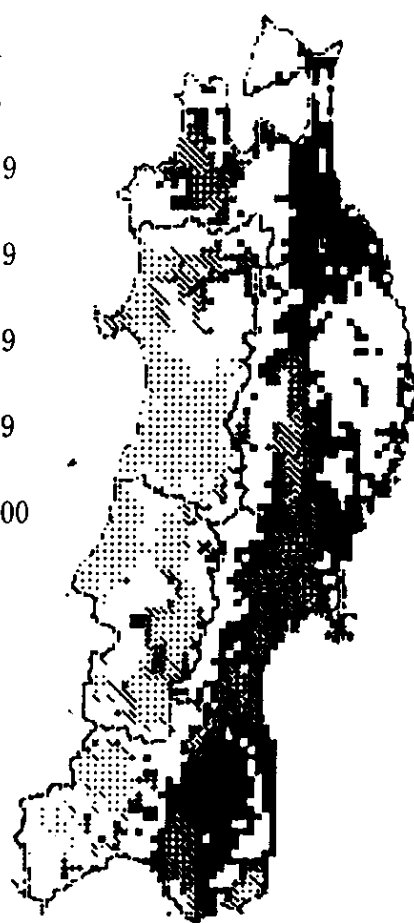
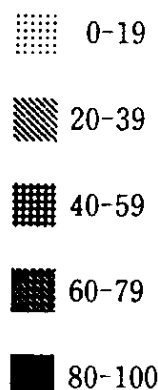
8.3 温度変換日数による生育予測

温度変換日数（DTS、金野・杉原、1986）は自然界における生物活性と温度の関係を定量的に把握し、その指標化を図ったものである。これを用いて作物の生育ステージ別の感温特性を評価することができるので、生育期予測への適用が可能であり、果樹の開花期やサクラの開花期などの予測に用いられている（田村ら、1987；小野ら、1987；小元ら、1989；青野ら、1990）。

$$DTS = \exp \left[\frac{E_a (T - T_s)}{R \cdot T \cdot T_s} \right]$$

E_a ：見かけの活性化エネルギー、 R ：気体定数、 T ：温度、 T_s ：標準温度

不稔歩合
%



8.5 水稻不稔歩合のメッシュ分布

メッシュ気候値を用いた作物の生長・生産予測の研究としては、矢島ら

図5 昭和55年の東北地方の推定不稔歩合(矢島ら、1989)

(1989) の水稻不稔歩合の分布推定がある。これは、水稻の低温感受性をモデル化し、上記のリアルタイムメッシュ気候情報の手法をもとに、冷害年における水稻の不稔歩合の分布をメッシュ単位で求めたものである（図5）。

8.6 病虫害の発生予察ならびに越冬可能域や発生可能域の推定

病虫害の発生を気象条件下ら推定するモデルとしては、葉の濡れから「いもち病」を予測するモデル（BLASTAM）等があり、気象観測地点での推定が行なわれているが、メッシュ化はまだ行なわれていないようである。病虫害の発生予察についても発生消長と気象条件の関係が明確にされ、メッシュ気候値の利用が可能になれば、いつでもその分布図を作成することは可能となる。

8.7 メッシュ地形情報を用いた日射環境の評価

我が国は狭い国土の割に地形が複雑であるため、気候は局地的に大きく変化している。とくに、傾斜地を利用した作物栽培の環境は、平地とはかなり異なったものとなっている。そのような複雑な地形条件下における日射環境（日照時間、日射量、純放射量など）を、国土数値情報の標高データを用いて評価する手法の研究が行われている（清野・内嶋、1985；1988b）。この方法を用いて評価された、斜面の方位角と傾斜角の変化に伴う全天日射量比（GSR）と

