

斜面傾斜角の経緯度による補正法

井上 誠*

The correction method for the slope angle using the longitude and the latitude.

Makoto INOUE*

*地球情報・技術研究所 Global Info-tec ,1-11-6 Kizaki, Urawa-ku, Saitama City, 330-0042, Japan.
 E-mail:m_ino_ue@nifty.com

キーワード : DEM, 傾斜角, 地形解析, 経度, 緯度, 補正法

Key words : DEM, slope angle, geomorphic analysis, longitude, latitude, correction method

1. はじめに

最近公開されているリモートセンシング技術で作成された DEM や国土地理院が公開している基盤地図情報標高モデルの DEM は、サンプリング間隔が秒で表示されている。そのため、斜面傾斜角を求める時に使用する東西方向のサンプリング距離と南北方向のサンプリング距離とが異なってくる。特に高緯度地域ほどその差が大きくなっていく。

サンプリング間隔が緯度により変化するため、傾斜量、傾斜度、勾配などは分母のサンプリング距離が変わる。この問題を解決するために 2 点間の距離を経緯度から簡易的に求める方法を利用し、傾斜角に与える影響を調べた結果について報告する。

2. 経緯度からサンプリング距離を計算する方法

地球は回転楕円体であるため、2 点間の距離は直線的な距離ではなく、球面三角法によって曲面距離を計算しなければならない。国土地理院測地部では下記のアドレスで 2 点間距離を経緯度から求める計算式を公開している。

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>

しかし、式が複雑でプログラムの 1 部として組み込むには適さない。比較的精度がよい簡易計算法としてヒュベニの公式がある。(図-1 参照) その精度を調べるために国土地理院の 2 点間距離を求めるホームページの計算結果とヒュベニの式の計算結果を比較した。検証データとしては基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM の屋久島近傍を使用した。

north: 30.5、south: 30.166666668
 east: 130.75、west: 130.375
 rows: 3000、cols: 3375

図-2 に示すように計算誤差は東西方向で 20cm 以下、南北方向で数 cm の誤差であった。この辺の距離をデータ数で割ればサンプリング距離の誤差は 1mm 以下になることが確認できた。

DEM のサンプリング距離は、計算範囲を囲む 4 辺の距離を計算し、計算範囲の中心点での距離を東西方向 (dx)、南北方向 (dy) として下式で計算した。

$dx = ((\text{北側辺の距離} + \text{南側辺の距離}) / 2) / (\text{東西方向のデータ数} - 1)$

$dy = ((\text{東側辺の距離} + \text{西側辺の距離}) / 2) / (\text{南北方向のデ$

ヒュベニの平均経度の式

$$s = \sqrt{(M \Delta \phi)^2 + (N \cos \phi \Delta \lambda)^2}$$

ϕ : 2 点の平均緯度

$\Delta \phi$: 2 点の緯度差

$\Delta \lambda$: 2 点の経度差

M : 子午線曲率半径 $\frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \phi)^3}}$

N : 卯酉線曲率半径 $\frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi}}$

a : 回転楕円体の長半径

b : 回転楕円体の短半径

e : 離心率 $\sqrt{1 - (b/a)^2}$

図-1 ヒュベニの平均緯度の式 (三浦 2015 より)

	国土地理院計算結果	ヒュベニ公式の計算結果	計算誤差
北側辺の距離	35,999.581 m	35,999.598	17cm
南側辺の距離	36,121.725 m	36,121.741	16cm
東側辺の距離	36,962.694 m	36,962.693	-1cm
西側辺の距離	36,962.694 m	36,962.693	-1cm

図-2 国土地理院の計算結果とヒュベニの式の計算結果の比較

一タ数-1)

下記に Microsoft 社 Visual BASIC V6 のプログラムリストを示す。

このプログラムの IDO1, IDO2, KEI1, KEI2 に 2 地点の経緯度を入れて 4 辺の球面距離を計算して中心点でのサンプリング距離 dx, dy を求める。変数はすべて倍精度を使用する。

