

ランドサットを利用したビートの冷湿害解析

安積 大治

The use of LANDSAT TM data for estimating the interaction of
sugar beet yields damaged by cold and wet weather
in 1993 with soil properties

Daiji ASAKA

Hokkaido Prefectural Central Agricultural Experiment Station
Naganuma-cho Yubari-gun Hokkaido 069-13 Japan

Abstract

Sugar beet crop was seriously damaged by cold and wet injury at the Tokachi area of Hokkaido in Japan 1993. I tried to estimate relation of sugar beet yield to soil properties using LANDSAT TM data which were acquired on July 8 1993. Geographical distribution of sugar beet yields was mapped from NDVI (normalized difference vegetation index) on the basis of the TM data and the mean temperature in July. The regional variability of the yield was calculated dividing original estimated yield by the broad trend of the yield, and examined with some soil properties. Relatively low regional yields was related to the soil type with poor drainage condition, existence of compact subsoil, and lack of gravel layer. These results suggest that the remotely sensed data may be useful for estimation of the interaction of soil, weather and crop growth.

Key words : Sugar beet, LANDSAT, Remote sensing

1. はじめに

北海道の農耕地は、1959～1975年に実施された地力保全基本調査（道立中央農試、1978）によって、ほぼ全道の土壌の分類とその理化学性・生産力可能性等級が明らかとなっている。しかしながら、今後効率的な土地利用計画や、土地改良事業の策定を行うためには、生産力の他に地形や気象・環境条件をも加味した土地評価手法が必要である。

道立農業試験場では農耕地の多面的な評価を目的として、土壌情報や作物生育情報の整備・統合を進めており、現在までに土壌・地形・気象に関する既存の情報について整備を行っている。各情報は「農耕地資源マッピングシステム」として、道立の農業試験場を中心として構築されているコンピュータネットワークシステム「北

海道農業研究情報システム（HARIS）」に提供している（志賀、1993）。表-1に現在まで整備された主なデータを示した。各データは100mメッシュデータとして整備されており、それぞれ単独で、または重ね合わせて加工して表示することが可能であり、作物の栽培適地評価などに利用されている。

こうした、土壌や作物に関する情報の効率的な収集手法の1つとして、近年衛星リモートセンシングの利活用に取り組んでおり、現在までに主に道央地帯を対象として、小麦（志賀ら、1992）及び水稻（志賀、安積、投稿中）の収量推定や、水田土壌の腐植含量の推定（志賀ら、1989）、土壌の有効水分の推定（安積、志賀、1993）などを行っており、こうしたリモートセンシングによって得られたデータと既存の土壌情報等との関連について検討を行っている。

しかしながら、衛星リモートセンシングを利用して農作物の情報を得るには、目的とする農作物がある程度大面積に栽培されていること、また衛星データから作物の判別が可能であること、さらに衛星データから得られる情報が作物生育や収量と関連していることが必要である。

表-2に1993年の北海道内の主要作物の栽培面積と、栽培期間を示した。ビートは北海道の基幹畑作物の1つとして、水稲・小麦について大面積に栽培されており、また生育期間が長いこと、観測時期の異なる複数の衛星データを利用することによって、他の作物との判別も容易である。さらに製糖各社によって詳細な地上データが取得されており、衛星リモートセンシングの利用には好適な作物の1つといえる。

リモートセンシングを用いたビートの解析事例については、いくつかの報告がある。福原、林(1977)はマルチバンド航空写真等を用いてビートの生育判定を行っている。また、斎藤、福原(1982)は、近接リモートセンシングを利用して、土壌・施肥管理の異なるビートの分光反射率を測定し、近赤外と赤の波長帯の分光反射率が

ら根重を推定している。深山、小川(1985)は、網走地方のビートの干ばつ被害をランドサットMSSデータで解析しており、さらに岡野ら(1994)は、帯広市周辺のビート収量・糖分含量をランドサットTMデータで推定し、土壌との関連について検討を行っている。

本報告では、冷湿害の発生が報じられた1993年の十勝地方のビートについて、衛星リモートセンシングを利用してその収量を推定し、さらに土壌条件と収量の関係を検討して、冷湿害の広域的な解析を試みた。

2. 1993年十勝地方のビート冷湿害の概要

1993年の十勝地方におけるビートの生育期間(5~10月)中の平均気温・降水量を図-1に示した。平年に比べ平均気温は2℃前後低く経過し、さらに6月上旬に南部沿海地域を中心に300mm以上の多雨があった。こうした気象経過によって、ビートは十勝地方全域で平年よりも低収となり、特に降水量の多かった十勝南部の沿海地域では著しく減収した。市町村別平均収量は平年比で60~90%にとどまったが、根中糖分は根重が小さかったことや、生育後期の日温度較差が大きかったことなどが

表-1 道立農業試験場における農耕地情報の整備状況

Table 1 Geographical information data of agricultural land arranged in the Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Station

データの種類		内容
土 壌 情 報	地力保全基本調査	土壌分類 泥炭・グライ・礫層出現深さ 化学性 (腐植・リン吸・CECなど) 物理性 (土性・有効水分・ち密度など)
地 形 情 報	国土数値情報	標高・傾斜・起伏・土地利用
気 象 情 報	平年値メッシュ	最高気温・最低気温・平均気温 降水量・日射量・積雪深

表-2 道内の主要作物の栽培面積(1993)と生育期間

Table 2 Cultivation area in 1993 and vegetation periods of major crops in Hokkaido, Japan

作物	栽培面積 (ha)	生育期間 (月)							
		5	6	7	8	9	10	11	
水 稲	172,200	○						●	
小 麦	92,700			●				○	
ビ ー ト	70,100	○							●
馬 鈴 しょ	68,800	○						●	
大 豆	7,610		○					●	
とうもろこし	14,300		○				●		

