九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

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 ： 九州大学宮崎演習林内のスギ林分を対象として

村上，拓彦
九州大学農学部林学科

藤井，秀亮
九州大学農学部林学科

今田，盛生
九州大学農学部林学科

https://doi.org/10.15017/10937

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 78, pp.13-28, 1998-03-25. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

九大演報（Bull. Kyushu Univ. For.），78：13-28，1998

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*

九州大学宮崎演習林内のスギ林分を対象として

村　上　拓　彦**・藤　井　秀　亮**・今　田　盛　生**

抄　　録

九州大学宮崎演習林内にある林冠の閉鎖したスギ林分（85.3 ha，1050 ピクセル）を対象として，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について検討した．補正方法として DEM の使用を前提とした既存の 4 手法（cosine 法，Minnaert 法，C 法，statistic-empirical 法）について，その補正効果を比較した．斜面方位別の解析の結果，バンド 4，5 の輝度に大きな変化がみられたため，特にバンド 4，5 について解析を行った．オリジナルデータと太陽入射角の余弦（cos i）には正の相関がみられたが，Minnaert 法，C 法，statistic-empirical 法による補正後，そうした相関はみられなくなった．一方，cosine 法では cos i が小さいときに過補正となり，逆に負の相関がみられた．Scheffe 検定の結果，オリジナルデータでみられていた向日および背日の斜面方位クラス間での有意差が，Minnaert 法，C 法，statistic-empirical 法ではみられなくなった．また，補正後のデータ全体での標準偏差は，cosine 法を除く 3 手法において縮小した．結局，cosine 法を除く 3 手法に有意な補正効果が認められ，それらの 3 者間の差はほとんどみられなかった．

キーワード：ランドサットTM データ，DEM，地形の影響，補正方法，スギ林分

1.　は　じ　め　に

広域での森林型区分や森林モニタリングにおいて，衛星リモートセンシングデータのような広域を定量的に捉えるデータが活用できれば，その便益は大きい（妹尾ら，1983）．特に，日本などのように森林の大半が起伏の複雑な山岳地に限定される場合，広域調査にかかる労力・費用・時間は甚大なものであり，それらの効率化・省力化に衛星リモートセンシングデータの貢献が期待されているといえる（Hodgson and Shelly，1994）．

ランドサットなどに搭載される受動的光学センサは，地上被覆物から反射された電磁波をいくつかの波長帯（スペクトル）別に観測する．地表被覆物はそれぞれ固有のスペクトル反射特性をもつが，その性質を利用することにより地表被覆物の判別や分類が可能となる．しかし，現実のデータでは純粋に地表被覆物の性質のみが反映されているわけではな

---

* MURAKAMI, T., FUJII, H. and IMADA, M.：Comparison of Correction Methods for Topographic Effects on Landsat TM Data：For Sugi-stands in the Kyushu University forest in Miyazaki.

** 九州大学農学部林学科
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

い．一般的に，山岳地を対象とした衛星リモートセンシングデータには，①地上被覆物固有の放射輝度，②地形起伏の影響を受けた放射輝度，③大気の散乱光による放射輝度の3つの成分が含まれている（妹尾，1990）．特に②の地形による影響は，斜面と太陽の相対的な位置関係に応じた日照条件の差異によるものがほとんどである．この②の影響は，山岳地域におけるリモートセンシングデータ利用に対して大きな障害となっている（Leprieur *et al.*，1988）．

こうした地形の影響を除去することを目的として，輝度補正法について様々な研究がなされてきている．それらはバンド間演算（バンド比）によるもの（妹尾ら，1983；妹尾，1987；Colby，1991），とDEM（Degital Elevation Model；数値標高データ）を用いたもの（Smith *et al.*，1980；大貫，1981；Teillet *et al.*，1982；Senoo *et al.*，1990；Colby，1991；Chiou *et al.*，1992；Meyer *et al.*，1993；Hodgson and Shelly，1994）に大別される．

バンド間演算は隣接する波長帯の比をとることにより，観測値に与えられた相対的な地形の影響を除去しようとするものである．長所として，DEMなどの補足的なデータを必要としないこと，簡便な手法であることが挙げられる．しかし，バンド比に換算することによって，それまで放射輝度の差異により識別できていた地表被覆物が同一化してしまうこともあり，その利用には限界がある（Hodgson and Shelly，1994）．また，バンド毎に地形の影響の程度が異なる報告（斉藤ら，1994；藤井ら，1997）やDEM法と比較した場合，バンド間演算の方が劣る結果が示されていること（Colby，1991）から，バンド間演算への期待は小さいと言える．

一方，DEMを用いた補正法では，DEMから求められる斜面方位，傾斜角を用いて，ピクセル毎の太陽入射角を算出し，日照条件の違いによる観測値の変動をモデル式により補正する．この手法ではバンド毎，ピクセル毎の条件の違いを考慮することが可能となる．

本研究では，スギ林分を対象として，ランドサットＴＭデータにおける地形の影響を明らかにした上で，その補正方法について比較，検討することを目的としている．DEMを用いた補正方法について，既存の4つの手法を選定し，個々の補正方法の有効性について考察を行った．

なお，既報（村上ら，1996；藤井ら，1997）においては，閉鎖後のスギ林分，ヒノキ林分を区分せずに，地形とTMデータの関係について解析を行ってきたが，本報では樹種間の分光反射特性を排除する目的で，解析対象を閉鎖後のスギ林分としている．

2．　対象地および使用したデータ

解析には1990年9月21日観測のランドサットTMデータ（Path-Row：112-38；観測時刻：10：09 a.m.）を用いた．TMデータは1：25000地形図を用いて幾何補正（地図座標の付加）を行い，1ピクセルの解像度28.5 mに変換した．なお，解析にはバンド6（熱赤外域）を除く計6バンドを用いた．

