

# 地学基礎実験 テキスト (2001年版)

渡辺 康志

e-mail: ywatanabe@mug.biglobe.ne.jp

## ・地形図と数値地図

地球の表面の姿は、地震・火山活動・地殻変動といった地球内部に原因を持つ力（内的営力）と、雨・風・流水・生物の働きといった地表面に外部から働く力（外的営力）とによってたえず変化している。現在見られる地形は、長い地質時代（大部分は第四紀）の中で、これら内的営力と外的営力との相互作用によって形成された歴史的産物である。したがって、現在の地形の様子を調べることによって、そこに働いた過去の営力や地質状況を読み取ることができる。

また、地質調査を行う場合、野外調査やデータの整理、さらには考察をするにあたって、地形図を利用することが必要であり、地形図の読み取りは非常に重要である。

近年、日本地図センターより数値地図を入手できるようになり、パソコンを利用して地形を解析することが容易になってきた。今回は、沖縄島のデータを例に、専用ソフトを使わず、Microsoft Excelの等高線グラフ作成機能と表計算機能を使用して、数値地図を利用する方法を学ぶ。

Microsoft Excelは、強力な表計算、作図機能を有しており、数値データをまとめ、考察し、論文や報告書を書く場合、手軽に使えるので、その利用方法などにも慣れてもらいたい。

### 【準備する用具】

Z i pディスク

筆記用具，定規，ノートなど

### 【使用数値データ】

沖縄島400mメッシュ標高データ

沖縄島中南部250mメッシュ標高データ

沖縄島北部250mメッシュ標高データ

沖縄島南部100mメッシュ標高データ

沖縄島中部100mメッシュ標高データ

沖縄島本部・名護100mメッシュ標高データ

沖縄島北部国頭100mメッシュ標高データ

### 【参考文献】

シリーズ沖縄の自然 琉球列島の地形 河名俊男著 新星図書出版

シリーズ沖縄の自然 失われた生物 大城逸朗著 新星図書出版

シリーズ沖縄の自然 琉球弧の海底 氏家宏著 新星図書出版

沖縄の自然 - 地形と地質 氏家宏編ひるぎ社

琉球弧の地質誌 木崎甲子郎編 沖縄タイムス社

日本の自然地域編 南の島々 中村和郎他編 岩波書店

パソコンによる数理地理学演習 野上道男・杉浦芳夫著 古今書院

## 1 . 数値地図

「国土地理院数値地図50mメッシュ(標高)」データは、国土地理院刊行2万5千分1地形図の等高線をベクトル化し、それから計算によって求めた数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)データで、2次メッシュを経度方向及び緯度方向に200等分して得られる各区画(1/200細分メッシュ、2万5千分1地形図上約2mm)の中心点の標高値が記録されている。標

高点間隔は緯度（南北）方向で1.5秒，経度（東西）方向で2.25秒となり，実距離では約50mとなっている。今回の使用データは，このデータより，集計や補完により作成した400m，250m，100mの標高メッシュデータである。Microsoft Excelのワークシートで扱えるデータに限りがあるため，沖縄島を適当な大きさに区分して，データを作成した。

### 【数値地図250mメッシュのフォーマット変換(参考)】

数値データはテキスト形式データとして記録されており，西から東へ続きのデータ列として，そしてこのデータが北から南に各行ごとに並んでいる。規則的に配置されたテキストファイルは，Microsoft Excelのテキストファイル読み込み機能を利用するとワークシートとして，取り込める。

数値地図データを収容したファイルをワードパッド（テキストエディタ）を利用して表示すると，データファイルフォーマットを直接見ることができる。（図 - 1）

各データファイルの1行目には，ファイル・ヘッダー・レコードが入っており，データを利用する際の情報が記録されている（数値地図マニュアル参照）。しかし，沖縄本島のデータについてのみ利用する場合，標高データではないので，特に必要ではない。2行目以降は標高データとなっている。標高データ行のフォーマットは次の通りである。

