衛星データを用いた斜網地域の テンサイ収量と土壌との関連解析

小川 茂男*, 深山 一弥**
Shigeo OGAWA, Kazuya MIYAMA

Abstract: Shamoh area is located east-north part of Hokkaido prefecture and suger beet field widely spread between Shari town and Abasiri city. Suger beet was damaged by dry weather in 1984, and was not so damaged in 1988. In this paper, we analyze the suger beet yields and make yields map in 1984 and 1988 using satellite data, Landsat MSS and TM. Next, we analyze soil water contents and soil humid in the field using Landsat TM. As a result, Typic Brown Lowland soils can estimate soil water contents, but Stratic Regosolic Andosols cannot. Soil humid can be estimated and we make distribution map. Using suger beet yields map, soil humid map and soil map, we analyze the relation of soil type and yields. As a result, soil types which are damaged heavily by dry weather compared usual year are distinguished.

I. はじめに

斜網地域は、北海道東部のオホーツク海に面する斜里町から網走市にかけて広がる大規模畑作地帯である(図1)。一戸当たりの耕作面積が17~23haであり、1圃場の大きさは短辺で100m以上の畑が多く、テンサイ・バレイショ・小麦が主要な作付け作物である。

対象地域は日本における有数の降水量が少ない地域で、特に春から夏にかけて少なく、例えば斜網地域の小清水町の降水量は4月から9月までの5カ月間で351mmであり、札幌の同期間の降水量(532mm)の約66%である。この時期の日照時間は多く、小清水町で1402時間であり、札幌の1092時間の約1.3倍である。また、土壌は未熟火山性土が多く、土壌構造が発達しておらず、保水性が低く乾燥しやすいため風食の害を受けやすく、風食を受けると根が露出し、更に干害を受けやすくなる。以上のように、本地域は、気象的・土壌的に干ばつの影響を受けやすい地域といえる。

実際の営農場面では安定した高収量を目指し様々な

工夫がなされており、例えば栽培管理、化学肥料の投与、防風網の設置、土壌改良資材の混入などが行われ

図1 解析対象地区

* 北海道農業試験場

** 農業工学研究所

ている。このような作物および圃場管理が収量に直接影響を及ぼす以上に、土壤環境に対する影響が考えられる。しかしながら、栽培された作物の収量と土壤との関係は調査結果が少ない。試験的に特徴的な土壤の作物収量の結果はあるが、費用の面から多くの土壤について単一年度に調査することは困難である。このため、リモートセンシング技術を利用し、干ばつ時の調査結果、通常年との収量の違い、被害程度と土壤との関係を広域に調査・解析することを試みた。

まず、斜網地区を対象に収量推定に比較的高い相関関係がみられるテンサイを対象に⁵⁾、干ばつ被害を受けた1984年⁷⁾と、春先に干ばつ傾向であったが平年に近い作況であった1988年について衛星データからテンサイの収量分布図を作成し、テンサイ収量の分布特性について考察した。

分光反射率計で測定した実験結果では、同一の土壤であれば土壤水分と可視～近赤外波長との間で高い相関関係が示されているので¹³⁾、ランドサット TM (LANDSAT/TM) データと圃場のデータとの間での関係を解析した。土壤の腐植量に関して、既に畠中ら⁴⁾が北海道十勝地区を対象に高い精度で分布図を作成しており、同様の方法により斜網地区の腐植量分布図を作成した。

最後に、ここで作成したテンサイの収量データ、腐植量分布図とラスターデータ化した土壤図^{6,8)}から、テンサイ収量と土壤タイプとの関連性を解析した。

II. 解析材料及び解析方法

1. 使用データ及び解析装置

テンサイの収量分布解析には、1984年5月29日観測の LANDSAT/MSS、1984年8月1日観測の LANDSAT/MSS、1988年8月20日観測の LANDSAT/TM の衛星データを使用した。斜網地域にはテンサイの農家が数戸～十数戸単位で生産団地が形成され、収量データを生産団地毎に集計し、生産団地の地図はラスター化した。1984年は斜里町付近のデータのみで雲に覆われた地区を除いた13、1988年は33の生産団地のデータを解析に用いた。