対象地として九州大学宮崎演習林内のスギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）人工林を選定した．スギ林分の所在は森林調査簿により確認し，さらに小班位置図と航空写真（1991年10月撮影）を照らし合わせ林冠の閉鎖した林分のみを選定した．選定の際，小班面積が

1 ha 以下のものについては，抽出したピクセルに多くの林縁部分（混合ピクセル）が含まれるため除去した．

DEM については，1：5000 森林基本図から等高線（10 m 間隔）をデジタイザー入力し，その等高線データからメッシュ状の標高点を発生させることにより作成した．DEM の解像度は TM データに合わせ 28.5 m とした．

DEM より各ピクセルの斜面方位，傾斜角を算出し，これらと TM データを重ね合わせた．小班位置図を用いて，対象とするスギ林分の範囲をデジタイザー入力し，重ね合わせ画像から解析用データを抽出した．抽出ピクセルは全体で 1050 ピクセル（85.3 ha）となった．図 1 に対象としたスギ林分における斜面方位，斜面傾斜角の分布状況を示す．

なお，解析システムとして TM データの処理については ERDAS Imagine Ver.8. 2，等高線データの処理については Terra soft を用いた．

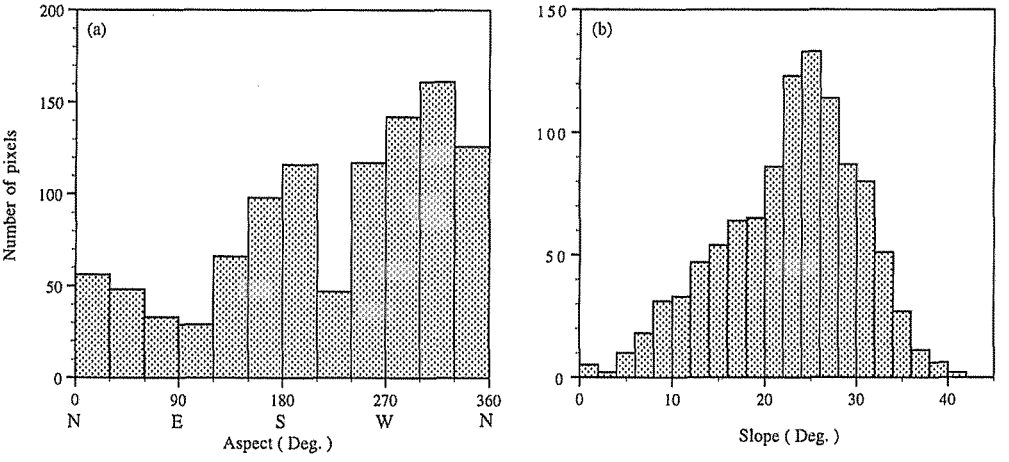

Fig. 1　Number of pixels on sampling Sugi stands of Kyushu University forest in Miyazaki : (a) against aspect, (b) against slope.
図 1　対象スギ林分における（a）斜面方位分布，（b）斜面傾斜角分布

3.　輝度と地形の影響

3. 1.　輝　　度

ランドサット TM データは光学センサによって，地上被覆物が太陽を放射源として反射もしくは放射する電磁波を観測したものである．表 1 に TM データの観測諸元を示すが，TM データは可視域及び近・中間・熱赤外域の波長帯を捉えるリモートセンシングデータである．具体的には，TM センサは地表被覆物が反射もしくは放射する電磁波のエネルギーを測定しており，このエネルギーは放射輝度（見かけの単位面積から単位立体角，単位時間当りに放射される放射エネルギー）に相当する（日本リモートセンシング研究会編，1992）．

実際に配布される TM データは，波長帯ごとに観測した放射輝度を 8 ビットで量子化し

表1 TMデータの観測諸元
Table 1 Spectral bands of landsat TM data.

Band	Wavelength range (μm)	Spectral
1	0.45—0.52	Visible-Blue Region
2	0.52—0.60	Visible-Green Region
3	0.63—0.69	Visible-Red Region
4	0.76—0.90	Reflective Near-Infrared
5	1.55—1.75	Reflective Mid-Infrared
6	10.4—12.5	Thermal Infrared
7	2.08—2.35	Reflective Mid-Infrared

たものであり，各バンド毎に0から255の範囲の数値で構成されている．なお，本研究では量子化された放射輝度（TMデータ値）を*DN*（Digital Number）と称している．

3.2. 地形の影響

センサで観測されたデータと，地表被覆物が固有に示す反射率や放射輝度といった物理量は一致しないのが一般的である．これは，センサの感度特性や地形，大気の状態が影響しているためである（日本リモートセンシング研究会編，1992）．それらの影響は①センサに起因するもの，②シーンに起因するものに大別される（Teillet，1986）．

①については衛星やセンサの安定性，検出器間の感度偏差といった衛星，センサの技術的な問題である．これについては，通常，データの配布される前段階において補正がなされているため，実用上問題はないとされている（宇宙開発事業団地球観測センター，1990）．

②については，地形による影響と大気による影響に大別されるが，本研究ではこのうち地形による影響を問題とする．

地形の影響について整理すると次のようになる．

（1）標高に依存した光学的厚み（Optical thickness）．
（2）周囲の丘陵や山体が入射光を遮ることによる陰影（Cast shadow）．
（3）近隣地点からの拡散放射の影響（Adjacent pixel effect）．
（4）太陽と斜面の相対的な位置関係がもたらす放射輝度の変動（Slope-aspect effect）．