1～4桁メッシュコード（ファイルの名称），5・6桁00，7～9桁データ行番号が入っており，10桁～最後まで標高データ（200個）が連続して格納されている。標高データは5桁の数字として，10cm単位で表現されている（例えば50.6mは00506と表記）。また，海部は-9999と記入されている。

```
39280025000      199332032002600001280000026400012900001那覇      ...
3928000010017000170001900033000290002000009000010-9999-9999-9999- ...
3928000020028000250002400030000280001700004000010-9999-9999-9999- ...
:
392800178-9999-9999-9999-9999-9999-9999-9999-9999-9999-9999- ...
```

図 - 1 データファイルフォーマット

このような形式のテキストファイルをMicrosoft Excelのワークシートに読み込むためには，Microsoft Excelのテキスト形式ファイルからワークシートを読み込む機能を利用することとなる（多少面倒であるが）。手順は次の通りである。

まず，「ファイル読み込み」より，このテキスト形式のファイルを指定すると，自動的に変換作業を行うプログラムが起動する。そこで，データとして有効な行（この場合先頭の行は不必要である）を入力し，さらに，連続した標高データを5文字ごとに区切るため，マウスを使ってそれぞれ指示を与えていくこととなる（マニュアル参照のこと）。この作業はデータの先頭行に対して行えば，全データに対してこの区切りが適用され，ワークシートにデータを読み込む。このとき，海域のデータは-9999となっているため，作図の場合支障を来すこととなるので，ワークシートの領域コピーなどの機能（大きな範囲で一気に変更できるので，作業は比較的少ない）を使って，0に変更しておく。

沖縄島の数値地図データは，複数のファイルにまたがって入力されている。従って，上記の作業で作成したフォーマット変換ファイルを融合することによって，沖縄島の数値地図を作成することとなる。

具体的には，それぞれのファイルをMicrosoft Excelのワークシートに読み込み，必要部分のコピーと張り付けを繰り返し，1つのシートに融合することとなる。

## 2．地形図の作成

### 2 - 1．等高線の読み方（参考）

地形図は，土地の起伏や高度分布，地形区分，地表面上の自然物・人工物の分布，土地利用などを縮小して表した地図で，土地利用や研究利用を行うための基礎資料となる多目的な地図であ

る。

地形図に描かれている自然や人工物の表現方法は様々であり、地形は等高線や標高数字、記号でそれぞれ表示され、その表現法は図 - 1 のように決められている。ただし、人工物は記号化されたときに誇張されていることが多く、縮小率は正確でない。現在、市販されている地形図は建設省国土地理院が編集発行しているもので、その種類には、1万分の1、2万5千分の1、5万分の1があり、2万5千分の1、5万分の1の地形図は日本全域をカバーしている。

等高線は、地表面上で高さの等しい地点を連続したときにできる曲線で、ある一定の高度間隔で引かれている。この間隔は地形図の縮尺によって異なるが、地形図の等高線には表 - 1 のように、計曲線・主曲線・間曲線・助曲線がある。

表 - 1 等高線の種類

等高線	1/50000 地形図	1/25000 地形図	1/10000 地形図
計曲線	100mごと	50mごと	25mごと
主曲線	20mごと	10mごと	5mごと
間曲線	10mごと	5mごと	2.5mごと
助曲線	5mごと	2.5mごと	1.25mごと

一定の間隔で引かれた等高線は、立体（実際の地形）の傾斜によって変化する（図 - 2）。すなわち、傾斜の急な部分では等高線の間隔がつまり（密になり）、傾斜の緩い部分でその間隔は広くなる（疎になる）。また、隣接する等高線の間隔が一定のところは、傾斜も一定となる。実際の地形図を利用した等高線の間隔と傾斜の関係の調べ方は、高度分布（50m間隔や100m間隔の等高線帯）ごとに着色して観察する方法がある。

実際の地形には尾根や谷があり、そこに引かれる等高線は複雑となっている。従って尾根や谷が地形図では等高線によってどのように描かれているかを知ることは地形図を読み上では重要な点となるので、尾根線や谷線といった地性線を記入するとよい。

## 2 - 2 . 数値地図より地形図・鳥瞰図の作成

完成したワークシートより、Microsoft Excelの等高線グラフ作成機能を利用して、地形図と鳥瞰図を作成してみる。鳥瞰図とは必要な仰角、奥行き、回転、X軸と高さ軸の縮尺比率を与えることにより、任意の方向より眺望した図である。

