



Title	衛星データによる土地利用状態の変化検出のためのパラメータに関する研究
Author(s)	矢野, 健一郎; YANO, Ken-ichirou; 王, 秀峰 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 21(2), 197-208
Issue Date	1998-03-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/12183">https://hdl.handle.net/2115/12183</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	21(2)_p197-208.pdf



## 衛星データによる土地利用状態の変化検出のための パラメータに関する研究

矢野健一郎\*, 王 秀峰\*\*, 堀口郁夫

(北海道大学農学部農業工学科)

### Study on parameters for detection of landuse change by satellite data

Ken-ichirou YANO, Xiufeng WANG and Ikuo HORIGUCHI

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

#### I. はじめに

世界的な人口増加に伴い、森林から農耕地へ、農耕地から住宅地や工業用地へと、土地利用状態変化が進んでいる。これらの変化が世界的な気候変化の原因や種の絶滅の増加につながるものが心配され、衛星データを使用して世界的に土地利用状態変化のモニタリングが行われている。

土地利用状態変化のモニタリングのために、小地域の場合は、ランドサットの多バンドを用いた土地被覆分類から推定する方法が用いられている。一方、地球規模や大陸規模などの大地域の場合は、分解能が粗い極軌道気象衛星ノアの改良型超高解像度放射計 (NOAA/AVHRR-NOAA/Advanced Very High Resolution Radiometer) や静止気象衛星からの植生指数および地表面温度などを使用した方法が用いられている。しかし、大地域の場合は NOAA/AVHRR や静止気象衛星でもデータ量が膨大になるため、ある範囲を格子に区切り、この格子の植生指数や地表面温度などの代表値から推定する方法を使用している<sup>1)</sup>。これらのグローバルデータとして、NOAA/AVHRR の世界植生指数 (GVI-Global

Vegetation Index)<sup>2)</sup> や静止気象衛星による国際衛星雲気候計画データ (ISCCP-International Satellite Cloud Climatology Project)<sup>3)</sup> の表面温度などがある。

しかし、植生指数は主に植生の被覆状態を表すもので、土地利用状態が変化しても植生指数が変化しない場合もあり、また地表面温度はそのときの気象条件によって異なる。たとえば、植生指数については、森林が消失しても樹木の下草が早く繁茂して、森林のときと同じ植生指数になる場合も存在する<sup>4)</sup>。したがって、植生指数や地表面温度が土地利用状態変化のパラメータとして最適とは思われない。

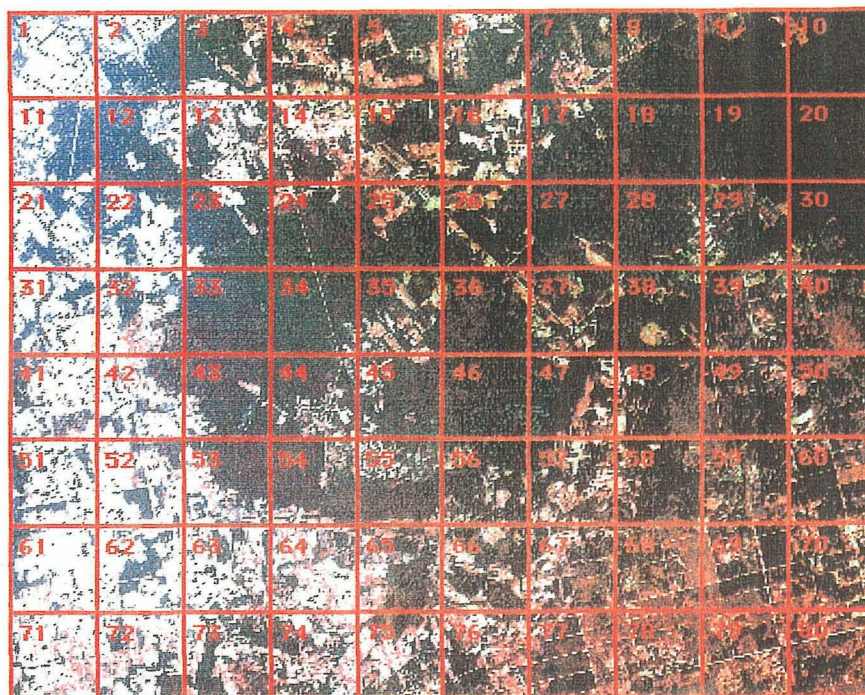
土地利用状態変化のパラメータとして最適であるためには、植生の変化にある程度影響されないことが望ましい。たとえば、森林や畑地などは月によって植被率が異なるため、衛星データで土地被覆分類して土地利用状態を推定すると、衛星データ取得日によって異なった土地利用状態に分類されることもある。また、森林や草地は年によって植生の繁茂状態が異なる。

土地利用状態変化のパラメータとして、植生指数や地表面温度の他に地表面温度の植生指数に対する回帰係数などが考えられる。この回帰係数については 3~4 の人が研究し<sup>4),5),6),7)</sup>、森林の割合、植生の範囲や蒸発散などに影響される数値であることが報告されている。また、王ら<sup>8)</sup> は泥炭地で土地利用状態変化が無い場合、この回帰係数の値は年による変動が

