

時系列 NDVI の定量的統一化評価

Quantitative Unification Evaluation of Multi-temporal NDVI

小泉 俊雄¹⁾・萩原 圭一²⁾・山下幹夫³⁾

By Toshio KOIZUMI, Keiichi HAGIHARA, Mikio YAMASHITA

1. はじめに

今日、日常生活や経済社会活動の中で、大気中に放出している汚染物質は地球温暖化や森林破壊等に起因して生態系循環を悪化させる原因となった。そこで、自然環境のモニタリングの必要性は経年とともに増加してきている状況の中で衛星データの活用は不可欠である。植生細胞組織で見られるクロロフィル吸収分光特性と水分吸収分光特性に対応する波長情報によって求められる NDVI (正規化植生指標: Normalized Difference Vegetation Index) は、植生の活性度を把握するために広く用いられているとともに自然環境のモニタリングにおけるツールとして、その有用性は高いものと考えられる。しかしながら、衛星データとして得られる輝度情報は、物体固有の放射輝度以外に様々な成分 (大気の散乱・気象状況・観測雑音・センサー感度など) による影響を受けており、しかもそれは観測時期によっても一様の成分量とは限らず、同一の波長特性や属性データを有する衛星データであっても季節や環境の差異によって異なった様相を示す。また、時系列 NDVI も定量的に矛盾のある感度で求められてしまうため、比較法によって植生活性度や現存量を分析・評価するためには、定量的に統一化した上で行う必要がある。時系列 NDVI の定量的統一化評価を実現する重要な要素の一つに、多時期の輝度情報を等価な状態に変換 (輝度補正¹⁾²⁾・輝度合わせ³⁾・正規化⁷⁾⁸⁾⁹⁾) し標準化する手法が考えられる。これは、経時同一箇所で行っている輝度情報の相違を多時期のスペクトル情報空間の差異であろうと期待し、数箇所のトレーニングデータによってその補正関係を求めて行うものである。しかし、この手法の実用においては、衛星データで変化が起こっていない箇所の選定および判読作業は、どうしても解析者による目視判読の比重が大きくなって、識別能力差によって補正精度に偏りが生じるとともに作業効率の低下が懸念される。また、対象地域が広範囲に及ぶ場合は、経時的に変化が起こっていない箇所の特定をすべてカバーすることが困難となり、一義的に定まった補正関係によって標準化できないといったことが生じる。そこで、その解決策としては、変化が起こっていない箇所から多くのトレーニングデータを抽出して補正関係を求め信頼性を高めるとともに、解析者の識別能力差や作業効率低下を補うため、トレーニングデータ抽出箇所をある程度自動化することが考えられる。本論文は、衛星データによって求められる時系列 NDVI の定量的統一化評価を実現することを輝度情報の標準化によって試みたものである。標準化に際して検討した手法の内容は以下のとおりである。

1) 工博 千葉工業大学教授 工学部土木工学科

(〒275-0016 習志野市津田沼 2 丁目 17 番 1 号 TEL:047-478-0450 FAX:047-478-0474)

2) 開発コンサルタント株式会社 環境部

3) 開発コンサルタント株式会社 事業本部

(〒170-0005 豊島区南大塚 3 丁目 20 番地 6 号 TEL:03-3985-5101 FAX:03-3985-5498)

- ①トレーニングデータは、経時的に変化が起こっていない土地被覆から抽出することを基本とする。
- ②トレーニングデータの抽出にあたっては、目視判読による作業の限界を補うために分類結果比較法¹⁾の原理を応用することで、ある程度の作業を自動化する手法を試みる。
- ③多時期の衛星データのうち、1衛星データの輝度情報を標準（基準）データとして選び、他の衛星データをそれと比較できるように補正して合わせる。
- ④標準化補正法としては、多時期の輝度情報の分布特性を頻度分布として表しそれを一致させる。その際に土地被覆ごとの固有スペクトル特性も基準データに合わせることを試みる。

2. 標準化処理

2.1 分類結果比較法と土地被覆分類

分類結果比較法とは、衛星データごとに教師付最尤法・クラスター分類法などの手法を用いて土地被覆分類処理を行い、その結果を直接比較し土地被覆の変化を分析するものである。ここでは、それを応用することによって、図-1に示すような経時同一箇所およびトレーニングデータを抽出する。一方、土地被覆分類処理は、教師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教師付最尤法を採用した。

