

リモートセンシングにおける多時期データの輝度補正に関する研究

A Study on the Pixel Value Adjustment of Multi-temporal Data by Remote Sensing

●
小泉 俊雄

土木工学科教授

萩原 圭一

開発コンサルタント株式会社環境部

●
Toshio KOIZUMI

Dep. Civil Eng., Professor

Keiichi HAGIWARA

Kaihatsu Consultant CO. LTD., Dep. Environment

●
2002年9月19日受付

●
Received: 19 September 2002

This paper deals with methods for adjusting the pixel value of multi-temporal data in satellite remote sensing. In order to stabilize the analysis result of multi-temporal data, the author studied the pixel value adjustment by using the LANDSAT/TM image at the three periods. Utilizing the characteristic of the supervised maximum likelihood classification method, the author used the common class area between images, in which the rate of data scattering was constant, as the training area for the pixel value adjustment.

The author also tried the adjustment method in which frequency analysis was matched by using the pixel value at one period of the three as the standard datum. As a result, it was confirmed that several good thematic charts could be made in which the difference of the pixel value at the three periods was decreased. This paper will contribute to making pixel value adjustment a practical approach in multi-temporal data analysis.

キーワード: リモートセンシング, 輝度補正, NDVI, 観測輝度温度

1. はじめに

多時期の衛星リモートセンシング画像を解析する際に、変化に伴う解析結果が安定しないと言った問題が生じている。その大きな原因の一つとして、観測時の条件が異なると、同一の波長特性や属性データを持っている画像データであっても物理的要因や観測雑音等の影響によって、同じ物体から得られる輝度情報が異なる事の影響が考えられる。これまで、多時期データを用いた解析結果を安定させるための輝度値の補正に関する多くの手法として、現地調査や土地利用図から目視判読によって、経時的に変化していない土地被覆あるいは物体で観測された輝度値を抽出し回帰分析、比や差によって補正すると言った研究例¹⁾²⁾³⁾⁴⁾が見られる。輝度値の補正においては、効果的な補正が見込

まれる補正係数を算出することが重要となる。しかし、輝度情報は、常に地形(斜面)、大気および気象等の影響により、同一土地被覆でも分布している地域によって異なっているため、これまでのように輝度値の抽出において、目視判読の比重が大きいと、補正係数の算出に重要な輝度値が欠落すると言った問題が生じる。本論文は、補正係数算出に必要な輝度値を適正な箇所から抽出し効果的に補正することを目指した新しい輝度補正法を検討したものである。

2. 対象地域および衛星画像データ

2.1 対象地域

本論文は、長野県埴科郡坂城町を対象地域として実験的に検討した。坂城町は、総面積 53.64 km²、平成 12

年10月1日現在の人口は16,831人、世帯数5,430世帯である。町の中心を1級河川の千曲川が南方から北方に流れ、東部には標高1,300m程度の浅間山から続く山岳地域が、西部には標高800m程度の山岳地域が分布して、山林が全体面積の約50%を占めている自然が豊かに現存している地域で、町東部の山岳麓には上信越自動車道が建設されて平成8年11月に開通するとともに近年は市街化も進んできている。

2.2 衛星画像データ

本論文で使用した画像データはLANDSAT TM (パスローウ: 108-36) を用いた。図1(a)は1985年7月25日、(b)は1990年8月8日、(c)は1999年8月1日の画像で、これらは、1シーンから対象地域のみを切取ったものであり、画像中心の白い部分は建物が密集している市街地、その周りの薄暗い部分は主に山林の分布地域、さらに黒い部分は余白である。また、それぞれ、9時30分~10時00分の間で観測されたバルク補正画像で、幾何学的補正を施したもので、画像データ観測時における太陽方位は東から南へ向かって約 26° 、太陽高度は約 57° であり、観測変動は3時期の画像データで小さいと考えられる。その他の観測変動要因は大気中における光の散乱吸収等の不確定要因と考える。

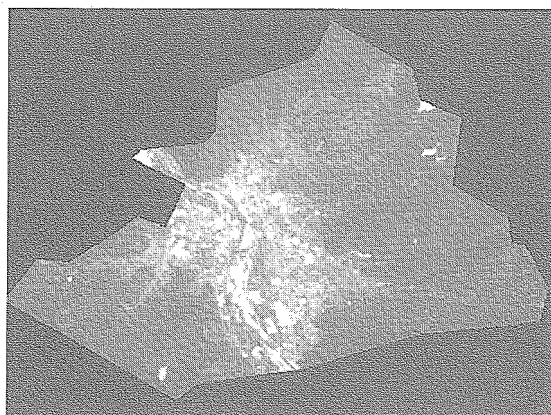
3. 輝度値補正の考え方

3.1 検討のアプローチ

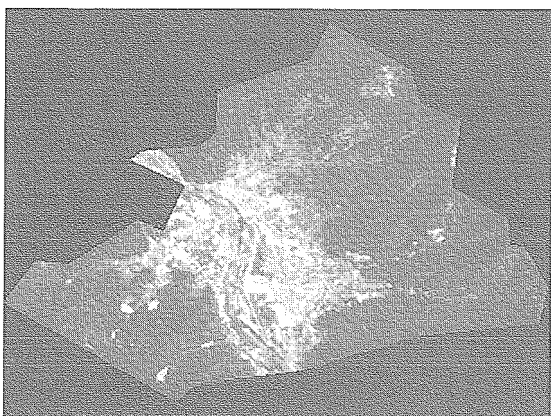
効果的な補正が見込まれる補正係数を算出する際には、土地被覆固有のスペクトル特性を無視することなく行う必要があるが、これまで補正法、特に回帰分析による画像の補正法は、閾値を設定する基準がなく、土地被覆間における輝度情報の変化点が不明確であるが故に、土地被覆固有のスペクトル特性を無視し補正する箇所が生じる。その対応策としては、土地被覆の閾値を明確に設定した補正法が必要であるものと考えられる。さらに、効果的な補正結果が見込まれるためには、変化が起こっていない土地被覆において、経時的に安定している輝度値で補正係数を算出することが考えられる。