●: 播種・移植 ○: 成熟・収穫

ら、平年よりも10%程度高くなった。

十勝地方の市町村別の統計収量と月別平均気温・降水量との相関を表-3に示した。収量は6・7月の平均気温との間に高い正の相関が認められ、また6~8月の降水量との間には高い負の相関が認められた。このことから、1993年の十勝地方のビートの収量は、6月以降の多雨による生育阻害とともに、生育初期~中期の気温に大きく制限されていたと推定される。

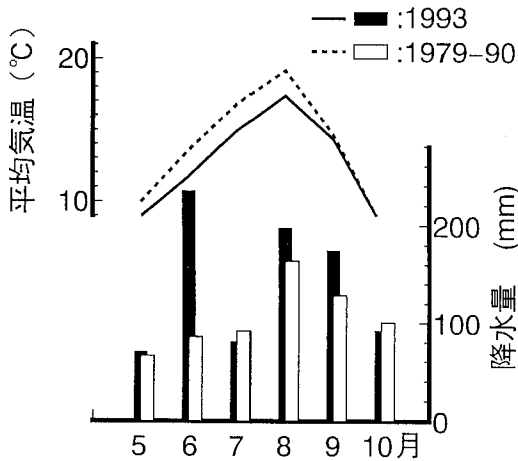


図-1 1993年の十勝地方におけるビート生育期間中の気象経過（準平年値との比較）（十勝管内アメダス気象データの平均値）

Fig. 1 Weather conditions during the vegetation periods of sugar beet at the Tokachi area, Hokkaido, Japan (1993).

表-3 月別平均気温・降水量と収量の相関（1993年 十勝地方）

Table 3 Coefficient of correlation among monthly mean temperature, precipitation and sugar beet yield at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993

月	平均気温	降水量
5月	0.64**	-0.47*
6月	0.80**	-0.71**
7月	0.78**	-0.81**
8月	0.63**	-0.78**
9月	-0.40	-0.66**
10月	-0.68**	-0.77**

(n=18)

*: 5% 有意水準

** : 1% 有意水準

3. ランドサットを利用したビートの収量推定

(1) 対象地域および使用データ

十勝地方の東西約60 km, 南北約100 kmを対象地域とした(図-2)。当該地域には陸別町を除く十勝地方の主要農耕地のほぼ全域が含まれる。

解析に用いたランドサットデータを、表-4に示した。1993年は天候不順のためランドサットデータの取得回数が少なく、十勝地方全域が観測されたシーンは取得されず、衛星軌道によって十勝東部の一部地域が欠落し、また帯広市周辺の一部地域に雲が存在した。気象データは、ビートの生育期間である5~10月の月別平均気温・降水量について、アメダスデータから1 kmメッシュ気象図を作成し利用した。また、土壌データは、「農耕地資源マッピングシステム」(志賀, 1993)に100 mメッシュデータとして整備されている土壌分類、物理性等のデータを利用した。

(2) ランドサットデータの解析手法

ランドサットデータの処理手法の概要を図-3に示した。各々のランドサットデータについて対象地域を切り出し、UTM座標系に幾何補正を行って、地形図や土壌データなどとの重ね合わせを可能とした。次にランド

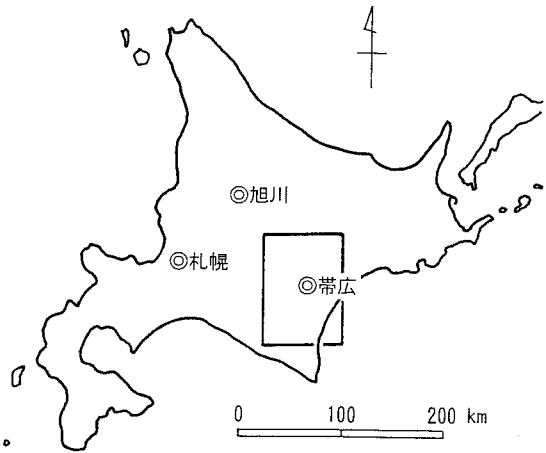


図-2 対象地域

Fig. 2 Study area.

表-4 使用ランドサットデータ

Table 4 The used LANDSAT data

センサ	パス	ロウ	観測日	雲量
TM	107	30	1993. 7. 8	0%
TM	107	30	1993.10.28	30%

サットデータに国土数値情報の1/10細分区画土地利用データ(KS-202)(国土庁, 1987)を重ねて、農耕地のみを抽出した。抽出された農耕地について、分光反射特性から教師なし分類による土地被覆分類を行い、7月8日に弱い植生を示し、10月28日に強い植生を示した画素をビート圃場と判別した。

市町村別のビート作付面積と、ランドサットデータでビート圃場に判別された面積との関係を図-4に示した。黒丸は対象地域内に全域が含まれている市町村、白丸は一部地域が欠落している市町村を示す。ランドサットデータでビート圃場に判別された面積は統計面積と高い相関を示したことから、ほぼ妥当な圃場の抽出が行われ

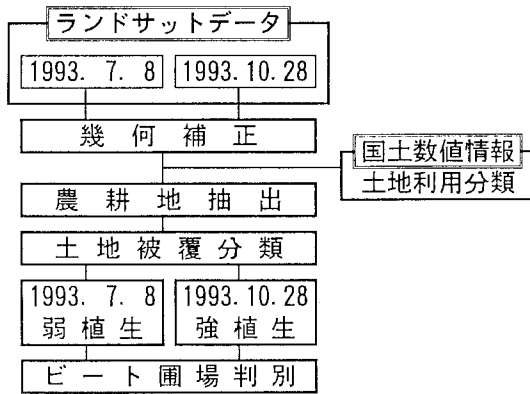


図-3 ランドサットデータ処理の概要

Fig. 3 Flowchart for treatment of the LANDSAT TM data.