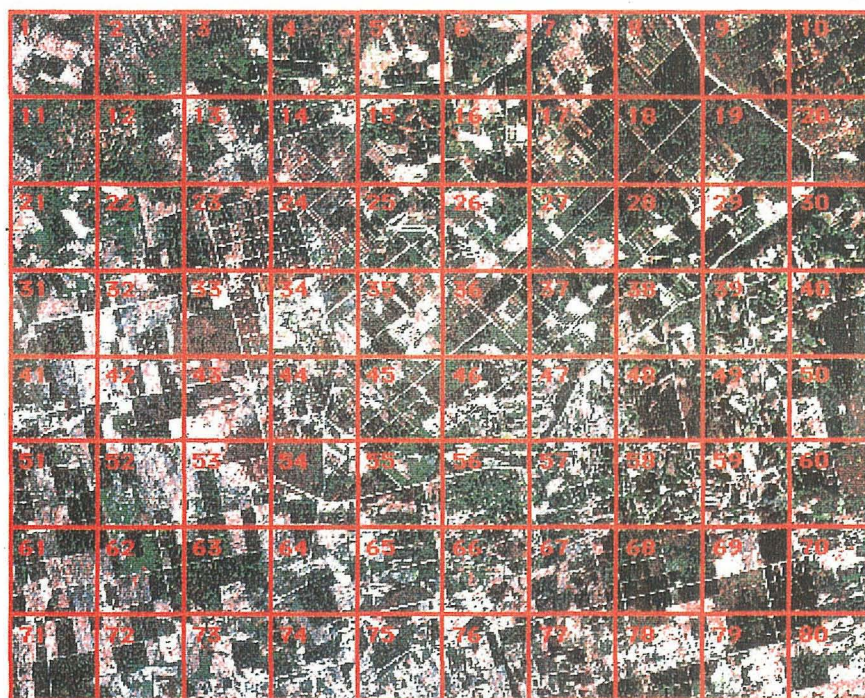
現在の所属 : \* 北王コンサルタント(株), 060 札幌市中央区北 10 条西 20 丁目

\*\* 財北海道農業近代化コンサルタント, 060 札幌市中央区大通西 15 丁目





(a) 1985 年の土地利用状態



(b) 1991 年の土地利用状態

図-2 解析地域の 80 メッシュへの分割と 1985 年(a)と 1991 年(b)の土地使用状態。

Fig. 2 Division of the analyzed area into 80 cells (named mesh), and landuse features in 1985 (a) and in 1991 (b).

少ないことを報告している。したがって、地表面温度の植生指数に対する回帰係数は土地利用状態変化が無いときは変動は小さく、変化が起きると変動が大きくなることが予想される。そのため植生指数や地表面温度の他に、地表面温度の植生指数に対する回帰係数についても、土地利用状態変化のパラメータとしての有効性を検討した。

この研究は地球規模や大陸規模などの大地域のモニタリングのための基礎研究として、地表状態が詳細に判読できるランドサットデータを用いて、格子に区切った区画の土地利用状態変化を代表するパラメータについて検討したものである。

### 1. 解析方法

#### A. 解析地域

解析地域は土地利用状態変化が、近年著しいところが望ましい。しかし、日本国内で広範囲に土地利用状態変化が発生しているところは少ないと思われるので、中国東北地方三江平原の一部を選んだ。この三江平原は黒竜江、松花江、烏蘇里江の大河川の流域に広がる平原で、東経 130°13'~135°05', 北緯 45°01'~48°28' の範囲で、面積は北海道程度である。土地利用状態は泥炭地、沼沢や沼沢化した草地が広がっていたが、近年急速に農地化や宅地化が進んだ地域である。

解析地域はこの三江平原内の東経 133°15', 北緯 47°45' を中心位置とした場所とした。解析地域を図-1 に示す。この解析地域は、1985 年の画像では広大な湿地が広がっているのが判別できるが、1991 年の画像ではほとんどの部分が農地化されている (図-2 参照)。

表-1 この研究に使用したランドサット-5 TM データ (パス 114, ロウ 27)

Table 1 Landsat-5 TM data (Path 114, Row 27) used in this study.

No	年	月	日
1	1985	07	03
2	1987	06	23
3	1988	06	25
4	1989	06	12
5	1990	08	18
6	1991	07	04

#### B. 解析に使用した衛星データ

解析に使用した衛星データは、ランドサット TM のパス 114, ロウ 27 のシーンから、解析地域を切り出した間引率 4 のデータである。衛星の撮影時期 (月日) は解析期間内であるべく一定であることが望ましい。データを検索した結果、1985 年から 1991 年までの 6 月下旬から 7 月上旬までのデータが最も多かったため、この期間のデータを使用した。しかし、1989 年と 1990 年はこの期間のデータが得られなかったため、6 月中旬と 8 月中旬のデータを使用した。使用した衛星データを表 1 に示した。

購入した衛星データはシーンによって画像の範囲が若干異なっているため、画像上で識別できる道路の交差点を基準にして位置補正を行い、解析範囲を定めた。今回の解析範囲は横 400×縦 320 ピクセルで、地上では 48×38 km の範囲である。

#### C. ランドサットデータの処理

##### a. メッシュ処理

地球規模や大陸規模などの広範囲の状態を解析する場合データ数が膨大になるため、一定範囲の格子に区切り、この格子単位で種々の処理をするのが一般的である。今回の場合も、解析地域を格子状に区切って、この格子単位の土地利用状態変化を調べた。このようにすると広大な地域を解析する場合は 1 つの格子の面積を大きくとり、小さい地域を解析する場合は 1 つの格子の面積を小さく取ることができる。また、各格子単位 (以下、これをメッシュと称する) で土地利用状態変化のパラメータの比較もできる。

そのため解析地域 (400×320 ピクセル) を横 10 メッシュと縦 8 メッシュの 80 メッシュに区切り (以下、これをメッシュ処理と言う) 以後の処理を行った。1 メッシュの大きさは 40×40 ピクセル=1600 ピクセルで、約 4.8×4.8 km の大きさである。この区切ったメッシュに図-2 のようにメッシュ番号をつけ、各々のメッシュについて土地利用状態変化を調べた。