このような考えを基本とし、本論文では、図2に示すアプローチで、輝度値の補正検討を行った。その内容は、画像データごとに教師付最尤法によって作成した土地被覆分類図をもとに、輝度値の補正係数を算出する補正トレーニングエリアの画像間共通クラスエリアを抽出して、補正処理に伴う検討を行い、多時期デー

(a)1985/7/25



(b)1990/8/8



(c)1990/8/1

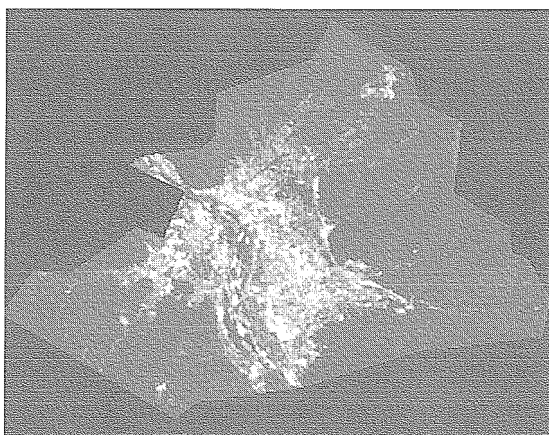


図1 対象地域の LANDSAT TM 画像

(a) 1985/7/25

(b) 1990/8/8

(c) 1999/8/1

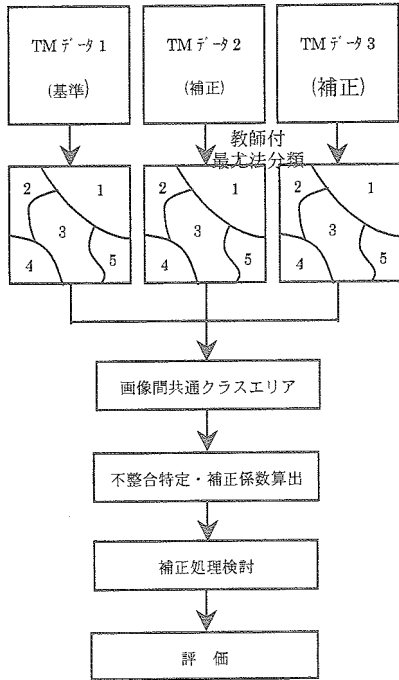


図2 検討のアプローチ

夕間で生じた不整合の低減効果と画像データの適正化を評価した。また、3時期で生じている不整合を特定するためには、何らかの基準が必要となるので、最も近年の1999年8月1日の画像データにおける輝度値を基準として、1985年7月25日および1990年8月8日の画像データで生じた不整合を特定する方法で検討した。

3.2 補正トレーニングエリアと抽出方法

教師付最尤法は、クラスター分析により各クラスのデータをサンプリングし、データの共分散行列の散布状態から統計的特徴を求めて確率的に分類する方法であり、従来から広く用いられている。分類結果は土地利用図や面積占有率等の適合状況で評価するので、画像データごとにある程度分類精度が確認できれば、多時期データ間で不安定な輝度値であってもある程度安定した分類結果が期待できる。このことから、教師付最尤法によって作成した土地被覆分類図において、3時期とも同じ土地被覆として分類された箇所(以後、画像間共通クラスエリアと称す)は、経時的に土地被覆として変化していない確率の高いことを示し、輝度値の散布状態も確率的に安定していることを示した箇所ということになる。したがって、画像間共通クラスエリアは、土地被覆ごとに効果的に輝度値の補正を行う

ことができる補正トレーニングエリアとして有効性が高いことを意味しており、この画像間共通クラスエリアを補正トレーニングエリアとした。画像間共通クラス概念図を図3に示し、また、画像間共通クラスエリアの抽出方法は下記のとおりである。

画像データごとに教師付最尤法によって作成した土地被覆分類図から各土地被覆を切り取り、土地被覆部分には1、その他の部分には0の疑似的に画素値を与える。つまり、図4に示すように単独の土地被覆画像を画像データごとに作成し、3つの画像を加算した新たな画像を生成する。生成した画像には、0, 1, 2, 3の画素値が与えられることになる。切り取った土地被覆部分の画素値には1が与えられているので、生成した画像で画素値が3となった部分は、3時期において同じ土地被覆として分類された箇所となり、すなわち、画像間共通クラスエリアとなる。この作業を切り取った土地被覆ごとに行うことによって、土地被覆ごとの画像間共通クラスエリアが抽出される。さらに、生成した画像において、画素値が1, 2となった部分は、3時期において同じ土地被覆として分類されなかった箇所となり、画像間共通クラスエリアからは除外される箇所と

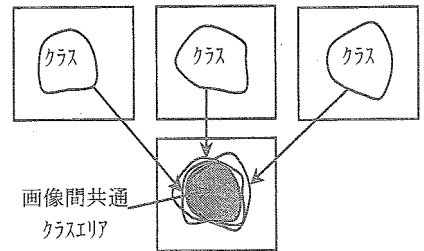


図3 画像間共通クラスエリアの概念図

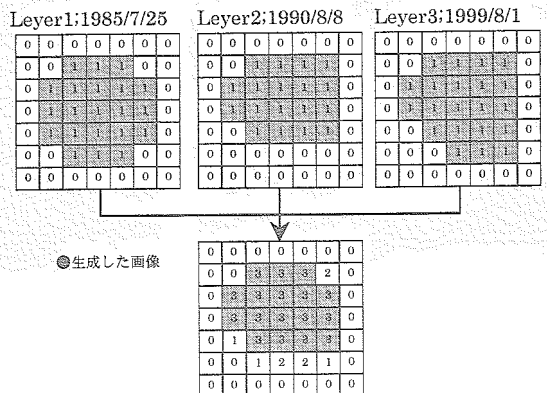


図4 画像間共通クラスエリアの算出方法

なる。そのようなことが起きる原因は、① 経時的な土地被覆の変化箇所、② データの散布状態が異なることによるクラス判別関数の相違、③ 物体が密集することによって起きるミクセルな情報の影響が考えられる。