解析した1984年と1988年の斜網地域のアメダスデータを図2～4に示し、特徴を略記する。網走市では1984年より1988年に降水量がやや少ないが、日照時間では

図2 網走市の気象データ

図3 小清水町の気象データ

図4 斜里町の気象データ

1984が多く、気温も高い。網走の気象データからみると、両年とも干ばつ傾向といえる。小清水町、斜里町では1984年の降水量が特に少なく、気温も6,7月に高めであったため、1984年は干ばつの被害を受けたといえる。1988年も干ばつ傾向で推移したが、8月に降水量が多く(特に下旬にまとまった降雨)、結果的には干ばつの影響は少なかった。このように、1984年は斜網地域の中央部から東部でより大きな干ばつ傾向であり、1988年は春先に干ばつ傾向であったが最終的に収量は平年作に近かった。

土壌水分及び腐植量の分布解析には、衛星データとして1989年5月19日観測のLANDSAT/TM データを使用した。TM データの観測日に、小清水町泉地区、斜里町川上・朱円地区で土壌をサンプリングした。表層3cm は5点で採取した平均値、深さ5～15cm では3点で採取した平均値をその圃場の土壌水分とした。採取点は圃場の中心付近の比較的土壌変動の少ない場所とし、泉地区（積層未熟火山性土、表1参照）で32カ所、川上地区（褐色低地土）で7カ所、朱円地区（褐色低地土）で3カ所の合計32カ所で採取した。

また、腐植量のためのサンプリングは、上記の32カ所とその他の土壌タイプの圃場で26カ所、合計で58カ所で実施した。採取土壌の腐植量は、炭素分析計で有機炭素含量を求め、これに係数1.724を乗して求めた。

テンサイ収量・腐植量・土壌図の関連解析には、上記の方法により求めた2時期のテンサイ収量分布図、土壌の腐植量分布図とラスタデータ化した土壌ファイルを用いた。土壌ファイルで100ha 以上の土壌タイプは20種類であった（表1）。

衛星データの解析や地理情報との重ね合わせ等には、筆者らが作成した画像解析システム『HIPS』を使用した。HIPS は EWS を中核としたシステムで、パソコンを含めたネットワークを構成している。

2. 1984年及び1988年の収量分布解析

1984年の収量分布解析は図5のフローチャートに従って実施した。ここではテンサイの分類精度を高めるため、春期のデータと夏期の MSS データを用いた。①5月の LANDSAT/MSS データを用いて土地利用分類を行い、裸地状態の畑を抽出する。②8月の LANDSAT/MSS データを幾何補正し、5月のデータと重なるよう処理した。5月の分類結果で畑に分類された部分について、8月の LANDSAT/MSS データから作物を分類し、テンサイの畑を抽出した。③テンサイの生産団地毎の収量データと衛星データとの間で重回帰分析を行い、重回帰式を作成した。④求めた重回帰式から、斜網地域のテンサイ畑の収量分布図を作成した。

1988年のテンサイの収量解析は、図6に示すように、1984年の場合のような春先のデータがないため、夏期の8月20日のデータのみを用いた。この画像では雲と雲影が存在することや1時期のデータで分類することから、山林部の植生と作物の分光反射特性に類似する部分が存在した。そこで、図のように農地主体の分類と森林・雲を主体とする分類を行い、両者を結合・置換して分類画像とした。

