



Title	衛星データによる排水不良地、地下水位の推定に関する基礎研究
Author(s)	王, 秀峰; Wang, Xiufeng; 堀口, 郁夫 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 21(2), 171-183
Issue Date	1998-03-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/12181">https://hdl.handle.net/2115/12181</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	21(2)_p171-183.pdf



## 衛星データによる排水不良地, 地下水位の推定に 関する基礎研究

王 秀 峰\*, 堀口 郁夫, 武田 知己

(北海道大学農学部農業工学科)

(平成9年8月26日受理)

### Basic studies on the estimations of poor drainage places and groundwater lever by satellite data

Xiufeng WANG, Ikuo HORIGUCHI, and Tomomi TAKEDA

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

#### I. はしがき

衛星データによる排水不良地や地下水位の検出は, 種々の方法があるが, 最も一般的な方法は地表面の土壌水分の多寡によって判断する方法である。したがって, 排水不良地や地下水位の検出は, 土壌水分の推定と共通する。現在まで衛星データを用いた土壌水分の多寡の検出は, 種々の方法が試みられているが, 使用される波長域によって分類すると, ①太陽光の可視や近赤外波長域の反射を用いる方法, ②地表面の熱赤外放射を用いる方法, ③マイクロウェーブの地表面反射や放射を用いる方法などがある。

①の太陽光の可視や近赤外波長域の反射を用いる方法には, 土壌水分の多寡に反応する特定バンドを使用する方法<sup>1)</sup>や植生に反応するバンドを使用する方法<sup>2)</sup>がある。福原ら(1995)<sup>3)</sup>はランドサットTMのバンド2と, 5月の十勝地方の土壌水分に高い相関があるとして, 十勝平野の土壌水分分布を計算している。しかし, 池村ら(1982)<sup>2)</sup>は土壌水分はシーンによって相関が高くなるバンドが異なるとしている。また, 池村らは植生の豊富な場所は土壌水分も多く, 植生から土壌水分推定の可能性を論じている。この特定バンドを用いる方法は衛星データの各バン

ドに土壌水分以外の影響が含まれるため実用的でない<sup>4)</sup>, 衛星通過時にグラウンドトゥルスデータを取得しなければならないなどの困難性がある。

②の熱赤外放射を用いる方法には, 熱赤外放射から表面温度を計算し, 表面温度の高低で土壌水分を推定する方法や, 日中の表面温度の上昇度(熱慣性)から推定する方法がある。Schmugge(1978)<sup>5)</sup>は, 表面温度の上昇度から0~2 cm, 0~4 cmの土壌水分がよく推定できるとしている。しかし, この方法は土壌の種類によって, 表面温度やその上昇度と土壌水分の関係が異なり, しかも裸地状態の時に限定される。

③のマイクロウェーブを用いる方法は, アクティブマイクロウェーブ法とパッシブマイクロウェーブ法がある。アクティブマイクロウェーブ法は衛星から放射されたマイクロウェーブの地表面反射によって土壌水分を推定する方法である。パッシブマイクロウェーブ法は地表面から放射されるマイクロウェーブによって土壌水分を推定する方法である。これらの方法はマイクロウェーブの測定器を搭載している衛星が少ないのと, 搭載している衛星でも今までの蓄積データ数が少なかったり, 分解能が粗であったりする場合が多い。しかし, 将来における土壌水分の推定に最も有効な方法として注目され, 研究されている<sup>4), 5)</sup>。

以上の方法は一長一短があり, 確定的なものは無い。そのため利用できる衛星データ数やグラウンドツ

\*現在の所属: 勸北海道農業近代化コンサルタント, 060  
札幌市中央区大通り西15丁目

ルースデータの取得の難易によって、使用する方法が決定される。

今回用いた土壤水分推定方法は上記の①と②とを組み合わせた方法である。すなわち、太陽光の可視や近赤外波長域の反射を組み合わせることで土地被覆分類を行い、この分類クラス毎に熱赤外放射を調べて土壤水分の多いところを検出した。熱赤外放射を用いる方法は衛星通過時に現地のランドサットデータが不必要であり、また植生がある時にも応用できる特徴がある。さらに、この方法は過去の蓄積データ数が多い、ランドサットデータが使用できる。

II. 研究方法

研究は熱赤外放射（地表面温度）と土壤水分や地下水位の関係について、①現地における基礎的観測、②衛星データ解析のための現地検証データの取得、および③ランドサット TM データの解析を行った。

A. 解析場所と使用した衛星データ

a. 解析場所

現地観測場所と衛星データの解析場所は十勝平野内の更別村、鹿追町、幕別町に属する畑地である（以下、それぞれ更別地区、鹿追地区、幕別地区とする）。その中心位置の緯度・経度と面積を表1に、また位置を図1に示す。

b. 解析に使用した衛星データ

使用した衛星データはランドサット TM データの Path 106, Row 030 である。これらの使用したデータの年月日の一覧を表2に示す。

B. ランドサット TM データによる土壤水分推定の解析理論

この研究に用いた土壤水分の推定方法の基本は、熱赤外放射から計算した表面温度（以下、地表面温度）を用いる方法である。地表面温度は裸地の状態では、土壤水分、土壤の種類（土壤の温度伝導度、熱容量）、土壤の粗度や密度などに影響を受ける<sup>5),6)</sup>。

また、植生がある場合は、植被率、植生の種類、植生の構造（群落構造）、植生の活性度などの影響を受ける<sup>7)</sup>。植生の活性度は土壤水分の影響を受けるため、間接的に土壤水分も植生温度に影響する。さらに、裸地および植生上の地表面温度は、データ取得時の日射、気温、湿度、風速によっても異なる。

したがって、地表面温度から土壤水分を推定する

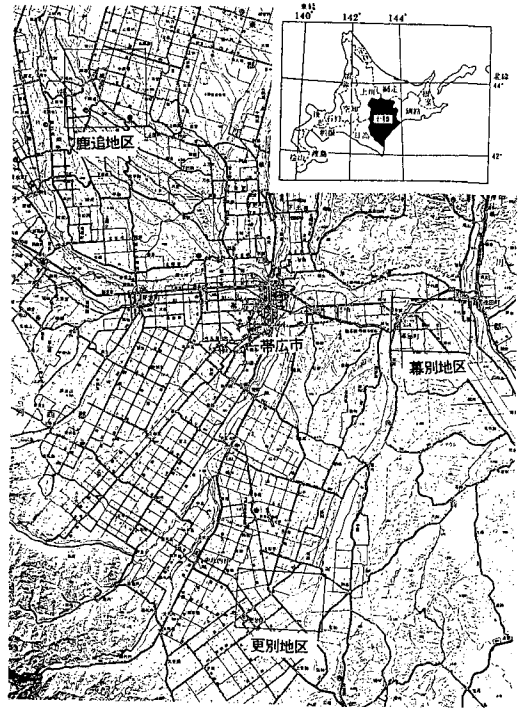


図1 解析地区の位置図

Fig. 1. Map of the study areas.