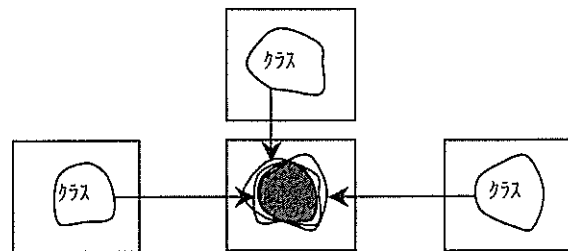


図-1 トレーニングデータ抽出箇所の概念図

2.2 自動化抽出の考え方

分類結果比較法の原理を応用したトレーニングデータ抽出箇所の自動化処理過程の考え方は次のとおりである。衛星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離隔して考える。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、図-2に示すように複数の画像を加算し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が、生成した画像において画素値が3となった部分は、多時期の衛星データ間において同じ土地被覆として分類された箇所であり、この部分がトレーニングデータを抽出する箇所となる。なお、生成した画像において、画素値が1、2となった部分は、判別関数の相違などによって、衛星データ間では同じ土地被覆として分類されなかった箇所であり除外する。

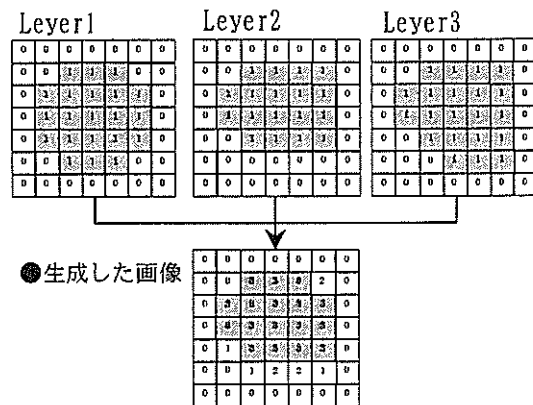


図-2 自動化抽出の考え方

2.3 頻度分布による標準化と補正処理法

衛星データにおける輝度情報の分布特性は頻度分布で表現できる。これは、土地被覆ごとの輝度情報の分布から構成されており、土地被覆の占有面積の分布と等価な関係を示すことに着目して、ここでは対象地域に存在する土地被覆のスペクトル特性をも標準化することを試みた。それは、各土地被覆の輝度情報を頻度分布として表しそれを一致させたもので、式(1)の関数によって補正する。この頻度分布による標

準化の考え方は、これまでの Rrichards, J. R¹⁰⁾ による Histogram Matching Method を応用して本論文で考案したものであり、それは、図-3 に示すように最頻値となる輝度情報の絶対量 (a) の補正と輝度値の範囲 (b) を補正するものである。

また、土地被覆ごとに標準化するためには衛星データ全体の補正処理において閾値が必要になる。閾値は、通常クラスター分析によって設定することが多いが、やはり対象地域が広範囲に及ぶ場合には、すべてをカバーすることが困難であることともに相当時間が必要となり作業効率が懸念される。そこで、各土地被覆固有のスペクトル特性を分類結果比較法の原理を応用して抽出したトレーニングデータによって把握し閾値を設定した。これは各土地被覆からは多くのトレーニングデータが抽出され土地被覆固有の分布特性として把握できることを期待したものである。ここでは3時期の同一土地被覆から抽出した各バンドの最小値と最大値を閾値として代替して、その範囲に含まれる輝度情報をもつピュアピクセルに対し補正を行った。なお、最小値と最大値に含まれない場合や複数の土地被覆と重複する場合は、処理過程において補正の対象とはせずに補正外エリアとして取り扱った。

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

ここで、

- λ ; 補正後の輝度情報
- X ; 補正画像の輝度情報
- m_1 ; 標準とした輝度情報の最頻値
- m_2 ; 補正する輝度情報の最頻値
- σ_1 ; 標準とした輝度情報の標準偏差
- σ_2 ; 補正する輝度情報の標準偏差