3.3 補正係数算出

対象地域における輝度値の分布特性は頻度分布によってあらわすことができる。これは、土地被覆ごとの輝度値の分布から構成されており、土地被覆の占有面積によって大きく変化するものである。したがって、対象地域における輝度値の頻度分布と土地被覆の占有面積の分布は等価な関係を持っている。このことから、対象地域のスペクトル空間での頻度分布を土地被覆ごとに一致させることによって、土地被覆固有のスペクトル特性を侵さず、無理なく輝度値を補正することになる。このような考えを基本として、本論文では、基準画像データの頻度分布と補正画像データの頻度分布の関係を一致される方法で補正した。それらの関係は式 (1) のようにならわすことができる。

$$\lambda(n) = m_1 + (X - m_2) \times \sigma_1 / \sigma_2 + (m_1 - m_2) \quad (1)$$

ただし、

λ ; 補正後の輝度値

X ; 補正画像の輝度値

m_1 ; 基準画像データの最頻値

m_2 ; 補正画像データの最頻値

σ_1 ; 基準画像データの標準偏差

σ_2 ; 補正画像データの標準偏差

4. 輝度値の補正結果の検討

4.1 土地被覆分類分類

各衛星画像データをもとに、観測時期に最も近い時期で作成された土地利用図(国土地理院 1/25,000)を用いて、教師付最尤法によって、図5に示すように山林、畑、田、市街地(道路、鉄道を含む)、水域、その他の6つの土地被覆に分類し土地被覆分類図を作成した。その他のクラスとは、異なる土地被覆が混在している箇所であり、主に荒地や裸地等である。また、分類画像の平面的な分布を、土地利用図と比較し分類精度を確認した。さらに、坂城町役場より入手した土地利用面積データ⁹⁾(以後、既存資料と称す)をもとに、表1に示すような土地被覆分類ごとの面積占有率を比較し、その適合率で分類精度を評価した。面積占有率は式 (2)、その適合率は式 (3) で求めた。

$$S = (S_b / S_a) \times 100\% \quad (2)$$

ただし、

S ; 各土地被覆の面積占有率(%)

S_a ; 解析対象地域の全体面積

S_b ; 各土地被覆の面積

$$T = 1 / (S_1 / S_2) \times 100\% \quad (3)$$

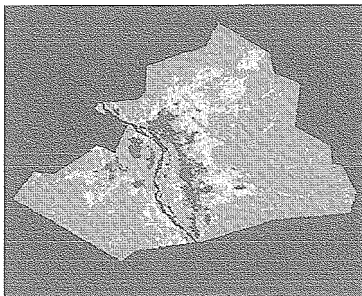
ただし、

T ; 面積占有率の適合率(%)

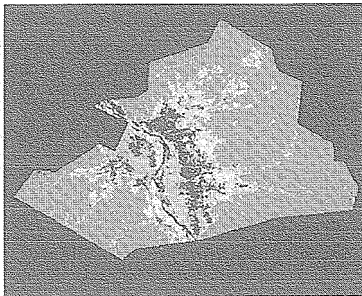
S_1 ; 土地被覆分類図による各土地被覆の面積占有率(%)

S_2 ; 既存面積による各土地被覆の面積占有率(%)

(a) 1985年7月25日



(b) 1990年8月8日



(c) 1999年8月1日

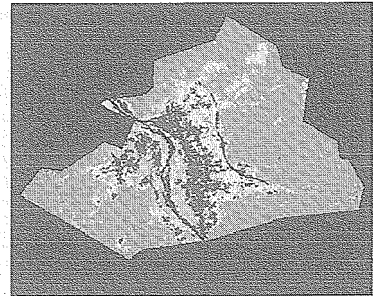


図5 教師付最尤法による土地被覆分類図

(a) 1985年7月25日

(b) 1990年8月8日

(c) 1999年8月1日

土地被覆分類図による各土地被覆の面積占有率は、3 時期ともその他の土地被覆を除いては、既存資料による各土地被覆の面積占有より増加している。特に山林の面積占有をみると、土地被覆分類図では、58%~64% であるのに対し、既存資料では 47%~50% であり、11%~16% 増加している。一方、その他の土地被覆の面積占有をみると、土地被覆分類図では、2%~7% に対して、既存資料では、24%~28% となっていることから、教師付最尤法によって分類したときに、その他の土地被覆に分類されるはずのエリアが、データの散布状態によって、他の 5 つに割振られ分類されていることが考えられる。そのことは、面積占有の適合率にも影響しており、特に田では、(c)1999/8/1 では 100% であるのに対して、(a)1985/7/25 および (b)1990/8/8 では 43%~45% となっている。しかし、その他の土地被覆を除く平均で 3 時期とも 79%~81% であり、画像単位での全体的な分類精度は良く適合しているものとする。

4.2 画像間共通クラスエリアの抽出

前項で作成した土地被覆分類図から抽出した各土地

被覆のうち山林、畑の画像間共通クラスエリアを図 6 に示し、土地被覆分類図における各土地被覆の面積と土地被覆ごとの画像間共通クラスエリアの面積を比較したものを表 2 に示す。これによると最も占有面積が大きい山林においては、画像間共通クラスエリアから除外された面積の減少率が最も低く 3 時期の画像データで 13%~19% であるのに対し、その他の土地被覆においては 3 時期とも 99% の減少率でほとんど抽出されない結果となった。