本研究では実利用上最も問題となる（4）の部分のみを取り扱った．（1）（3）については本論では考慮していない．また，（2）については今回抽出したデータには含まれていないことを目視により確認している．

4. 補正方法

今回用いた4つの補正方法の共通項である太陽入射角についてその算出方法を説明する．

太陽入射角とは斜面の法線と太陽光線とのなす角として定義され，（1）式により求められる．

$$\cos i = \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \cos(\gamma - \alpha) + \cos\beta \cdot \sin\delta \quad (1)$$

ここで，iは太陽入射角，αは斜面方位，βは斜面傾斜角，γは太陽方位，δは太陽高度である（図2参照）．なお，対象地周辺での観測日時における太陽位置（太陽方位131.8°，

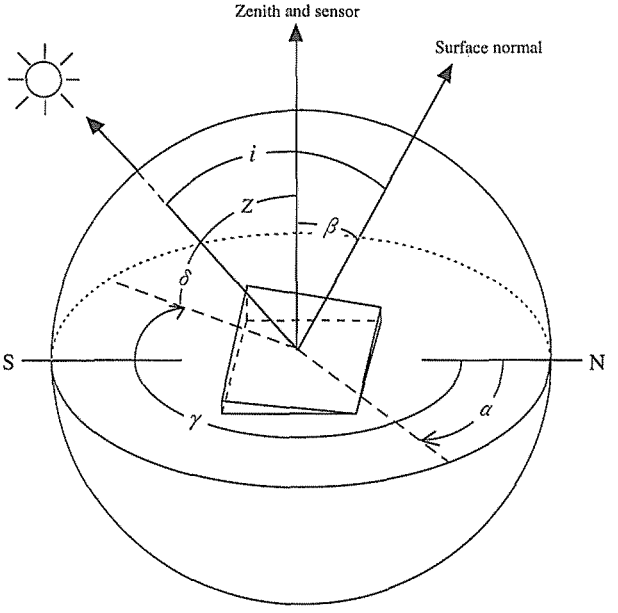

Fig. 2　Diagram of geometric relationships between sun and sensor positions ; α and β are aspect and slope of the surface, γ and δ are solar azimuth and elevation angle, Z is solar zenith angle, i is solar incidence angle.
図2　太陽とセンサの幾何学的関係
（α：斜面方位，β：斜面傾斜角，γ：太陽方位，δ：太陽高度，Z：太陽天頂角，i：太陽入射角）

太陽高度 47.5°）について，その算出方法を付録に記している．

以下に，本研究で使用した補正方法をそれぞれ示す．

4.1. cosine 法

この補正法は平坦地を対象として，太陽位置が異なる複数時点のデータ間の輝度補正を行うために適用されているものである（Smith *et al.*, 1980）．cosine 法は，対象物の表面をランベルト面（均等拡散面としての性質をもち，ランベルトの余弦則が成立する面）と仮定しており，これは放射輝度がセンサの観測角に依存しないことを意味している．cosine 法は（2）式で表される．

$$DNc = DNo \times (\cos Z / \cos i) \quad (2)$$

$$Z = 90 - \delta \quad (3)$$

ここで DNc は補正後の DN（水平面の DN に相当），DNo は補正前（オリジナル）の DN，Z は太陽天頂角である．

cosine 法は直接放射の補正モデルである．そのため，直接放射の割合が高い地点では有効であるが，逆に拡散放射などの割合が大きな地点では有意な補正効果が期待しにくいとされる．特に，太陽入射角の大きな地点ほど直接放射の割合は低くなり，cos i が 0 に近づき，（2）式において DNc が過大な値を示す結果となる（Smith *et al.*, 1980；Teillet *et*

al., 1982；Chiou *et al.*, 1992；Meyer *et al.*, 1993). これらの報告は全て山岳林を対象としたものであることから，本研究においてもその有効性は期待しにくいと思われる．そのため，本論では従来の指摘をスギ林分を対象として確認することと，他の手法との比較ということで用いた．

4.2. Minnaert 法

この補正法は Minnaert (1941) が提唱した経験モデルに基づくもので，代表的な非ランベルトモデルとして用いられてきた (Smith *et al.*, 1980；Teillet *et al.*, 1982；Chiou *et al.*, 1992；Meyer *et al.*, 1993). この補正法は（4）式を用いる．

$$DNc = (DNo \times \cos Z \times \cos e) / (\cos i \times \cos e)k \quad (4)$$

ここで e は天頂と斜面法線の成す角（反射角；斜面傾斜角と同値），k は Minnaert 定数である．k は 0 から 1 の間の値をとり，反射面もしくは放射面の粗度と関係をもつとされている (Minnaert, 1941). $k = 1$ の場合，（4）式は（2）式となりランベルト面を仮定したことになる．k が 1 以外の値を示すとき，対象物表面は拡散放射（反射），鏡面放射（反射）の混合した性質をもつ．

4.3. C 法

Teillet *et al.* (1982) は，cos i とオリジナルデータの回帰式（5）をもとに求められたパラメータ c（6）を用いた準経験的な補正式（7）を提唱した．

$$DNo = m \cdot \cos i + b \quad (5)$$

$$c = b / m \quad (6)$$

$$DNc = DNo\,[(\cos Z + c) / (\cos i + c)] \quad (7)$$

Teillet *et al.* (1982) によれば，パラメータ c にはパスラジアンス（光路放射）の補正効果が含まれている．また，c の効果は Minnaert 定数のそれに類似している．すなわち，c が分母に付加されることにより，cosine 法でみられる i が大きい時の過補正が抑制される．

4.4. statistic-empirical 法

この補正方法は従属変数といくつかの独立変数の間における有意な相関を基本とした統計的なアプローチによるものである．回帰式に依拠することにより独立変数の影響が補正可能となる．