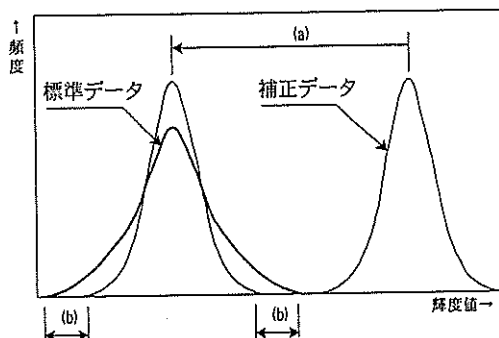


図-3 標準化補正の着目

3. 実験による検証

3.1 衛星データおよび対象地域の選定

使用した衛星データは LANDSAT/TM/5 号 (パス-ロウ: 108-36) を用いた。観測時期は 1985 年 7 月 25 日、1990 年 8 月 8 日、1999 年 8 月 1 日で、9 時 30 分～10 時 00 分の間で観測されたバルク補正画像である。代表的な土地被覆項目が混在し、あえて植生 (山林) が多く存在する長野県埴科郡坂城町を対象地域とした。また、輝度情報の標準を 1999 年 8 月 1 日の衛星データとして行った。

3.2 解析前処理

多時期の衛星データ間の幾何学的歪みを補正するために、まず輝度情報の標準とする衛星データの画素配列を緯度経度座標に合うように座標変換し再配列した。次にこの画像を基準として、その他の衛星データの幾何学的歪みを同様に補正⁴⁾した。

3.3 土地被覆分類

対象地域の土地被覆は主として、「山林」、「畑」、「田」、「市街地 (道路、鉄道を含む)」、「水域」が多く分布している。また、判読することが困難な裸地や荒地などの小面積が混在している箇所が点在しているが、これらは「その他」の土地被覆として集約した。結局、6 分類の土地被覆分類を 3 時期で同じ箇所からトレーニングデータとして抽出し教師付最尤法によって行った。長野県生活環境部および坂城町役場より入手した土地利用面積データ⁵⁾⁶⁾ (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。土地被覆分類による各土地被覆の面積占有率を見ると、「その他」の土地被覆を除いては、3 時期とも既存資料による各土地被覆の面積占有率より

増加している。特に「山林」の面積占有率をみると、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。「その他」の土地被覆の面積占有率を見ると、土地被覆分類では2%~7%に対して、既存資料では24%~28%となった。また、「田」をみると(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%となっており、総じて衛星データごとの土地被覆、多時期データ間での同一土地被覆の適合性に対して、一様性のない様々な成分の影響が伺われる結果となった。一方で、教師付最尤法による分類精度は一般に60%程度と言われているのに対し本論文では、対象地域に主として存在している土地被覆の平均で79%~81%であった。この結果を基にして次項以降に分類結果比較法の原理を応用して標準化に必要なトレーニングデータの抽出を試みた。

表-1 面積占有率の比較

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	31,541	61%	25,941	50%	11%	82%
畑	8,870	17%	7,201	14%	3%	82%
田	7,452	14%	3,058	6%	8%	48%
市街地	2,398	5%	2,835	5%	0%	100%
水域	632	1%	626	1%	0%	100%
その他	1,239	2%	12,659	24%	-	-
合計	52,132	100%	52,320	100%	-	(平均)81%

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	33,388	64%	25,569	48%	16%	75%
畑	7,663	15%	6,889	13%	2%	87%
田	5,832	11%	2,913	5%	6%	45%
市街地	3,443	7%	3,061	6%	1%	86%
水域	535	1%	626	1%	0%	100%
その他	1,312	2%	14,562	27%	-	-
合計	52,172	100%	53,640	100%	-	(平均)80%

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	30,286	58%	25,260	47%	11%	81%
畑	9,526	18%	6,189	12%	6%	67%
田	2,819	5%	2,576	5%	0%	100%
市街地	6,002	11%	3,725	7%	4%	64%
水域	635	1%	626	1%	0%	100%
その他	3,143	7%	15,264	28%	-	-
合計	52,310	100%	53,640	100%	-	(平均)79%

表-2 経時同一土地被覆の面積

3.4 トレーニングデータ抽出箇所

3 時期の土地被覆分類図から分類結果比較法によって抽出した経時同一土地被覆のクラスエリア面積を表-2に示す。これによると最も占有面積

土地被覆	1985/7/25		1990/8/8		1999/8/1		共通クラスリヤ
	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	31,541	13%	33,388	18%	30,286	9%	27,543
畑	8,870	69%	7,663	64%	9,526	71%	2,767
田	7,452	81%	5,832	76%	2,819	50%	1,409
市街地	2,398	26%	3,443	49%	6,002	71%	1,769
水域	632	71%	535	65%	535	65%	184
その他	1,239	99%	1,312	99%	3,143	99%	17
合計	52,132	35%	52,172	35%	52,310	36%	33,688