4.3 不整合の低減効果

土地被覆ごとの画像間共通クラスエリアから得られた輝度値をもとに式 (1) により補正画像データの輝度値を補正した。その補正処理後における不整合の低減効果を調べるために、各土地被覆において、図 7 に示すように基準画像データに対する補正画像データの輝度値の誤差を求めた。表 3 はこれをもとに、輝度値の差の加重平均を求めたものである。この輝度値の差の加重平均を求めたもので、補正処理前後の誤差を比較することによって不整合の低減効果を把握した。これによると、全体的に補正処理後における誤差は減

表 1 面積占有率の比較

(a)1985/7/25

土地被覆	土地被覆分類図		既存資料		占有率の増減①-②	面積占有率の適合率
	面積(km ²)	①占有率	面積(km ²)	②占有率		
山林	32,925	61%	25,941	50%	11%	82%
畑	9,259	17%	7,201	14%	3%	82%
田	7,779	14%	3,058	6%	8%	43%
市街地	2,503	5%	2,835	5%	0%	100%
水域	660	1%	626	1%	0%	100%
その他	1,294	2%	12,659	24%	-	-
合計	54,419	100%	52,320	100%	-	(平均)81%

(b)1990/8/8

土地被覆	土地被覆分類図		既存資料		占有率の増減①-②	面積占有率の適合率
	面積(km ²)	①占有率	面積(km ²)	②占有率		
山林	33,886	64%	25,569	48%	16%	75%
畑	7,777	15%	6,889	13%	2%	87%
田	5,919	11%	2,913	5%	6%	45%
市街地	3,494	7%	3,081	6%	1%	86%
水域	543	1%	626	1%	0%	100%
その他	1,332	2%	14,562	27%	-	-
合計	52,951	100%	53,640	100%	-	(平均)80%

(c)1999/8/1

土地被覆	土地被覆分類図		既存資料		占有率の増減①-②	面積占有率の適合率
	面積(km ²)	①占有率	面積(km ²)	②占有率		
山林	31,701	58%	25,260	47%	11%	81%
畑	9,971	18%	6,189	12%	6%	67%
田	2,951	5%	2,576	5%	0%	100%
市街地	6,283	11%	3,725	7%	4%	64%
水域	560	1%	626	1%	0%	100%
その他	3,290	7%	15,264	28%	-	-
合計	54,754	100%	53,640	100%	-	(平均)79%

少している。補正処理前の 1985/7/25 の画像データでは最大バンド 1 で 66, 1990/8/8 の画像データでは最大バンド 4 で 54 の誤差が生じていた。それが、補正処理後では 1985/7/25 の画像データで 4, 1990/8/8 の画像データで 11 まで誤差が減少した。このことは、確実に輝度値の不整合を低減させたことを示しており、本補正方法の有効性を示しているものと考えられる。

4.4 対象地域全域の補正処理検討

(1) 生成処理方法

前述のとおり、補正処理を行うことによって基準画像データに対する補正画像データの輝度誤差が減少することが確認できた。次に必要なことは、対象地域全域を補正処理した新たな画像データを生成して、それを検証することである。補正画像データを生成するためには、6 クラス×7 バンド計 42 の補正係数を土地被覆ごとおよびバンドごとに定めることになる。このような条件で画像データを新たに生成する方法としては、教師付最尤法と同様に土地被覆分類法の 1 つである閾値処理⁹⁾によって行うことが最良であるものと考えられる。閾値処理による画像生成は、物体の固有スペクトル情報間で生じる双峰の間の谷に相当する値(閾値)を境界にすることによって判別することが基本原理であるが、対象地域のように広範囲の内陸部では、地形の起伏や多数の物体が混在することによって起きるミクセルな情報の影響により、スペクトルレンジが広

く、クラス間の谷に相当する閾値を特定することは容易ではない。

そこで、補正処理を実行する閾値条件は、土地被覆ごとの画像間共通クラスエリアから得られた輝度値の主成分レンジを各土地被覆の閾値として代価し、画像の生成処理は 2 値化処理によって行った。つまり、土地被覆ごとの画像間共通クラスエリアにおいてバンド 1~バンド 7 で観測された輝度値の最小値と最大値を制約条件にして、その範囲に含まれる輝度値をもつ画素に対して補正するものである。また、この方法は、当初の作業で補正の対象としなかった土地被覆や雲、煙等の物体を生成処理過程において補正外エリアとして発生させると言った特徴がある。

(2) 補正処理前後における NDVI の比較検証

補正処理によって新たに生成した画像データが、複数のバンド間において適正な関係を持った輝度値であるのかを検証する必要がある。ここでは、植生活性度を調べる代表的なアルゴリズムの一つで、植生のクロロフィル吸収分光特性にあたる赤色の可視域波長(バンド 3)と水分吸収分光特性にあたる近赤外域波長(バンド 4)の輝度値を用いて求める NDVI (正規化植生指標; Normalized Difference Vegetation Index)を補正処理前後で比較することによって検証した。なお、NDVI が高いほど植生活性度が高いことを示すものである。

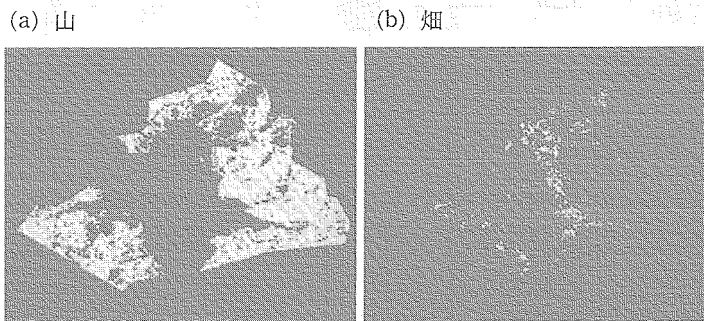


図 6 画像間共通クラスエリア

表 2 各土地被覆の面積比較

土地被覆	1985/7/25		1990/8/8		1999/8/1		共通クラスE17 面積① (km ²)
	面積④ (km ²)	減少率 1・①/④(%)	面積③ (km ²)	減少率 1・①/③(%)	面積② (km ²)	減少率 1・①/②(%)	
山林	32,925	16%	33,886	19%	31,701	13%	27,543
畑	9,259	70%	7,777	64%	9,971	72%	2,767
田	7,779	82%	5,919	76%	2,951	52%	1,409
市街地	2,503	29%	3,494	49%	6,283	72%	1,769
水城	660	72%	543	66%	560	67%	184
その他	1,294	99%	1,332	99%	3,290	99%	17
合計	54,419	38%	52,951	36%	54,754	38%	33,688