'2 点間の距離 ヒュベニの公式
 Dim ido1 As Double '緯度 1

Dim ido2 As Double '緯度 2
Dim kei1 As Double '経度 1
Dim kei2 As Double '経度 2
Dim D As Double '2 点間の距離
Dim P As Double '2 点の平均緯度
Dim dP As Double '2 点の緯度差
Dim dR As Double '2 点の経度差
Dim M As Double '子午線曲率半径
Dim N As Double '卯西線曲率半径
Dim pi As Double 'π
Dim yn_D As Double
Dim ys_D As Double
Dim xe_D As Double
Dim xw_D As Double
Dim aa As Double
Dim bb As Double
Dim ee As Double
Dim ww As Double

pi = 3.14159265358979 / 180
aa = 6378137 '長半径
bb = 6356752.314245 '短半径
ee = Sqr((aa ^ 2 - bb ^ 2) / aa ^ 2) '第 1 離心率

'北側の辺の長さ

ido1 = yn * pi
ido2 = yn * pi
kei1 = xe * pi
kei2 = xw * pi
P = (ido1 + ido2) / 2
dP = ido1 - ido2
dR = kei1 - kei2
If dP = 0 Then dP = 0.0000001

ww = Sqr(1 - ee ^ 2 * Sin(P) * Sin(P))
M = aa * (1 - ee ^ 2) / ww ^ 3
N = aa / ww
yn_D = Sqr((M * dP) * (M * dP) + (N * Cos(P) * dR) * (N * Cos(P) * dR)) '単位は m

3. 誤差の検証

第 1 表は、国内の島を対象にしてサンプリング距離を 10m に固定した場合と経緯度でサンプリング距離を補正した場合との差を示す。対象とした地形要素は、傾斜量、傾斜度、勾配である。

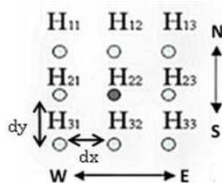


図-3 データ配置図

図-3 に示すデータ配置の場合の計算式を示す。傾斜量と傾斜度は Prewitt 法を用いて下記に示す式で計算した。

Prewitt 法

$$S_x = (H_{11} + H_{21} + H_{31}) - (H_{13} + H_{23} + H_{33}) / 6dx$$

$$S_y = (H_{11} + H_{12} + H_{13}) - (H_{31} + H_{32} + H_{33}) / 6dy$$

傾斜量

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

傾斜度

$$\text{kaku} = \text{Atn}(\text{Sqr}(s_x * s_x + s_y * s_y)) / \text{deg}$$

但し、deg = 3.14159 / 180

項目	最大傾斜角(度)			誤差の平均値	dx	dy
	10mで固定	緯度・経度で補正	差			
佐渡島						
傾斜量	2.08594	2.03517	0.05078	0.00549	9.750	12.335
傾斜度	77.05689	76.42666	0.63023	0.31535		
勾配	79.86121	78.69179	1.16942	0.45610		
伊豆大島						
傾斜量	2.02677	1.99199	0.03478	0.00379	10.178	12.334
傾斜度	76.31817	75.85519	0.46298	0.19294		
勾配	78.02879	76.41856	1.61023	0.30122		
隠岐諸島						
傾斜量	3.09439	3.05064	0.04375	0.00280	9.999	12.332
傾斜度	84.03794	83.86701	0.17093	0.16551		
勾配	85.04726	84.53702	0.51024	0.24851		
屋久島						
傾斜量	2.66226	2.53050	0.13176	0.01823	10.688	12.322
傾斜度	81.96915	81.12407	0.84508	1.09133		
勾配	83.30586	82.18010	1.12576	1.20324		
西表島						
傾斜量	2.02335	1.92673	0.09662	0.01145	11.276	12.313
傾斜度	76.27359	74.92390	1.34969	0.66253		
勾配	78.01582	76.15573	1.86009	0.79110		