が大きい「山林」においては、除外された面積の減少率が最も低く3時期で9%~18%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。これは、輝度情報に含まれる様々な成分の影響に加えて、占有面積が小さい荒地や裸地等を一つの土地被覆として集約したために曖昧な判別関数になったのが原因であるものと考えられる。結果として、トレーニングデータは対象地域のうち33,688km²から抽出することになった。

3.5 標準化補正処理

式(1)に示したように、標準化補正処理するために必要な各土地被覆の最小値・最大値・最頻値・標準偏差を表-3に示す。

表-3 輝度情報の最小値・最大値・最頻値・標準偏差

種別	山林			畑			田			市街地			水域			その他									
	MIN	MAX	σ	MIN	MAX	σ	MIN	MAX	σ	MIN	MAX	σ	MIN	MAX	σ	MIN	MAX	σ							
1985/7/25	バンド1	85	106	96	3.10	90	120	106	3.77	102	166	110	7.08	109	164	124	6.63	105	133	112	4.68	128	145	138	4.23
	バンド2	29	43	36	1.87	35	51	42	2.34	39	81	43	4.55	41	68	50	3.21	39	51	42	2.66	56	66	60	2.97
	バンド3	24	38	31	1.72	27	61	39	4.19	34	100	41	8.42	41	82	54	5.49	35	56	40	4.41	63	82	80	5.39
	バンド4	36	167	84	17.87	42	143	106	13.13	56	121	93	8.00	49	95	68	7.77	23	59	28	7.58	55	74	69	4.59
	バンド5	28	131	68	13.99	61	142	101	10.10	50	174	83	16.69	72	135	92	8.55	22	79	30	13.28	82	111	101	6.70
	バンド6	120	134	126	2.01	124	138	132	2.29	128	142	133	2.25	134	146	139	1.93	125	137	129	2.50	128	149	137	5.58
	バンド7	4	34	17	3.72	15	64	29	6.05	15	82	23	10.97	29	84	45	7.27	5	31	9	5.42	40	59	50	4.52
1990/8/8	バンド1	62	84	73	2.53	72	104	84	5.13	74	163	81	10.05	85	151	100	8.52	76	101	81	5.04	89	110	95	5.16
	バンド2	20	34	28	1.89	26	49	33	3.28	28	71	34	5.86	33	64	42	3.70	26	40	29	3.27	37	50	40	3.31
	バンド3	16	32	23	1.80	21	71	33	6.68	22	97	34	11.27	33	75	50	5.70	22	47	27	5.59	44	69	56	5.89
	バンド4	24	166	71	18.99	44	132	87	10.81	59	127	98	11.76	36	84	57	7.45	14	64	34	11.54	56	72	59	4.95
	バンド5	17	110	48	14.17	51	140	87	11.93	48	158	65	16.31	47	126	78	8.87	4	97	37	16.70	66	109	82	10.68
	バンド6	126	146	135	2.94	129	154	142	4.04	136	157	143	3.94	143	158	151	2.17	130	150	142	3.17	145	153	149	2.22
	バンド7	3	32	13	3.94	15	81	27	8.22	14	92	21	11.73	21	106	44	7.18	2	39	13	7.24	33	52	43	5.15
1999/8/1	バンド1	54	71	63	2.18	56	116	71	8.03	64	119	75	7.53	73	245	97	11.82	61	99	60	8.29	65	80	71	3.92
	バンド2	18	31	23	1.48	20	64	29	5.23	27	58	31	4.02	28	113	39	5.28	20	49	24	5.28	24	35	31	3.09
	バンド3	14	26	20	1.60	16	102	30	9.69	18	78	30	7.80	28	140	49	8.25	15	64	22	9.00	19	36	26	4.44
	バンド4	30	162	72	18.40	38	146	100	14.67	69	128	100	10.45	35	155	57	9.18	2	52	14	11.29	98	138	117	10.63
	バンド5	20	119	48	13.85	35	152	95	15.61	50	125	72	10.26	46	227	83	10.83	1	55	8	13.64	72	98	82	7.12
	バンド6	129	143	135	2.31	131	157	146	3.73	137	161	141	4.63	144	163	155	3.04	133	146	139	3.19	137	147	140	2.29
	バンド7	6	35	13	3.81	10	90	32	10.28	15	68	23	7.18	3	224	45	9.41	1	34	5	7.27	18	36	24	3.99