補正処理前後の NDVI を比較したものを図 8 に示す。山林が分布している地域の NDVI を見ると、基準とした (c) 1999/8/1 では 0.6~0.8 が多く分布しているのに対して、補正処理前の (a) 1985/7/25 では 0.3~0.5 程度、(b) 1990/8/8 では 0.4~0.6 程度が多く分布しており、単に 3 時期の NDVI を比較すると経年的に植生の活性が増していることを示している。しかし、実際には対象地域の山林地域においては、1985 年~1999 年の 14 年間で局所地域を除き広範囲で枯死や病虫害を受けた事例は発生しておらず、14 年間の植生健全度は全体的には変わっていない⁵⁾。したがって、補正処理前における NDVI は曖昧な輝度値から求めたことによる不整合であり、多時期データ間では安定していないことを示すことが分かった。図 8 の (a') 1985/7/25 および (b') 1990/8/8 は、補正処理後の輝度値で算出した NDVI である。また、補正処理前と同様に山林が分布している地域の NDVI を見ると、局所的に土地被覆が変化している箇所を除いては、3 時期において等値で分布している。また、「4.2」で求めた山林

の画像間共通クラスエリアにおいて代表的な 2 つの山から日射の陰陽となる地形を含むように山頂を中心とした 480 m×480 m の範囲から NDVI を抽出し、1999/8/1 の NDVI と 1985/7/25 および 1990/8/8 の NDVI の相関関係を図 9 に示すようにまとめた。補正処理前の相関係数は NDVI を抽出した箇所や画像データによって大きく異なり 0.246~0.748 である。一方、補正処理後の相関係数を見ると 0.775~0.823 であり軒並み安定した良い相関を示していることが分かる。このことは、バンド 3 およびバンド 4 の輝度値は適正な関係を持って補正されているとともに、経時的に NDVI の状況が確認できた。なお、図 8 において点状に黒い部分は生成処理の過程で発生した補正外エリアであり、その発生率は各画像データとも全体面積の約 4% 程度である。それは、対象地域の一部に存在している雲の他、ミクセルな情報が生じやすい土地被覆の間の谷（境界）で多く発生していることが分かる。

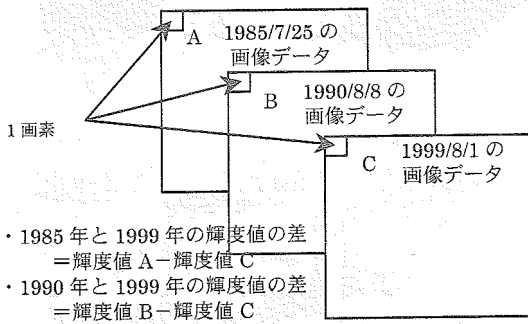


図 7 輝度値の誤差算出モデル

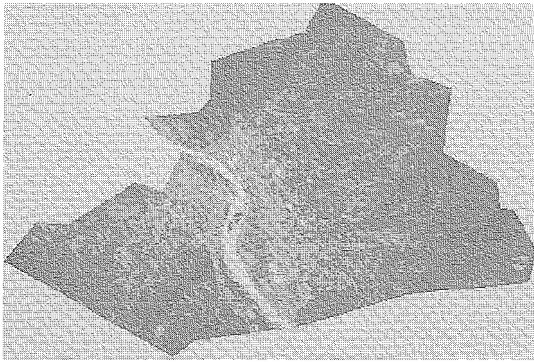
(3) 補正処理前後における地表面温度分布の比較
LANDSAT TM のバンド 6 は熱赤外域波長を観測した情報である。他の画像データに比べて分解能が高く、地表面の細かい温度分布を調査するために良く利用されているが、これまでに、バンド 6 の輝度値を取り上げた多時期データ間で生じた不整合の補正に関する研究例は少ない。そのことから、補正処理後の画像データがどのように地表面の温度分布を表現するのかということが興味の対象となる。そこで、バンド 6 の輝度値から観測輝度温度を推定して 3 時期の地表面温度分布画像を作成して、補正処理前後の画像データと比較し検証した。

表 3 輝度値の差（誤差）の加重平均

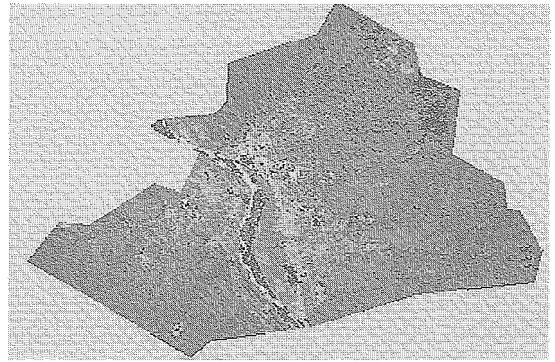
単位：輝度誤差

項目	年次	山林		畑		田		市街地		水域		その他		平均	
		補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後
BAND1	1985年	33	2	29	9	36	7	26	9	39	9	66	4	38	7
	1990年	10	2	10	7	14	7	10	10	12	8	27	4	14	6
BAND2	1985年	13	1	10	5	13	4	10	5	15	6	32	4	15	4
	1990年	4	2	4	4	6	4	4	4	5	5	13	4	6	4
BAND3	1985年	12	1	9	8	14	7	8	7	16	10	48	7	18	7
	1990年	3	1	7	8	10	7	6	6	8	8	25	6	10	6
BAND4	1985年	12	10	14	12	11	11	12	8	15	12	50	11	19	11
	1990年	9	8	14	14	11	10	7	7	13	13	54	11	18	11
BAND5	1985年	18	7	14	13	18	12	15	10	21	15	12	11	16	11
	1990年	6	6	11	11	12	7	8	8	18	16	8	6	11	9
BAND6	1985年	9	1	14	3	11	5	16	2	9	3	6	3	11	3
	1990年	2	2	4	2	3	3	5	3	4	3	8	3	4	3
BAND7	1985年	3	3	14	8	8	6	8	8	7	7	20	6	10	7
	1990年	2	2	7	7	8	6	8	8	8	8	15	5	8	6