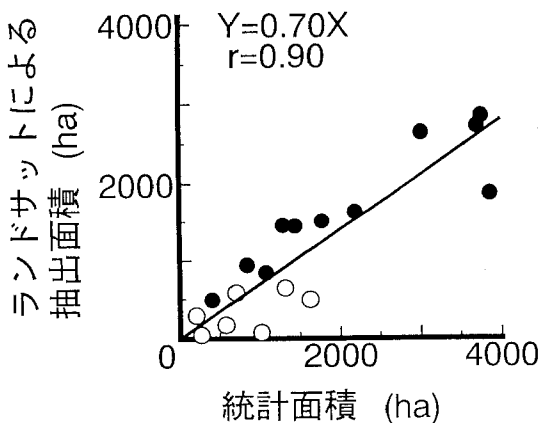


図-4 ランドサットによって抽出されたビート圃場面積

Fig. 4 The area of sugar beet fields discriminated by the LANDSAT TM data.

たものと考えられ、作付面積の約70%がビート圃場に判別された。

次に、ビート圃場に判別された画素について、周囲の8画素がいずれもビートに判別された画素を選別し、境界領域・微小区画の除去を行った。こうして抽出された、作付面積の約13%のビート圃場を解析に用いた。

(3) ビート収量の推定と収量区分図の作成

抽出された画素について市町村別の平均分光反射値・正規化植生指数(NDVI)(Rouse, J.W *et al.*, 1974)を算出して、統計収量(てん菜協会, 1994)との関連について検討した。各バンドの平均分光反射値・正規化植生指数と収量との相関を表-5に示した。7月8日の正規化植生指数と収量との間には、高い正の相関が認められた。ビートの6月中旬~7月上旬の地上部乾物重は、収量と高い相関を示すことが報告されている(斎藤ら, 1991)。また、6~7月の正規化植生指数は収量と高い相関を示す(斎藤, 福原, 1982)ことから、7月8日の正規化植生指数からビートの収量推定が可能と考えられた。

さらに、十勝全域から41の現地圃場を選択し、衛星データから各圃場の7月8日の正規化植生指数を算出した。各圃場の実測収量と正規化植生指数との間には、市町村平均で検討したときに得られた、

$$\text{収量(t/ha)} = 72.3 \times \text{NDVI} + 13.2$$

(NDVI: 正規化植生指数)

の回帰直線がほぼ適合した(図-5)。両者の間には $r =$

表-5 バンド別分光反射値・正規化植生指数と収量との相関(1993.7.8)

Table 5 Coefficient of correlation among spectral reflectance of each bands, NDVI (normalized difference vegetation index) on July 8 1993 and sugar beet yield

	波 長 帯	相 関 係 数
バ ン ド	TM 1 (青)	-0.58**
	TM 2 (緑)	-0.61**
	TM 3 (赤)	-0.64**
	TM 4 (近 赤 外)	0.56*
	TM 5 (中間赤外)	-0.64**
	TM 6 (熱 赤 外)	-0.67**
	TM 7 (中間赤外)	-0.68**
	正規化植生指数 (NDVI)	0.74**

(n=18)

$$\text{NDVI} = (\text{TM 4} - \text{TM 3}) / (\text{TM 4} + \text{TM 3})$$

* : 5% 有意水準

** : 1% 有意水準

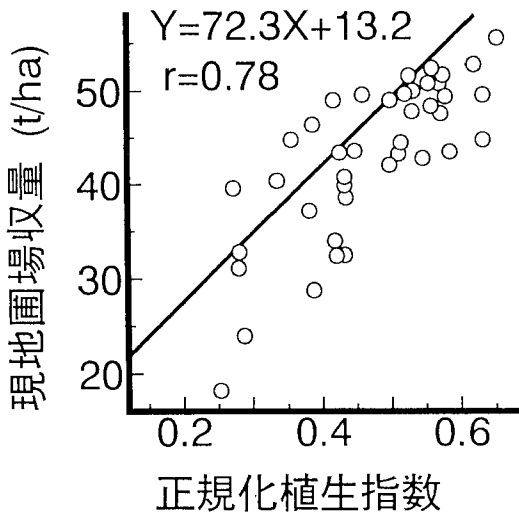


図-5 現地圃場収量と正規化植生指数との関係

Fig. 5 Relationship between sugar beet yields and NDVI (normalized difference vegetation index).

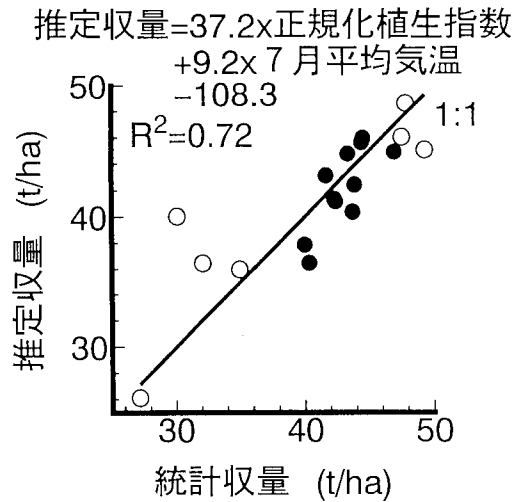


図-6 ランドサットによるビート収量の推定

Fig. 6 Estimated yield of sugar beet using the LANDSAT TM data.