##### b. 植生指数, 地表面温度, 回帰式の計算

解析地域の全ピクセルについて、基準化植生指数 (NDVI=Normalized difference Vegetation Index—以下、単に植生指数) と、地表面温度 (T) を次式で計算した。

$$NDVI = (Bd4 - Bd3) / (Bd4 + Bd3) \dots\dots\dots(1)$$

$$T = -63.023 + 1.0545(Bd6) - 0.00371(Bd6)^2$$

+6.606 x 10<sup>-6</sup> (Bd6)<sup>3</sup> .....(2)

ただし, Bd3, Bd4, Bd6:ランドサット TM データのバンド 3, 4 および 6 の DN 値。

(2)式は Lathrop ら<sup>9)</sup> が導いた経験式である。バンド 6 の DN 値と地表面温度の関係は衛星データの取得日によって異なるが, (2)式で計算した地表面温度 (T) は, 真の地表面温度と直線関係にある相対的な地表面温度である<sup>10)</sup>。また, 図-2 に示した 80 メッシュについて, 各々の地表面温度の植生指数に対する回帰式 ((3)式), を計算した。

Ti=ai・NDVli+bi .....(3)

ただし i =1,2,3, ……., 80, ai:i 番目のメッシュの回帰係数, bi:i 番目のメッシュの定数。

D. パラメータの検討

a. 検討したパラメータ

土地利用状態変化のパラメータとして, 次の 8 種類の数値を各メッシュについて計算し検討した。すなわち, ①平均植生指数, ②植生指数の標準偏差, ③植生指数の最高値と最低値の差(以下, 範囲), ④平均地表面温度, ⑤地表面温度の標準偏差, ⑥地表面温度の範囲, ⑦地表面温度の植生指数に対する回帰係数, ⑧補正地表面温度の補正植生指数に対する回帰係数 (以下, 補正回帰係数—算出方法は後述)

である。

メッシュ内の土地利用状態が単一の泥炭地, 沼沢地や森林などから, 部分的に畑地や宅地に土地利用状態が変化すると, 種々の植生指数や地表面温度のピクセルが出現する。そのためメッシュの代表値として平均値, 中央値, 最頻値などが考えられるが, なるべく単純な代表値が望ましい。ここではメッシュ内の平均値を主として考えた。

またメッシュ内に種々の植生指数や地表面温度のピクセルが出現すると, メッシュ内の植生指数や地表面温度の標準偏差や範囲が大きくなる。したがって, 植生指数や地表面温度の標準偏差や範囲も, 土地利用状態変化のパラメータになる。各メッシュの植生指数の平均値と標準偏差, 範囲および各メッシュの地表面温度の平均値と標準偏差, 範囲を計算して, 土地利用状態変化による数値の変化を調べた。

さらに, 地表面温度の植生指数に対する回帰係数は, メッシュ内の植生指数の変化と地表面温度の変化の相対的变化に対応している。どちらか的一方のみが変化しても, 回帰係数は変化しない。たとえば, 植生指数が同じで地表面温度のみが変化すると, (3)式の定数項は変化するが, 回帰係数は変化しない。また, 植生指数と地表面温度の変化割合が同じでも,

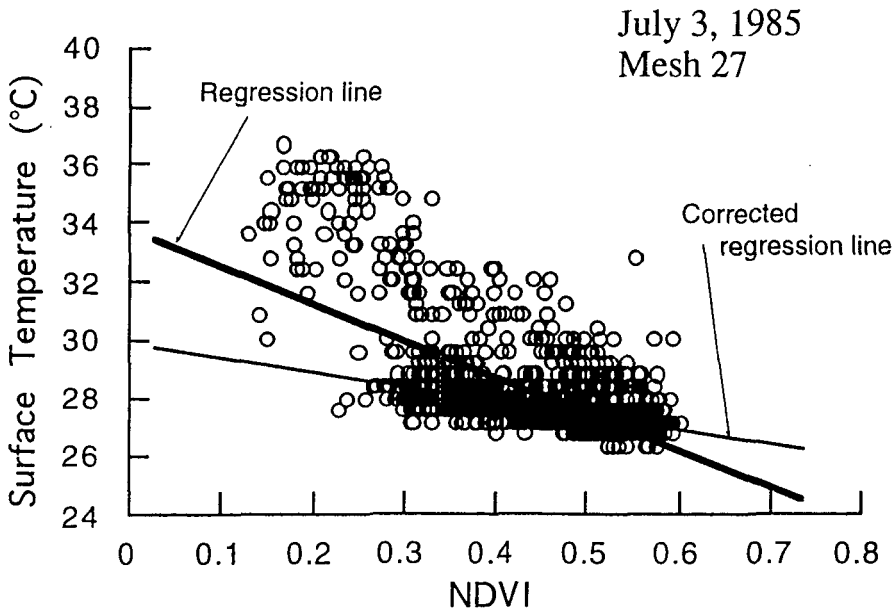


図-3 メッシュ27の回帰係数と補正回帰係数の相違。  
Fig. 3 Difference between regression coefficient and corrected regression coefficient in Mesh 27.