表2 解析に使用したランドサット TM データ  
Table 2. Landsat TM data used in the study

年	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
1989	—	19日	—	—	—	—	—	—	1
1990	—	—	7日	—	—	—	—	—	1
1991	—	—	—	—	29日	—	—	1日	2
1992	—	11日	28日	—	—	—	2日	—	3
1993	28日	—	—	—	—	—	—	—	1
1994	—	—	—	—	—	—	—	—	0
1995	—	—	—	—	—	—	11日	—	1
計	1	2	2	0	1	0	2	1	9

表1 解析地区の位置と面積

Table 1. The locations and areas of analyzed regions

名称	中心位置		面積	備考
	東経	北緯		
更別地区	143° 14'	42° 40'	5.3km <sup>2</sup>	
鹿追地区	143° 01'	43° 05'	10.1km <sup>2</sup>	
幕別地区	143° 24'	42° 54'	5.4km <sup>2</sup>	

場合，これらの影響を除去して土壌水分だけの影響を引き出す必要がある。衛星データの場合，気象状態は1シーン内のある限定した狭い範囲内であれば，大きな差異が無いと考えることができる。また，裸地の場合，日中の上昇度を衛星データから計算することによって，土壌の種類の影響をある程度除去できる。地温の日中の上昇度は夜間の地温と日中の地温の差で表されるため，同じ日の夜間のデータと昼間のデータが必要である。しかし，今回利用したランドサット衛星は回航日が16日に1回であるため，同じ日の夜間のデータと昼間のデータは入手出来ない。

そのため土質条件や植生条件が同じ所では，夜間の地表面温度は近似と仮定して，昼間の地表面温度の高低によつて土壌水分を推定した。すなわち，ランドサット TM データを植生や地表面状態によつて分類し，この分類クラスごとに地表面温度の高低を調べ，日中地表面温度が低温であるところは土壌水分の多いところとした。また，土壌水分の多いところは地下水位が高いとの仮定のもとに地下水位も推定した。

衛星データの分類方法として，(1)植生指数による方法と(2)クラスタ分析による方法を採用した。畑地を解析するのであれば作物の被覆状態や繁茂状態によつて分類すれば，分類クラスごとの地表面温度の低温域は土壌水分の多い所と仮定できる。この場合，植生が繁茂しても土壌水分の多い所は作物の蒸発散が多いため作物葉温は低い。そのため畑地を分類することによつて，作物の種々の被覆率や繁茂状態ごとに，土壌水分が推定できると考えられる。植生指数による分類は作物の繁茂状態のみの分類であるが，クラスタ分析による分類は，作物の繁茂状態の他に，作物の種類による分類も含まれるが，計算が複雑である。

### C. 現地における基礎的観測と検証データの取得

地表面温度を使用する方法は，土壌水分と地表面温度が比例関係にあることが必要である。しかし，土壌表面の水分が極端に多いときや，極端に少ないときは畑地面は均一な地表面温度になることが予想される。これらの条件は衛星データ取得前の降水に影響されるため，衛星データ取得前の降水条件を調べることによってある程度予測できると思われる。そのため現地における降水条件と表面温度のばらつきについて，地上観測を行った。

現地検証データについては，更別地区，鹿追地区，幕別地区の3地区において，土壌水分，地下水位，表面温度の測定および聞き取り調査を行った。測定は更別地区については1995年と1996年に，鹿追地区と幕別地区については1996年のみについて行った。

#### a. 現地の測定場所

現地の測定場所を図2(a)，(b)，(c)，に示す(線で囲った部分)。更別地区の1995年の測定場所は，図2(a)に示すNo.1～No.8の箇所で，No.1は5測点，No.2は4測点，No.3は4測点で，総計は18測点である。1996年にはNo.1に1点を追加し，このNo.1の6測点のみについて観測を行った。河川まで最も近い測点はNo.8で，サッチャルベツ川まで300mである。

鹿追地区については1996年に図2(b)に示すNo.1～No.3の3測点で，No.2，No.3測点から南一線川まで100mの位置にある。また幕別地区は1996年に図2(c)に示す3測点で観測を行った。河川まで最も近い測点はNo.3で，十勝川の堤防まで400mの位置である。

#### b. 測定項目と聞き取り調査

測定項目は土壌水分および地下水位，表面温度で，聞き取り調査は衛星データの検証のために行った。

##### 1) 土壌水分

各測点の地下水管の設置場所付近の土壌を採土管(直径5cm，高さ5cm)に採取して実験室に持ち帰り，乾燥法によつて土壌水分(含水比)を測定した。一カ所の採取個数は3～5個で，この3～5個の平均を各測点の土壌水分とした。測定深さは1995年は0～5cm，5～10cm，10～15cm，20～25cm，30～35cmであるが，10～15cmが表面温度と最も相関が良かったため，1996年は10～15cmのみである。また，1995年の6月22日には0～35cmの層について，5cm間隔に土壌を採取して土壌水分の分布を求めた。

##### 2) 地下水位

各測点に地下水管を埋め込み，テスターで地下水位を測定した。埋設深さは150cm以上を目標にしたが，砂利層があり埋設が困難であったため，地下水が出るまで又は砂利層下20cm程度を目標とした。

##### 3) 表面温度

表面温度は携帯用放射温度計(Minolta-IR0510)