鳥瞰図、平面図作成の基本的作業の流れは次のようになる。

Microsoft Excelワークシート上に、数値地図データを用意する。

Microsoft Excelのグラフ作成ウィザードを起動し、3 - D等高線グラフを選択する。

作図範囲（ワークシート上の作図範囲指定で任意に設定可能）、仰角、奥行き、回転、X軸と高さ軸の縮尺比率などを設定。さらに、種々の視点を設定することが可能。また、標高区分、色などを指定。

平面図は、仰角を90°に設定するか、または平面等高線図を選択すると作成できる。標高区分と着色凡例は、Microsoft Excelの作図機能を利用して設定することができるので、目的によって標高区分や、色を変更できる。また、ある地域を拡大する場合、ワークシート上の作図範囲を変更することで、簡単に一部を拡大できる。

## 2 - 3 . 等高線図（等値線図）の作成

Microsoft Excelで作成した平面図（地形図、接峰面図、起伏量図など）は、Microsoft Photo Editorの効果/エッジ処理を行うと、等高線を描くことができる。この処理は、カラー画像の色の境界線を拾い出す機能であり、彩色されたこれら平面図の境界を拾い出し、曲線を描くことにより、等高線が描かれる。

処理は、非常に簡単で、Microsoft Photo Editorに処理する平面図を読み込み、効果/エッジ処理を選択すればよい。

## 2 - 4 . 地形断面図の書き方

地形の起伏を表現した等高線の性質を理解するためには、断面図を書くことが最適である。断面図は平面図（地形図）を一定の線に沿って断ち切って表現したものであるが、このとき水平距

離（平面図上の距離）と垂直距離（断面図の高さ）を同じ縮尺で表現すると起伏や傾斜などの地形の特色がはっきりしないので、垂直距離は水平距離の2～5倍にするとよい。

実際の地形図から、断面図を書く方法は、下記の手順の通りであり、その例を図-3に示す。

- 地図上で断面図を作成する地点に直線を引く
- 直線と等高線の交点から断面図に垂線をおろす
- 等高線の示す標高を断面図上の標高（縦軸）にプロットする
- それらの点を尾根や谷の位置に注意しながら結ぶ

数値地図より、地形断面を描く方法としては、Microsoft Excelの折れ線グラフを描く機能を利用すればよい。この操作は、下記の通りであり、非常に簡単に作成できる。

数値地図データが入ったワークシート上で、断面図を作成したい範囲を指定する。

グラフ作成ウィザードを開き、折れ線グラフを指示し、手順に従って必要事項を書き込む。

断面線は東西方向あるいは南北方向にしか入力できない点に注意してほしい。

また、作図の際オプション機能として、滑らかな線で結ぶ機能を利用できる。さらに、三次元折れ線グラフを選択すれば、特定範囲の立体的な断面図を作成することができる。

### 3. 数値地図に対する空間フィルタ操作（基本）

フィルタリング処理は2次元画像情報（数値地図）に対する最も基礎的な処理の1つである。ここでは、窓関数によるマスク操作を直接数値地図に対して施す方法を使って、種々の図を作成する。ちなみに、窓関数による処理は、表計算ソフトであるMicrosoft Excelが最も得意とする計算スタイルである。

基本的な作業の流れは、Microsoft Excel上に複数のシートを開き、1つには数値地図データを読み込み、他のシートには数値地図データを処理する表計算の関数を書き込む（計算結果はこのシートに表示される）。さらに、計算結果を参照した図を作成するという手順になる。

#### 3-1. 接峰面図・接谷面図

実際の山地は、尾根や谷があり、細かい起伏に富んでいる。接峰面とは、このような地形に大きな風呂敷をかぶせたときにできる仮想の曲面のことであり、接峰面を等高線で表現した図面を接峰面図という。接峰面は浸食される前の地形に近いものと推定されるので、接峰面図と地形図を比較すると、浸食の程度を推定できる。また、接峰面図の高度急変部からは地盤運動による地形（断層崖などは比較的直線状の急斜面となる）、新旧浸食面の境界（段丘面のちがい）、浸食によってできた硬軟岩石の境界などが読み取りやすい。

