

修正コサイン法を用いた衛星画像の地形効果補正による土地被覆分類の改善

Improvement of land cover classification by the modified cosine method for topographic effect correction

佐藤清忠(一関高専) 飯倉善和(岩手大学工学部) 横山隆三(岩手大学工学部)

Kiyotada SATO(Ichinosaki National College of Technology), Yoshikazu IIKURA (Faculty of Engineering, Iwate University), Ryuzo YOKOYAMA(Faculty of Engineering, Iwate University)

Abstract : The modified cosine method is applied to a Landsat TM image of Kitakami high-land to show its effectiveness for improving land cover classification accuracy. Since the offset component such as path radiance is removed before the cosine correction of topographic effect, the modified method is not only easy to implement but also physically sound. Improvement is demonstrated visually by comparing the vegetation map and corrected image as well as uncorrected image.

Keyword: ISODATA, confusion matrix, forest stand classification

1 はじめに

衛星画像データには、大気と地形の影響に基づく変動が含まれる¹⁾。土地被覆分類など地表面の状態を考える上で、これらの変動は誤差要因(外乱)となる。とくに、起伏の激しい山岳地域では地表面の傾斜による太陽入射照度の違いの補正が重要な問題となる²⁾。

地表面にランベルト拡散を仮定すると衛星センサで計測される太陽反射光(直達入射照度成分)は太陽入射角の余弦に比例する。これを利用した地形効果補正法³⁾(いわゆるコサイン補正)がよく知られている。さらに、コサイン補正では太陽入射角が大きい地点で過剰補正が発生するため、非ランベルト拡散を考慮したMinnert法や太陽入射照度と衛星データとの統計的な回帰分析に基づく方法などが検討されている^{4),5)}。しかし、物理的な解釈をふまれば、パ斯拉ディアンスなどのオフセット成分を除去したのちにコサイン補正を行う修正コサイン補正が合理的と考えられる⁶⁾。修正コサイン法ではさらにオフセット成分の標高依存性を考慮できる。

本論文では、修正コサイン法の効果を検討するために、修正コサイン法を適用した衛星画像と適用しない画像のISODATAによるクラスタ分類を行う。さらに分類結果と植生図との比較を行う。

2 使用データの準備

2-1 精密幾何補正済 Landsat / TM 画像

1985年6月16日に観測されたランドサットTMの標準処理データ(path=107,row=32&33)を用いて、岩手県全体の正射投影画像(UTM座標系)を作成した⁷⁾。本論文での解析には北上高地の大川地区(720ピクセル、620ライン)を切り出した画像(以下、未補正画像と呼ぶ)を用いる。1画素の大きさは30m x 30mである。Fig.1に可視バンドの平均的な輝度値を示した。

2-2 数値標高モデル(DEM)

国土地理院からフロッピーディスクで出版されているDEMは、座標系が等緯度経度法、メッシュのサイズが約50m、標高の量子化が0.1mである。われわれは岩手県全体のDEMデータを手に入れ、これをランドサットTMデータとの整合性の高いUTM座標系の30m x 30mメッシュに変換した。さらに岩手県から対象地区を切り出した。対象地区は、平均標高が742m、最高標高1361m、最小標高123mとなっている。

2-3 岩手県植生図

全国統一植生凡例コードによりベクトルデータとして登録されていた植生図を、TM画像と整合性をとるためにUTM座標に変換し、30mメッシュの植生図を作成した。さらに対象地区の凡例項目21種を次の4つの大分類項目にマージした。この番号、0~4が、後で示すカテゴリ番号である。

0: 未分類(0.003%)

造成地、開放水域

1: 広葉樹(53.8%)

ダケカンバ、チシマザサ、ジュウモンジシダ、ブナ、クリ、シラカンバ、コナラ

2: 草地(8.9%)

ススキ、シバ、畑地雑草、牧草地ゴルフ場、水田

3: 針葉樹(37.2%)

カラマツ、オオシラビソ、ヒノキ、アカマツ、スギ

Fig.2に対象地区の大分類項目を画像で示した。全体としてFig.1とよく対応しているが、細かく見ると本来低い値をとるべき森林の輝度値が高い場所などが見られる。これらの中には、植林が行われたが木が成熟してい

ない場所などが含まれる。

2-4 6Sを用いたシミュレーション

大気シミュレータ6Sを用いて、オフセット成分と透過率の標高依存性を検討した。このシミュレーション結果により、可視バンドでの標高依存性は無視できないものであるが、標高が1000m以下では1次式で近似できることが明らかとなった。シミュレーションの条件は中緯度夏、海洋性エアロゾル、視程30kmとした。

