

# 衛星・気象・土壌データを活用したてん菜の根収量予測

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	本郷,千春 丹羽,勝久
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	76巻4号
掲載ページ	p. 466-472
発行年月	2009年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## &lt;研究・技術情報&gt;

## 衛星・気象・土壌データを活用したてん菜の根収量予測

本 郷 千 春\* 丹 羽 勝 久\*\*

## 1. はじめに

北海道におけるてん菜糖の生産量は約64万トンであり、国内産砂糖の3/4を占める。一方、その価格は国外産と比較して2.8倍も高く、「新たな砂糖・甘味資源作物政策大綱」では、てん菜の生産及びてん菜糖製造にかかるコストの削減が求められている。

生産費の約22%を占める肥料費の削減は生産コスト低減と糖分向上に、根収量の事前把握による原料集荷計画の策定は輸送費の低減等に効果的であると考えられる。しかし、そのために必要な収穫時のデータは生産者ごとに集計されており技術的に必要とされる個々の圃場や地点では得られていない。そこでこれらのデータの収集と蓄積が求められているが、年次を超えた広域的な精度の高い調査は技術的にもコスト的にも限界がある。こうしたことから、衛星データやGISデータを用いて、てん菜の作付け位置、面積の推計および生産量を把握するための手法の確立が急がれている。

そこで、2006年に衛星、気象、GIS等の高度な情報を活用したてん菜生産の効率化手法の構築を開始した。ここでは、てん菜の根収量を収穫前に予測する手法を紹介する。

## 2. 既往の研究

## 1) リモートセンシングデータを用いたてん菜の解析

日本において農業リモートセンシングが導入された初期、リモートセンシングデータを用いたてん菜の解析のために、施肥条件が異なるてん菜群

落の分光特性を検討した研究がある。三要素試験の生育が良好である健全区でのてん菜の分光反射率は、赤波長領域(650nm)で低く、近赤外(750nm, 850nm)においてはその値は高くなる(Saitou et al.: 1991)。この結果から、650nmと850nmの分光反射率から導いたK値を用いて根収量を推定する手法が報告されている。さらに、可視域の分光反射率を用いた窒素やリンの栄養診断の可能性も検討されている(Saitou et al.: 1982)。

1990年代には、収穫期のランドサットTMデータを用いた根重、根中糖分、圃場単位での生産者価格の算出(岡野ら: 1993)、アミノ態窒素量、窒素吸収量の推定(岡野ら: 1995)が試みられた。そして、これら情報を圃場単位で評価することで品質評価や施肥管理に利用できる可能性が示されている。一方、気象データ、正規化植生指数(NDVI)と土壌データを重ねた解析結果から、下層土のち密度や礫層深が1993年のてん菜の収量に影響を及ぼしたことが明らかにされている(Asaka: 1995)。

## 2) 気象データとてん菜根収量の関係

北海道では、気象データとてん菜根収量の関係については古くから多数の研究が行われてきた。

富山は、根収量が移植率と4~6月の気温および降水量(1976)や5~7月の積算降水量(1980)に影響を受けることを示した。また、松崎ら(1983)は根収量が5~6月の気温と共に6月の最高気温に、黒沢(1994)は根収量が5~6月または5~7月の日照時間、気温および降水量に、中里・今木(1997)は4~8月の気温に影響を受けることを報告した。

しかし、これらの事例は1965~1974年(富山, 1976), 1968~1977年(富山, 1980), 1973~1982年(松崎ら, 1983), 1981~1990年(黒沢, 1994), 1989~1996年(中里・今木, 1997)の根収量と気

\* 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター  
Chiharu HONGO

\*\* (株)ズコーシャ 総合科学研究所 農業科学室  
Katsuhisa NIWA

象データの関係について述べられたものであり、近年の根収量と気象データの関係については、品種の変遷や気象変動の大きさも加味して改めて検討を行うことが必要である。

### 3. なぜ衛星データからてん菜地下部の情報を抽出できるのか？

光学センサによる観測で得られた衛星データには、てん菜の茎葉部だけが映っており根の情報は記録されていない。しかし、茎葉部と根部の関係、それらと衛星データのデジタル値との関係を明らかにできれば、てん菜地下部の情報を衛星データから抽出できる。