接峰面図の作成方法には方眼法と埋谷法があり、それぞれ特徴を持つ。方眼法は、山頂の高さとその分布状態の把握に効果があるのに対し、埋谷法は斜面の状態が詳しく表現され、台地面や段丘面の復元に有効である。

a. 方眼法は、地形図を適当な方眼にわけ、各方眼内の最高点をとり、それぞれの標高を用いて比例配分によって等高線を描く方法である。方眼の大きさは、その地域の地形の規模や谷の発達程度を考えて決めるが、その目安として高度成長曲線を描いて決めるとよい。高度成長曲線は、1つの山頂を中心として種々の半径の同心円を描き、それぞれの円内の最低点と山頂との高度差を求めて、円の半径との関係をグラフ化したものである。ただし、普通作業としては、2万5千分の1地形図では1辺の長さは2～3cm程度が適当である。

[参考文献 自然をしらべる地学シリーズ2 水と地形 地学団体研究会編]

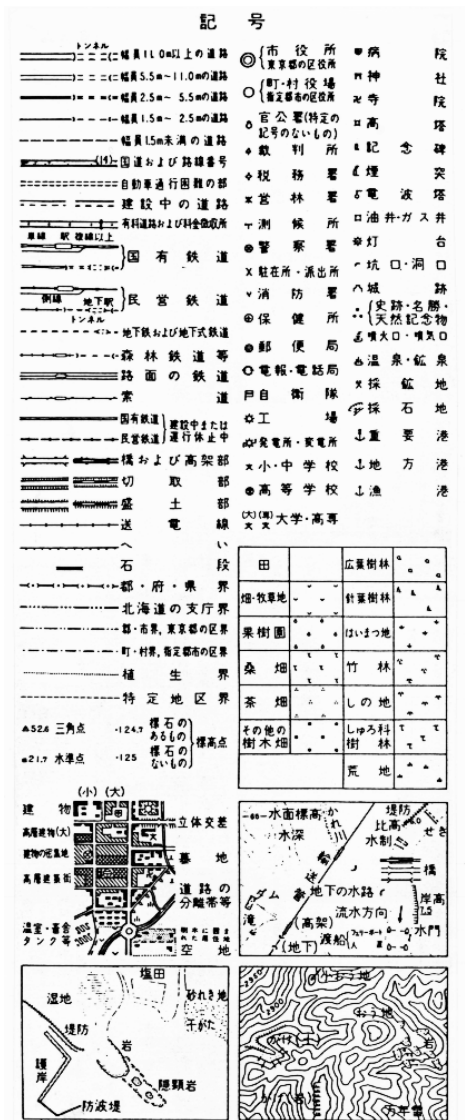


図 - 2 地形図の記号

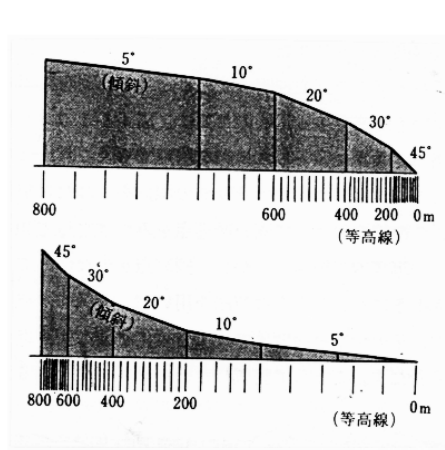


図 - 3 等高線と地形関係図

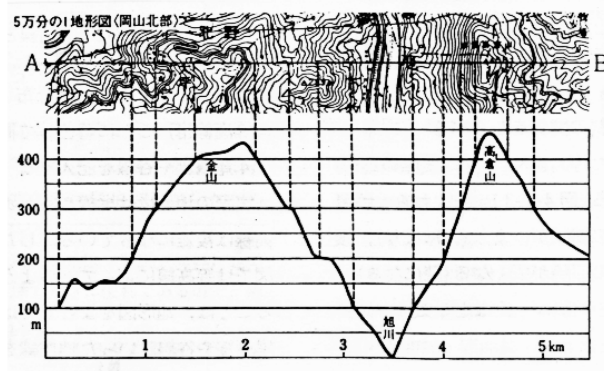


図 - 4 地形断面図

b. 埋谷法は、最も多く現れる谷幅を基準にそれ以下の幅の谷をすべて埋め立て、浸食以前の地形を復元する方法である。実際の作業手順は次のとおりである。

埋め立てる谷の最大幅を決め、基準谷幅とする

地形図上で各等高線を追跡

谷が存在する場合、谷幅が基準谷幅以下ならば谷を無視し、等高線を結び

基準谷幅以上の谷の場合、基準谷幅になる地点まで上流側にずらし等高線を結び

[参考文献 自然をしらべる地学シリーズ2 水と地形 地学団体研究会編]

数値地形図より接峰面図を作成する方法としては、データの性質上、方眼法が最適であり、数値地図データの一定の範囲内で、最大値を求めるといった関数を利用して、算出することが可能である。今回は、3×3の数値データの範囲内から最大値を抽出して接峰面を求めた。これは、数値データがほぼ250mメッシュであることより、500m四方の領域での最高点の標高を表しているものと考えられる。このように最大値を抽出する範囲を変更することによって、接峰面図の性質を変更することが可能である。

具体的には、3×3の数値データの範囲内から最大値を抽出して接峰面図を作成する手順は下

記の通りである。

数値地図データが格納されたシート (Sheet1) とは別の計算式を記入するシート (Sheet2) を開く。

ワークシートの関数機能を利用し, Sheet2に関数を記入する。具体的にはシート串刺し計算機能を利用して, たとえば, Sheet1のセルM4からO6範囲内(セル3×3範囲)の最大値をSheet2のセルN5に出力する。(図-5参照)