回帰係数の変化は無い。メッシュ内の多くのピクセルで植被状態と熱容量が変化すると回帰係数が変化するため、土地利用状態変化のパラメータになると考えられる。したがって、土地利用状態変化がなければ年による変動は少ないと思われる<sup>8)</sup>。

しかし、回帰係数は植生指数や地表面温度のバラツキに大きく影響される。図-3は1985年のメッシュ27の植生指数と地表面温度の分布である。回帰係数は植生指数が小さく、地表面温度が高温のピクセルの影響をうけており、全体のピクセルの分布傾向を示していない、メッシュの代表値としては疑問がある。

そのため植生指数と地表面温度について極端な値を除いて、回帰係数を計算した。植生指数と地表面温度の極端な値の除去は、これらの頻度分布図において平均値からの偏差が標準偏差の±1.64倍以上の異常値を除く方法で行った。このようにすると全ピクセル数の10%が除去される。植生指数と地表面温度の各々について異常値を除き、残りの90%のピクセルを使用して回帰係数を計算した。

#### b. パラメータの検討

これらパラメータの検討は、次の3種類について行った。すなわち、①1985年から1991年までで土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュと、土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュを、各々1メッシュずつ選び、各パラメータの比較を

行った。②次に①で選定したメッシュの周辺で、似たような変化を示しているメッシュを、各々3個ずつ加えて変動係数(標準偏差/平均)による比較を行った。③さら全80メッシュをクラスタ分類して、分類結果をトゥルーカラー図などによる変化状態と比較して、最適のパラメータを選出した。

①土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュと、土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュの選択は、1985年から1991年までのトゥルーカラー図、フォールスカラー図、植生指数分布図や地表面温度分布図などで調べて決定した。その結果、メッシュ27とメッシュ67を選出した。メッシュ27は1985年は泥炭地や沼沢地であったが、1989年ころから農地に開発されたメッシュで、土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュである。一方、メッシュ67は1985年にはすでに農地になっており、1991年にも農地であることから土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュである(図-2および表-2参照)。

②変動係数による比較のため加えたメッシュは、トゥルーカラー図、フォールスカラー図などによって選定した。その結果、加えた土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュはメッシュ17、メッシュ18、メッシュ28(以下、これらを変化が大きいメッシュ群)で、土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュはメッシュ66、メッシュ76、メッシュ77(以

表-2 1985年から1991年の間のメッシュ27とメッシュ67の表面状態の変化  
Table 2 Changes in surface status for Mesh 27 and Mesh 67 from 1985 to 1991.

年月日	メッシュ 27	メッシュ 67
'85 07 03	メッシュ内の大部分は植生指数が0.50前後で地表面温度が低く泥炭地や沼沢地が広がっていると思われる地域であるが、一部に植生が少なく地表面温度が高い所がある。	道路網ができ、地区全体に植生指数が低く、地表面温度が高いところが広がっている。
'87 06 23	1985年と大きな変化はないが、植生が少なく地表面温度が高い所の面積がやや大きくなっている。	1985年と大きな変化はないが、地区北側に植生指数がやや大きく地表面温度が低いところが現れている。
'88 06 25	地区中央に道路が一本建設されている以外は、1987年と変化がない。	1985年と大きな変化がない。
'89 06 12	地区内に道路が多数建設され、また植生が少なく地表面温度が高い所が1/2以上を占めている。	時期が早いせい、植生指数が低く裸地と思われるところが広がっている。
'90 08 18	植生指数分布図において高い所と低い所の区分が明らかで、地区内の畑地の区画がはっきり現れている。	地区全体に植生指数が大きく地表面温度の低いところと、植生指数が小さく地表面温度の高いところが入り乱れている。
'91 07 04	1990年と同じであるが、植生指数は全般に低い。	1990年と同じ。

下、これらを変化が小さいメッシュ群)である(表-4参照)。

解析期間の各パラメータの変動係数は、土地利用状態変化が大きいメッシュ群については大きい方が、土地利用状態変化が小さいメッシュ群については小さい方が良い。変動係数に順位をつけて各パラメータを検討した。

③全80メッシュについて、1985年から1991年までの6年間の土地利用状態変化を分類した。すなわち、各パラメータの6年間の値を変数として、クラスタ分析(群平均法)によって分類した。なお、この計算に使用したパラメータ(変数)は、②で土地利用状態変化のパラメータとして適当であると判断された、「植生指数の範囲」、「地表面温度の標準偏差」、「回帰係数」、「補正回帰係数」である。

その分類結果について、変化が大きいメッシュ群(17, 18, 27, 28)が同一カテゴリに含まれ、変化が小さいメッシュ群(66, 67, 76, 77)がこれと異なる同一カテゴリに含まれるパラメータを調べた。これはクラスタ分析によって類似度で融合した結果が、トゥルーカラー図、フォールスカラー図、植生指数分布図や地表面温度分布図などで総合的に調べ

た結果と、一致するパラメータが良いと考えたためである。

### III. 解析結果

#### A. メッシュ27とメッシュ67の比較

表-2に衛星画像から調べたメッシュ27とメッシュ67の表面状態の各年度の変化を示す。メッシュ27は1989年ころから地区内に道路網ができ、急速に耕地化が進んだことが伺える。また、メッシュ67は1985年当初から道路網や耕地の区画がある。

両メッシュの平均植生指数、平均地表面温度、それぞれの標準偏差や範囲および回帰係数などを表-3に示す。メッシュ27とメッシュ67のこれらのパラメータの特徴は次のように要約できる。

##### a. 植生指数

**平均植生指数：**土地利用状態変化が大きいメッシュ27と変化が小さいメッシュ67を比較すると、1985年から1989年までメッシュ27はメッシュ67より平均植生指数が大きい。しかし、1990年と1991年は両メッシュともほぼ同じ値になっている。

**植生指数の標準偏差：**メッシュ27の値は1985年から1990年まで徐々に大きくなっており、植生が変

表-3 メッシュ27とメッシュ67のNDVI, 地表面温度と回帰係数の比較

Table 3 Comparisons of NDVI, surface temperatures and regression coefficients between Mesh 27 and Mesh 67.