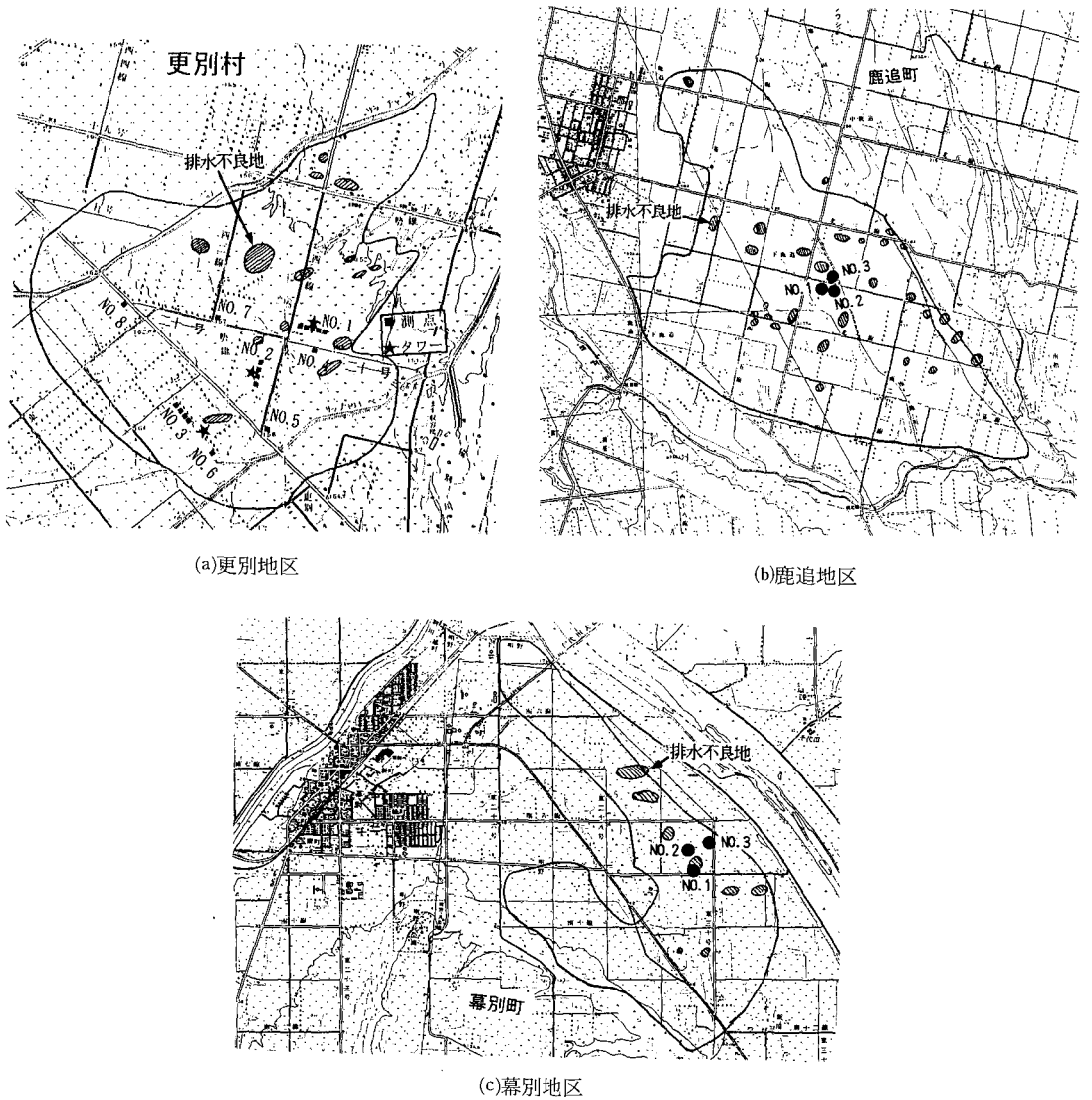


図2 各解析地区の測点と聞き取りした排水不良地  
 (a)更別地区, (b)鹿追地区, (c)幕別地区  
 Fig. 2. Measurement sites and poor drainage places for each analyzed area :  
 (a)Sarabetsu, (b)Sikaoui, (c)Makubetsu.

とサーモトレーサ（日本電気三栄 KK-TH110(1)）を使用して測定した。

a) 携帯用放射温度計による測定：更別地区のNo.1の測点，幕別地区のNo.1～No.3の測点について，表面温度と地下水位や土壌水分の関係を知るため，地下水位管近くの表面温度を測定（20点）して平均し，その測点の表面温度とした。なお，測定時間はランドサット衛星の通過時間に合わせるよう

に，また，各測点でほぼ同一時間になるように心がけた。

b) サーモトレーサによる測定：畑の表面温度について面的な広がりを知るため，サーモトレーサで表面温度を測定した。測定は更別地区のNo.1(位置は時々移動した)と鹿追地区のNo.1～No.3の中間点に，タワー（更別地区は約3.2m，鹿追地区は約6.4m）を建てて測定した。

#### 4) 聞き取り調査

解析地区に属する農家について，畑の排水の程度の聞き取り調査を行った。調査項目は，①暗渠施工の有無，②畑地全面的な排水不良地の有無，③部分的な排水不良地の有無，④排水不良の程度，⑤湧き水の有無などである。排水不良地がある場合には地図上でその箇所を確認した。

#### D. 衛星データの計算法

B. に記したように解析地区を植生指数やクラスタ分析によって分類し，分類クラスごとの地表面温度の低温域を土壤水分の多いところとして区分した。これらの計算法を以下に示す。

##### a. 地表面温度および植生指数の計算方法

ランドサット TM データのバンド 6 を使用して，(1)式の Latherop ら (1987)<sup>9)</sup> の方法によつて地表面温度を計算した。この式は水温とランドサット TM データのバンド 6 の関係から導かれた経験式で，衛星データ取得日の大気状態の補正はされていない。しかし，真の地表面温度とこの式で導かれた値は直線関係にある相対的な地表面温度である<sup>9)</sup>。そのため計算された地表面温度を(2)式によつて，分類クラスごとに標準化して使用した。標準化すると平均値は 0 で標準偏差は  $\pm 1$  となる。

$$T_i = -38.33 + 0.46 \cdot B_6 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_s = (T_i - T_a) / \sigma \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし， $T_i$ ：地表面温度， $B_6$ ：ランドサット TM データのバンド 6 の DN 値， $T_s$ ：標準化地表面温度， $T_a$ ：平均地表面温度， $\sigma$ ：地表面温度の標準偏差

植生指数については(3)式の標準化植生指数 (Normalized Differential Vegetation Index) を使用した。

$$NDVI = (B_4 - B_3) / (B_4 + B_3) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ただし，NDVI：標準化植生指数， $B_3$ ， $B_4$ ：ランドサット TM データのバンド 3 とバンド 4 の DN 値