0.78** の高い相関が認められ、市町村平均での関係が、個々の圃場にも適用可能であると考えられた。

7月8日のランドサットデータから算出された正規化植生指数は、ビート収穫時期の3~4ヶ月前に得られたものであるため、衛星データ取得後の気象条件が収量に影響すると考えられる。そこで、収量の推定精度を向上するために、正規化植生指数と衛星データ取得以降の気象条件とを説明変数として重回帰分析を行ったところ、正規化植生指数と7月の平均気温が選択され、

$$\begin{aligned} \text{推定収量 (t/ha)} &= 32.7 \times \text{NDVI} \\ &+ 9.2 \times \text{7月平均気温} - 108.3 \end{aligned}$$

(NDVI: 正規化植生指数)

の重回帰式が得られた。1993年7月の平均気温は平年に比べ特に低く推移したことから、ビートの生育に影響したと考えられる。図-6に市町村別の統計収量と、重回帰式で得られた推定収量との関係を示した。両者はほぼ1:1の直線上に存在し、寄与率は72%、RMSEは3.3t/haであった。得られた重回帰式を対象地域全域に適用して収量区分図を作成した。

作成された収量区分図の表示例を図-7に示した。表示例は収量の区分を判別しやすいように1kmメッシュサイズに加工してあるが、原データは25mメッシュサイズとなっており、個々の圃場の収量差が判別可能である。十勝地方全域の収量傾向としては、南部の沿海地域が低収となっており、また中央部および十勝川、利別川、音更川などの流域沿いが高収となっている。

4. ビート収量と土壌要因との関連

(1) 相対指数の算出

1993年の十勝地方のビートは、生育期間中の低温と6月の多雨により冷湿害を生じ、特に降水量の多かった南部沿海地域では著しく減収した。そこで、推定収量と気象要因との関係について検討した。図-8に衛星データから推定された1993年のビートの推定収量と、6月の降水量との関係を示した。両者の間には負の相関が認められ、6月の降水量の多い地域では、ビート収量は低収となっていることがわかる。しかしながら局所的には、降水量が同一であっても収量の高低が認められる。こうした収量の変異は、気象条件以外の土壌条件や栽培条件に起因すると考えられることから、これらの地域の土壌条件を検討することによって、ビートの収量に影響を及ぼす土壌要因が明らかになると考えられる。低温寡照・多雨に推移した1993年の十勝地方では、特に土壌条件による冷湿害の発生程度の違いが把握できると考えられる。

そこで、推定された収量から気象要因の影響を除く処理を行った。統計収量を目的変数、月別平均気温・降水量を説明変数とした重回帰分析を行い、多雨によって生育遅延・湿害の原因となった6月の降水量と、その後の生育に影響する7月以降の平均気温を用いて、気象要因から見込まれる収量を算出した。これに衛星データから推定した収量区分図を重ね合わせて各地点における両者の比率を算出し、これを相対指数とした。相対指数の高