年 月 日			'85 07 03	'87 06 23	'88 06 25	'89 06 12	'90 08 18	'91 07 04
植 生 指 数	平 均	メッシュ27	0.445	0.374	0.485	0.354	0.405	0.396
		メッシュ67	0.307	0.257	0.317	0.200	0.407	0.421
	標準偏差	メッシュ27	0.094	0.121	0.135	0.153	0.177	0.123
		メッシュ67	0.116	0.142	0.165	0.143	0.218	0.142
範 囲	メッシュ27	0.474	0.574	0.822	0.713	0.804	0.699	
	メッシュ67	0.520	0.648	0.716	0.730	0.756	0.651	
表 面 温 度	平 均	メッシュ27	28.2	36.9	38.8	42.7	42.2	39.2
		メッシュ67	31.6	35.1	44.9	47.4	42.3	38.0
	標準偏差	メッシュ27	1.8	1.6	1.8	4.0	3.8	2.5
		メッシュ67	2.2	3.1	3.9	3.9	4.0	2.6
範 囲	メッシュ27	10.4	11.0	19.3	22.7	25.7	13.9	
	メッシュ67	10.3	21.8	20.1	26.2	19.0	11.5	
回 帰 係 数	補正無し	メッシュ27	-12.78	-6.08	-8.49	-11.56	-16.68	-12.15
		メッシュ67	-14.09	-13.15	-15.84	-11.29	-15.61	-13.56
	補 正	メッシュ27	-4.85	-1.33	-4.25	-5.92	-15.55	-12.15
		メッシュ67	-11.07	-13.38	-11.61	-11.23	-13.62	-12.97

化しているのが伺える。しかし、メッシュ67は一定傾向が見られない。また、1989年を除いてメッシュ67のほうが標準偏差が大きく、種々の植生状態が存在していると推定できる。

**植生指数の範囲：**メッシュ27は1988年に急に大きな値になっている。したがって、1987年と1988年の間に種々の植生変化が起きたことが想像できる。

#### b. 地表面温度

**平均地表面温度：**解析期間内では、メッシュ27・メッシュ67とも一定の傾向は見られない。これは地表面温度が衛星データ取得日の気象状態に大きく影響されるためと思われる。しかし、メッシュ27はメッシュ67より1987年と1991年を除いて低温であり、湿潤地であることが推測できる。

**地表面温度の標準偏差：**メッシュ27は1989年に急に大きくなっているが、メッシュ67はそのような傾向は見られない。したがって、メッシュ27は1988年と1989年の間に土地利用状態変化が大きかったことが予想できる。

**地表面温度の範囲：**1991年を除くとメッシュ27は徐々に大きくなっており、土地利用状態が変化しているのが伺えるが、メッシュ67はこのような傾向は見られない。また、メッシュ27は1989年から大きな値を示し、1988年と1989年の間に土地利用状態変化が大きかったことが推測できる。

#### c. 回帰係数

**回帰係数：**メッシュ27は年による変動が大きい。メッシュ67は-11.3~-15.8でほぼ一定である。したがって、メッシュ67は土地利用状態変化が

少なかったことが推測できる。また、1989年からはメッシュ27はメッシュ67と同じような値を示し、似たような土地利用状態になったことが伺える。

**補正回帰係数：**回帰係数と同じようにメッシュ27は年による変動が大きい。メッシュ67は-11.1~-13.6でほぼ一定である。また、メッシュ27は1990年から負で大きな値を示し、1989年と1990年の間に土地利用状態変化が大きかったことが推測できる。

先に記したように、メッシュ27の土地利用状態は衛星画像から1985年~1988年には主として泥炭原野が広がっており、1989年頃から急速に耕地化が進んだと思われる。したがって、1988年や1989年に大きな変化を示したパラメータが、土地利用状態変化を表すパラメータとして適当であると思われる。

1988年と1989年の間に土地利用状態変化があったと推定できるパラメータは、「地表面温度の標準偏差」と「地表面温度の範囲」および「回帰係数」などである。また、1989年と1990年の間に土地利用状態変化があったと推定できるパラメータは、「平均植生指数」、「平均地表面温度」および「補正回帰係数」などである。

#### B. 変動係数による比較

土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュ群(17, 18, 27, 28)について、トゥルーカラー図で同じような土地利用状態変化をしているか調べた。その結果、メッシュ18はメッシュ内全体が1985年、1987年には泥炭原野のみと思われるが、メッシュ17, メッシュ27, メッシュ28は1985年からメッシュ

表-4 土地利用状態変化の大きいメッシュと小さいメッシュのC. V. (変動係数)の比較

Table 4 Comparisons of C. V. (Coefficient of Variation) between meshes with large landuse change and meshes with small landuse change.

パラメータ	土地利用変化の大きいメッシュ					土地利用変化の少ないメッシュ					
	メッシュ17	メッシュ18	メッシュ27	メッシュ28	平均	メッシュ66	メッシュ67	メッシュ76	メッシュ77	平均	
植生指数	平均	0.130	0.097	0.117	0.101	⑧0.111	0.175	0.268	0.257	0.337	⑥0.259
	標準偏差	0.212	0.246	0.214	0.243	⑥0.229	0.190	0.226	0.259	0.248	④0.231
	範囲	0.195	0.333	0.198	0.203	⑤0.232	0.160	0.127	0.154	0.139	①0.145
地表面温度	平均	0.147	0.147	0.139	0.140	⑦0.143	0.137	0.152	0.139	0.150	①0.145
	標準偏差	0.426	0.676	0.416	0.439	③0.489	0.331	0.238	0.295	0.265	⑧0.282
	範囲	0.451	0.503	0.371	0.465	④0.448	0.305	0.338	0.287	0.192	⑦0.281
回帰係数	補正無し	0.432	1.477	0.324	0.514	②0.844	0.337	0.122	0.210	0.223	③0.223
	補正	0.465	1.761	0.725	0.725	①0.919	0.264	0.092	0.216	0.362	⑤0.234