表-1 サンプリング距離を 10m に固定した場合と経緯度・緯度で補正した場合の各地点での誤差

奥尻島(勾配)			佐渡島(勾配)			隠岐諸島(勾配)		
角度区分	10mで固定	経緯度補正	角度区分	10mで固定	経緯度補正	角度区分	10mで固定	経緯度補正
0-2	39.190	47.356	0-2	548.456	604.589	0-2	80.128	82.231
2-5	137.680	144.039	2-5	591.287	606.176	2-5	119.618	128.763
5-10	250.155	267.020	5-10	677.658	731.973	5-10	210.860	239.896
10-20	368.939	378.316	10-20	1,367.929	1,514.932	10-20	526.448	603.220
20-30	248.773	248.582	20-30	1,542.893	1,669.730	20-30	674.630	755.448
30-40	159.872	143.380	30-40	1,477.631	1,428.203	30-40	727.448	712.383
40-50	37.890	38.464	40-50	728.295	440.430	40-50	411.813	260.701
50-60	6.260	2.729	50-60	88.059	27.723	50-60	66.155	28.220
60-70	445	331	60-70	3,372	1,764	60-70	11,040	8,735
70-80	50	37	70-80	326	186	70-80	5,334	4,043
80-90	808	556	80-90	839	568	80-90	486	309
伊豆大島(勾配)			屋久島(勾配)			西表島(勾配)		
角度区分	10mで固定	経緯度補正	角度区分	10mで固定	経緯度補正	角度区分	10mで固定	経緯度補正
0-2	39.270	49.392	0-2	235.502	38.892	0-2	125.891	148.638
2-5	125.020	138.472	2-5	109.990	135.332	2-5	165.305	178.008
5-10	164.025	172.600	5-10	253.968	294.516	5-10	194.515	232.480
10-20	202.535	201.444	10-20	516.186	618.043	10-20	512.628	630.789
20-30	111.563	102.675	20-30	790.345	1,006.727	20-30	576.475	583.190
30-40	54.493	40.216	30-40	790.345	1,170.121	30-40	406.107	310.329
40-50	16.979	10.748	40-50	834.112	520.488	40-50	163.645	82.856
50-60	5.189	3.675	50-60	174.959	58.036	50-60	31.202	11.753
60-70	1,650	1,275	60-70	9,471	3,773	60-70	3,577	1,471
70-80	289	134	70-80	289	663	70-80	275	99
80-90	20	7	80-90	828	563	80-90	830	568

表-2 勾配の頻度分布

勾配

$$f_x = (h_{21} - h_{11}) / (2 * dx)$$

$$f_y = (h_{12} - h_{11}) / (2 * dy)$$

$$ta = \text{Sqr}(f_x * f_x + f_y * f_y) / \text{deg}$$

表-1 に示す通り、南北方向の dy の値はほとんど変わらないが、東西方向の dx は緯度による円周距離が高緯度になるにつれて小さくなっている。傾斜角については最大傾斜角について調べた。利尻島の傾斜量と傾斜度を除いて、経緯度でサンプリング距離を補正した傾斜角が 10m に固定して計算した平均角度より多少大きい。また、範囲内のすべてのデータについて差を求め、その平均値で評価した。表-2 の勾配角度の頻度分布で見ると経緯度補正した結果では全体的に低角度での頻度が増し、高角度で減少していることがわかる。このことから、経緯度補正を行うと角度が小さくなることわかる。

図-4、図-5 に傾斜度図、図-6、図-7 に傾斜量図、図-8、図-9 に勾配図のイメージ図を示す。それぞれの図は、左側が経緯度補正をしたイメージ図であり、右側がサンプリ