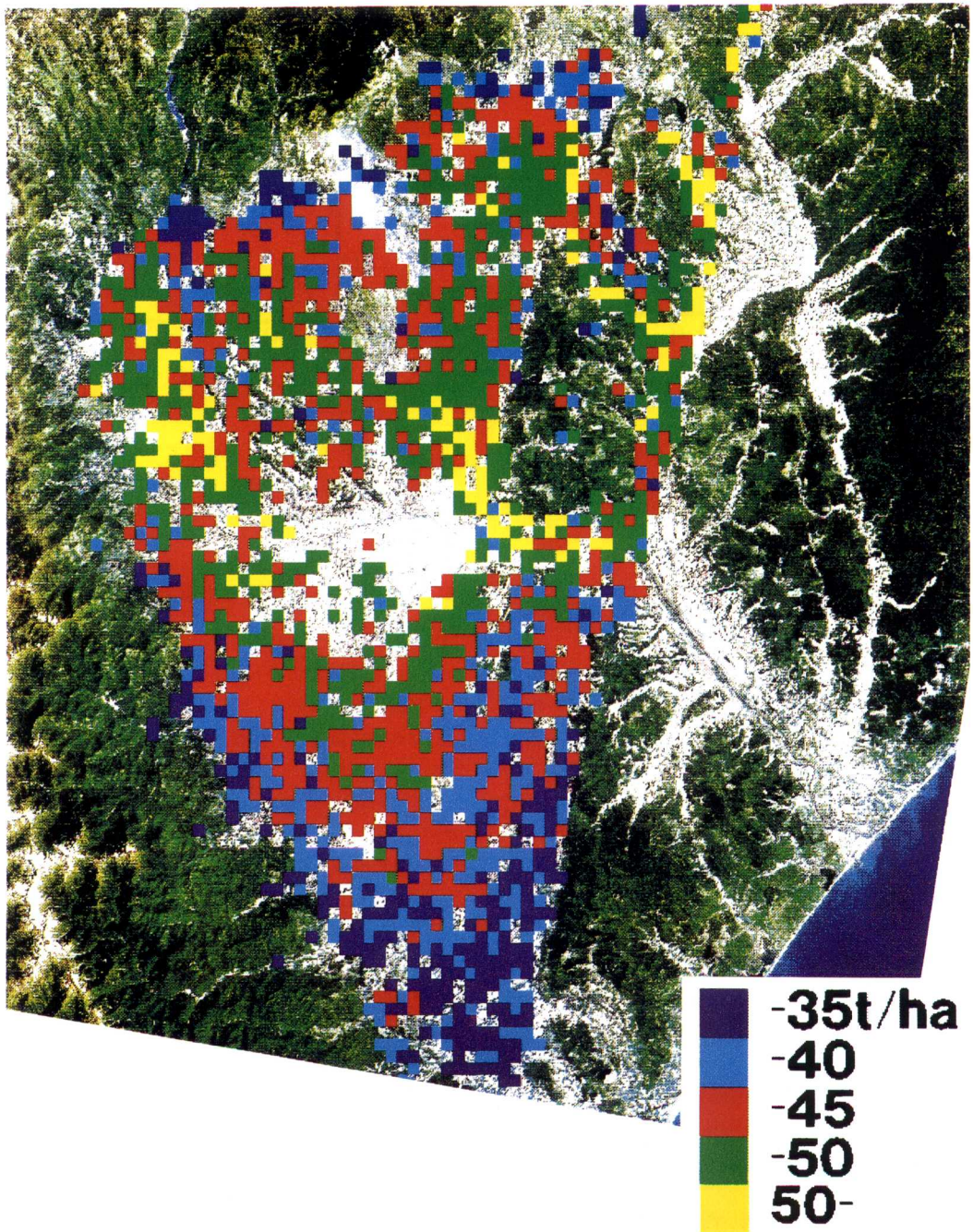


図-7 ランドサットによって推定された1993年十勝地方のビート収量区分図(1kmメッシュ)

Fig. 7 1993's geographical distribution map of sugar beet yields at the Tokachi area, Hokkaido, Japan, estimated by the LANDSAT TM data acquired on July 8 1993. (1 km mesh sized map).

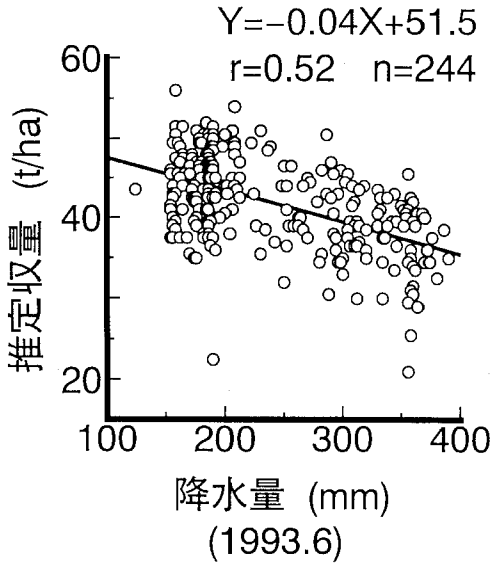


図-8 ビート推定収量と6月降水量の関係

Fig. 8 Relationship between estimated sugar beet yields and precipitation on June at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993.

表-6 十勝支庁管内における各土壌タイプ別分布面積

Table 6 Distribution area of soil groups in the Tokachi district, Hokkaido, Japan

火山灰土	126,509 ha
褐色火山性土	66,245
黒色火山性土	24,505
厚層黒色火山性土	33,959
洪積土	133
沖積土	86,579
褐色低地土	61,411
灰色低地土	21,013
グライ土	4,022
泥炭土	10,202

い地域は、気象要因から見込まれる収量よりも高収であり、また相対指数の低い地域は、気象要因から見込まれる収量よりも低収であったと考えられる。

(2) 収量と土壌要因との関連解析

各土壌要因別に、推定収量・相対指数の平均値を求めて、比較した。

十勝地方の土壌は、主に台地や河岸段丘上に分布する

火山灰土と、河川流域に分布する沖積土に大別される。沖積土では褐色低地土の分布面積が最も多く、特に南部の札内川・猿別川の中流域や歴舟川流域には広く分布する。また、灰色低地土やグライ土は支流域や十勝川下流部に分布する。火山灰土は、腐植含量が少なく褐色の表層を持つ褐色火山性土、腐植含量に富み黒色の腐植層を持つ黒色火山性土、さらに腐植含量に頗る富み腐植層の

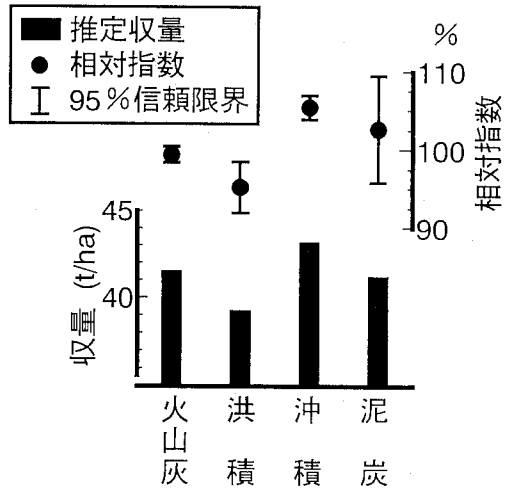


図-9 土壌の堆積様式別ビート収量と相対指数

Fig. 9 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil accumulated type.

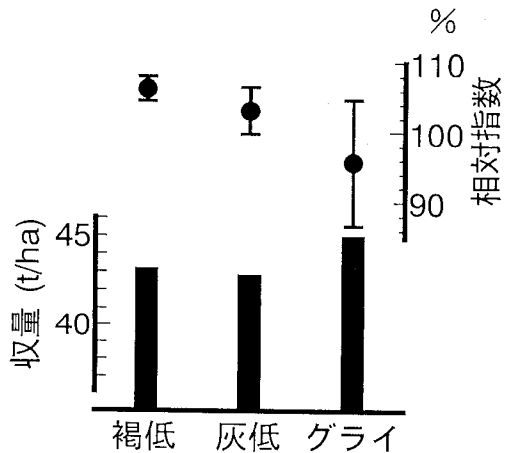


図-10 沖積土の土壌群別ビート収量と相対指数

Fig. 10 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil families in alluvial soils.