3 修正コサイン法

起伏の激しい標高差のある山岳地域では、地表面の傾斜の違いによる太陽放射照度の補正と、標高差によるパ斯拉ディアンズ補正が不可欠となる。

対象ピクセル(x,y)の衛星上の放射輝度値Lsは、対象ピクセルへの放射照度Io、パ斯拉ディアンズLpおよび

背景放射輝度Lbを用いて、次のように定式化することができる。

$$L_s = T_s(z)R(x,y)I_o + L_p(z) + L_b(z) \quad (1)$$

ここでzは標高、Rは地上物体の反射率、Tsは対象から衛星までの透過率である。Ioはさらに次のように分解できる。

$$I_o = E_o T(z) \cos \theta + E_d + E_e \quad (2)$$

ここでTは太陽から対象物までの透過率、 θ は太陽天頂角、 θ は太陽の直達光線と地表面の法線ベクトルのなす角度(太陽入射角)、Eoは大気圏外における太陽放射照度である。太陽入射角 θ は、対象となる地表面(x,y)の傾斜角度eと傾斜方位 ϕ 、太陽の天頂角 θ と方位角Aの関数として次式で与えられる。

$$\cos \theta = \cos \theta \cos e + \sin \theta \sin e \cos(\phi - A) \quad (3)$$