注) MIN:輝度情報の最小値, MAX:輝度情報の最大値, M:輝度分布における最頻値となる輝度情報, σ:標準偏差
 []:標準化処理を行う衛星データにおいて閾値として使用したことを示す。

3.6 輝度情報標準化効果

輝度情報の標準化効果を調べるために、各土地被覆の無変化箇所において、図-4に示すように輝度情報を標準とした衛星データに対する補正衛星データの輝度情報の誤差を求めた。図-5および表-4はこれをもとに、輝度情報の差の加重平均を求めたものである。この輝度情報の差は誤差と見ることができるので、標準化処理前後の誤差を比較することによって標準化効果を把握した。図-5は6分類の土地被覆における平均誤差をグラフ化したもので、全体的に標準化後の誤差が減少している。また、表-4をみると1985/7/25では最大、バンド1で66から4に、1990/8/8では最大、バンド4で54が11まで誤差が減少した。このことは、確実に輝度情報の誤差は低減させており、標準化効果の有効性を示しているものと考えられる。

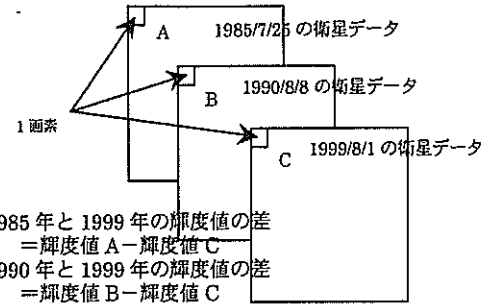


図-4 輝度値の誤差算出モデル

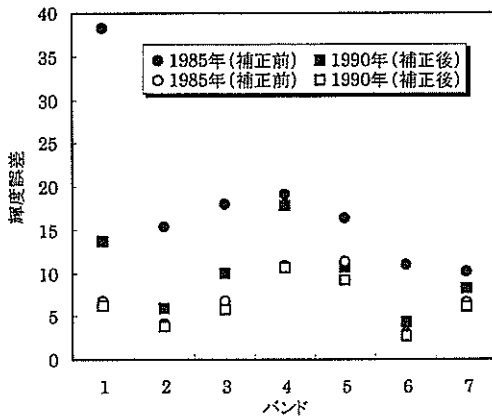


図-5 標準化補正処理前後の誤差総平均

表-4 土地被覆別の誤差加重平均

単位：輝度誤差

項目	年次	山林		畑		田		市街地		水域		その他	
		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
	1990年	10	2	10	7	14	7	10	10	12	8	27	4
BAND2	1985年	13	1	10	5	13	4	10	5	15	6	32	4
	1990年	4	2	4	4	6	4	4	4	5	5	13	4
BAND3	1985年	12	1	9	8	14	7	8	7	16	10	48	7
	1990年	3	1	7	7	10	7	6	6	8	8	25	6
BAND4	1985年	12	10	14	12	11	11	12	8	15	12	50	11
	1990年	9	8	14	14	11	10	7	7	13	13	54	11
BAND5	1985年	18	7	14	13	18	12	15	10	21	15	12	11
	1990年	6	6	11	11	12	7	8	8	18	16	8	6
BAND6	1985年	9	1	14	3	11	5	16	2	9	3	6	3
	1990年	2	2	4	2	3	3	5	3	4	3	8	3
BAND7	1985年	3	3	14	8	8	6	8	8	7	7	20	6
	1990年	2	2	7	7	8	6	8	8	8	8	15	5