ここで cos i とオリジナルデータの間に線形相関を仮定すると，DN は次式（8）により補正可能となる (Meyer *et al.*, 1993).

$$DNc = DNo - m \cdot \cos i - b + \overline{DNo} \quad (8)$$

ここで $\overline{DNo}$ は DNo の平均値である．m，b は（5）式より求める．

この補正法は回帰直線を $\overline{DNo}$ の高さで水平になるよう回転させるものである．

以上，各補正方法について述べたが，以後，cosine 法は COS 法，Minnaert 法は M 法，statistic-empirical 法は SE 法と称することにする．

5.　結果および考察

図3に対象としたスギ林分における斜面方位と TM データの関係を示した．図中では斜面方位クラス（30°区切り）ごとの平均値をバンド別に表示した．全体的な *DN* の傾向として，向日斜面において高く，背日斜面において低くなることが示された．特に，バンド4，5においてそうした *DN* の変化が顕著に認められた．この，バンド4，5が捉える近・中間赤外域の波長帯は，植生域のリモートセンシングデータ解析において重要なデータである．そのため，バンド4，5における補正の良否はすなわち，山岳林での TM データの利用精度を左右するものである．そのことを踏まえ，以降ではバンド4，5について解析を行った．

図4，5に太陽入射角の余弦（cos *i*）と *DN* の関係を示した．図4（a），5（a）は cos *i* とオリジナルデータの関係を示したものであるが，両者に正の相関が認められた．このこ

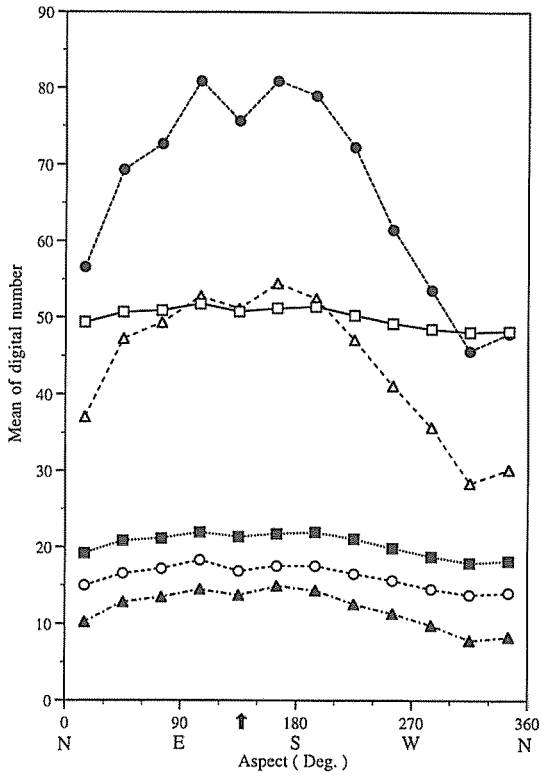

Fig. 3　Relationships between TM data band and aspect on sugi stands ; arrow in the figure shows solar azimuth.

BAND1　BAND2　BAND3
BAND4　BAND5　BAND7

図3　対象スギ林分における TM データと斜面方位の関係
（図中の矢印は太陽方位を示す）

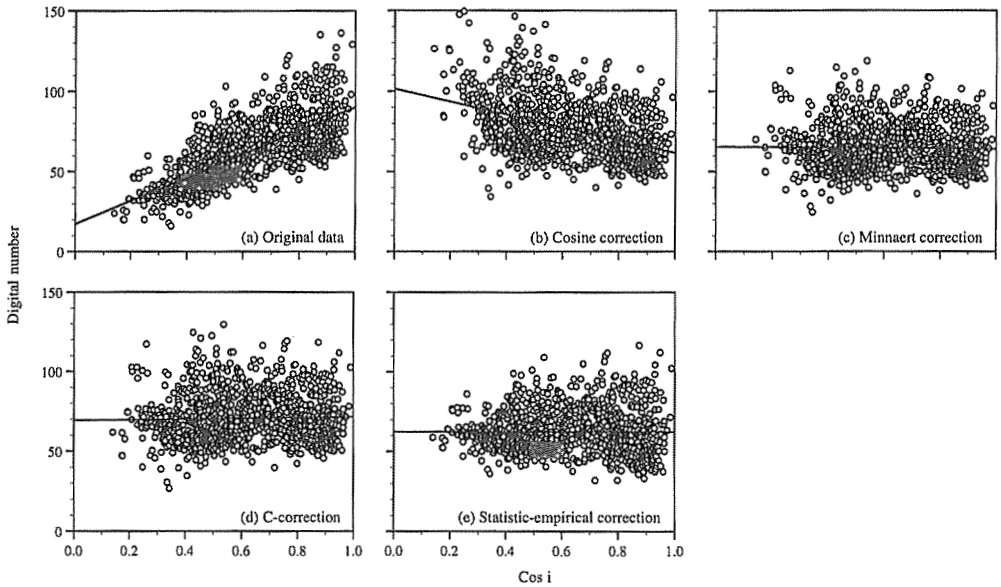

Fig. 4 Relationships between cos i and digital numbers of original or corrected data in band 4.
図4 バンド4における cos i とオリジナルデータおよび補正後のデータの関係