Landsat TMの場合、平坦な地形では透過率やパ斯拉ディアンズは衛星画像に対してほぼ一定とみなせるた

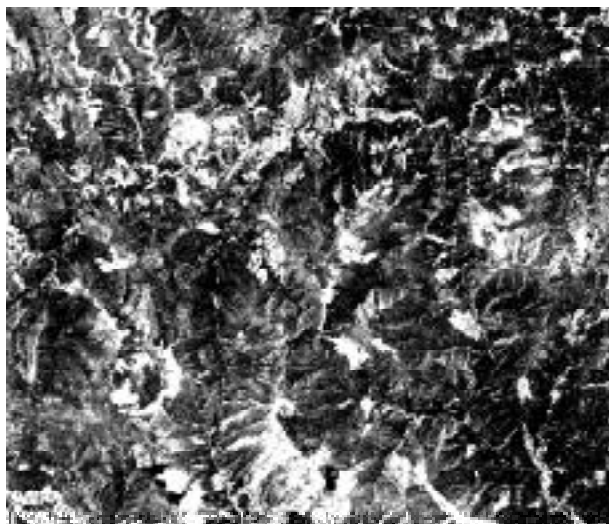


Fig.1 Ortho-rectification satellite image

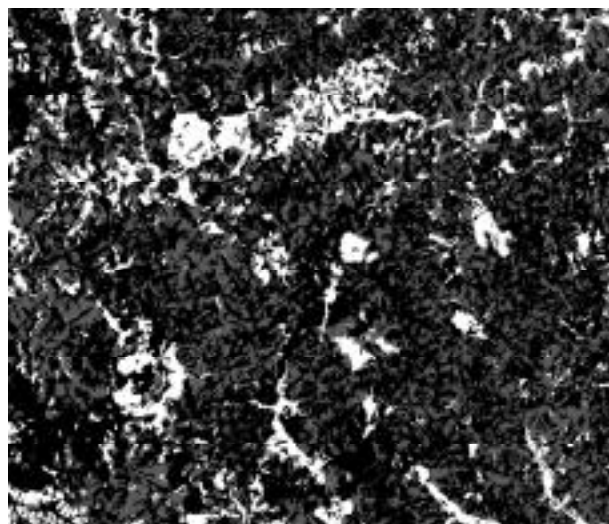


Fig.3 Classification results of uncorrected TM image

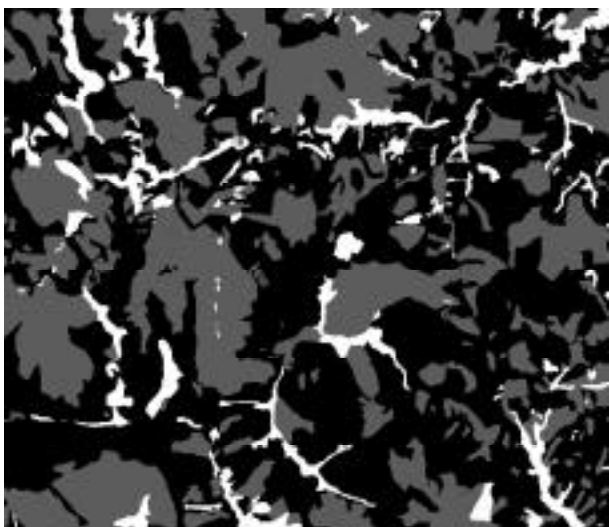


Fig.2 Vegetation map merged by 4 forest items

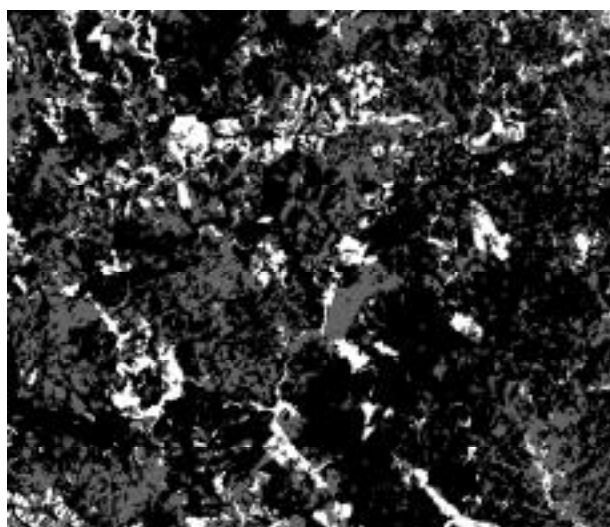


Fig.4 Classification results of the corrected TM imagery

め、相対的には画素毎の補正は必要とされない。しかし起伏のある地形ではそれらは標高の関数となる。すなわち標高が高くなれば、透過率は増加し、パ斯拉ディアンは減少する。さらに起伏のある地形では太陽入射角が画素毎に異なる。

この標高と太陽入射角の変化に対して、いくつか補正の方法が提案されている⁴⁾が、我々は上の(1)~(3)式を、実用上問題ないことを確認した上で簡略化をし、次に示す修正コサイン法を用いた。

$$DNn(x,y) = \frac{DNn(x,y) - (a_n + b_n * DEM(x,y))}{\cos(\theta(x,y))} \quad (4)$$

ここで、DNn(x,y)は、大気・地形効果補正によるバンドnにおける(x,y)座標位置における放射輝度値 (Digital Number)である。DNn(x,n)は精密幾何補正済のバンドnにおける放射輝度値である。

a_nはL_p(z)+L_b(z)の切片項、b_nは6S等で得た標高依存性を示す係数で、バンド毎に設定する。

cos(θ(x,y))は各画素に対する太陽入射角であり、撮影の日時と対象地域の緯度経度により確定する。従来、コサイン法といえ、この計数値の乗算または除算だけの補正を行うものであった。

修正コサイン法では、a_nとb_n係数を決定し、DEMを用意することにより、簡便に衛星画像の大気地形効果を補正できる。

4 a_n と b_n 係数の推定

(2)式のE_dとE_eを無視し、(1)に代入することにより、L_s=T_s(z)R(x,y)E_{oT}(z)cos θ+L_p(z)+L_b(z) (5)の式が得られる。ここでcos θ=0(完全に影になる場所)の放射輝度値を各バンド毎に測定すると、それはL_p(z)+L_b(z)の合計値、切片項a_nの近似的な係数値を意味する。具体的 a_n を設定するために、衛星画像の影の部分数十箇所を選び、統計的に算出した。一方、b_nについては、6Sシミュレータの計算結果を参考にし推定値を割り出した。大川地区におけるa_nとb_nの計数値は、結局、次の値が適切である、との判断をした。

Table 1 Offset Parameter for Correction

n	1	2	3	4	5	6
a _n	63.0	22.0	18.0	51.73	28.87	8.10
b _n	-0.008	-0.003	-0.003	0	0	0

a_n,b_nはシミュレータ等による推定値であり、実際に最適な値であるかどうかはわからない。このため上の値のa₁を±2、a₂,a₃を±1の範囲で微小変化させ、組み合わせ総計で27種類の修正コサイン補正による画像(以下、補正画像と呼ぶ)を準備した。

5 ISODATA によるクラスタ分類

クラスタ分類を行う前に、ピラミッドリンク⁸⁾による領域分割を行った。ピラミッドリンクは画像ピラミッドにおける親子関係に柔軟性を持たせることにより分解能を損なうことなく画素の統合を行う方法であり、領域分割ばかりでなくデータ圧縮への利用も提案されている⁹⁾。

クラスタ分析には、ISODATA¹⁰⁾を用いた。ISODATAは非階層的なクラスタリング法であるが、K-MEAN法のようにクラスタの数が固定されずデータの特徴に応じて半自動的に設定される。ただし、初期クラスタ、分割パラメータ、融合パラメータなどがが必要となる。

ここでは、

ISODATA c g 16 18 30 60 20 30

のパラメータ設定を行った。これを衛星画像に適用した結果、補正画像では19個のクラスタが、未補正画像では15個のクラスタが得られた。

6 カテゴリー割当て

19個のクラスタを次の3つの情報を参考にして、植生図の4つの大分類カテゴリーに割り当てた。

- (1) クラスタの平均ベクトルと分散、
- (2) 植生図とクラスタ分類項目の判別効率表 (confusion matrix)
- (3) 画像として表示し、植生図との対応を比較