##### b. 植生指数と地表面温度による土壤水分の推定方法

植生指数による分類は，植生指数を 0.1 ずつに区分し，次の 7 種類に分割した。 $\sim 0.14$ ， $0.15 \sim 0.24$ ， $0.25 \sim 0.34$ ， $0.35 \sim 0.44$ ， $0.45 \sim 0.54$ ， $0.55 \sim 0.64$ ， $0.65 \sim$ 。このようにすると同じ作物ごとや同じ繁茂ごとに分類できる。この分類クラスごとに地表面温

度を調べると，土壤水分の多いところは蒸発散が盛んであるため，低温になることは容易に推測できる。低温域は標準化地表面温度で， $-3 \sim -1$  の範囲とした。標準化地表面温度は標準偏差が  $\pm 1$  であるから，この低温域は各分類クラスごとのデータ数の約 13% が抽出される。

##### c. クラスタ分析と地表面温度による土壤水分の推定方法

衛星データの分類にクラスタ分析がよく使用される。この手法は表面状態が似たもの同志を結合する方法である。これを使用して作物畑を分類した。クラスタ分析は K-mean 法を採用し，クラスタ数はシーンによって異なるが，平均 12～13 クラスタまで分類した。分類されたカテゴリごとに低温域を抽出し，土壤水分を推定した。低温域は植生指数による分類と同じである。

### III. 結果と考察

解析は，①現地測定による表面温度と土壤水分および地下水位の関係，②土壤水分の現地測定および聞き取り調査結果，③ランドサット TM データの解析結果と聞き取り調査結果の照合について行った。

#### A. 現地測定による表面温度と土壤水分および地下水位の関係

現地測定によつて，表面温度と土壤水分および地下水位の關係の基本的な事項について解析を行った。すなわち，表面温度がどの深さの土壤水分とも関係があるか，また表面温度と土壤水分および地下水位の關係が最もよい時の天候（降水）条件はどのような時であるかについて，放射温度計とサーモトレーサの測定結果について調べた。

##### a. 放射温度計による表面温度と深さ別の土壤水分の關係

1995 年度に測定した更別地区の No. 1 の各測点（5 点）について，5 cm 間隔に 0～35 cm までの各層の土壤水分と表面温度の關係を調べた。その結果を表 3 に示す。

表 3 によると，相関係数が最も大きい層は表面（0～5 cm）の層でなく，10～15 cm の層で，次いで 5～10 cm の層である。また，25 cm より深い層は相関係数が極端に小さい。表面の層よりやや深い 5～10 cm や 10～15 cm の層の相関が良いのは，表面の土壤水分は蒸発の影響などのため場所によるばらつきが大きく，3～5 個程度の土壤サンプルでは表面

表3 表面温度と各層の土壤水分との相関係数

Table 3. Correlation coefficients between surface temperature and soil moisture in each depth

土 壌 の 深 さ	0～5 cm	5～10cm	10～15cm	15～20cm	20～25cm	25～30cm	30～35cm
相 関 係 数	0.68	0.81	0.90	0.75	0.75	0.25	0.06

の代表的水分状態を表していないためと思われる。したがって、表面温度から土壤水分を推定する場合、場所的バラツキが少ない5～15 cmの土壤水分と良い相関を示すと考えれば良い。

**b. 放射温度計による表面温度と土壤水分および地下水位の関係と降水条件**

表3によると、5～25 cmの各層は表面温度と土壤水分の相関が良かった。そのため5～25 cmの各層について、1995年と1996年に観測した表面温度と土壤水分および地下水位の関係を各地区について調べた。その結果を表4に示す。表4には作物の繁茂状態を知るため、植生指数も示してある。

一般的には土壤水分が多いと表面温度は低いいため、表面温度と土壤水分の相関係数は負を示すはずである。また、地下水位が高いと土壤水分が多く、したがって表面温度と地下水位（表面からの深さ）の相関係数は正を示すはずである。表4について、表面温度と土壤水分の相関係数が負の日、あるいは

表面温度と地下水位の相関係数が正の日で、しかも相関が比較的良好日は網掛けをしてある。これらの日について天候（降水量）をそれぞれ近くのアメダスデータ（更別アメダス観測点、鹿追アメダス観測点）で調べた。しかし、幕別地区の近くにはアメダス観測点が無いため帯広市の観測値を使用した。その結果を表5に示す。表5には合計値と平均値も示してある。

表5-1によると、表面温度と土壤水分の関係が良い日は、データ取得前13日前まではほとんど降水が無い場合（1996年6月12日、1996年10月23日、1996年11月7日）と、5日～9日前に比較的多い降水量（約11 mm以上）がある場合（1995年6月22日、1995年7月19日、1996年9月18日、1996年5月30日）がある。これら以外の1995年10月18日はデータ取得前日に11 mmの降水があったが、その前11日間は降水量0 mmで乾燥していたことが伺える。また、土壤水分の測定深が10～15 cm以外で

表4 表面温度と土壤水分および地下水位の相関係数

Table 4. Correlation coefficients between surface temperature and soil moisture, and surface temperature and groundwater level

更 別 地 区	年	1995年（平成7）					1996年（平成8）					
	月/日	06/22	07/05	07/19	08/02	10/18	05/30	06/06	06/12	09/07	09/18	10/01
	表面温度と土壤水分	-0.90	0.43	-0.56	-0.18	-0.68	-0.40	-0.26	-0.56	-0.21	-0.65	-0.30
	表面温度と地下水位	0.90	—	—	—	—	0.12	0.67	0.01	0.13	0.97	-0.10
	植 生 指 数	0.47	0.56	0.68	0.81	—	0.59	0.53	0.61	0.83	0.83	0.83
	土壤水分の深さ (cm)	10-15	10-15	20-25	10-15	20-25	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
幕 別 地 区	年	1996年（平成8）										
	月/日	05/30	06/06	06/11	07/04	09/06	09/18	10/01	10/23	11/07	備 考	
	表面温度と土壤水分	-0.55	0.36	0.46	0.91	0.93	0.95	0.65	-0.65	-0.96	幕別は3点のみの相関 植生指数は3点の平均	
	表面温度と地下水位	0.95	-0.24	0.56	0.84	-0.78	0.84	0.30	0.55	0.82		
	植 生 指 数	0.42	—	0.45	0.74	0.78	0.57	0.55	0.56	—		
土壤水分の深さ (cm)	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15			