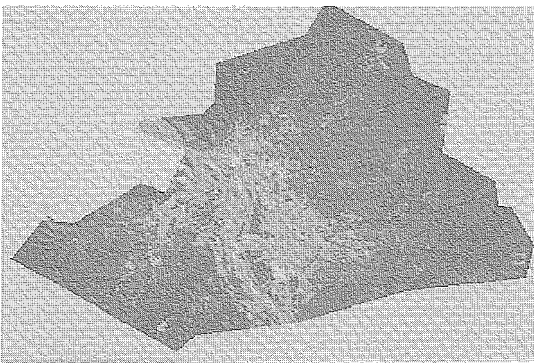
(a) 1985/7/25: 補正処理前



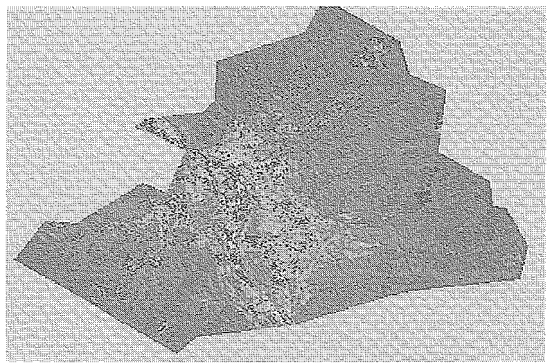
(a') 1985/7/25: 補正処理後



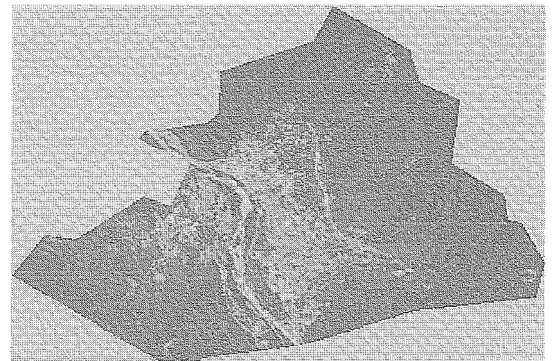
(b) 1990/8/8: 補正処理前



(b') 1990/8/8: 補正処理後



(c) 1999/8/1: 基準



凡 例	
	0.1未満
	0.1以上0.2未満
	0.2以上0.3未満
	0.3以上0.4未満
	0.4以上0.5未満
	0.5以上0.6未満
	0.6以上0.7未満
	0.7以上0.8未満
	0.8以上0.9未満
	0.9以上
	補正外エリア

(植生指数)

図8 補正処理前後のNDVI

バンド6の輝度値から観測輝度温度への推定は、NASAから打上げ前に公表されている関数によって求めることができる。しかし、この関数で求められた観測輝度温度は従来から地上観測値との一致性に問題があることが指摘されている⁶⁾。そこで、AVHRRデータとの相関分析によって補正値が提案⁷⁾されたが、これも種々の解析に実用するには解決すべき課題があ

る。したがって、本論文では、対象地域周辺に分布する荒川ダム、大門ダム、広瀬ダムおよび諏訪湖において、画像データ観測時と同時に観測された水温データ⁸⁾を入手して、バンド6の輝度値との相関関係により観測輝度温度を推定した。その相関図を図10に示す。