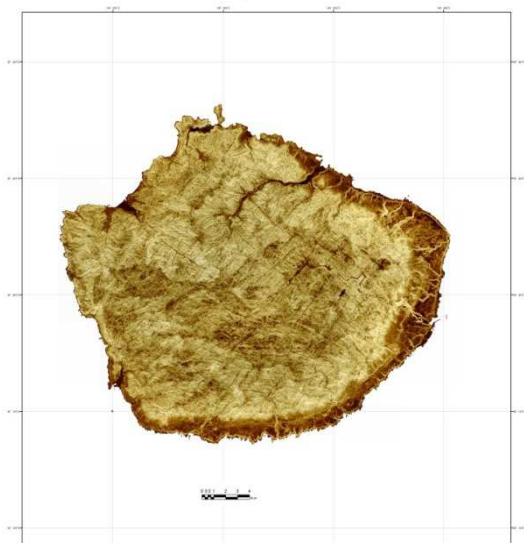


図-4 経度・緯度補正した傾斜度図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

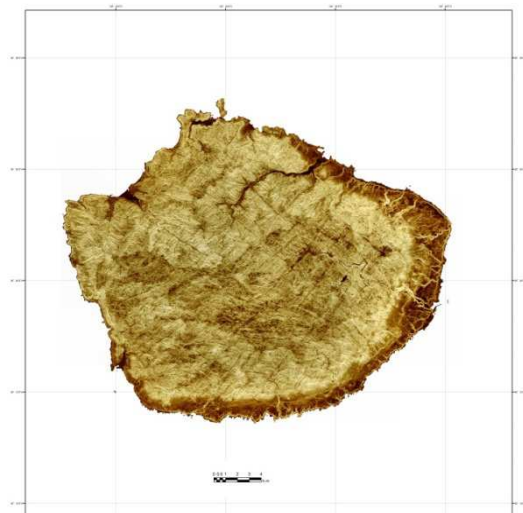


図-5 経度・緯度なしの傾斜度図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

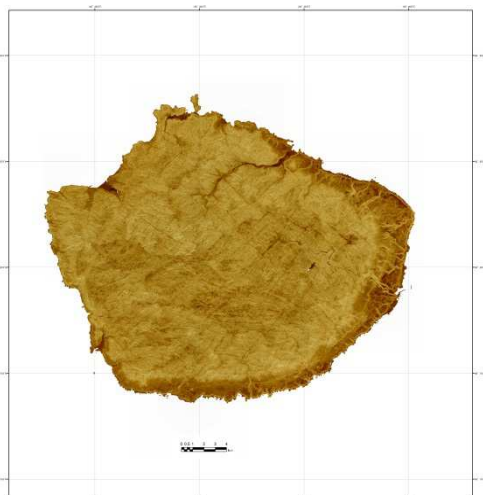


図-6 経度・緯度補正した傾斜量図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

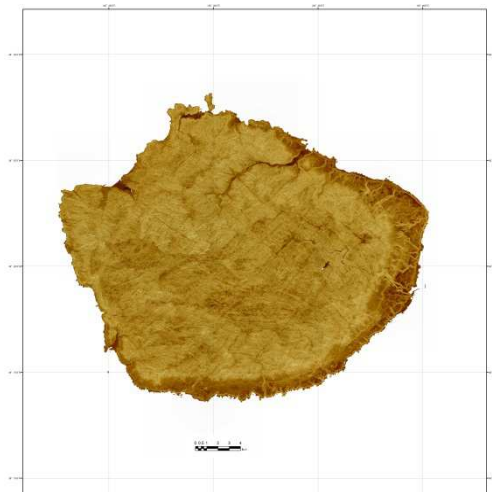


図-7 経度・緯度補正なしの傾斜量図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

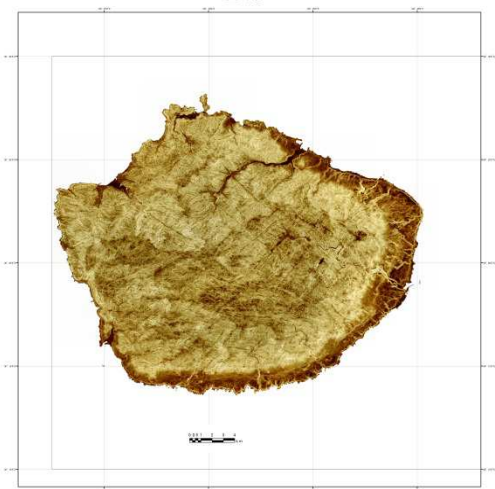


図-8 経度・緯度補正した勾配図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

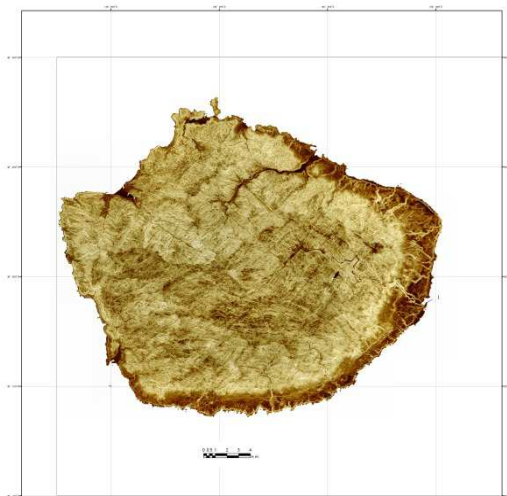


図-9 経度・緯度補正なしの勾配図 (ポジ画像)
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

グ距離を 10m に固定して計算したイメージ図である。左右を比較すると多少色の明暗を感じることはできるが、地形構造上には全く変化は見られない。見易さの点では、傾斜量図、傾斜度図、勾配図では差があるが、これは計算式による影響であり、左右の図では大きな変化はない。表-1 及び表-2 に示した数値では確かに差があるが、この程度の差ではイメージ画像で表現するとその違いは肉眼ではほとんど判別できない。しかし、拡大して注意深く見ると濃淡に少しの差がみられる。屋久島中央部の暗部に注目して見るとその差を確認できる。地形区分をするときには、平野部から少し緩傾斜ところでは地形区分に影響が出るが、イメージ画像で取り扱う限り実用的には問題ないものとする。