注：網掛け部分は相関係数の比較的良好日

あった，1995年7月19日と1995年10月18日のデータを除くと，全般的に測定日の6日前までは降水量は少ない場合である。

また，表5-2によると，表面温度と地下水位の関

係が良い日についても，測定日の13日前まではほとんど降水が無い場合(1996年6月6日，1996年6月11日，1996年10月23日，11月7日)と，7日～9日前に比較的多い降水量(約11mm以上)がある場

表5-1 表面温度と土壌水分の相関係数が良いデータの取得日前の降水量 (mm)

Table 5-1. Rainfall in days prior to acquisition of data, that have good correlation coefficient between surface temperature and soil moisture

月/日	当日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	合計
06/22	曇晴	—	3	—	—	—	—	11	—	—	—	—	8	—	22
07/19	晴	—	2	1	2	19	—	2	1	5	—	—	—	—	32
10/18	曇	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	15
06/12	霧雨	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
09/18	薄曇	—	—	—	—	—	—	3	1	15	—	—	—	4	23
05/30	快晴	—	—	—	—	1	7	36	15	1	—	—	—	—	60
10/23	快晴	—	—	—	2	—	—	2	2	—	—	—	—	—	6
11/07	快晴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
合計日数		(1)	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(5)	(4)	(3)	(0)	(0)	(1)	(2)	(8)
合計降水量		11	5	1	4	20	7	54	19	21	0	0	8	8	158
降水量平均		1.4	0.6	0.1	0.5	2.5	0.9	6.8	2.4	2.6	0	0	1	1	19.8

注：網掛け部分は1995年(平成7)で，他は1996年(平成8)，各月日の測定地区については表4参照，降水量平均は合計降水量を全合計日数で割った値。

表5-2 表面温度と地下水位の相関係数が良いデータの取得日前の降水量 (mm)

Table 5-2. Rainfall in days prior to acquisition of data, that have good correlation coefficient between surface temperature and groundwater level

月/日	当日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	合計
06/22	曇晴	—	3	—	—	—	—	11	—	—	—	—	8	—	22
09/18	薄曇	—	—	—	—	—	—	3	1	15	—	—	—	4	23
05/30	快晴	—	—	—	—	1	7	36	15	1	—	—	—	—	60
06/06	快晴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	5	6
06/11	薄曇	—	—	—	—	—	—	1	5	—	—	—	—	—	6
07/04	曇天	3	13	10	—	1	—	2	23	—	—	—	—	—	52
09/18	薄曇	—	—	—	—	—	—	3	1	15	—	—	—	—	19
10/23	快晴	—	—	—	2	—	—	2	2	—	—	—	—	—	6
11/07	快晴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
合計日数		(1)	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(7)	(6)	(3)	(0)	(1)	(1)	(2)	(9)
合計降水量		3	16	10	2	2	7	58	47	1	0	1	8	9	194
降水量平均		0.3	1.8	1.1	0.2	0.2	0.8	6.4	5.2	3.4	0	0.1	0.9	1.0	21.6

注：網掛け部分は1995年(平成7)で，他は1996年(平成8)，各月日の測定地区については表4参照，降水量平均は合計降水量を全合計日数で割った値。

合(1995年6月22日, 1996年6月6日, 1996年6月11日, 1996年10月23日, 1996年11月7日)がある。また, 1996年7月4日を除くと, 土壌水分と同じように全般的に測定6日前までは降水量は少ない場合である。

### c. サーモトレーサによる表面温度分布と土壌水分の関係

サーモトレーサによる表面温度の測定結果, 表面に土壌水分の違いによる温度差が測定できたのは, 更別地区の測点No. 1-3のタワーから測定した, 1995年6月23日のデータのみであった。このときのカラー写真とサーモトレーサの結果を写真1と写真2に示す。写真には筋状の低温域が現れている。この筋状の低温域の場所は周囲より地盤が低いと



写真1 1995年6月23日の更別地区の測点No. 1-3付近のカラー写真

Photo. 1 Sight view around No.1-3 site at Sarabetsu on June 23, 1995.

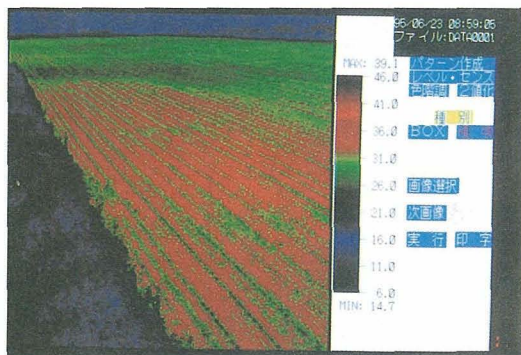


写真2 1995年6月23日の更別地区の測点No. 1-3付近のサーモトレーサによる表面温度

Photo. 2 Surface temperature measured by Thermo-Tracer around No.1-3 site at Sarabetsu on June 23, 1995.

ろで, またカラー写真では周囲より色が濃くなっており, 土壌水分が多いことが推定できる。この場所は後に示す聞き取り調査でも排水不良地として指摘されたところと一致する。

裸地状の表面に土壌水分による表面温度差が現れるためには, 表面の土壌水分が過湿や過乾でないこと, 適当な日射があり温度差が付きやすいことなどが必要であると思われる。そのため放射温度計の測定結果と同様に, 観測期間中の降水や天候状態を調べた。その結果, 1995年6月23日は3日前に3mm, 8日前に11mmの降水がある程度で, 観測日前2週間は大きな降水がなく(表5-1参照), 天候は晴のち曇りであった。観測前2週間前に大きな降水がない条件の日は, 1995年7月1日にもあった。この日のカラー写真には畑の表面に濃淡があり, 場所による土壌水分に差があるように見えるが, サーモトレーサの表面温度には温度差が現れていなかった。これは7月1日は曇天であったため, 表面温度差が現れなかったことが考えられる。

作物が繁茂した時期のサーモトレーサによる表面温度の測定結果には, 一度も畑に温度差は現れなかった。作物が繁茂した時, 土壌水分による温度差が表面温度に現れるのは, 土壌水分の多寡が作物の蒸発散に影響し, 土壌水分が多いところは蒸発散が多いため表面温度は低くなるためである。しかし, 今回の測定で一度も畑に温度差は現れなかったのは, 作物の蒸発散に影響するほど, 土壌水分の差が大きくないことが考えられる。