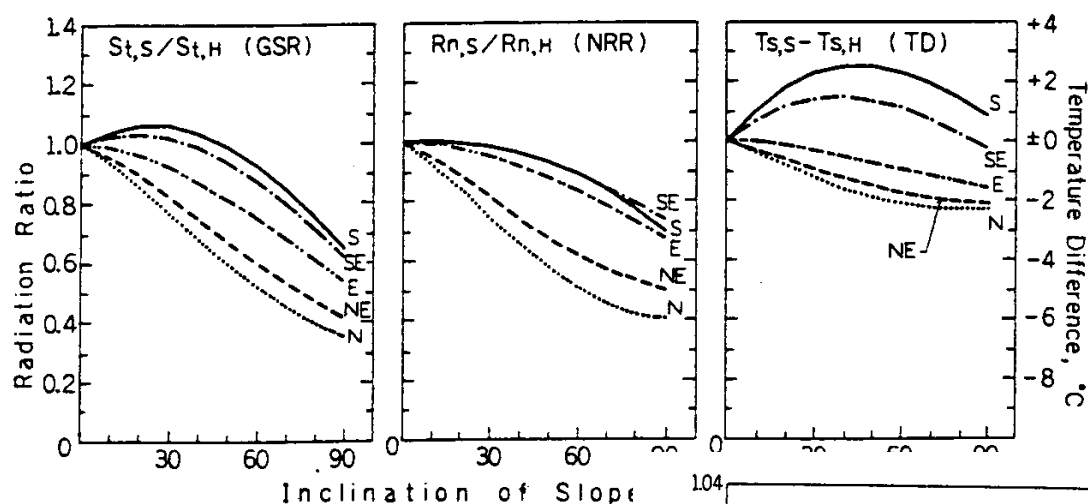


図 6 斜面の傾斜・方位角と日射比(GSR)、純放射量比(NRR)

純放射量比 (NRR) および表面温度差 (TD) が図 6 に、阿蘇カルデラの日射量と純放射量の分布と牧草の収量との関係が図 7 に示されている。清野・元田 (1987) はこの手法を用いて高架橋による日射量減少が水稻収量に及ぼす影響の評価を試み、上原・清野 (1989) は上記手法を用いて広島県における日照時間ならびに日射量のメッシュ化を行い、水稻成熟との関連を調べている。黒瀬は、250m メッシュデータを用いて四国地域の日射環境の評価を行っている (黒瀬, 1991)。

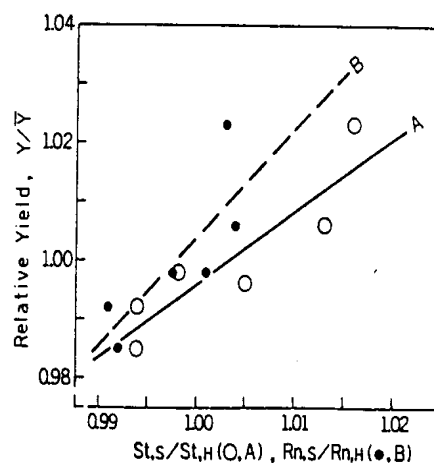


図 7 日射比及び純放射量比と牧草収量の関係 (清野・内嶋、1985)

9. おわりに

国土数値情報やメッシュ気候値はパソコン等のコンピューターで直接処理できる数値化された資料であるので、気象を専門としない人でも容易に利用が可能である。また、使う人の発想次第で利用範囲を限りなく拡大できる可能性を持った資料であるといえる。今後は、各研究分野でメッシュ気候値を利用できる試験データを取り、メッシュ気候値の利用を積極的に図っていくことが必要であろう。農業分野での利用に当たっては、

- 1 メッシュ気候値のデータは 1km^2 内の平均的状态を表わした数値であることを認識して使うこと、
- 2 メッシュ気候値およびメッシュ化された気温実況値はあくまで推定値であるから、作物生育・生長等の予測を行なう場合は、常に現場における実測データを収集しながら修正等を行なっていく、

等のことに注意を払う必要がある。

参考文献

- 青野靖之・小元敬男，1990：チルユニットを用いた温度変換日数によるソメイヨシノの開花日の推定．農業気象，**45**，243-249.
- 気象庁，1988：メッシュ気候値（降水量）の作成，pp. 96.
- 気象庁，1989：メッシュ気候値（気温）の作成，pp. 85.
- 河野富香・森 康明・房尾一宏・上原由子，1984：広島県メッシュ気候図の利用に関する研究．第1報 農耕地を対象とした気温補正と日別変化による利用．広島県農試報，**48**，113-122.
- 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**，17-28.
- 黒瀬義孝，1991：複雑地形地における 250m メッシュ日射量分布推定モデルについて．農業気象，**47**，95-99.
- 国土地理院，1985：国土数値情報の概要．pp. 123.
- 小峯裕己・村上周三・松野信雄，1980：メッシュデータを用いた地形因子解析法による任意の地点の平均風速の推定方法に関する研究．天気，**27**，849-861.
- 金野隆光・杉原 進，1986：土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用．農環研報，**1**，51-68.
- 堀江 武・中川博視・吉良智彦，1986：イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究．(1) 発育動態の気象的予測モデルについて．日作紀，**55**（別1），214-215.
- 広島県・気象庁，1982：広島県メッシュ気候図．地図編，広島県・気象庁，pp.39.
- 広島県・気象庁，1982：広島県メッシュ気候図．資料編，広島県・気象庁，pp.261.
- 森 康明・河野富香・房尾一宏，1985：広島県農試報告，**49**；87-98.
- 小野祐幸，1987：果樹の開花における感温特性評価．第1回研究会「地域農業資源の作物生態学的評価と利用」，76-89.
- 小元敬男・青野靖之，1989：速度論的手法によるソメイヨシノの開花日の推定．農業気象，**45**，25-31.
- 桜谷哲夫，1989：九州における畑地のバイオマスメッシュ分布図．BCP-89-I-2-1，自然植生，水田，畑地における生物資源メッシュ分布図，農業環境技術研究所・北陸農業試験場・九州農業試験場，31-47.
- 清野 豁・内嶋善兵衛，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**，247-255.
- 清野 豁・元田雄四郎，1987：高架橋による日射量減少が水稻収量に及ぼす影響の基準化．農業気象，**43**，41-44.
- 清野 豁・内嶋善兵衛，1988a：日本における自然植生の純一次生産力のメッシュ分布図．BCP-88-I-2-2，農業環境技術研究所，pp.121.
- 清野 豁・内嶋善兵衛，1988b：メッシュ地形情報を用いた複雑地形地における太陽放射資源量の評価手法．自然エネルギー資源量の推定法，グリーンエネルギー計画成果シリーズI系（エネルギーの分布と利用）No. 8，2-29.
- 清野 豁，1989：北海道における自然植生の純一次生産力のメッシュ分布図．BCP-89-I-2-1，自然植生，水田，畑地における生物資源メッシュ分布図，農業環境技術研究所・北陸農業試験場・