表 1 斜網地区の土壌と特徴

No	土 壌 名	土 壌 の 特 徴
1	砂丘未熟土	海岸の砂地で、乾燥し土壌養分にも欠乏しているためほとんど未利用地
2	積層放出物未熟土	粗粒火山灰と呼ばれている、噴出時期の新しい未風化な火山灰
3	積層未熟火山性土	異質の火山灰層が積み重なった、やや風化した、腐植にも富む火山灰
4	下層低地未熟火山性土	火山灰層が薄く、その下部に地表から50cm 以内に低地の土層が現れる
5	下層低地湿性未熟火山性土	火山灰層が薄く、地下水や停滞水が高く、排水の悪い土壌
6	積層湿性未熟火山性土	火山灰が厚く排水の悪い、腐植に富む火山灰
7	下層泥炭湿性未熟火山性土	土層の上部50cm 以内に泥炭層が現れる、排水の悪い火山灰
8	軽しょう褐色火山性土	軽しょうな火山灰土壌で表層の腐植含量が少ない
9	ローム質褐色火山性土	褐色火山性土のうち、古い風化の進んだ堆積物（洪積土）に由来する土壌
10	軽しょう黒色火山性土	風化の進んだ火山灰土壌で表層が腐植に富んだ黒い軽しょうなもの
11	ローム質黒色火山性土	風化の進んだ火山灰土壌で表層が腐植に富んで黒く、風化の進んだもの
12	酸性褐色森林土（台地）	排水のよい丘陵や台地の土壌で、酸性を呈する
13	暗色表層褐色森林土性疑似グライ土	腐植含量の多い暗色の厚い表層をもつ、排水の悪い堅密な台地の灰色土壌
14	褐色低地土	主に河川流域の排水のよい低地土壌で、地味が肥沃な土地が多い
15	暗色表層褐色低地土	腐植含量の多い暗色の20cm 以上の厚い表層をもつ褐色低地土
16	灰色低地土	排水が悪く、灰色の低地土壌
17	下層泥炭グライ低地土	土層の上部50cm 以内に泥炭層が現れ、50cm 以内に青色のグライ層が現れる
18	下層グライ灰色低地土	排水のごく悪い低地度で、グライ層の現れる土壌
19	無機質表層低位泥炭土	表層に鉱質土層のある低位泥炭土
20	下層無機質低位泥炭土	地表から50cm 以内に鉱質土層が現れる薄層の低位泥炭土

図5 テンサイの収量分布図作成のフローチャート

図6 テンサイの収量分布図作成のフローチャート(1988年)

図7 畑圃場の土壌水分及び腐植量の分布のフローチャート

3. 畑圃場の土壌水分及び腐植量の分布解析

畑の土壌水分の解析は、図7に示すように、サンプリング地点を LANDSAT/TM 上で同定し、その点のデジタルナンバー (D_N) と土壌水分との間で重回帰分析を行った。

土壌の腐植量は、最初に土地被覆分類により裸地状態の畑を抽出し、クラスタ分類により畑土壌を分光反射特性から16クラスに分類した。分類した結果と土壌図から、採取土壌が対象地域で偏らないようにサンプリング地点を選定した。分析した58点の腐植量データと LANDSAT/TM データとの間で重相関解析を行った。

サンプリングは、圃場の中央付近で行い、LANDSAT/TM 画像上では正確な位置を把握できないことやポイントの土壌のデータであるので、LANDSAT/MT 画像上では、3～4ピクセル程度の平均値を反射値とした。腐植量データと LANDSAT/TM の反射値の間で重回帰分析を行い、得られた結果から分布図を作成した。

4. テンサイ収量・腐植量・土壌図の関連解析

この解析では、図8に示すように、求めた1984年と1988年のテンサイ収量分布図、腐植量分布、及び土壌図ファイルを圧縮・変換して重ね合わせ、それぞれの関連性について検討した。画像を重ね合わせるため、LANDSAT/MSS データは50m、LANDSAT/TM データと土壌図ファイルは25mの画素単位で地図座標に変換した。テンサイの収量を比較する場合は100m単位のメッシュ（MSSは2X2画素、TMは4X4画素）に圧縮変換し、腐植量と土壌図を比較する場合は25m単位で実施した。

図8 テンサイの収量・土壌腐植量・土壌タイプの関連解析におけるフローチャート

IV. 解析結果及び考察

1. 1984年及び1988年の収量分布解析

春先に裸地状態である畑は、ほとんどがテンサイとバレイショであるため、畑地抽出の精度を上げるために春先のデータを利用した。裸地状態の畑は容易に他の土地利用と区別できた。このときのトレーニングフィールド内全画素の判別効率は、表2に示す通り、7クラスに統合後で96.3%と高い精度であった。夏期のデータでは、一部テンサイとバレイショで反射特性が類似しているため誤分類が認められたが、全体としては良好であった。