これらの結果から, 表面温度と土壌水分や地下水位と相関が良い日は, 全般的に測定6日前までは降水量は少ない場合で, それ以前に比較的多い降水が有っても, その降水日は測定日の7日~9日前の場合であると言える。また, 天候については日射があり, 表面温度に高低差が出やすい時である。

## B. 土壌水分の現地測定および聞き取り調査結果

### a. 土壌水分の現地測定結果

更別地区, 鹿追地区, 幕別地区について, 測定した測点別土壌水分の比較を表6に示す。表6-1は1995年の更別地区の平均土壌水分で, No. 1~No. 3は4~5個の測点の平均値である。表6-2は1996年の更別地区のNo. 1の各測点と, 鹿追地区, 幕別地区の測定期間中の平均土壌水分である。

表6-1によると, 一般的にサツチャロベツ川やサツチャルベツ川の下流に位置する測点(図2(a))

表 6-1 1995年度更別地区の測点別の平均土壌水分の比較

Table 6-1. Comparisons of mean soil moisture for each measurement site at Sarabetsu in 1995

測 点	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	備 考
土壌水分(%)	68.5	47.0	41.8	67.5	56.9	36.9	48.9	35.9	7/5, 8/2の平均, 深さ10~15cm
多 い 順 位	①	⑤	⑥	②	③	⑦	④	⑧	
標 高(m)	156.1	158.8	162.9	155.7	158.4	162.1	159.4	162.4	No.1~No.3は 各測点の平均
低 い 順 位	②	④	⑧	①	③	⑥	⑤	⑦	

表 6-2 1996年度の更別地区，鹿追地区，幕別地区の測点別土壌水分の比較

Table 6-2. Comparisons of mean soil moisture for each measurement site at Sarabetsu, Sikaoui and Makubetsu in 1996

地 区	更別地区の No.1 測点						鹿 追 地 区			幕 別 地 区			備 考
	1	2	3	4	5	6	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	
測 点	1	2	3	4	5	6	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	全期間の 平均
土壌水分(%)	68.3	72.7	63.3	68.8	70.6	68.6	66.2	65.4	60.4	73.4	154.1	88.3	
多 い 順 位	⑤	①	⑧	③	②	④	①	②	③	③	①	②	

参照) が土壌水分が多いように見える。そのため標高と土壌水分の関係について調べた。表 6-1 には平均標高と各測点の標高の低い順位が示されている。標高の低い順位と土壌水分の多い順位は概略一致している。この地区は全測点で、地表面から 0.49~1.60 m の深さに砂利層が存在していた。したがって、地下水はこの砂利層が流水層になって標高の低い方に流れ地下水位を高め、その結果、標高と土壌水分の多寡が関係していることが推定できる。

表 6-2 によると、更別地区の No.1 において、特に No.1-2 と No.1-5 が土壌水分が多い。この傾向は 1995 年の測定でも現れていた。No.1-5 の測点は No.1 の測点中で最も砂利層までの深さが深く、地盤標高も低い方であった。また、サーモレーサの表面温度の測定でもこの付近に筋状の低温域があり、地下水位が高い所が筋状に発達していることが推定できた。しかし、No.1-2 は特に砂利層は深くなく、また地盤標高も低くないため、土質の影響とも考えられる。土質の影響については幕別地区でも見られた。幕別地区の No.2 測点は他の測点に比較して特に土壌水分が多い。これはこの場所が泥炭土のためである。

**b. 排水不良地の聞き取り調査結果**

図 2 (a), 図 2 (b), 図 2 (c) に更別地区, 鹿追地区, 幕別地区の聞き取りを行った排水不良地も示し

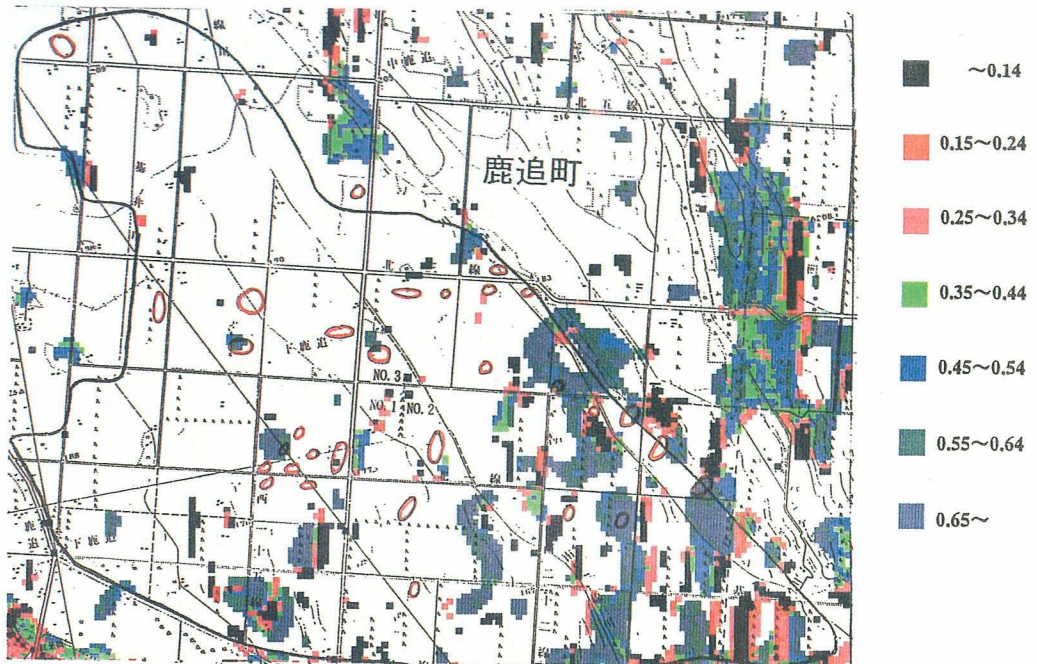
た。図によると更別地区の排水不良地は主に 21 号道路 (図 2 (a) 参照) より北側に多い。すなわち、標高の低いところで、この結果は土壌水分測定結果の傾向と同じである。幕別地区の排水不良地は十勝川沿いに線状に存在する。