ワークシートのコピー機能を利用して, Sheet2の必要部分にこの関数をコピーする。シートの大きさは, 上下, 左右でそれぞれ2個少なくなる。

以上より, 接峰面データが完成する。作図方法は, 地形平面図作成法と同様に行うと接峰面図が得られる。

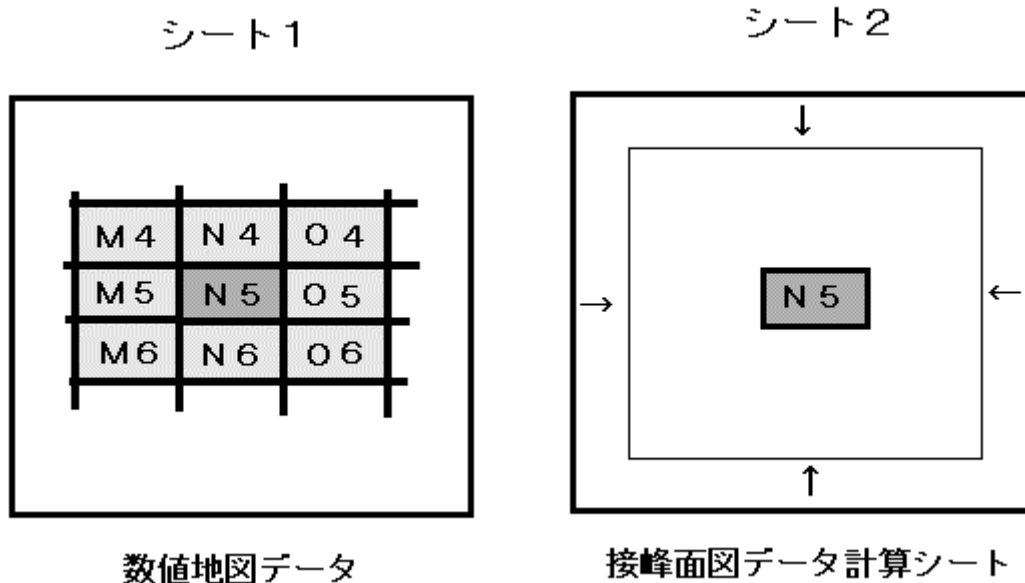


図 - 5 計算方法説明図

接谷面図の作成は, 接峰面図の作成方法と同様に, 一定の範囲内(セル3×3範囲)の最小値を算出すればよい。

### 3 - 2 . 起伏量

起伏量とは, 単位面積内の最高点と最低点の高度差をいう。ある地域を概観するとき, 標高の差はほとんど現れないが, 起伏量にはいちじるしい差が現れることが多く, 構成される地質によっても, それぞれ異なった値を示す。例えば, 中・古生層の砂岩・粘板岩からなる地域の起伏量は大きく, 第四紀の砂・泥層からなる地域では小さい。起伏量を求めるには, 地形図を適当な大きさの方眼に切り, 各方眼の最高点と最低点の高度をもとめ, 起伏量を算出する。起伏量には, 地形の浸食の程度や地質の違いが現れ, 傾斜分布とも密接な関係があるので, ある地域の地形の特徴を知るには重要な項目の1つである。

数値地図より, 起伏量を算出する方法としては, 3 - 2 . 接峰面図・接谷面図で作成したそれぞれの数値データから, その差を算出し新たなシートを作成すればよい。

接峰面数値地図データが格納されたシート (Sheet2) と接谷面数値地図データが格納されたシート (Sheet3) とは別の計算式を記入するシート (Sheet4) を開く。

ワークシートの関数機能を利用し, Sheet4に関数を記入する。具体的にはシート串刺し計算機能を利用して, Sheet2とSheet3の同一セル間の差をSheet4のセルに出力する。

ワークシートのコピー機能を利用して, Sheet4の必要部分にこの関数をコピーする。

以上より, 起伏量の数値地図が完成する。作図は, 地形平面図作成法と同様に行うと起伏量図が得られる。

以上の操作によって作成した起伏量図には, 沖縄島北部と南部の地形の差, 段丘面や段丘崖,

断層崖などがよく現れている。