LANDSAT/MSS の D_N を取り出し、テンサイの生産団地毎の平均値を算出し、収量との間で重回帰分析をした結果、次式が得られた。

$$Y = 29.24 + 0.378RVI + 1.035MSS4 - 0.306MSS5 - 0.021MSS6 - 0.363MSS7 \quad (1)$$

ここで、Y：テンサイ収量 (ton/10a)、RVI：比演算値 (= $MSS7/MSS5$)、 $MSS4, MSS5, MSS6, MSS7$: LANDSAT/MSS データのバンド4～7の D_N 。

(1) の重回帰式を用いた推定結果と比演算値 RVI との単相関係数を用いた結果を図9、10に示す。(1) 式による推定で重相関係数 $r = 0.852$ (1%水準で有意) が得られたので、(1) 式を用いてテンサイの収量分布画像を作成した。収量分布とテンサイ以外をフォールス画像で表示した結果が図11であり、画像からは斜里川沿いや濤沸湖近くの台地等で収量の低い部分がみられ、面的な収量の分布が読み取れる。この地域は干ばつを強く受けた地域であり、灌漑により増収が期待できる地域といえる。

1988年の農地を主体とした土地利用分類では細分類項目を38クラスとし、トレーニングフィールドを140カ所指定した。トレーニングフィールドを分類したときの判別効率は80.2%であり、13の項目に統合したときの判別効率は93.6%と高い値が得られた(表3)。森林・雲を主体として分類した結果で森林とされたものは、農地を主体とした分類に関わらず森林とした。

1984年のテンサイ収量解析と同様に、LANDSAT/TM の D_N を取り出し、33の生産団地毎の平均値を算出し、収量との間で重回帰分析の結果、次式が得られ、重相関係数は0.762 (1%水準で有意) であった(図12)。

図9 重回帰式によるテンサイの収量推定結果 (1984年)

図10 RVI 値によるテンサイの収量推定結果 (1984年)

$$Y = 17.18 + 0.020TM1 - 0.298TM2 + 0.023TM3 + 0.023TM4 - 0.089TM5 - 0.016TM6 + 0.153TM7 \quad (2)$$

ここで、Y:テンサイ収量 (ton/10a)、 $TM1 \sim TM7$: LANDSAT/TM データでバンド1～7の D_N 。(2) 式により計算し、広域的な分布がわかるように10×10画素

表2 斜網エリアトレーニングフィールド内の判別効率
(1984年5月29日 MSS データ)

分類項目	ピクセル数	判別効率 (%)	未分類	1 水域	2 市街地	3 *裸地	4 雲	5 木	6 草	7 ムギ
1 水域 (海, 川, 湖)	2,097	99.7	7	2,090	0	0	0	0	0	0
2 市街地	221	92.3	0	0	204	9	0	8	0	0
3 裸地 (畑地)	1,231	92.9	0	1	7	1,143	1	61	9	9
4 雲, 雲かけ	473	98.5	5	1	0	1	466	0	0	0
5 木 (林地, かん木)	964	94.9	0	0	0	9	5	915	2	33
6 草 (牧草地)	427	94.4	0	0	0	3	0	21	403	0
7 ムギ (畑地)	131	91.6	0	0	0	2	0	1	8	120
合 計	5,544	96.3	12	2,092	211	1,167	472	1,006	422	162

38サブクラス, 116フィールド使用。フィールド内全ピクセル判別効率=96.3%

*裸地が目的とする畑地圃場

図12 重回帰式によるテンサイの収量推定結果 (1988年)

(250×250m) で平均化した結果が図13であり, 海岸に近い地域が比較的高い収量で, 斜里川沿いや内陸部で低い傾向がみられる。

データの観測された8月20日は干ばつの影響が多少みられた時期であるのに対し, その後8月後半にまとまった雨の影響で干ばつ傾向が回避され, このため, 最終的な収量に対する重相関係数は1984年より低い値となった。1984年では干ばつが収量に大きく影響しているため, 高い相関係数になった。