これらの聞き取り調査の排水不良地は、秋の収穫時期に機械運行に支障があるため、農家の人が排水不良と認識する場所であった。また、春の地下水位の高い時期には排水不良を認識することはほとんどないことも明らかになった。

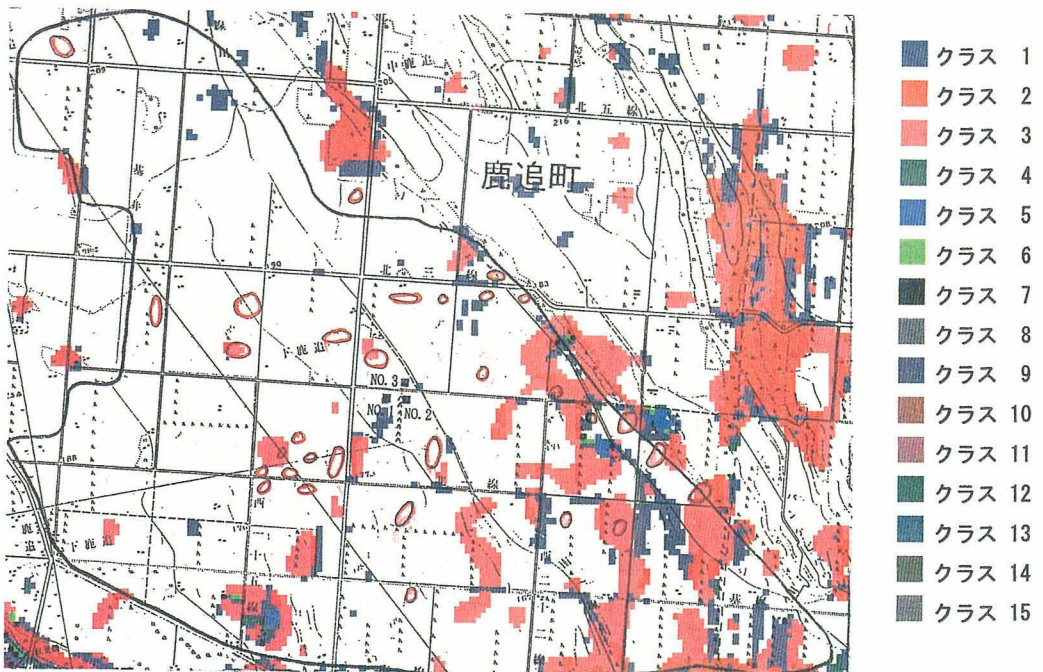
**C. ランドサット TM データの解析結果と現地測定および聞き取り調査結果の照合**

更別地区, 鹿追地区, 幕別地区について、1989 年以降のランドサット TM データの低温域と聞き取り調査の排水不良地を照合した。その例を図 3 に示す。植生指数による低温域とクラスタによる低温域について、地区の全排水不良地に対する一致箇所数の割合を表 7 に示す。

一致割合は衛星データの低温域が多いシーンほど、また聞き取り調査の排水不良地の箇所数が少ない地区ほど大きくでる傾向があり、全地区を統一的に評価できない。しかし、表 7 によると、2 地区以上で比較的低温域と聞き取り調査の排水不良地が一致しているシーンは、1995 年 10 月 11 日, 1991 年 8 月 29 日, 1990 年 10 月 29 日, 1989 年 5 月 19 日の 4



(a) 植生指数による分類クラス別の低温域



(b) クラスタ分類別の低温域

図3 鹿追地区の低温域と排水不良地 (1995年10月11日)

(a) 植生指数による分類クラス別の低温域, (b) クラスタ分類別の低温域

Fig. 3. Low temperature places and poor drainage places in Shikaoui on October 11, 1995:  
 (a) Low temperature places based on classification of vegetation index,  
 (b) Low temperature places based on classification of cluster analysis.

シーンである。

すなわち，1995年10月11日のデータは3地区とも，ランドサットTMデータの低温域と聞き取り調査の排水不良地が一致している。また，表7では10月のデータが2シーン，5月のデータが1シーン，8月のデータが1シーン含まれ，秋10月の衛星データが排水不良地と一致することが推察できる。これは農家の人が排水不良と認識するのは，秋の収穫時の機械運行に支障がある時と思われる。これらのシーンについて，衛星データ取得前の天候状態（降

水量）を調べた。その結果を表8に示す。

表8によると，1990年10月29日のシーンを除くと，衛星データ取得前5～8日に比較的まとまった降水量があるデータであることが分かる。

この結果は，現地測定の前表面温度と土壌水分の相関がよい日は，データ取得前7～9日前にある程度の降水がある結果と（表5）概略一致する。

#### IV. 総合考察

衛星からの地表面温度によって土壌水分や地下水

表7 ランドサットTMデータの低温域と聞き取り調査の排水不良地の割合

Table 7. Ratios between number of places with low temperature derived from Landsat TM data and number of observed places for poor drainage

衛星取得年 月日	更別地区(30)		鹿追地区(7)		幕別地区(13)	
	植生指数	クラスタ	植生指数	クラスタ	植生指数	クラスタ
1989年05月19日	0.23	0.30	0.29	0.29	0.07	0.07
1990年06月07日	0.16	0.16	0.24	0.42	0.15	0.00
1990年10月29日	0.10	0.06	0.42	0.29	0.23	0.23
1991年08月29日	0.20	0.33	0.14	0.14	0.15	0.07
1992年06月28日	0.23	0.26	0.29	0.29	0.07	0.07
1995年10月11日	0.26	0.20	0.57	0.42	0.30	0.15

注：地区名の後の括弧内は聞き取り調査による排水不良地の箇所数

表8 聞き取り調査結果と重なるの多い衛星データの取得前の降水量 (mm)

Table 8. Rainfall in days prior to acquisition of satellite data, that have good agreement with observations of poor drainage