内に裸地または荒地と思われるところがわずかに存在している。しかし、開発は同時に進行したことが伺え、1989年にこれらのメッシュ内に道路網が完成している。

また、土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュ群(66, 67, 76, 77)についても同じようにトゥ

ルーカラー図で変化を調べた。メッシュ67,メッシュ76,メッシュ77は、1985年から道路網が見られるが、メッシュ66は道路網が1987年でもはっきりしない。しかし、このメッシュは1985年から地表面温度が高く植生が少ないため泥炭原野とは思われない。

土地利用状態変化が大きいと思われるメッシュ群

表-5 80メッシュのクラスタ分析による分類  
Table 5 Classification of 80 meshes calculated by cluster analysis.

カテゴリ	1	2	3	4	5	6
植生指数の範囲	2, 5, 10, 11, 13, 15, 16, <u>17</u> , 22, 23, 24, 25, 26, <u>27</u> , <u>28</u> , 32, 33, 34, 35, 40, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 65, <u>66</u> , <u>67</u> , 68, 69, 72, 73, <u>76</u> , <u>77</u> , 78, 79, 80	3, 6, 8, 9, 12, 14, 19, 20, 29, 30, 31, 36, 38, 39, 42, 45, 52, 54, 61, 71, 74, 75	<u>18</u> , 21, 37, 41, 60	1, 4, 70	7, 51	63, 64
地表面温度の標準偏差	8, 9, 10, 12, <u>17</u> , 19, 20, 23, 24, 25, <u>27</u> , <u>28</u> , 30, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 64, 65, <u>66</u> , <u>67</u> , 69, 70, 74, 75, <u>76</u> , <u>77</u> , 79, 80, 89	2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 26, 31, 32, 37, 41, 42, 47, 51, 52, 53, 61, 62, 68, 71, 72, 73, 78	<u>18</u> , 34, 46	1, 29	48, 49	33
回帰係数	8, 9, 10, <u>17</u> , 19, 20, 24, 25, <u>27</u> , <u>28</u> , 34, 38, 40, 44, 45, 47, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 65, <u>66</u> , 70, 73, 74, 75, <u>76</u> , <u>77</u>	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 26, 31, 32, 35, 37, 41, 42, 51, 52, 53, 61, 62, 63, <u>67</u> , 68, 69, 71, 72, 78, 79, 80	29, 30, 39, 50	36, 43, 46	48, 49	<u>18</u> , 33
補正回帰係数	1, 2, 3, 11, 13, 14, 21, 22, 31, 32, 35, 42, 52, 61, 62, 68, 69, 71	4, 5, 6, 7, 12, 15, 16, 26, 29, 35, 37, 38, 39, 41, 47, 50, 51, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, <u>66</u> , <u>67</u> , 70, 73, 74, 75, <u>76</u> , <u>77</u> , 78, 79, 80	8, <u>17</u> , <u>18</u> , 19, 23, 25, <u>27</u> , <u>28</u> , 34, 40, 44	24, 43, 45, 46, 53, 54	9, 10, 20, 30	33, 36, 48
補正回帰係数の比(メッシュ67との比)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14, 15, 21, 22, 29, 31, 32, 35, 41, 42, 51, 52, 61, 62, 63, 68, 69, 71, 72, 80	12, 16, 26, 37, 38, 39, 45, 47, 49, 50, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 65, <u>66</u> , <u>67</u> , 70, 73, 74, 75, <u>76</u> , <u>77</u> , 78, 79	8, <u>17</u> , <u>18</u> , 19, 23, <u>27</u> , <u>28</u> , 34, 40, 44	24, 25, 40, 43, 45, 46, 54	9, 10, 20, 30	33, 36, 48

注：     の数字は変化の大きいメッシュ番号,     の数字は変化の小さいメッシュ番号

と、土地利用状態変化が少ないと思われるメッシュ群について、各パラメータの6年間の平均値と標準偏差を求め、この値を使用して変動係数(標準偏差/平均値)を計算した。その結果を表-4に示す。これらの変動係数は土地利用状態変化が大きいと大きな値に、土地利用状態変化が小さいと小さな値になるはずである。

表-4には両メッシュ群の変動係数の平均値も示してある。平均値の左に付けた丸印内の数値は順位を示すもので、土地利用状態変化の大きいメッシュ群については大きい平均値から順位をつけ、土地利用状態変化の小さいメッシュ群については小さい平均値から順位をつけた。すなわち、土地利用状態変化が大きい(または、小さい)メッシュ群の変動係数は、平均の値が大きいほど(または、小さいほど)土地利用状態変化を表すパラメータとして適していると考えられる。

これらの順位を各パラメータごとに合計して、総合的に調べると、「回帰係数」、「補正回帰係数」、「植生指数の範囲」などが、土地利用状態変化をよく表すパラメータと考えられる。また最もパラメータとして不適なもの「平均植生指数」と言える。

### C. クラスタ分類による比較

パラメータとして適していると考えられた、「回帰係数」、「補正回帰係数」、「植生指数の範囲」、「地表温度の標準偏差」などを使用して、クラスタ分類を行った。各々のパラメータについて6年間の値を変数として、6クラスタまで分類した結果、補正回帰係数が変化の大きいメッシュ群と変化の小さいメッシュ群が最初に異なるカテゴリに分類された。