2. 畑圃場の土壌水分及び腐植量の分布解析

測定した土壌水分と LANDSAT/TM データの相関関係を見ると, 表4に示すように, 泉地区の積層未熟

火山性土では高い相関係数が得られなかった。耕うん条件や作付け作物の違いによる畝の有無, 土壌の特性 (土壌の表面だけが乾いてしまい, 下層との関連性が低い土壌構造のない土壌) 等によって, この地区の土壌では高い相関係数が得られなかったと思われる。3地区をあわせた土壌水分と LANDSAT/TM との相関係数をみると, 含水率(容積含水率で, 土壌水分の体積/採取土壌体積×100%)よりは含水比(水分の重量比で, 土壌水分重量/乾燥土壌重量×100%)の値が高い相関を示し, 表層よりは下層の方が高い相関を示すことがわかる。

サンプリングした土壌の腐植量 (合計58点) と1989年5月19日に観測した LANDSAT/TM データで相関分析を行い, 単相関では TM2との間で高い相関 ($r = 0.737$ で1%水準で有意, 図14), 重相関では, 更に高い相関係数が得られ ($r = 0.797$ で1%水準で有意, 図15), この重回帰式を式 (3) に示した。

$$Y = 17.176 + 0.0196TM1 - 0.294TM2 + 0.023TM3 + 0.0232TM4 - 0.0889TM5 - 0.0158TM6 + 0.1531TM7 \quad (3)$$

ここで, Y: 腐植量(%), TM 1~TM 7: LANDSAT/TM データのバンド1~7の D_N 。

(3)式を用いて図7に従い解析した結果, 得られた畑地内の腐植量は0~10%の間で分布しており, 腐植量が少ないため変化の幅も少ない。裸地畑の腐植量分布と裸地状態以外をフォールスカラー画像で表示した画像が図16であり, 広域の分布状況が読みとれる。図の右下の水色の地域は斜里岳で雪に覆われた部分である。腐植量分布図と土壌図を比較すると, 下層無機質低位泥炭土は腐植量が6%以上と高いところが多く, それ以外

表3 斜網エリアトレーニングフィールド内の判別効率
(1988年8月20日 TM データ)

分類項目	ピクセル数	判別効率 %	0 未分類	1 小麦	2 テンサイ	3 バレイシヨ	4 その他作物	5 飼料作物	6 森林	7 市街地	8 雲影	9 雲	10 牧場	11 水域	12 牧草地	13 砂浜
1 小麦	243	97.9	3	238	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2 テンサイ	176	93.2	0	0	164	7	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0
3 バレイシヨ	177	89.8	2	0	3	159	2	5	6	0	0	0	0	0	0	0
4 その他作物	14	100.0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 飼料作物	28	85.7	0	0	0	2	0	24	1	0	0	0	0	0	1	0
6 森林	1,017	95.7	1	3	0	1	3	0	17	973	3	0	0	2	0	50
7 市街地	652	73.8	5	19	0	0	0	0	0	481	0	0	0	11	136	0
8 雲影	965	91.5	1	0	0	0	0	0	14	4	883	0	0	63	0	0
9 雲	706	98.2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	693	0	0	0	0
10 牧場	201	97.5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	196	0	3	0
11 水域	409	82.9	0	0	0	0	0	0	0	1	67	0	0	339	0	2
12 牧草地	72	95.8	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	69	0
13 砂浜	117	93.2	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	109
合 計	4,777	93.6	25	260	167	182	18	46	1001	497	950	693	199	414	214	111

38サブクラス, 140フィールド使用。フィールド内全ピクセル判別効率=93.6%

表4 LANDSAT/TM の TM1~TM7と
土壌水分、腐植量との重相関係数

解析地区 項目	泉地区 (未熟火山性土)	川上, 朱円地区 (褐色低地土)	3 地区合計
腐植量	0.867**	0.895	0.767**
含水率 (0-3cm)	0.548	0.889	0.264
含水率 (5-15cm)	0.574	0.801	0.575*
含水比 (0-3cm)	0.547	0.922	0.589**
含水比 (5-15cm)	0.529	0.918	0.840**