補正処理前後の地表面温度分布画像を比較したもの

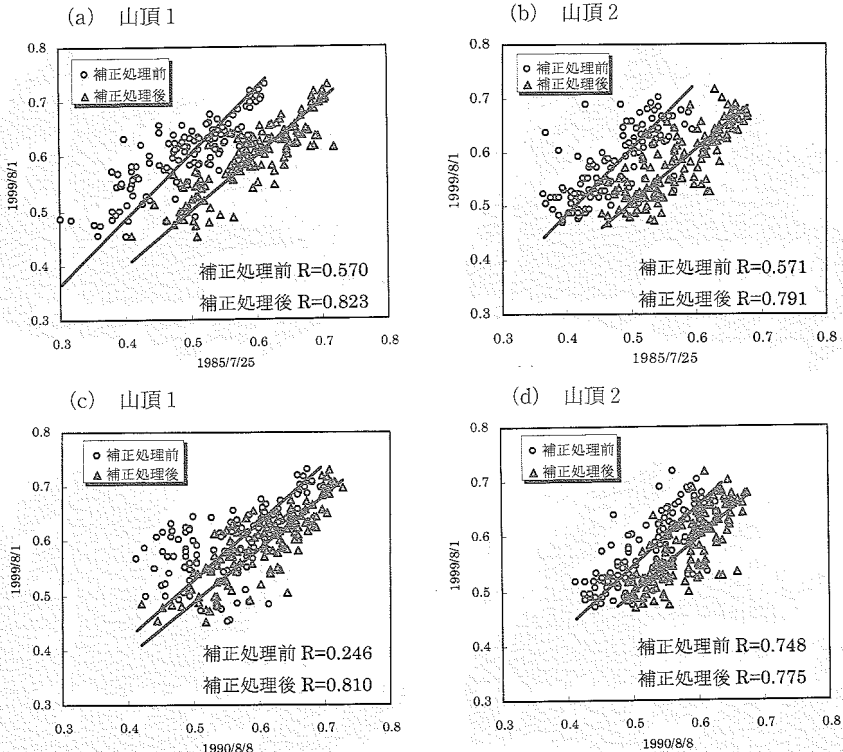


図9 NDVIの相関図

を図11に示す。基準とした(c) 1999/8/1の地表面温度は市街地で $36^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ 、山林地域で $23^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ である。補正処理前の(b) 1990/8/8では基準画像データに比べ若干低いぐらいの温度であるのに対し、(a) 1985/7/25では全体的に著しく低い温度であることが分かる。観測時期によって地表面温度の絶対量が異なる原因として、物体の温度に大きく影響する気温、日射量、風向、風速、降雨量等の気象条件の相違が考えられる。ここで、対象地域に最も隣接する気象庁長野地方気象台上田測候所で観測された気温を図12のように整理した。各画像データの観測時刻の気温は $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度の差が見られ、1985/7/25では最も低く 28°C 、1990/8/8は 30°C 、1999/8/1は 29°C であった。また、画像データ観測前の時間変化を見ると1985/7/25は他と比べて軒並み低い気温であることから、物体の余熱を考慮すると、(a) 1985/7/25の地表面温度が著しく低いことが理解できる。このように、単に3時期で観測されたバンド6の輝度値を用いて地表面温度分布を作成すると全く違った画像が作成されることが分かった。

図11の(a') 1985/7/25および(b') 1990/8/8は、

補正処理後の地表面温度分布である。土地被覆ごとで見られる地表面温度は、基準とした(c) 1999/8/1の地表面温度相当に分布していることが分かる。特に、1985/7/25における補正処理前後を比較すると大きな成果が得られていることが分かる。以上の結果で明らかのように、補正処理によって観測時期が異なる多時期データ間を同じ条件で観測した地表面温度相当の画

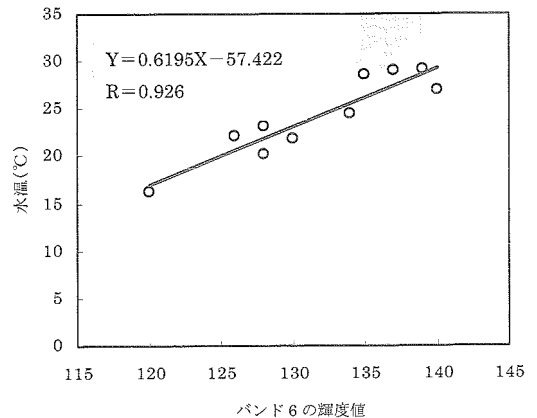
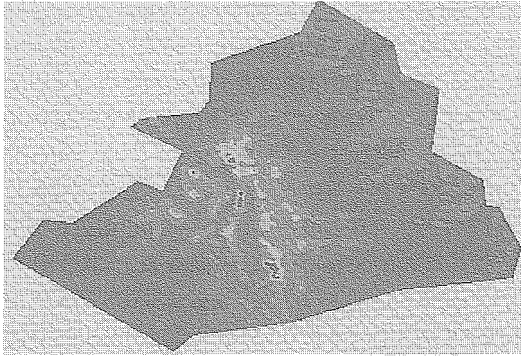
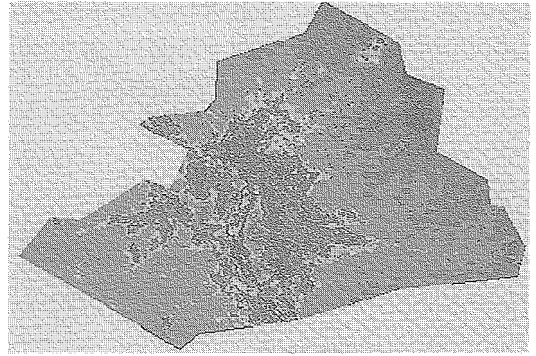


図10 相関図

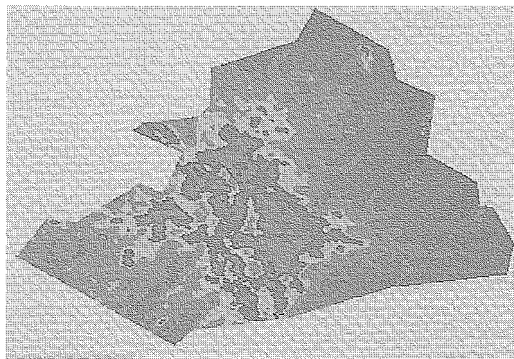
(a) 1985/7/25: 補正処理前



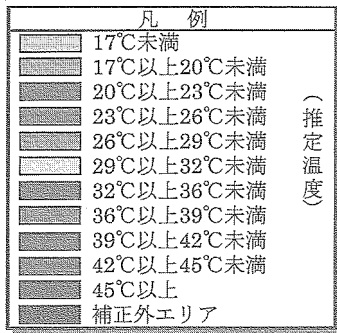
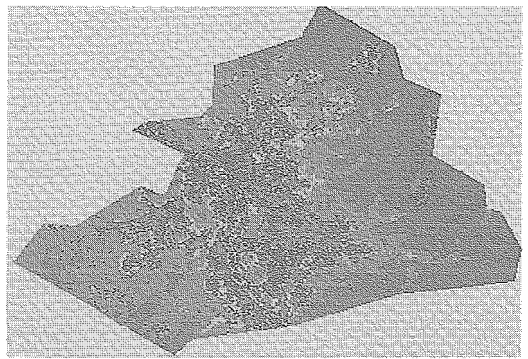
(a') 1985/7/25: 補正処理後