## 4 . 数値地図に対する空間フィルタ操作 ( 応用 )

### 4 - 1 . 斜面の勾配と一次微分

距離の点の高度  $f(x)$  が  $x$  について、どのような割合で変化するかを示す量を勾配という。  $x$  が  $x + \Delta x$  と変化するとき、高度が  $f(x)$  から  $f(x + \Delta x)$  と変化すると、

勾配 =  $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$  と定義でき、これは微分定義そのものであり、勾配は微分係数そのものである。

地表のある 1 点における勾配は周囲点との関係を表す量であるから方位によって変化する。一方、地形面の境界線は、高度や傾斜の値が、急激に変化するところ、すなわち微分係数の大きいところを通過する。この場合は微分係数の絶対値を知るだけでよく、方向は不必要である。

微分係数の絶対値は  $\sqrt{\left\{\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right\}^2 + \left\{\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right\}^2}$  と表され、この値が計算地点の最大勾配となる。

数値地図で実際に計算する場合は、離散的な計算を行う。この場合、微分操作も他の処理と同じ窓関数を表すことができる。この窓関数は種々のものが考案されているが、いずれの方法も雑音を除去するために、何らかの平滑化が考慮されている。詳しくは、「パソコンによる数値地理演習」を参考にしてほしい。

今回は、Sobel の窓関数によって、数値地図を処理した。この方法は、窓関数として次の式を利用するものである。

$$E = |(A + 2B + C) - (G + 2H + I)| + |(A + 2D + G) + (C + 2F + I)|$$

ただし、式の記号は、ワークシート上の下図の位置関係になる。

A	B	C
D	E	F
G	H	I

具体的には、数値地図の格納されたシート ( Sheet 1 ) と計算式 ( 窓関数 ) を記入するシート ( Sheet 2 ) を用意する。Sheet 2 の E の位置に、Microsoft Excel の串刺し計算を利用し、Sheet 1 の A ~ I のデータを使った表計算を書き込み、必要な範囲をコピーする。これによって、Sheet 2 に微分係数 ( 最大勾配 ) が計算され、表示される。