根収量の推定には茎葉部の生育量と衛星データから求める植生指数NDVI〔(近赤外-赤)/(近赤外+赤)〕やGNDVI〔(近赤外-緑)/(近赤外+緑)〕がキーワードとなる。茎葉部の生育量や被覆程度の違いは可視と近赤外の反射率に現われ、地上部が大きければ根重量も多くなる傾向があるため、衛星データから根収量を求めることができる。

根重は7月頃や収穫期の衛星データで推定でき(岡野ら：1993, 本郷ら：2006, 2007, 2008), 糖分含量の推定は10月のデータの解析で精度が高くなると報告されている(岡野ら：1993)。

### 4. 気象データを用いた地域平均、 土壌タイプ別の根収量予測

調査対象地域を十勝地域芽室町とし、1990～2004年の気象データから地域平均、土壌タイプ別の根収量予測式を作成し、2005～2007年のデータで精度を検証した。

#### 1) 根収量予測式の作成

##### (1) 利用したデータ

地域平均の根収量データは北海道農林水産統計年報から収集した。土壌タイプ別の根収量データは集落別収量地図を主要土壌別(褐色低地土, 黒ボク土/下層河成堆積物, 黒ボク土, 多湿黒ボク土)に集計し、それぞれ平均値を算出したものを利用した。気象データは近傍のアメダスデータ

(帯広市：全天日射量, 芽室町：気温, 降水量)を利用した。

##### (2) 土壌タイプ別根収量の経時変化

図1に平均、土壌タイプ別の根収量の経時変化を示す。根収量は概ね黒ボク土が高収, 多湿黒ボク土が低収で推移した。また、褐色低地土は根収量の年次変動が大きく、1996, 1997年には最低収で、2002年には黒ボク土を上回った。

根収量の年次変動は土壌別に異なる特徴を有しているといえる。

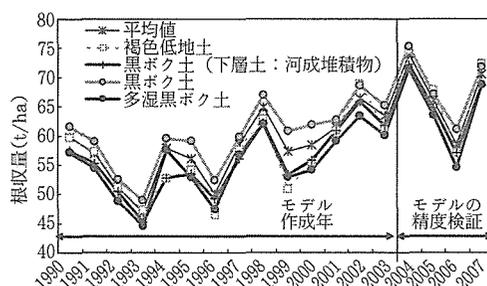


図1 芽室町における平均、土壌別のてん菜根収量の推移

##### (3) 根収量予測式

以上から、目的変数を平均根収量または土壌タイプ別根収量(y)とし、説明変数を平均全天日射量(r), 日平均気温(t), 積算降水量(p)にした重回帰分析から、地域平均、土壌タイプ別に根収量の予測式を作成した。その際、てん菜根収量は移植期～7月中旬頃までの生育環境に影響を受けることから(丹羽ら, 1999), 説明変数は4月下旬～7月中旬の気象データを利用した。加えて、平均全天日射量, 日平均気温と根収量の関係は正の一次相関関係であるのに対して、積算降水量と根収量の関係は負の2次相関関係であり(図2), 下記の式から説明変数のpを求めた。