- 九州農業試験場, 1-19.
- 清野 裕, 1990: 自然植生の生物資源メッシュ分布図. 生物資源メッシュ分布図(東日本)(BCP-90I-2-1), 農業環境技術研究所・北陸農業試験場・九州農業試験場・森林総合研究所, 1-12.
- 清野 裕, 1990: 農業環境におけるメッシュデータと気象情報の利用 2. メッシュデータによる農業気候資源評価と作物生産への利用, 農業および園芸, **65**, 925-931.
- 清野 裕, 1993: アメダスデータのメッシュ化について. 農業気象, **48**, 379-383.
- 柴田裕司・田中 昭, 1980: 積雪分布の推定. 研究時報, **32**, 51-57.
- 高見晋一・菅谷 博, 1989: 北陸における水田の生物資源メッシュ分布図. BCP-89-I-2-1, 自然植生, 水田, 畑地における生物資源メッシュ分布図, 農業環境技術研究所・北陸農業試験場・九州農業試験場, 31-47.
- 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸, 1988: 作物の生育ステージのノンパラメトリック推定の有効性. 農業気象, **45**, 151-154.
- 田村良文, 1987: トウモロコシの生育ステージ別の感温特性評価. 第1回研究会「地域農業資源の作物生態学的評価と利用」, 90-103.
- 田村良文・竹澤邦夫・金野隆光・小野祐幸・清野 裕・門間栄秀, 1989: ノンパラメトリック法を用いた温度影響評価によるトウモロコシの絹糸抽出期予測. 日作紀, **58**, 48-54.
- Uchijima, Z, and Seino, H., 1985: Agroclimatic Evaluation of Net Primary Productivity in Natural Vegetation. (1)Chikugo Model for evaluating net primary productivity. 農業気象, **40**, 343-352.
- 内嶋善兵衛・清野 裕, 1985: 日本における自然植生の純一次生産力の分布 (BCP-85-I-1-1). 農業環境技術研究所・九州農業試験場, pp.121.
- 内嶋善兵衛・清野 裕, 1987: 世界における自然植生の純一次生産力の分布 (BCP-87-I-2-1). 農業環境技術研究所・九州農業試験場, pp.102.
- 上原由子・中沢啓一・林 英明, 1984: 広島県メッシュ気候図の利用に関する研究. 第4報 平均気温による害虫の発育経過と可能世代数の推定, 広島農試報, **48**, 149-156.
- 上原由子・清野 裕・原田昭彦, 1989: 広島県における日照時間及び日射量のメッシュ化について. 農業気象, **45**, 159-163.
- 矢島正晴・日塔明弘・清野 裕, 1989: 発育モデルを用いた水稻不稔歩合推定法. 日本農業気象学会 1989年度大会講演要旨, 58-59.
- 山田一茂・岩切 敏, 1986: 北陸地方における農業気候特性の評価と利用に関する研究. (1)積雪日数データのメッシュ化とオオムギの栽培地帯区分へのその応用, 農業気象, **42**, 7-17.
- 山田一茂・岩切 敏, 1986: 北陸地方における農業気候特性の評価と利用に関する研究. (2)メッシュ情報を用いた最深積雪の推定と棚栽培果樹栽培地帯区分へのその応用, 農業気象, **42**, 103-112.