### 4 - 2 . 傾斜方向

数値地図で傾斜方向を 4 方向 ( NE, SE, SW, NW ) に区分する手法は、微分操作と同様に、窓関数で表すことができる。具体的には、数値地図の格納されたデータシートと計算式 ( 窓関数 ) を記入する計算シート ( Sheet 2 , 3 ) を用意する。計算シート ( Sheet 2 ) の E の位置に、式より計算した値と I F 関数を使い、計算値 E W が負の場合 ( 西傾斜 ) - 1 , 正の場合 ( 東傾斜 ) + 1 とする計算式を記入する。同様に式より N S が負の場合 ( 北傾斜 ) - 1 , 正の場合 ( 南傾斜 ) + 1 とする計算式を計算シート ( Sheet 3 ) に記入する。さらに、計算シート ( Sheet 4 ) に Microsoft Excel の串刺し計算を利用し、Sheet 2 + Sheet 3 の値を計算する。Sheet 4 には、- 2 , 0 , + 2 の値を記入されることとなるが、- 2 の値を持つ地点は北西斜面、+ 2 の値を持つ地点は南東傾斜地点となる。このワークシートについて彩色を行えば、この方向の斜面分布図が作成できる。さらに、北東、南西斜面の抽出については、Sheet 2 - Sheet 3 の値を計算することによって、求めることができる。

$$EW = (A + 2D + G) - (C + 2F + I)$$

$$NS = (A + 2B + C) - (G + 2H + I)$$

ただし、式の記号は、勾配算出のワークシート上の位置関係と同様である。

### 【斜面の抽出（参考）】

接峰面や接谷面を求めた方法と同様に、3 × 3の窓関数に適当な数値を与えると、この関数と同期した形状を持った地形（斜面など）を抽出することも可能となる。

例えば、下記のような窓関数からは、

+ 1	0	- 1
+ 1	0	- 1
+ 1	0	- 1

東斜面における計算値が最大値となり、西斜面で最小値となる。従って、この計算値の絶対値に適当なしきい値を与え抽出すれば、東斜面と西斜面を取り出せる。

また、次のような窓関数を与えた場合、同様に、北東斜面と南西斜面を抽出することとなる。

0	- 1	- 1
+ 1	0	- 1
+ 1	+ 1	0

具体的には、接峰面数値地図の格納されたシート（Sheet 1）と計算式（窓関数）を記入するシート（Sheet 2）を用意する。Sheet 2の3 × 3の中央に、Microsoft Excelの串刺し計算を利用し、Sheet 1のデータにオペレータを掛け合わせる計算を書き込み、必要な範囲にコピーする。これによって、Sheet 2に計算結果が表示される。

計算値は、それぞれの窓関数と同じ傾向の斜面の場合、その値の絶対値が大きくなるため、適当なしきい値を定めて表示すれば、これらの方向を持った斜面が表示されることとなる。図の作成方法は、地形図の作成方法と同様である。

### 4 - 3 . 勾配の変化率（ラプラシアン）と二次微分

地表高度の二次微分  $\frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial y^2}$  は方向に依存しないスカラ量で、地形の凹凸の

程度を表現している。これを離散型で表すと、

$$\nabla^2 = \frac{1}{4} \{u(x+1, y) + u(x-1, y) + u(x, y+1) + u(x, y-1) - 4u(x, y)\}$$

となる。（パソコンによる数値地理演習）

実際の数値地図からの計算方法としては、つぎのようなオペレータを使うことによって、各地点での二次微分係数を算出できる。

0	1	0
1	- 4	1
0	1	0

Microsoft Excelで、計算する場合は、4 - 1と同様の手順を行えばよい。

各地点での二次微分係数の値は、 $\nabla^2 < 0$ のとき凹地形（谷地形）、 $\nabla^2 > 0$ のとき凸地形（尾根地形）、 $\nabla^2 = 0$ で板のように平坦な地形を表すこととなる。

### 5 . レポート作成

250mメッシュ及び100mメッシュを使い、沖縄島の地形的特性がよくわかる図をまとめ、さらに、沖縄の地質と比較し、それらの図から判明することやその成因を考察せよ。

レポートはワードを利用して作成する。このとき図はワード文書中に挿入図として入れる、データをZipに保存し、提出すること。