3.7 時系列 NDVI の定量的感度分析

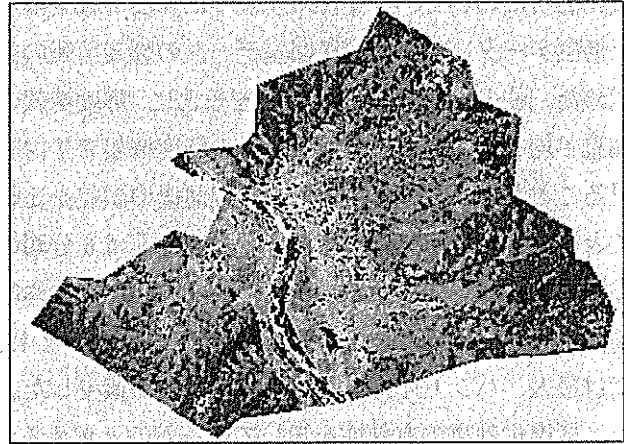
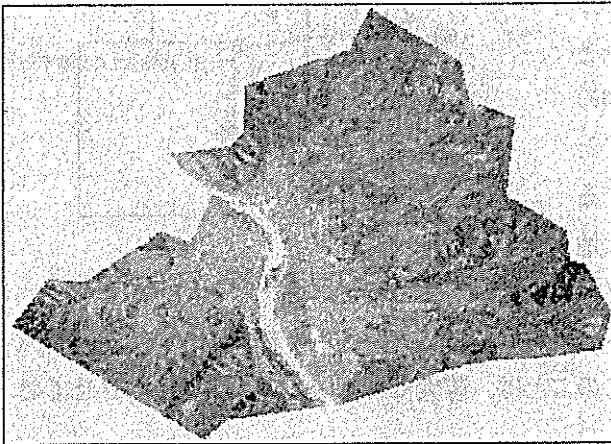
3 時期において定量的に統一化された NDVI を評価するために、輝度情報の標準化処理前後で比較した。LANDSAT/TM/5号におけるNDVIは、バンド3とバンド4を用いて求められる。経験上知られているようにNDVI値は大きいほど植生活性度が高いことを示すものである。標準化処理前後を比較したものが図-6である。

山林が分布している地域のNDVIを見ると、標準とした(c)1999/8/1では0.6~0.8が多く分布しているのに対して、標準化処理前の(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⁾。このことから、標準化処理前のNDVI画像では一様性のない成分の影響によって変動が大きく見た目にも違った感度で表現されることが確認できる。図-6の(a')1985/7/25および(b')1990/8/8は、標準化処理後の輝度情報で算出したNDVI画像である。標準化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時期において同値で分布している。

また、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480m×480m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-7に示す。

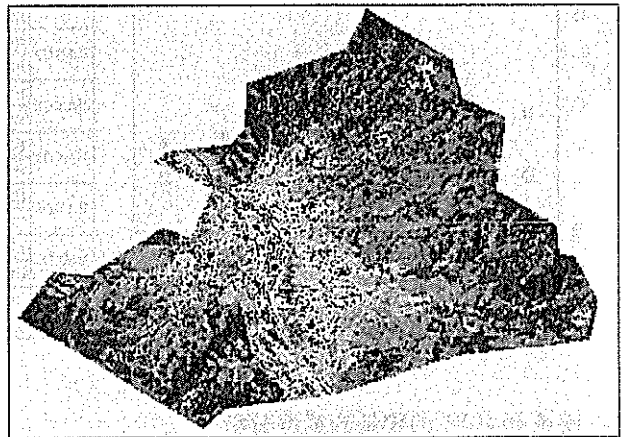
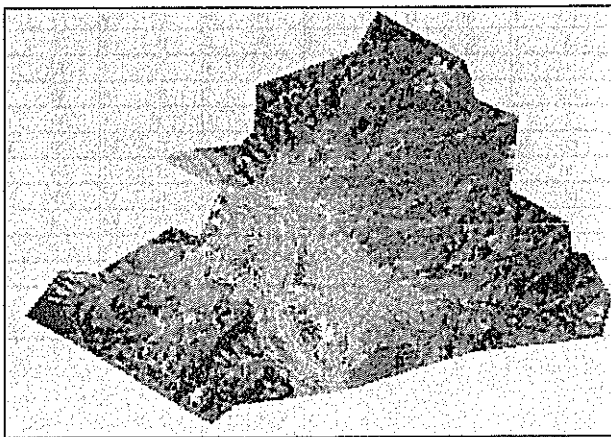
(a) 1985/7/25 : 補正処理前

(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 : 輝度情報の標準 (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)