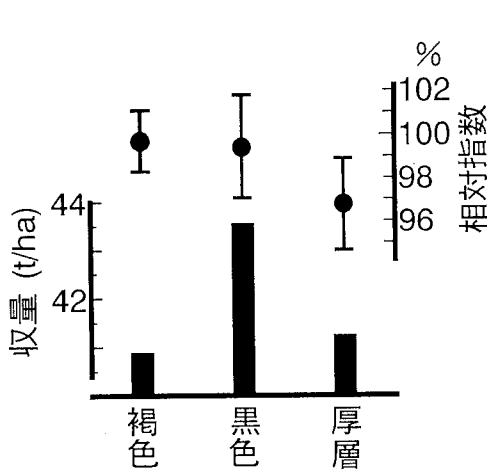


図-11 火山灰土のビート収量と相対指数

Fig. 11 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil types in volcanic ash soils.

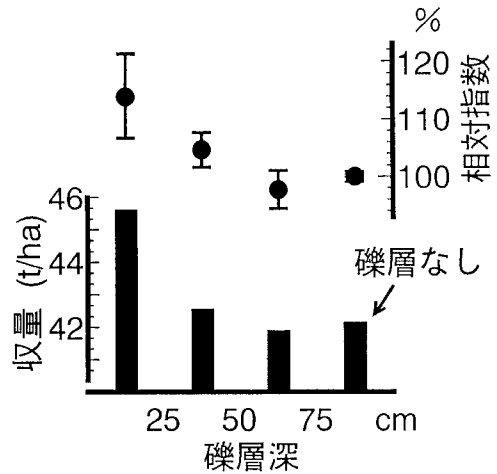


図-13 礫層深別のビート収量と相対指数

Fig. 13 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the depth of gravel layer.

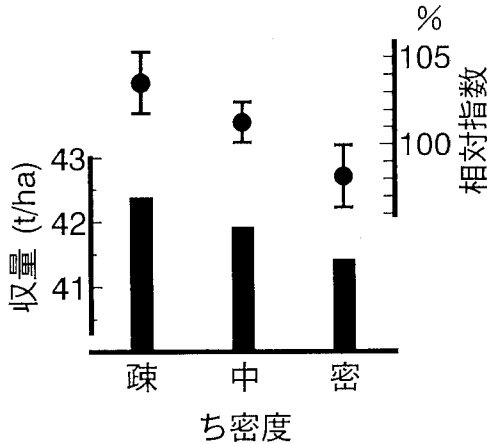


図-12 下層土のち密度別ビート収量と相対指数

Fig. 12 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the compactness of subsoil.

厚い厚層黒色火山性土の3つに大別され (道立中央農試, 1979), 褐色火山性土・黒色火山性土は乾性, 厚層黒色火山性土は湿性の傾向を示す (菊地, 1981). 最も分布面積の多い褐色火山性土は主として十勝南部地域に, また黒色火山性土は主に十勝北部地域に分布する. 十勝支庁管内の各土壌タイプ別の分布面積を表-6に示した (道立中央農試, 1993).

まず, 土壌の堆積様式別に推定収量を比較すると, 沖積土では高収であり, 洪積土・泥炭土は低収であった (図-9). 相対指数は, 特に洪積土, ついで火山灰土で低くなり, また泥炭土ではばらつきが大きかった. 沖積土

表-7 1993年のビート生育に影響を及ぼした土壌要因

Table 7 Soil properties influenced on the growth of sugar beet at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993

土 壌 要 因	+要因	-要因
下層土のち密度	疎	密
礫 層 深	浅	
土 沖 積	褐色低地土	グライ土
壤 火 山 灰	褐色火山性土	厚層黒色火山性土

の相対指数は, 火山灰土・洪積土に比べ有意に高かった. 相対指数の高かった沖積土について, 土壌群別に比較すると, 推定収量はグライ土が最も高かったが, 相対指数は褐色低地土, 灰色低地土, グライ土の順に低かった (図-10). 各土壌群の相対指数には有意な差異は認められなかったが, 湿性な土壌ほど減収の程度が大きい傾向にあった. 火山灰土を褐色火山性土・黒色火山性土・厚層黒色火山性土に大別して比較したところ, 推定収量は黒色火山性土が最も高かった. 相対指数には有意差は認められないが, 褐色火山性土・黒色火山性土に比べ, 湿性の傾向を示す厚層黒色火山性土では相対指数が低くなる傾向にあった (図-11).