4. 地形形状の表現

経緯度による影響は、サンプリング距離による斜面勾配のイメージ図への影響はあまり大きくないことがわかった。しかし、イメージ画像における地形形状は座標系の違いによる投影方法に依存していることがわかった。

図-10 は計算結果の画素を縦横比 1:1 で表示した傾斜度のイメージ画像（ポジ画像）である。このイメージ図を右上の UTM 座標系のイメージ図と比較すると屋久島の形状が東西に幅広くなっていることがわかる。図-11 は利尻島の傾斜度図である。上の図が UTM 座標系、下が画素の縦横比 1:1 の図である。縦横比 1:1 の図では東西に広がった形状になっている。島の形状上は表示する座標系に大きく関係しており、地質図などの他の画像と対比する場合には座標系をそろえる必要がある。

5. まとめ

- 1) 地球が回転楕円体であることから高緯度へ行くに従い、同じ秒数であっても東西方向 (dx) と南北方向 (dy) の距離が大きく異なる。このため、0.4 秒を $dx=dy=10m$ と固定して傾斜角を求める時には注意が必要である。
- 2) 経緯度の補正にはヒュベニの公式を使用すると簡便に計算できる。計算誤差は、国土地理院ホームページで公開されている 2 点間距離の計算結果と比較して東西方向で 35km あたり 16-17 cm、南北方向は数 cm であり、dx, dy で考えた場合には誤差はほとんどない。十分使用できる計算式であることがわかった。
- 3) 経緯度補正を行った結果と補正を行わない計算結果を傾度分布で見ると、経緯度補正を行うと低角度の傾度は増し、興亜角度の傾度が低下している。補正を行うと傾斜角が小さくなる傾向があることがわかった。
- 4) 島の形状の差は、表示する座標系に大きく依存していることがわかった。他の画像と比較する場合は比較する画像の座標系に合わせる必要がある。