割り当てられたカテゴリーに基づいて再分類した結果を画像とした。未補正画像の場合がFig.2、補正画像の場合がFig.3である。濃さの割り当ては植生図の場合(Fig.1)と同じであり、対応関係を確認できる。

未補正画像の場合、太陽入射照度の影響が分類にも現れている。補正画像の場合には、分類の単位が大きくなっており、植生図との対応をつけるのが容易であることがわかる。しかし、森林(とくにカラマツ)が草地に分類されているものがあるが、これには植林された樹木がまだ成長し切っていないものが含まれている。

7 分類結果の精度評価

分類の精度を定量的に評価するために、植生大分類項目(行)に対する分類結果項目(列)の判別効率表を作成し、Table 2とTable 3に示した。なおTable 3の結果は、27種の補正画像の中から、最良の大気・地形効果補正の結果を選んだものである。

表の見方は、たとえば項目1(広葉樹)を例にとると、Table 2の未補正画像の場合、総項目数240384中、154133画素が、広葉樹と一致したことを示す。この一

Table 2 Confusionmatrix for uncorrected Image

class	0	1	2	3	Total
0	0	32	64	64	160
1	1135	154133	21039	64077	240384
2	132	15082	17369	7228	39811
3	278	91982	24005	49780	166045
Sum	1545	261229	62477	121149	

致の度合いが、大気・地形効果補正を行って被覆分類を行うと、Table 3に示すように、182370に改善された、ということである。

項目数に対する分類の割合を示すと、

	広葉樹	草地	針葉樹
未補正画像	64%	44%	30%
補正画像	76%	33%	35%

となっている。修正コサイン法により、広葉樹と針葉樹の分類精度が向上したことが確認できた。しかし、草地項目の分類精度が悪化している。

8 まとめ

修正コサイン法により大気・地形効果補正を行った画像は、視覚上、その劇的な改善効果が確認できる。しかし実際に分類し誤差評価を行ってみると、その改善効果は確かにあるとはいえ、それほど顕著ではなかった。

この主要な原因は、植生図が必ずしも土地被覆の状態と対応していないことである。すなわち、植林が行われたが木が成熟していない場合には、衛星画像から森林と判断することはできない。この他の原因としては

1. 大分類項目のマージの方法

適正な大分類項目の設定

2. 適切な波長帯域を選択

バンド1は雑音が多い

バンド5と7の特徴は類似している

3. ISODATAパラメータの設定

自由度が大きく最適な設定となっていない

などが考えられる。

今後は、以上の修正と、多時期のデータを用いた分類、さらに広域の分類（例えば岩手県全体）を行い、植生図の修正方法としての衛星画像の有効性を実証して行きたいと考えている。

<参考文献>

- 1) R.Richter, Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery, Int.J. Remote Sensing, Vol.18, No.5, pp.1099-1111, 1997

Table 3 Confusion matrix for corrected Image

class	0	1	2	3	Total
0	0	64	34	62	160
1	1323	182370	12475	44216	240384
2	168	16742	13017	9884	39811
3	429	91043	16277	58296	166045
Sum	1920	290219	41803	112458	

- 2) P.M.Meyer, et al., Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.48, No.4, pp.17-28, 1993
- 3) J.A.Smith et al. : The Lambertian assumption and Landsat data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.46, No.9, pp.1183-1189, 1980
- 4) P.M.Teillet, B.Guidon, and D.G.Goodenough, On the slope-aspect correction of multispectral scanner data, Can.J.Remote Sensing, Vol.8, pp.84-106, 1982
- 5) 村上拓彦ほか、ランドサットTMデータにおける地形による影響の補正方法の比較、九州大学農学部演習林報告、第78号、pp.13-28, 1998
- 6) 飯倉善和、横山隆三、ランドサットTM画像の大気および地形効果の補正、日本リモートセンシング学会誌（印刷中）
- 7) 飯倉善和、横山隆三、ランドサットTM画像の正射投影とその評価、写真測量とリモートセンシング、Vol.37, No.4, pp.12-22, 1998
- 8) 高木幹雄、下田陽久、画像解析ハンドブック、pp.648-651, 東京大学出版会、1991
- 9) P.J.Burt et al., Segmentation and estimation of image region properties through cooperative hierarchical computation, IEEE Trans on SMC, Vol.11, No.12, pp.802-809, 1981
- 10) 飯倉善和、安岡善文、局所マハラノビス距離を用いた衛星画像の非可逆圧縮の評価とその応用、日本リモートセンシング学会誌、Vol.14, No.3, pp.1-10, 1994

謝辞

本論文で使用したLandsat/TMデータはEOSAT/宇宙開発事業団により研究用として提供されたもので、所有権は米国政府にあります。関係者に感謝致します。