その結果を表-5に示す。表-5には後に示すメッシュ67を基準にした補正回帰係数の比についても分類結果を示してある。表-5で補正回帰係数を使用したパラメータのみが、土地利用状態変化の大きいメッシュ群(17, 18, 27, 28)はカテゴリ3に属し、土地利用状態変化の小さいメッシュ群(66, 67, 76, 77)はカテゴリ2に属している。その他のパラメータは土地利用状態変化の大きいメッシュ群と小さいメッシュ群が同一カテゴリに属しており、パラメータとしては補正回帰係数より土地利用状態変化を良く表していない。

### D. 総合考察

以上、3種類の比較の結果、補正回帰係数がいずれの比較の場合にも、有効なパラメータとして含ま

表-6 NOAA/AVHRR データを用いた苫小牧森林における地表温度の植生指数に対する回帰係数の年による変動

Table 6 Yearly variation of regression coefficient between NDVI and surface temperature using NOAA/AVHRR data for the forest of Tomakomai

年月日	回帰係数	平均植生指数	平均地表温度(°C)
'86 06 06	-29.8	0.39	20.3
'87 06 01	-31.9	0.38	25.8
'89 06 10	-30.9	0.41	18.9
'90 06 18	-32.5	0.41	18.5
'91 06 11	-33.2	0.40	18.5

れており、土地利用状態変化のパラメータとして適当であると思われる。しかし、補正回帰係数自体の検討が必要である。パラメータとして適当であるためには、土地利用状態変化がないのにパラメータ自体の変動が大きい場合は使用できない。

補正しない前の回帰係数については、王ら<sup>8)</sup>はランドサット TM によるサロベツ泥炭原野の1985年から1989年の5月末から7月始めの回帰係数は、-14~-18の範囲であったと報告している。また、堀口ら<sup>9)</sup>はNOAA/AVHRRによる中国大興安嶺の森林について、1986から1991年の6月から8月の標準回帰係数(地表温度を標準化)の範囲は、-17.6~-19.4であると報告している。これらのデータは泥炭原野や森林の土地利用状態変化が無いところでは、回帰係数や標準回帰係数が、年による変動が少ないことを示している。

しかし、Friedlら<sup>11)</sup>はヘリコプタに搭載したTMSで、1987年7月の午後と8月の午後の森林のデータで-15.3と-5.3の大きな差を報告している。そのため北海道苫小牧の森林(約30×30km)についてNOAA/AVHRRを使用して、回帰係数の年による変動を調べた。その結果を、表-6に示す。5年間の回帰係数の変動は-29.8~-33.2で、余り大きくない。

また、土地利用状態変化の少ないメッシュ群(66, 67, 76, 77)の補正回帰係数の変動を調べた。土地利用状態変化の少ない4個のメッシュのうち、最も変動係数の小さいメッシュは67メッシュで(表-4参照)、解析期間の補正回帰係数の範囲は-11.1~-13.6、平均値と標準偏差は-12.3±1.1であった。また最も変動係数の大きいメッシュはメッシュ77で、

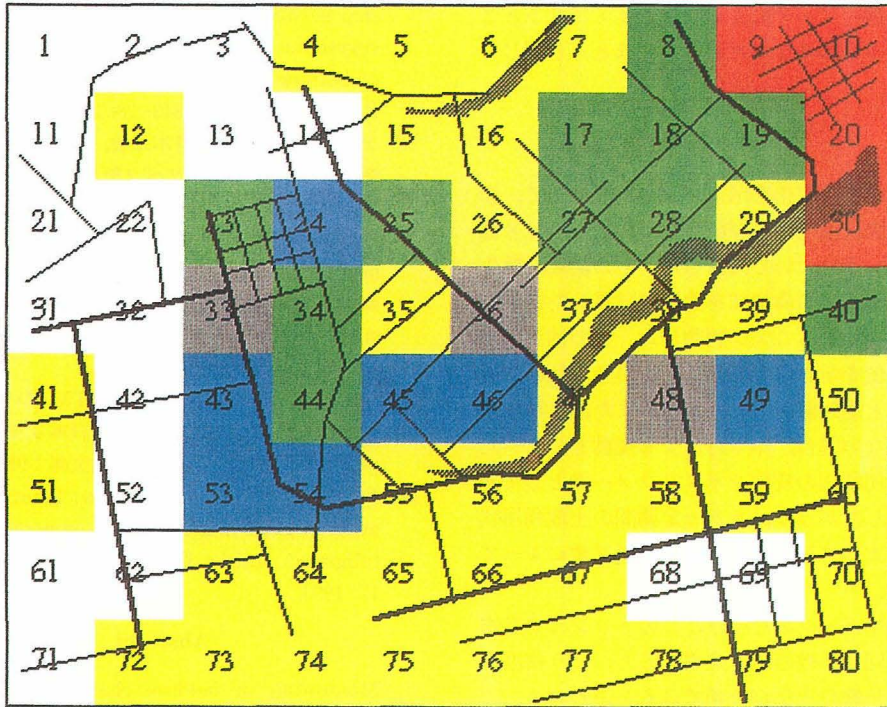


図-4 メッシュ67の補正回帰係数を基準とした補正回帰係数の比による解析期間の土地利用状態変化のタイプ別の分類。

Fig. 4 Classification of land use changing types during the analyzed period by the ratio of corrected regression coefficient in Mesh 67.