6. 参考文献

- 三浦英俊 (2015) 緯度経度を用いた 3 つの距離計算方法, オペレーション・リサーチ, 2015 年 12 月号, pp701-705
- 野上道夫(1999) : 50m-DEM による地形計測値と地質の関係, 地理学評論, 72A-1, pp.23-29
- 神谷泉・黒木貴一・早田靖博・小田切聡子・政春尋志・田中耕平 (1999) : 傾斜量図の作成とその応用, 情報地質, Vol.10, No.2, pp.76-79
- 井上誠(2009) DEM から地質情報を得るための検討—その 1 傾斜量図—, 情報地質, Vol.20, No.2, pp114-115
- 井上誠(2010) DEM から地質情報を得るための検討—その

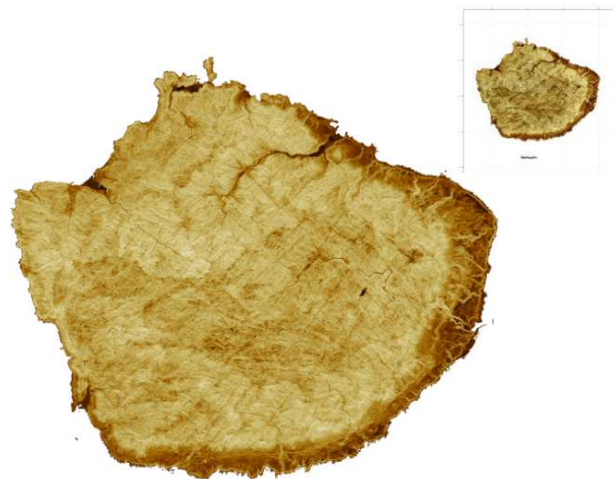


図-10 計算結果の画素をそのまま表示した傾斜度図
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用

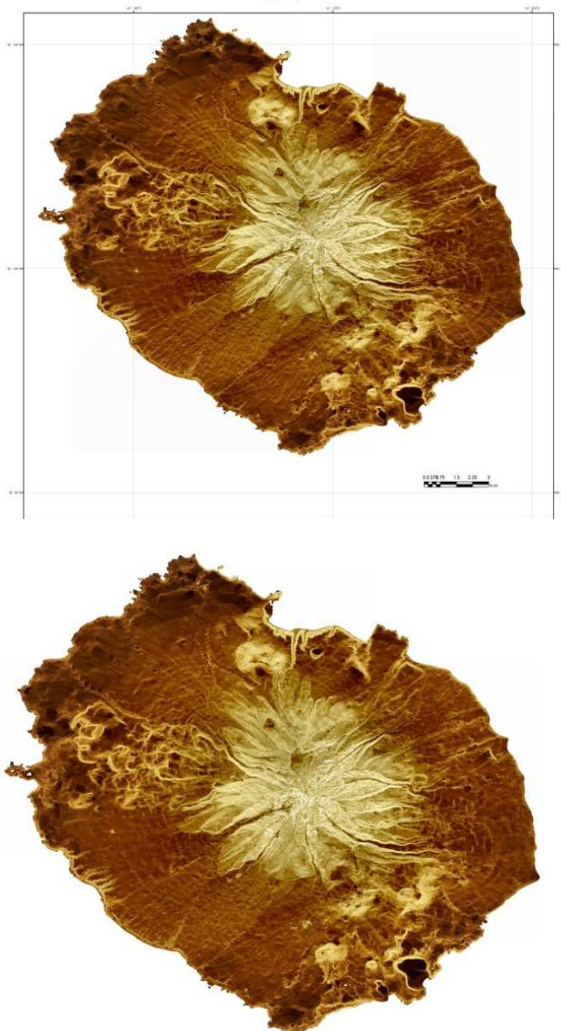


図-11 利尻島の傾斜度イメージ図
上: UTM 座標系、下:画素の縦横比 1:1
基盤地図情報数値標高モデル 10mDEM を使用
2 傾斜量図と地質情報の関係—, 情報地質, Vol.21, No.2, pp78-79