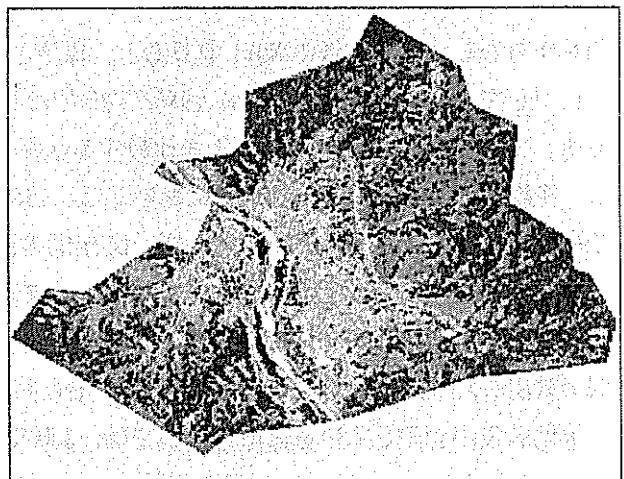


図-6 標準化处理前後の NDVI 画像

標準化処理前の相関係数は NDVI を抽出した箇所や衛星データによって大きく異なり 0.246~0.748 である。一方、標準化処理後の相関係数を見ると 0.775~0.823 であり安定した良い相関を示しているとともに、回帰直線の傾きがほぼ $Y=1.0X$ の関係にあることが判る。以上の結果を踏まえると、時系列 NDVI は定量的に統一化され、実際の植生活性度の変化を適切に反映していると思われる結果が得られている。なお、図-6において点状している黒い部分は標準化処理過程で発生した補正外エリアであり、その発生率は各衛星データとも全体面積の

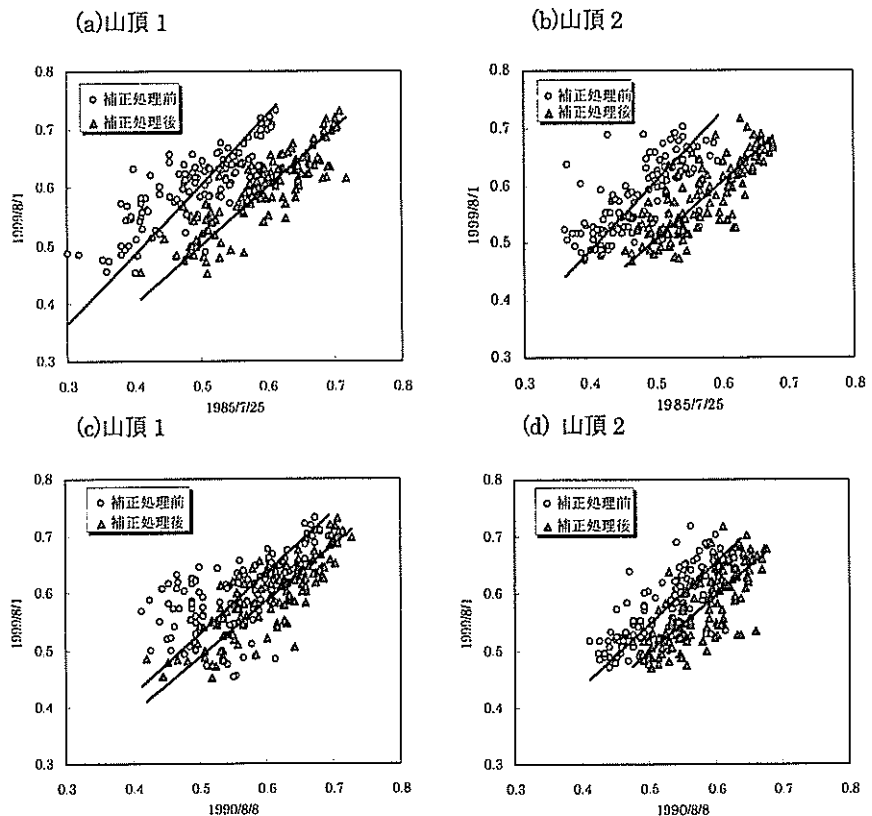


図-7 NDVI の相関図

約 4%程度であった。その発生位置は、対象地域の一部に存在している雲の他、ミクセル情報 (1画素に複数の土地被覆が混在する情報) が生じやすい地域で多く見られた。

4. 結論

本論文では、観測時期が異なることで生じた同一土地被覆での絶対放射輝度の差異に着目して輝度情報の標準化に基づく時系列 NDVI の定量的な統一化を図った。標準化における着眼点は、トレーニングデータの抽出を分類結果比較法の原理を応用して、ある程度自動化する手法を試みた。また、各土地被覆の輝度情報を頻度分布として表して、それを一致させる方法を用いている。そして、LANDSAT/TM/5 号の衛星データを用いて、長野県坂城町を対象に提示する標準化手法と時系列 NDVI の定量的統一化の適用性を検証した。その結果、下記の結論を得た。