次に下層土のち密度別に推定収量・相対指数を比較した (図-12). ち密度の違いによる推定収量には有意な差異はなかったが, 相対指数は, ち密度の密な土壌では,

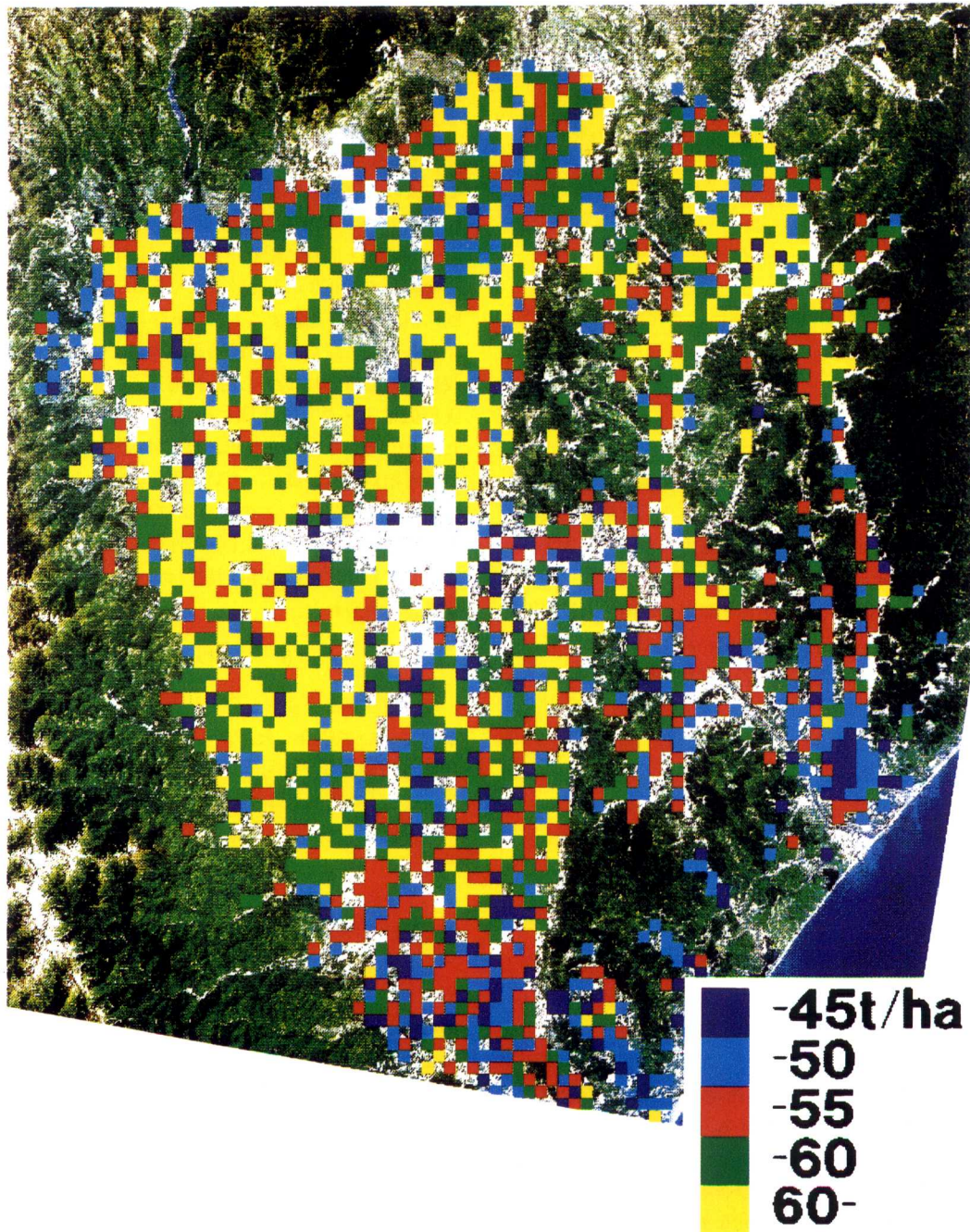


図-14 ランドサットによって推定された1990年十勝地方のビート収量区分図(1kmメッシュ)

Fig. 14 1990's geographical distribution map of sugar beet yields at the Tokachi area, Hokkaido, Japan, estimated by the LANDSAT TM data acquired on June 7 1990. (1 km mesh sized map).

表-8 1990年・1993年の土壌要因別相対指数の比較

Table 8 Comparison of regional variability of the sugar beet yield to some soil properties between 1990 and 1993

土壌要因	1990年	1993年
堆積様式	火山灰>>沖積	沖積>>火山灰・洪積
礫層深		浅>>深
下層土の密度		疎>>密
沖積土		褐低>灰低>グライ
火山灰土	厚層>黒色>褐色	褐色>黒色>厚層

疎・中の土壌よりも有意に低くなり、下層土が堅密な土壌では、排水不良のために減収傾向が大きかったことが推察された。十勝地方の火山灰土・洪積土は、50%以上で下層土のち密度が密であることから、洪積土・火山灰土で相対指数が低かったのは下層土のち密度が大きかったことが一因と考えられた。

また、十勝地方では、主に十勝川や札内川、音更川などの流域の褐色低地上に、礫層が浅く出現する浅礫地帯がある(北海道農務部, 1982)。礫層深別に推定収量・相対指数を比較すると、礫層深の浅い地域は、推定収量・相対指数とも有意に高かった(図-13)。これは、浅礫地帯では概して圃場の透水性が良好であったことから、過湿による影響が小さかったためと考えられた。しかしながら、浅礫地帯では肥料成分の溶脱による減収例も報告されている(道立中央農試, 1994)ので、こうした影響については、追肥の状況等を考慮し今後の検討が必要である。

以上から、1993年のビート収量に対する主な土壌要因の影響を表-7にまとめて示した。まず、下層のち密度が堅密な土壌では相対指数が低くなり、このため火山灰土・洪積土などでは減収した。また、礫層深によって相対指数に差が認められ、浅礫地帯では相対指数が高くなった。また土壌別に比較すると、沖積土では褐色低地土・灰色低地土・グライ土の順に、火山灰土では、褐色火山性土・黒色火山性土・厚層黒色火山性土の順に相対指数が低くなり、湿性の傾向を示す土壌ほど相対指数が低下する傾向が見られた。その他、作土の土性や有効水分量などと収量との関係についても検討を行ったが、判然としなかった。また、現地の実態調査の中で、圃場の微地形や土地改良の実施の有無が湿害の程度と関係しているという事例が報告されているが(十勝支庁, 1994)、これらについては今後の検討課題である。