補正回帰係数の範囲は $-7.7 \sim -15.5$ 、平均値と標準偏差は $-10.5 \pm 3.9$ であった。メッシュ77の標準偏差がやや大きいため、分布図によって植生指数や地表面温度の解析期間の変化を調べると、年によってメッシュ内の植生指数や地表面温度の高低の位置が異なる。これはメッシュ77が畑地で作付け作物が年によって変化するためと思われる。

表-5に示された補正回帰係数のカテゴリ2に含まれる36個のメッシュについて、平均値、標準偏差、変動係数の6年間の平均は、それぞれ $-11.2, \pm 3.1, -0.28$ であり、Friedlら<sup>11)</sup>の報告にあるような回帰係数の大きな差は現れなかった。カテゴリ2に含まれる場所は1985年当初から畑地であったと推定されるため、畑地の場合は土地利用状態変化が無くても、回帰係数の変動は $\pm 3.1$ 程度はあると考えられる。これは年によって、作物の種類や栽培場所がメッシュ内で移動するためである。しかし、森林や泥炭原野などでは、メッシュ内の年による植生変化が少ないため、補正回帰係数の変動は小さい。

また、表-5に示された補正回帰係数のカテゴリ3

に含まれる11個のメッシュについて平均値、標準偏差、変動係数の6年間の平均は、それぞれ $-5.8, \pm 3.9, -0.75$ である。これらの地域は1985年当初は泥炭原野で後に畑地に変化したところと推定できる。カテゴリ2とカテゴリ3を比較すると標準偏差には大きな相違はないが、平均値と変動係数に大きな差が見られる。したがって、当初から畑地で土地利用状態が変化しない場合と、土地利用状態が変化して畑地になった場合の区別は充分できる。

一方、植生指数や地表面温度は衛星データの取得日によって変化し、それが補正回帰係数の変動に影響を与えることも考えられる。この影響を少なくするためには、ある基準のメッシュを定め、衛星データの取得日ごとに基準のメッシュとの比を計算し、この比を比較すれば取得日の違いによる変動はある程度除去できる。

いま解析期間中で最も変動の少なかったメッシュ67の補正回帰係数を基準にして、補正回帰係数の比を計算してクラスタ分類を行ってみた。その結果を表-5に示してある。また、分類結果を図-4に示す。

補正回帰係数のデータによる分類とカテゴリ1と2が若干異なる分類になったが、他はほとんど同じである。

#### IV. まとめ

土地利用状態の変化を示すパラメータとして、植生指数、地表面温度および両者の回帰係数など8種類のパラメータについて検討した。その結果、植生指数と地表面温度の異常値を除いて計算した補正回帰係数が最適であることが判明した。この補正回帰係数は負の値を示し、地域内に種々の土地利用状態が出現すると絶対値が大きくなる。また、土地利用状態変化がない場合、年や月による変動も小さいため、土地利用状態の変化を示すパラメータとして適している。したがって、ある一定期間の土地利用状態の変化の大小は補正回帰係数の変動係数によって比較できる。

さらに基準メッシュを設け、このメッシュを基準にした補正回帰係数の比を使用すると、より精度良く土地利用状態の変化が分類できると思われる。

#### 参考文献

- 1) Lambin E. F. and A. H. Strahler: Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multi-temporal space at coarse spatial scales, *Int. J. Remot. Sens.*, **15**: 2099-2120, 1994.
- 2) Justice, C. O., J. R. G. Townshend, B. N. Holben and C. J. Tucker: Analysis of phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *Int. J. Remot. Sens.*, **6**: 1271-1318, 1985.
- 3) 佐々木秀行, 能美武功: ISCCP (国際衛星雲気候計画) データについて, *天気*, **36**: 181-185, 1989.
- 4) 堀口郁夫, 劉 大力, 谷 宏, 町村 尚: NOAA/AVHRR データによる森林火災地の植生指数と地表面温度による回復状況の解析, *日本リモートセンシング学会誌*, **14**: 122-131, 1994.
- 5) Hope A. S., D. E. Petzold, S. N. Goward and R. M. Ragan: Simulated relationships between spectral reflectance, thermal emissions, and evapotranspiration of soybean canopy, *Water Resour. Bull.*, **22**: 1011-1019, 1986.
- 6) Namani R. R. and S. W. Running: Estimation of regional resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data, *J. App. Meteor.*, **28**: 276-284, 1989.
- 7) Hope A. S. and T. P. McDowell: The relation-

ship between surface temperature and a spectra vegetation index of a tallgrass prairie: Effects of burning and other landscape controls, *Int. J. Remot. Sens.*, **13**: 2849-2863, 1992.

- 8) 王秀峰, 堀口郁夫, 青木正敏, 谷 宏, 町村 尚: 衛星データによるサロベツ原野の地表面温度の解析, *北大農邦文紀要*, **17**: 505-516, 1991.
- 9) Lathrop R. G., JR and T. M. Lillesand: Calibration of thematic mapper thermal data for water surface temperature mapping: Case study on the Great Lakes, *Remot. Sens. Environ.*, **22**: 297-307, 1987.
- 10) 中山祐則, 向井幸男, 山本静夫: TM 熱バンドデータと地表面温度との関係の調査, *日本リモートセンシング学会*, 第5回学術講演会論文集: 98-96, 1985.
- 11) Friedl M. A. and F. W. Davis: Sources of variation in radiometric surface temperature over a tallgrass prairie, *Remot. Sens. Environ.*, **48**: 1-17, 1994.

#### Abstract

Monitoring of landuse change by satellite is being carried out globally. Good parameters for monitoring landuse change, however, are not defined. In this study, eight parameters for detection of landuse change (e. g., NDVI, surface temperature, regression coefficient of surface temperature, on NDVI, etc.) were applied to the Sanjiang Plain in China. The best parameter was the corrected regression coefficient, which was calculated using the corrected NDVI and the corrected surface temperature. The corrected regression coefficient was a negative value and the absolute value became larger when various landuse types appear in the analyzed areas. Also, in cases of no landuse change, there are small yearly changes. Moreover, it is recognized that the ratio of corrected regression coefficient to standard cell (Mesh 67) is a more accurate parameter for monitoring landuse change.