**危険率1%で有意

*危険率5%で有意

の土壌（ローム質褐色火山性土、積層未熟火山性土、灰色低地土）は2～6%であり、土壌タイプと密接に関連しているとともに同じ土壌タイプでも腐植量が異なることがわかる。

3. テンサイ収量・腐植量・土壌図の関連解析

腐植量とテンサイ収量との間をピクセル単位でその関係をみると、図17, 18に示すように、相関関係は低い。画素単位ではお互いに誤差等も含んでおり明確な関係がみられないが、収量と腐植量の間に1984年では弱い正の、1988年では負の関係が読みとれる。

土壌タイプ毎の解析対象地区内の面積をみると、図19のように No.5のローム質褐色火山性土が最も多く約28%を占める。解析可能な部分はこの中の一部であ

り、例えば腐植量が測定可能な裸地状態の畑についてその面積割合をみると、その10～50%程度であり、テンサイの収量ではさらに面積が減少する。しかしながら、100ha 以上の土壌タイプが20種類であるので、20の土壌タイプについて解析した。

土壌タイプ毎の腐植量の平均値を求めると、土壌タイプ No.5 (6.93%), No.13 (6.40%), No.12 (6.27%), No.11 (6.21%) の順で高く、No.17 (3.58%) が最も低い。湿性土壌 (No.5), 森林土壌 (No.12,13), 黒色土壌 (No.10,11) が高く、低地土 (No.14,15,16,17,18) が低いといえるが、平均値でみる限り3.5～7%の間に分布しており比較的差が小さいといえる。腐植量は土壌タイプにより規定されるが、実際には土壌図の図化精度、圃場整備による土壌の切り盛り、耕起する深さ、

図14 ランドサット TM データと腐植量の関係

図17 腐植量と1984年収量

図15 腐植量の実測値と推定値

図18 腐植量と1988年収量

図19 解析対象地区内の土壌の面積分布

No	土壌タイプ名
1	砂丘未熟土
2	積層放出物未熟土
3	積層未熟火山性土
4	下層低地未熟火山性土
5	下層低地湿性未熟火山性土
6	積層湿性未熟火山性土
7	下層泥炭湿性未熟火山性土
8	軽しゅう褐色火山性土
9	ローム質褐色火山性土
10	軽しゅう黒色火山性土
11	ローム質黒色火山性土
12	酸性褐色森林土 (台地)
13	暗色表層褐色森林土性疑似グライ土
14	褐色低地土
15	暗色表層褐色低地土
16	灰色低地土
17	下層泥炭グライ低地土
18	下層グライ灰色低地土
19	無機質表層低位泥炭土
20	下層無機質低位泥炭土

図20 テンサイの収量と土壤腐植量の関係

営農管理や客土等による表層土壌の変化があるので、同じ土壌タイプ、一筆の圃場内でも腐植量が変動している。

解析データから推定したテンサイ収量と土壌タイプ毎の腐植量の関係を見ると(図20)、干ばつ年であった1984年では、概して全体的に収量が低く、干ばつの影響が斜網地区全体に受けているといえる。平年に近い1988年のデータでは土壌毎の差が大きく、酸性褐色森林土(台地)、暗色表層褐色森林土性疑似グライ土、ローム質黒色火山性土が低い傾向にあった。両年で収量差の大きい土壌タイプでは、干ばつの影響を受けやすく、灌漑により増収が期待できる地域といえる。逆に、収量差が小さく収量の低い土壌タイプでは、排水性、下層土等の他の阻害要因が考えられる。