年/月/日	地区	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	合計
1989年5月19日	更別	—	—	—	—	14	11	4	—	—	—	—	—	—	29
	鹿追	—	—	—	—	15	15	4	—	—	—	—	—	—	34
1990年10月29日	鹿追	—	1	10	—	—	—	—	1	4	22	—	—	—	38
	幕別	—	13	49	—	—	—	—	—	2	32	—	—	—	96
1991年8月29日	更別	—	—	—	—	—	—	—	99	—	—	—	—	—	99
	鹿追	—	—	—	—	—	—	1	80?	—	—	—	—	—	81?
1995年10月11日	更別	—	—	—	—	—	4	10	—	—	—	1	—	—	16
	鹿追	—	—	—	1	14	2	7	—	—	—	6	—	10	40
	幕別	—	—	—	—	11	24	3	—	—	—	—	—	—	38
降水延日数		0	2	2	1	4	5	6	3	2	2	2	0	1	9
合計降水量		0	14	59	1	54	56	29	188	6	54	7	0	10	471
平均降水量		0	1.6	6.6	0.1	6.0	6.2	3.2	20.9	0.7	6.0	0.8	0	1.1	52.3

注：鹿追地区の1991年8月29日（取得8日前）の80? mmは欠測のため付近の降水量から推定した概略値，幕別地区は帯広市のデータを使用。

位を推定するためには、土壌水分の多寡や地下水位の高低に比例して場所的に表面温度に高低差が生じるときである。したがって、地表面が極端に乾燥状態や過湿状態のため地表面温度が均一のときには、土壌水分や地下水位の推定は出来ない。また、表面温度に場所的な高低差が存在しても、この表面温度の高低差が土壌水分の多寡や地下水の高低との間に比例関係が存在しなければならない。そのためには鉛直方向の土壌水分分布が安定していて、深さと共に土壌水分が多くなる分布が望ましい。

このような条件を備えるための天候条件として、①観測日当日に晴や快晴で表面に温度差が発生しやすいこと、②降水後から観測日までに、土壌水分分布が安定するのに要する日数が存在すること、③観測日直前に多量の降水が無いこと、また④観測日前に無降水状態が長期間継続していないこと、などが考えられる。これらの条件について、現地観測や衛星データの解析によって調べた。

その結果、次のようなことが明らかになった。①放射温度計で測定した表面温度は、10～15 cmの深さの土壌水分と最も相関が高い。②表面温度と土壌水分や地下水位が相関がよい日は、測定日が晴や快晴で、測定前4日前までは降水量が少なく、さらに5～9日前に比較的多くの降水量(約11 mm以上)が存在する時である。③衛星データからの低温域と聞き取り調査の排水不良地が一致しているシーンは、衛星データ取得前5～8日に比較的多まった降水量があり、その前は比較的降水量が少ないデータである。

降水と土壌水分分布の関係について、次のような調査結果がある。すなわち、十勝地方御影地区における湿性火山灰性土壌の暗渠排水の有効性の調査で、普通暗渠区は83 mmの降水後52時間後(2.2日間)には土壌水分分布は降水直後の状態に戻り、5日後には深さと共に土壌水分が多くなるスムーズな曲線を描くようになっている<sup>10,11)</sup>。

この事実は現地観測や衛星データの解析ともほぼ同じ様な結果であることから、衛星データから土壌水分や地下水位を推定するためには、次のように結論できる。①衛星データ取得日前4日程度は降水が無いか有っても少ないことが必要と思われる。②5～9日前にある程度の降水量(約11～19 mm以上)があることも必要と思われる。これらの事実は当然土壌条件によって異なり、透水性の良い土壌は衛星

データ取得前の無降水日数は短くても良く、透水性の悪い土壌は日数は長くなることは容易に想像できる。また、降水量も多い場合は衛星データ取得前の日数は長く必要である。

更別地区の衛星データの解析結果、各シーンで土壌水分が多いと予想される場所は、必ずしも一致していなかった。これは使用した衛星データの解析時期の違いなども影響していると思われる。今後、各シーンの結果の違いなどを現地調査によって調べる必要がある。

### 引用文献

1. 島 重章：MSSデータによる地下水探査について、日本リモートセンシング学会第7回学術講演論文集：55-56, 1987
2. 池村雅司・野口 正・中川保雄・寺川 陽：浅層地下水把握のためのランドサット処理、日本リモートセンシング学会誌, 3: 3-22, 1983
3. 北海道開発局帯広開発建設部：十勝地域農業情報システム (AGRIST): 1994
4. Engman, T. Edwin: Application of Microwave Remote Sensing of Soil Moisture for Water Resources and Agriculture, *Remot. Sens. Environ.*, 35: 213-226, 1991
5. Schmugge, T.: Remote Sensing of Surface Soil Moisture, *J. App. Meteor.*, 17: 1549-1557, 1978
6. 柏木淳一・佐久間敏雄：熱映像装置による土壌面の温度分布と蒸発散の測定、*日本土壌肥料学*, 6: 610-612, 1992
7. Carlson, N. Toby, Eileen M. Perry and Thomas J. Schmugge: Remote Estimation of Soil Moisture Availability and Fractional Vegetation Cover for Agricultural Fields, *Agri, Fores. Meteor.*, 52: 45-69, 1990
8. Lathrop, G. Richard, JR. and Thomas M. Lillesand: Calibration of Thematic Mapper Thermal Data for Water Surface Temperature Mapping; Case Study on the Great Lake, *Remot. Sens. Environ.*, 22: 297-307, 1987
9. 中山裕則・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回学術講演論文集：95-96, 1985
10. 北海道開発局帯広開発建設部、北海道農業土木コンサルタント株式会社：御影地区暗渠排水有効性調査業務報告書, 1996
11. ゲイロン S. キャンベル著、中野政詩、東山 勇監

訳：パソコンで学ぶ土の物理学：1993

### Summary

The basic studies for estimations of soil moisture and groundwater level were performed using surface temperature measured on the ground and derived from Landsat data in crop fields of Tokachi Plain.

Generally, the areas with low surface temperature are equal to the areas with high soil moisture content and high groundwater level. This relation was confirmed by the ground measurements and Landsat data.

On the analyses of Landsat data, the analyzed areas were classified using vegetation index and cluster analysis methods, and the areas with low

temperature were calculated for each classification and compared with ground data, because surface temperature depend on surface conditions.

The following results are obtained: (1) Surface temperature measured by radiative thermometer has the best correlation with soil moisture of 10~15 cm soil depth, (2) The day that surface temperature has the highest correlation coefficient with soil moisture and groundwater level, is with five days prior to taking data and has relatively heavy rainfalls (over 11 mm) before 5~9 days, (3) The data of good agreement between the areas with low temperature derived from Landsat data and observation of poor drainage areas, have much rain fall in 5~9 days prior to taking the data and relatively light rainfalls in days before 5~9 days.