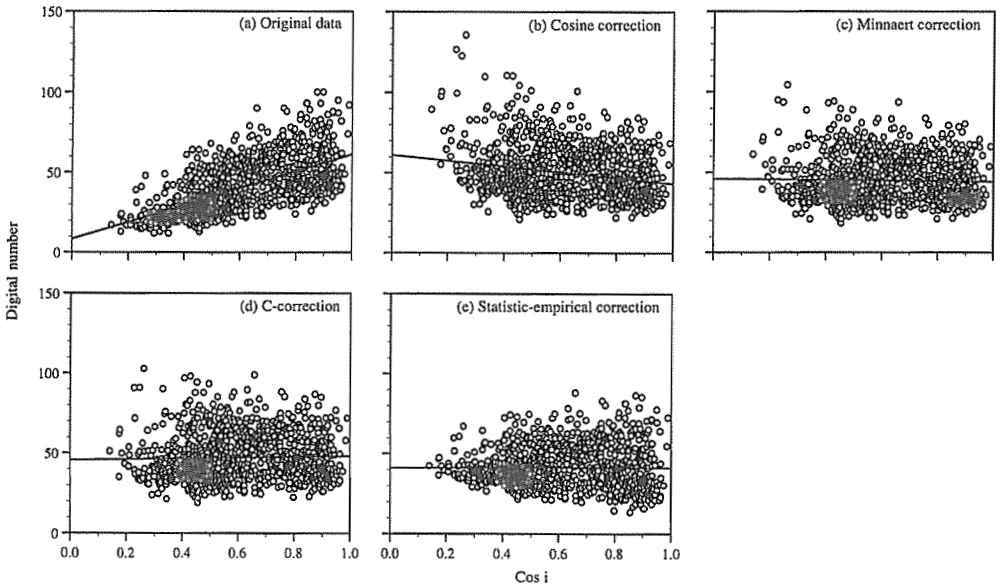

Fig. 5 Relationships between cos i and digital numbers of original or corrected data in band 5.
図5 バンド5における cos i とオリジナルデータおよび補正後のデータの関係

とから，補正の良否は，cos i に対する DN の傾きを 0 に近づけられるかどうかで示されるといえる．

図4（b），5（b）はCOS法を適用したものであるが，全体の傾きがオリジナルデータとは逆になっていた．特に，cos $i < 0.5$ において DN の著しい増加傾向がみられ，4.1.で述べたとおり，この部分での過補正が認められた．COS法を扱った報告（Smith *et al.*, 1980；Teillet *et al.*, 1982）においてランベルト則が適用できるのは i が 0 から 45°～55°（cos i が 1.00 から 0.71～0.57）までと指摘されているが，本研究の結果もおおむねそれに合致したものといえる．

他の補正法ではオリジナルデータでみられた傾きはほとんどみられなくなった（図4（c，d，e），図5（c，d，e））．表2に各補正法に対して算出されたパラメータ及び cos $i-DN$ 間の決定係数を示した．オリジナルデータの決定係数はバンド4，5でそれぞれ 0.5253，0.4039 を示していたが，M法，C法，SE法ではほぼ 0 に近似していた．中でも，両バンド共にSE法の決定係数が最も低い値を示した．一方，COS法の決定係数については他の3手法に比較すると大きな値を示したといえるが，オリジナルと比較して大幅に 0 に近づいているといえる．ただ，図4（b），5（b）で明らかなようにCOS法の DN の分布は線形というよりも逆比例的であり，これは決定係数だけで補正の良否を判断することの危険性を示唆するものであった．

表2　バンド4, 5におけるパラメーター（m, b, k, c）と決定係数（r^2）
Table 2　Parameters (m, b, k and c) and coefficent of determination (r^2) for regressions between cos i and digital numbers in bands 4 and 5.

	Band 4		Band 5	
	r^2	Parameters	r^2	Parameters
Original data	0.5253		0.4039	
Cosine correction	0.1754		0.0484	
Minnaert correction	0.0004	$k=0.74$	0.0006	$k=0.83$
C-correction	0.0009	$c=0.24$	0.0011	$c=0.16$
Statistic-empirical correction	0.0000	$m=72.68$	0.0000	$m=52.82$
		$b=17.31$		$b=8.29$

図6，7に図3と同様に斜面方位と DN の関係を示した．両図ともに，COS法における DN の変化はむしろオリジナルとは逆の傾向がみられることが分かった．さらに，COS法では背日斜面での DN のばらつきが大きくなっていた．これは背日斜面側においてcos i が 0 へ近似することにより，過補正DNが増大したことを示したものである．一方，M法，C法，SE法では DN の分布が平坦に近くなった．また，これら3手法の結果に大きな差異はみられなかった．

表3はバンド4のオリジナルデータについて斜面方位クラス間で，Scheffe検定による多重比較を行ったものである．これから，30°と90°－240°，60°－240°と300°－360°付近で有意差が認められた．これは向日斜面と背日斜面における DN 分布の違いを有意に示したものである．表4はCOS法によるバンド4の補正データに対する多重比較の結果であるが，150°－180°と270°－360°付近で有意差が認められた．表4において有意差の認められるク