(3) 1990年との比較

1990年は気象条件が温暖に推移し、生育を規制する要因はあまり見られなかった。そのため、十勝地方のビートは豊作で、大部分の市町村で収量50t/ha以上となった。1990年は6月7日と10月29日にランドサットデータが観測されていることから、1993年と同様の手法によって収量の推定を行い、6月7日の正規化植生指数とその後の気象経過から収量区分図を作成した(図-14)。1990年のランドサットから推定した収量区分図について、1993年と同様に相対指数を求め、土壌条件との関係を検討して、1993年と比較した(表-8)。土壌の堆積様式別に相対指数を比較すると、1990年は火山灰土が沖積土よりも有意に高く、また礫層深、下層土のち密度による収量差は認められなかった。沖積土では、褐色低地土・灰色低地土・グライ土間に有意な差は認められず、また、火山灰土では、1993年とは逆に、厚層黒色火山性土が最も相対指数が高く、ついで黒色火山性土、褐色火山性土の順となった。このように気象傾向の違いによって、同一地域であっても土壌条件の作物生育への影響が異なっており、土壌の生産特性は気象条件によって変化すると考えられた。

5. おわりに

以上、ランドサットを利用したビートの冷湿害の解析事例について紹介した。本報告では、冷湿害の著しい1993年と豊作年であった1990年について多少の比較を行ったが、今後複数年次についてデータが蓄積されていくことによって、様々な気象条件下における土壌の特性が明らかになると考えられる。例えば干ばつ年の衛星データを利用することによって、干ばつを受けやすい土壌・地形条件などが判別可能である。

ランドサットデータは現在16日に1度観測が行われているが、観測当日が晴天でなければ地表面のデータは得られない。そのため利用可能なデータは年間数シーンにとどまり、特に気象条件が不良な年にはデータが得られない場合が多い。しかしながら、最近運用されている一部の観測衛星には、雲を透過して曇天時でも地表面の観測が可能な合成開口レーダー(SAR)が搭載されており、また将来各国で打ち上げ予定の観測衛星に搭載されるセンサは、より多波長・高解像度化していくことから、衛星データから得られる情報は質的・量的にもさらに増えていくと思われる。今後、定期的に安定した衛星データの供給がなされることによって、収穫時期以前の作物収量の推定や、また生育不良地域の抽出によって、追肥判定等の生育診断的な技術、さらには土地改良計画の策定への利用等が期待される。

謝 辞

本試験は、農林水産省地域重要新技術開発促進事業「リモートセンシング技術等による作物・環境情報の効率的把握と情報処理手法の高度化」として行われたものであり、ランドサットデータは宇宙開発事業団から研究目的配布によって提供を受けたものである。また、本原稿をまとめるにあたり、十勝支庁・道立十勝農試・株式会社サン技研にビート収量に関するデータの収集をはじめ様々なご協力をいただいた。記して謝意を表します。

引用文献

- 安積大治, 志賀弘行 (1993): 畑土壌の水分状態と分光反射 (第2報), 日土肥要旨集, **39**: 137.
- 岡野千春, 福原道一, 西宗昭, 嶋田典司, 渡辺幸雄 (1994): ランドサット TM データによる収穫期におけるテンサイの糖分・根重の推定と生産高の評価事例, システム農学, **10**: 11~20.
- 福原道一, 林 成周 (1977): テンサイに関するリモートセンシング 第1報~第2報, てん菜研究会報, **18**: 71~82.
- 北海道農務部編 (1982): 昭和57年度普及奨励ならびに指導参考事項, P. 333, 北海道農務部, 北海道.
- 北海道てん菜協会編 (1994): 平成5年度てん菜の生産実績, p. 15, 社団法人北海道てん菜協会, 北海道.
- 北海道十勝支庁・北海道立十勝農業試験場編 (1994): '93 異常気象と十勝の畑作物, p. 111, 北海道十勝支庁・北海道立中央農業試験場, 北海道.
- 北海道立中央農業試験場編 (1978): 地力保全基本調査総合成績書, P. 1, 北海道立中央農業試験場, 北海道.
- 北海道立中央農業試験場 (1979): 北海道の農牧地土壌分類第2次案, 北海道立農業試験場資料, **10**: 24~26.
- 北海道立中央農業試験場 (1993): 北海道土壌区一覧, 北

海道立農業試験場資料, **21**: 102~119.

北海道立中央農業試験場 (1994): 平成5年度北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書, 北海道立農業試験場資料, **23**: 129~130.

菊地晃二 (1981): 十勝地方における土壌類型区分図とその土壌改良対策への応用, P. 22, 北海道大学審査学位論文.

国土庁計画・調整局編 (1987): 国土数値情報, p. 75, 大蔵省印刷局, 東京.

深山一弥, 小川茂男 (1985): 1984 網走支庁管内におけるテンサイの干ばつ被害 1. リモートセンシングによる被害調査, てん菜研究会報, **27**: 125~132.

Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309~317.

斎藤元也, 福原道一 (1982): テンサイ群落の分光反射特性と収量推定, 北海道農試研報, **134**: 39~54.

斉藤英俊, 黒沢厚基, 山上 守 (1991): テンサイ育成型の解析に関する研究 第8報 生育時期別の諸形質と最終集量との関係, てん菜研究会報, **33**: 7~14.

志賀弘行, 福原道一, 小川茂男 (1989): ランドサット TM データによる湛水水田の腐植含量推定, 日土肥誌, **60**: 432~436.

志賀弘行, 福原道一, 小川茂男 (1992): ランドサット TM データによる小麦収量分布の推定, 日土肥要旨集, **38**: 265.

志賀弘行 (1993): 北海道の農業情報システムー土地評価のための農耕地情報統合とリモートセンシング利用ー, システム農学, **9**: 32~39.

志賀弘行, 安積大治 (1995): ランドサット TM データおよび MOS-1/MESSER データを用いた北海道における水稻収量の推定, 日土肥誌, 投稿中.

(受稿年月日 1994年12月1日)