(b) 1990/8/8: 補正処理前



(b') 1990/8/8: 補正処理後



(c) 1999/8/1: 基準

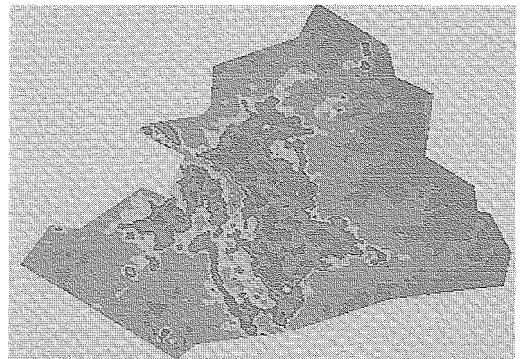


図 11 補正処理前後の地表面温度分布

像が作成することができ、経時的に地表面温度分布の状況が確認できた。

4.5 処理時間

実用性への適応において作業に係る処理時間は重要な要素となる。画像処理に使用したパーソナルコンピュータは、ディスク容量; 40, CPU; Pentium III 886, メモリ; 256MB 程度で、アプリケーションソフ

トは米国 ERDAS 社 IMAGINE™ 8.4 を用いた。本補正手法は一般的な教師付最尤法で作成する土地被覆分類図に要する時間に加えて、画像間共通クラスエリアの抽出, 補正係数の算出, 補正処理した新たな画像データを生成する作業がある。

画像間共通クラスエリア抽出に要する時間と補正係数の算出に要する時間は、土地被覆分類図をもとにコ

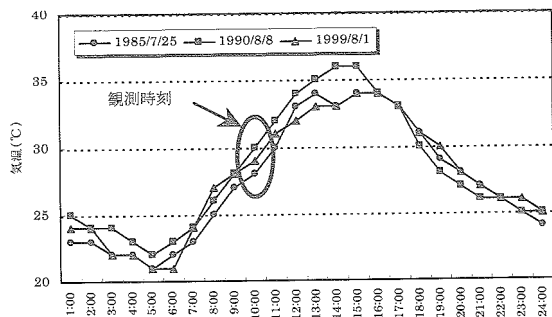


図 12 画像データ観測時の気温

コンピュータ処理によって行うので、コネクタ時間はほとんど発生せず5分程度、CPU処理時間も20秒程度であった。また、補正処理した新たな画像データの生成に要する時間は、コンピュータに土地被覆ごとの閾値を入力する時間を1画像データあたり20分程度見込めば十分であり、CPU処理時間も1画像あたり10秒程度で十分である。したがって、6分類した土地被覆の画像間共通クラスエリア抽出および補正係数算出で約20分、補正の画像生成処理は1985/7/25および1990/8/8の2画像データで約40分、計60分程度の処理時間である。これまでに輝度値の補正に関して様々な手法が提案されているが、処理に要する時間は詳述していないので、処理時間について他の手法と比較することはできないが、本補正手法の処理時間は実用的な観点では、許容される範囲であるものと考えられる。

5. 結果および考察

衛星リモートセンシング画像の多時期データの輝度値を効果的に補正するため、教師付最尤法の特徴を利用した画像間共通クラスエリアを補正トレーニングエリアとして、輝度値の頻度分布を一致させることによって補正した。その結果、補正処理後において輝度値の不整合は低減し、さらにNDVIおよび地表温度分布において、経時的に良好な傾向を示す画像が作成できることを確認した。現在、多時期データの解析結果を安定させるため様々な手法が提案されているが、この問題は非常に奥深く決定的な方法はないと言ってもよい。そこで、スペクトル内挿法、疑似スペクトル画像の発生、遺伝的アルゴリズムを用いた解析手法によって、解析結果を安定させる研究例⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾も見られるようになったが、これらは土地被覆変化の解析に用いる一手法として提案されたものであり、種々の解析

目的において実用することはできない。このような現状を考慮すれば、輝度値の補正によって解析結果を安定させる手法は、種々の解析において柔軟に対応できるといった利点がある。本論文で提案した補正手法は、教師付最尤法を基本としたものの、処理に必要な時間が実用的に許容される範囲であるといった利点があり、多時期データを用いた解析に対する1つの実用的なアプローチを示すものと考えられる。なお、本補正手法の主な問題点としては、占有面積が小さい土地被覆ほど画像間共通クラスエリアが抽出されず、不整合を特定することや補正係数を求めるために必要なデータ数が不足すること、および補正外エリアの取扱いを検討していないことが挙げられる。今後は、このような問題を解決しつつ、さらに補正精度の向上を目指した補正トレーニングエリアの抽出と補正方法について検討していく予定である。

参考資料

- 1) 竹内；時系列データの最尤法分類における分類結果の安定化手法、写真測量とリモートセンシング、Vol. 31, No. 2, pp. 11-22, 1992
- 2) 景山, 西田；時系列衛星データにおける輝度情報補正の検討、平成11年度電気関係学会東北支部連合大会, 1A8, p. 8, 1999
- 3) 大林, 小島, 宮川；衛星マルチスペクトルデータを適用した土地被覆変化箇所の時系列分析における問題と対策、日本写真測量学会年次講演会発表論文集, pp. 543-544, 1999
- 4) 大林, 小島；最新実務者のためのリモートセンシング、株フジテクノシステム, pp. 336-390, 2002
- 5) 坂城町役場住民環境課資料
- 6) 矢野；都市の熱環境解析のためのリモートセンシングによる地表温度の算出とその問題点、日本リモートセンシング学会 平成5年度秋季講演会テキスト, pp. 81-86, 1993
- 7) 稲永, 竹内, 杉村, 吉村；NOAA/AVHRRの観測輝度温度に基づくLANDSAT/TMの観測輝度温度誤差の補正、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 16, No. 4, pp. 10-20, 1996
- 8) 長野県生活環境部資料
- 9) 高木, 柴崎；多時期クラスデータの時系列内挿手法、日本写真測量学会 年次学術講演会, p. 139
- 10) 瀬戸, 古村；異種データ比較による変化解析方法の一提案、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 10, No. 1, p. 5
- 11) 寺崎, 星；遺伝的アルゴリズムによるトレーニングクラスの補充抽出、日本写真測量学会 年次学術講演会, p. 151, 1997