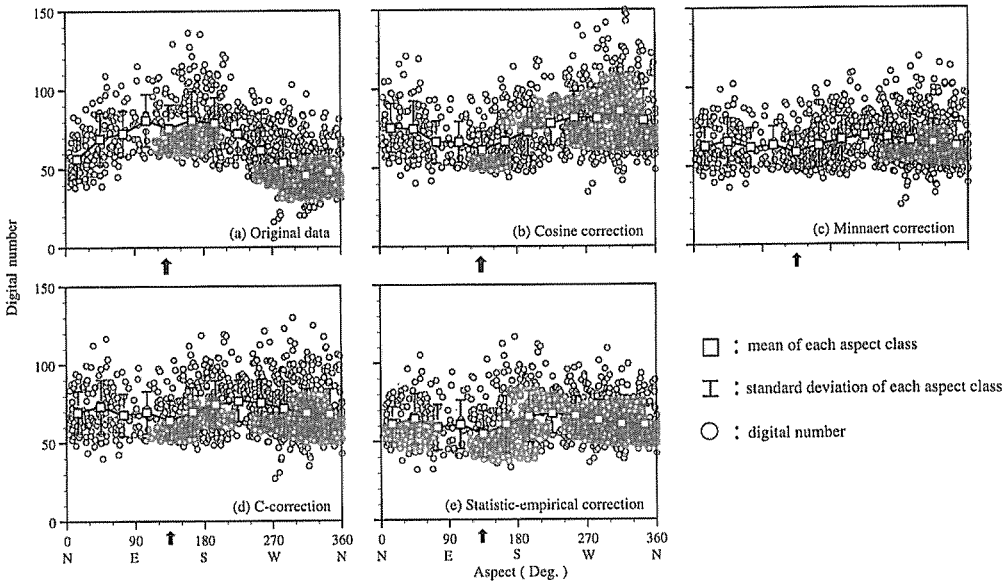

Fig. 6 Relationships between aspect and digital numbers of original or corrected data in band 4 ; arrow in the figure shows solar azimuth.

図6 バンド4における斜面方位とオリジナルデータおよび補正後のデータの関係
(図中の矢印は太陽方位を示す)

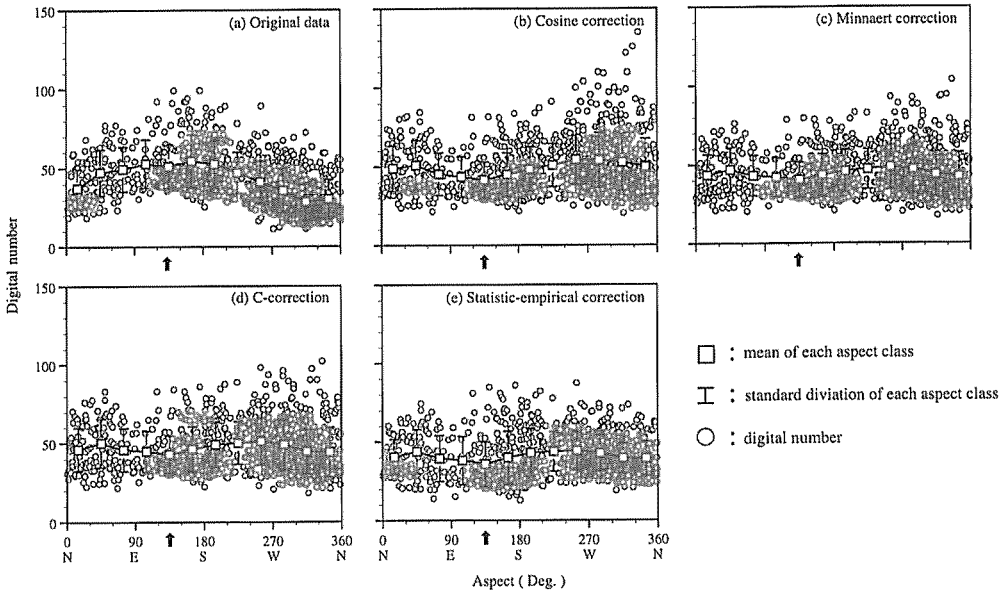

Fig. 7 Relationships between aspect and digital numbers of original or corrected data in band 5 ; arrow in the figure shows solar azimuth.

図7 バンド5における斜面方位とオリジナルデータおよび補正後のデータの関係
(図中の矢印は太陽方位を示す)

表3　斜面方位クラスについての Scheffe テスト（バンド4；オリジナルデータ）
Table 3　Scheffe test for aspect classes (band 4 ; original data). * Significant at 5% level. Gap in this table indicates NS (not significant at 5% level).

Aspect class	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
30	—											
60		—										
90	*		—									
120	*			—								
150	*				—							
180	*					—						
210	*						—					
240	*							—				
270				*	*	*	*		—			
300		*	*	*	*	*	*	*		—		
330	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—	
360		*	*	*	*	*	*	*	*			—

表4　斜面方位クラスについての Scheffe テスト（バンド4；cosine 法）
Table 4　Scheffe test for aspect classes (band 4 ; cosine corrected). * Significant at 5% level. Gap in this table indicates NS (not significant at 5% level).

Aspect class	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
30	—											
60		—										
90			—									
120				—								
150					—							
180						—						
210							—					
240					*			—				
270					*	*			—			
300					*	*				—		
330			*	*	*	*	*				—	
360					*	*						—

ラスがオリジナルと比較して減少したことについて，図4（b）における COS 法の結果と照らし合わせてみて，有意な補正の効果があるというよりも，背日斜面での過補正がその部分での斜面方位クラスにおける分散の増加に寄与し，他クラスとの差を吸収したものと考えられる．他の3手法については，斜面方位クラス間での有意差はほとんど認められなかった．バンド5においてもバンド4の場合とほぼ同様の結果が得られた．

表5に対象スギ林分における *DN* の平均値，標準偏差をバンド4，5についてまとめた．SE法では平均値を基準として，回帰式を回転させることから，平均値はオリジナルと同一であった．両バンドにおいてM法，C法，COS 法の順に平均値は大きな値を示した．標準偏差については，SE 法が最も小さく，次いでM法，C法，COS 法という順になった．COS 法ではオリジナルデータより平均値は大きくなっていたが，標準偏差は大きくなっていなかった．

表5 バンド4, 5におけるオリジナルデータおよび補正後の平均値と標準偏差
Table 5 Mean and standard deviation of original data and each correction methods in bands 4 and 5.