- (1) 衛星データ間において、変化が起こっていない箇所の輝度情報の誤差は各バンドとも全般的に低減することが認められた。特に最大バンド 1 において 60 以上の輝度誤差を減少することが確認でき、その有効性を示す結果を得た。
- (2) 標準化処理前の NDVI 画像では変動が大きく、見た目にも違って見えるが、標準化処理をすると実際の植生活性度の変化を適切に反映していると思われる結果が得られた。
- (3) 標準化における作業効率は、一般的な教師付最尤法による土地被覆分類の作業に加え、トレーニングデータを抽出する時間はあるが、処理過程の容易性からアプリケーションソフトにおいてライブラリ化することによって、より時間短縮が可能と考えられる。
- (4) 本標準化手法の大きなメリットは、多くのトレーニングデータによって、複数の衛星データをより相対的に標準化することが可能となる。また、分類結果比較法の原理を応用し、ある程度自動化することによって、解析者の判読能力の違いによる誤差を極小化することが可能と考えられる。

5. おわりに

これまでに、観測時期が異なることで生じた輝度情報の差異を補正する研究例は数多く見られ、それは、輝度補正・輝度合わせ・正規化などと名付けられている。本論文では、時系列 NDVI の定量的統一化を図ることを目指して、輝度情報の標準化と称しその手法を試みた。時系列分析において輝度情報の標準化は、輝度情報ベースの安定化の面からも必要不可欠な作業と言える。また、実用面で求められる基本的な要件は、効果的に処理できることのほか、解析者の判読能力による偏りの極小化や作業効率が高いことが挙げられる。このような要件に対して、本論文では、分類結果比較法の原理を応用することによって、トレーニングデータのある程度自動化抽出する視点から処理法を提示しその検証を行った。その結果、多時期の衛星データ間のバンド情報間で標準化した兆候を示すとともに、時系列 NDVI も定量的に統一化の図れることが確認できた。実用面でのトレーニングデータの抽出作業は、アプリケーションソフトにおいてライブラリー化により作業時間は短縮できるものと評価する。また、今後の時系列 NDVI の定量的統一化評価に加えて、輝度情報の標準化分析に対し、実用的なアプローチとして先鞭を示すことができたと考える。

本標準化手法における現状での未解明な課題点は下記のようなことが挙げられる。

- (1) 分類結果比較法による土地被覆の抽出法は、衛星データごとで分類した精度がそのまま分析精度に影響する。したがって、衛星データごとのクラス判別関数の相違やミクセルの問題を踏まえ、他の地域や他の観測時期での適用性の検討が必要である。
- (2) 本論文で用いた衛星データ全体の補正処理では、補正外エリアが発生するため、トレーニングデータ抽出とともに補正処理に必要な閾値の設定手法の検討を加える必要がある。
- (3) 他の統計的手法による補正法を加えることも必要であるものとする。

※ 参考文献

- 1) 大林成行・小島尚人；(株)ジテックシステム, 最新実務者のためのリモートセンシング, pp. 336-390, 2002
- 2) 景山陽一・西田眞；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) 竹内章司；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, 日本写真測量学会 写真測量とリモートセンシング, Vol. 31, No. 2, pp. 11-22, 1992
- 4) 大林成行・小島尚人・宮川仁；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
- 5) 長野県埴科郡坂城町役場住民環境課資料, 2001
- 6) 長野県生活環境部資料, 2001
- 7) Xiaojun Yang and C. P. Lo ; Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-data satellite images, Photo. Eng. & Remote Sensing, Vol. 66, No. 8, pp. 967-980, 2000
- 8) Christopher D. Elvidge, Ding Yuan, Ridgeway D. Weerackoon and Ross S. Lunetta ; Relative Radiometric normalization of LANDSAT multispectral scanner (MSS) data using an automatic scattergram-controlled regression, photo. Eng. & Remote Sensing, Vol. 61, No. 10, pp. 1255-1260, 1995
- 9) Singh, A. ; Digital change detection techniques using remotely-sensed data, International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, pp. 989-1003, 1989
- 10) Richards, J. R. ; Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Springer-Verlag, Berlin, pp. 102-104, 1999