V. おわりに

本報告は、衛星データを用い、北海道東部に位置する斜網地域を対象にテンサイの収量を中心に解析した。その概要は次の通りである。

1. 干ばつの影響を受けた1984年と干ばつの影響の少なかった1988年について、衛星データからテンサイの収量分布図を作成した。このとき、重相関係数はそれぞれ0.852**、0.762**であった。
2. LANDSAT/TM データが観測した1989年5月19日に土壌のサンプリングを行い、土壌水分との関係を見た。その結果、含水比と LANDSAT/TM データとの間で高い相関関係が認められ、表層3cm よりも下層(3~15cm)の方が高い相関関係が見られた。また、腐植量と TM データとの間には0.797**の相関関係が得られ、分布図を作成した。

3. 土壌タイプ、テンサイ収量と土壌図から、その特徴を解析した。その結果、1984年ではいずれの土壌タイプとも収量が低い傾向があり、1988年では腐植が少ない土壌タイプほど収量の高い傾向がみられた。これらの土壌タイプでは1984年と1988年の収量に大きな差があり、灌漑が有効な地域である。

最後に、現地での土壌サンプリング等のデータ収集に際し北海道開発局網走開発建設部の方々、北海道農業試験場吉田孝二技官には多大なる協力をいただいた。また、土壌の測定方法、分析には福本昌人研究員に有益なアドバイスを受けた。ここに記して感謝します。(受付日1994.7.22, 受理日1995.1.10)

引用文献

- 1) 秋山侃「草地とリモートセンシング2—衛星情報による草地・飼料畑の管理—」, 日本草地学会誌, 38(3), 343-349
- 2) Colwell J.E. and G.H. Swit, "YIELD PREDICTION BY ANALYSIS OF MULTISPECTRAL DATA", NASA CR-141865 ERIM 109600-17-F, 1974
- 3) 江森康文 他「畑地のリモートセンシングにおける計測と画像処理システムに関する研究」, 農林水産省特別研究報告書, pp.45-63, 1978
- 4) 畠中哲也 他「ランドサット TM データによる畑地表土の腐植含量評価」, 日土肥学会誌, 60(5), pp.426-431, 1989
- 5) 福原道一 他「Remote Sensing」, キヤノン株式会社, pp.165-178, 1974
- 6) 北海道農業試験場編, 「北海道の土壌」, pp.25-51, 1985
- 7) 北海道農業試験場編, 「干ばつ被害の実態と技術解析」, pp.23-36, 1984
- 8) 北海道農業試験場「網走支庁南部土壌図(10万分の1)」, 1986
- 9) 北海道開発局網走開発建設部編, 「網走の農業」, 1988
- 10) 日本気象協会北海道本部編, 「北海道のアメダス統計 I・II」, 1992
- 11) 深山一弥, 小川茂男「1984年網走支庁管内におけるテンサイの干ばつ被害分布」, てん菜研究会報, 27, pp.125-128, 1985
- 12) 深山一弥「リモートセンシングによる農用地の基礎調査」, 土壌の物理性, 47, pp.15-21, 1983
- 13) 小川茂男, 安養寺久男, 福本昌人「分光反射率による土壌の腐植量および土壌水分の推定」農土学会誌, 57(6), pp.5-9, 1989
- 14) Stoner, E.R. et al., "Atlas of soil reflectance properties", Reserch Bulletin 962. Purdue Univ., West Lafayette, Indiana, 1980

<7r-82画像>
 Band7 → 赤
 Band5 → 緑
 Band4 → 青

<テンサイ収量>
 赤 : 5.5ton/10a未満
 黄 : 5.5~6.5ton/10a
 水色 : 6.5ton/10a以上

図11 テンサイ収量分布図 (1984年)

<分類項目>
 白 : 雲
 黒 : 水域、雲かげ等
 深緑 : 森林
 青 : 市街地

<テンサイ収量>
 赤 : 5.5ton/10a未満
 黄 : 5.5~6.5ton/10a
 水色 : 6.5ton/10a以上

図13 テンサイの収量分布図 (1988年)

<7r-82画像>
 Band5 → 赤
 Band4 → 緑
 Band2 → 青

<土壌の腐植量>
 赤 : 0~4%
 黄 : 4~6%
 緑 : 6~8%
 青 : 8%以上

図16 土壌腐植量の分布図