	Band 4		Band 5	
	Mean	Std.Dev.	Mean	Std.Dev.
Original data	62.350	20.176	41.050	16.736
Cosine correction	76.719	19.103	49.956	16.183
Minnaert correction	64.666	14.251	44.825	14.019
C-correction	70.747	15.627	47.112	14.707
Statistic-empirical correction	62.350	13.901	41.050	12.922

補正後の標準偏差の大小は，地形による*DN*の変化をどの程度抑えたかということのひとつの目安になるが，その意味ではSE法に最も補正効果がみられたといえる．次いで，M法，C法の順となる．ただ，これら3つの補正法については，決定係数，多重比較の結果共に同様のものが得られていることから，実際にはこれら3つの補正法の優劣はつけにくいと考えられた．統計値，分類精度によりM法，C法，SE法の3手法を比較したMeyer *et al.*（1993）の結果においても，それらの間に顕著な差はみられなかった．

ところで，SE法はTMデータと cos i の線形関係を前提としている．この補正式自体は経験的に適用されているだけなので，線形相関についての理論的確証が得られることが将来的には必要である．

本報告はスギ林分のみを対象としたが，スギ・ヒノキ林分のデータを区分せずに取り扱った報告（藤井ら，1997）においてもバンド4，5の*DN*が大きな変化を示していたことから，ヒノキ林分でも同様の補正効果が期待できると考えられる．また，広葉樹においてもスギ，ヒノキと程度の差こそあれ類似の傾向がみられる報告（Leprieur *et al.*，1988；齋藤ら，1994）があることから，ここでもほぼ同様の効果が見込まれるであろう．結局，植生被覆面における近・中間赤外域の放射輝度に対する地形の影響の大きさについては全般的な傾向として認められ，その補正法については今回用いた3手法が妥当であろう．しかし，これらの手法はいずれも経験式として位置付けられており，より補正効果の高い理論モデルの構築が期待される（Meyer *et al.*，1993）．

6. おわりに

本研究の結果を要約すると次のようである．

1）スギ林分ではバンド4，5で斜面方位によって顕著なDNの変化がみられた．

2）COS法については従来の指摘どおり，その有効性は確認できなかった．

3）M法，C法，SE法といった非ランベルト面を仮定した補正法に有意な補正効果がみられた．

今回用いた補正法で回帰式によりパラメータを得るもの（M法，C法，SE法）については，補正対象物（サンプル）ならびにデータ観測時点，対象地域（シーン）が変わった場合，その都度パラメータ算出が必要とされる．この点はこれらの補正法の弱点と言えるであろう．今後，各補正式のパラメータとサンプルならびにシーンとの関係，パラメータの

適用許容範囲等に関してさらに解析を重ね，その補正効果を正確に把握しておく必要がある．

ところで，今回の補正はいわば cos i に対する DN の全体的な傾きを直すことである．しかし，図4，5を見ても分かるとおり，同一太陽入射角における DN の垂直方向の変動は依然大きい．この原因にはその他の地形の影響（3．2．参照）に加え，地表被覆物の状態（林分状態），大気の状態の微妙な差異が考えられるが，それらについてここでは考慮していない．これらについては，複数の時点のデータを用い，さらに詳細な解析が必要である．

現時点では，地形の影響に関して DEM を用いた補正法が最も妥当なものとされているが，衛星リモートセンシングデータの解像度に応じた DEM を用意することはそれほど容易なことではない．本研究ではデジタイザーによる等高線入力により，TM データの解像度に合致した DEM を得ることができたが，それに懸かる労力，時間は決して少なくない．また，マニュアル作業であることから，少なからず入力データのずれ等の問題も生ずる．一方，スキャナー入力では入力ずれ等の問題は解消されるが，これもデータを完全にするためには多くの労力，時間を必要とする．現在，国土地理院発行の 50 m メッシュ DEM が全国で利用可能な状態にあるが，解像度として TM データ等に対し妥当であるかどうか定かではない．また，今後高解像度衛星による観測データが次々と利用可能となってくるが，これに対し 50 m メッシュ DEM では十分な解析は行えないであろう．そのため，やはり何らかの方法で個別に DEM を用意することが必要となる．ただし，近年，衛星による斜め観測画像や航空写真といったステレオペアの画像を用いることにより，コンピュータ上で DEM を作成する技術が開発されてきていることから，データ，解析システム等の費用を負担することにより，DEM 作成にかかる労力，時間を軽減させることが可能となっている．いずれにせよ，解像度，精度が適当で，広域な DEM を用意しなければ，本研究で行ったような解析およびその応用は期待しにくいと思われ，今後の課題とされるところである．

謝　　辞

本研究を行うにあたり，京都府立大の妹尾俊夫教授から太陽位置算出法について御教授いただいた．また，九州大学宮崎演習林の井倉洋二氏には森林簿，小班位置図の手配に際して便宜を図っていただいた．さらに，森林総合研究所遠隔探査研究室の平田泰雅氏，鷹尾元氏（現森林総合研究所北海道支所天然林管理研究室）には引用文献のいくつかをご提供いただいた．これらの方々には，ここに記して深謝の意を表明する．

なお，本報告の一部は 1997 年の第 53 回日本林学会九州支部大会で発表した．

付　　録

太陽高度角および方位角の算出方法

事前に確認しておく項目

λ：対象地の経度

ϕ：対象地の緯度

t ：時刻；グリニッジ標準時

理科年表で確認しておく項目

α_0：当日の視赤経

α_1：次日の視赤経

δ_0：当日の視赤経

δ_1：次日の視赤経

θ_0：当日のグリニッジ視恒星時

①時刻 t における視赤経，視赤緯の算出

$$\alpha_t = \alpha_0 + \frac{t}{24}(\alpha_1 - \alpha_0)$$

$$\delta_t = \delta_0 + \frac{t}{24}(\delta_1 - \delta_0)$$

α_1：時刻 t における視赤経

δ_1：時刻 t における視赤緯

②地方恒星時の算出

$$\theta = \theta_0 + t \times 1.0027379 + \frac{\lambda}{15}$$

θ ：地方恒星時

③時角の算出

$$H = \theta - \alpha_t$$

H：時角

④太陽高度角の算出

$$\sin E = \sin \phi \cdot \sin \delta_t + \cos \phi \cdot \cos \delta_t \cdot \cos H$$

E：太陽高度角

⑤太陽方位角の算出

$$\sin A' = -\frac{\cos \delta_t \cdot \sin H}{\cos E}$$

$$A = 180 + A'$$

A：太陽方位角

引 用 文 献

CHIOU, C.R., THOMAS, V.L. and HOFFER, R.M. (1992)：Comparison of four techniques for topographic normalization of Landsat TM data. ASPRS/ACSM/RT 92-Technical Papers 4：

184-196

COLBY, J.D. (1991)：Topographic normalization in rugged terrain. PE & RS 57：531-537

藤井秀亮・村上拓彦・寺岡行雄・溝上展也・今田盛生 (1997)：スギ・ヒノキ人工林におけるランドサット TM データの輝度に与える地形の影響の把握. 日林九支研論集 50：23-24

HODGSON, M.E. and SHELLEY, B.M. (1994)：Removing the topographic effect in remotely sensed imagery. The ERDAS Monitor 6：4-6

国立天文台編 (1989)：理科年表 平成2年. 丸善, 東京, pp.26-35.

LEPRIEUR, C.E., DURAND, J.M. and PEYRON, J.L. (1988)：Influence of topography on forest reflectance using Landsat thematic mapper and digital terrain data. PE & RS 54：491-496

MEYER, P., ITTEM, K. I., KELLENBERGER, T., SANDMEIER, S. and SANDMEIER, R. (1993)：Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. J. of Photogrammetry and Remote Sensing 48：17-28

MINNAERT, M. (1941)：The reciprocity principle in lunar photometry. The astrophysical journal 93：403-410

村上拓彦・寺岡行雄・今田盛生 (1996)：標高データを用いた衛星リモートセンシングデータの輝度補正－九州大学宮崎演習林における事例－. 日林九支研論集 49：29-30

日本リモートセンシング研究会編 (1992)：図解リモートセンシング. (財) 日本測量協会, 東京, 312pp.

大貫仁人 (1981)：LANDSAT データの地形条件の差による電磁的歪の補正法とその効果. 日林論 92：147-148

齋藤英樹・平田泰雅・沢田治雄・増田義昭 (1994)：リモートセンシングと GIS を併用した森林変化の抽出法 (II) －DTM を用いた TM データに与える地形の影響の把握－. 日林論 105：167-170

妹尾俊夫・岩浪英二・田中聰太郎・杉村俊郎 (1983)：比演算を施した2季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分. 日本リモートセンシング学会誌 3：55-65

妹尾俊夫 (1987)：比演算を施した2季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分 (II) －由良川流域の林相区分と原生林的植生域の抽出－. 京都府立大演報 31：21-28

SENOO, T., KOBAYASHI, F., TANAKA, S. and SUGIMURA, T. (1990)：Improvement of forest type classification by SPOT HRV with 20m mesh DTM. Int. J. Remote Sensing 11：1011-1022

妹尾俊夫 (1990)：森林のデータ特性－輝度補正－. 林業分野におけるリモートセンシングの利用－現状・問題点・将来展望－. 日本リモートセンシング学会, 東京, pp.42-46

SMITH, J.A., LIN, T.L. and RANSON, K.J. (1980)：The Lambertian assumption and Landsat data. PE & RS 46：1183-1189

宇宙開発事業団地球観測センター (1990)：地球観測データ利用ハンドブック－ランドサット編・改訂版－. (財) リモート・センシング技術センター, 東京, pp.2-17-2-38

TEILLET, P.M., GUINDON, B. and GOODENOUGH, D.G. (1982)：On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. Can. J. Remote Sensing 8：84-106

TELLET, P.M. (1986)：Image correction for radiometric effects in remote sensing. Int. J. Remote Sensing 7：1637-1651

(1997年11月24日受付；1998年1月30日受理)

Summary

Spectral variability due to topography can create significant problems in analyzing remotely sensed data for areas of mountainous terrain. The effects of topography on the radiometric properties of Landsat TM data are examined in the context of the remote sensing of forests in mountainous regions. The purpose of this study was to compare four radiometric correction methods for the reduction of slope-aspect effects in a Landsat TM data. Data obtained from canopy closed sugi stands (*Cryptomeria japonica* D.Don; 85.3 ha, 1050 pixels) were used for this study, which are located on the Kyushu University forest in Miyazaki. The correction methods selected for this study are DEM based model; cosine correction, Minnaert correction, C-correction, statistic-empirical correction. As a result of aspect analysis, there are sharp fluctuations in digital number of band 4 and 5, which sensed reflective near- and mid- infrared spectral. So correction methods were applied on the data of band 4 and 5, then their results were compared among correction methods. There were positive correlation between the original data and cosine of solar incident angle (cos i). The correlation was not found after Minnaert, C and statistic corrections. But when the cosine correction, for the smaller cos i , the stronger overcorrection appeared, then negative correlation was found. The Scheffe test were examined among aspect classes. There is significant difference on original data, but insignificant difference on Minnaert, C and statistic approaches. The standard deviations of three corrected data without cosine correction were reduced. Consequently, cosine correction showed insignificant result, but Minnaert, C and statistic corrections were almost same significant for the reduction of slope-aspect effects.

Key words : Landsat TM data ; DEM ; topographic effect ; correction methods ; sugi stands