$$p = \sqrt{(p1 - p2)^2}$$

p1: 4月下旬～7月中旬の積算降水量

p2: 積算降水量と根収量の回帰式に基づく根収量が最大値となる積算降水量

その結果、地域平均根収量, 土壌タイプ別根収量とも決定係数が0.7以上の精度の高い予測式を

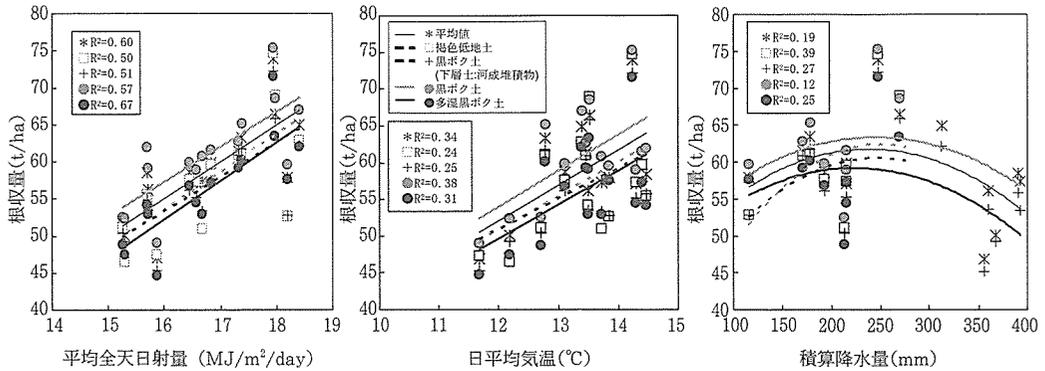


図2 4月下旬～7月中旬の各気象データと平均、土壌タイプ別のてん菜根収量の関係

作成することができた(表1)。本式の特徴として、最も安定多収で推移する黒ボク土では積算降水量が説明変数から棄却されたこと、根収量の年次変動が大きい褐色低地土では積算降水量の寄与が最も大きいこと、が挙げられる。

表1 気象データから作成したてん菜根収量予測式

	根収量予測式	R <sup>2</sup>
地域平均	$y = 3.71r + 2.68t - 0.032p - 36.8$	0.76
褐色低地土	$y = 3.22r + 2.31t - 0.087p - 20.9$	0.81
黒ボク土 (下層土：河成堆積物)	$y = 3.19r + 2.11t - 0.061p - 20.3$	0.73
黒ボク土	$y = 3.86r + 3.11t - 45.5$	0.70
多湿黒ボク土	$y = 4.11r + 2.31t - 0.028p - 41.7$	0.79

## 2) 根収量予測モデルの精度検証

表1で示す予測式から2005～2007年の根収量を算出し、実測値と比較して精度検証をした(図3)。

実測根収量と予測根収量の間には決定係数で0.9以上の正の相関関係が得られ、根収量予測式を用いることで、収穫2.5ヶ月前の7月中旬の段階で、相対的な根収量の多少や根収量の土壌間差等を高精度に把握・提供できることを確認した。しかし、両者の関係は高収量年で予測値は実測値よりも過小評価する傾向にあり、その要因の一つとして多収性品種の導入等が想定された。このことから、本知見を収穫計画の中でより有効に活用していくためには、品種の違いや気象の変動に応じて補正するような手法を検討することも必要であろう。

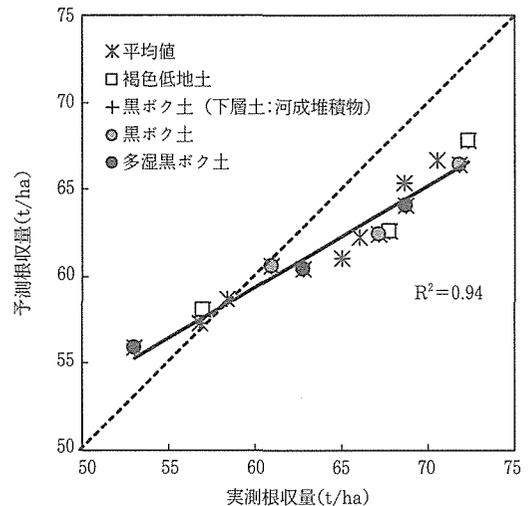


図3 実測根収量と予測根収量の関係

## 5. 衛星データを用いた根収量の推定

2006年7月27日, 9月15日, 9月21日, 10月8日に撮影された衛星画像の放射輝度値と、予め設定した現地調査地点の根重, 根中糖分, 糖量, アミノ態窒素量との関係を検討した。

その結果, 7月の衛星画像の赤の放射輝度値とGNDVI [(近赤外-緑)/(近赤外+緑)]を説明変数として, 各調査地点の根重, 糖量を求める式が得られた。そして, その推定式を対象地域のてん菜圃場に適用することで, 圃場単位で根収量, 糖量を推定することが可能であった。同様の結果は2007年7月27日, 2008年8月8日に撮影された画

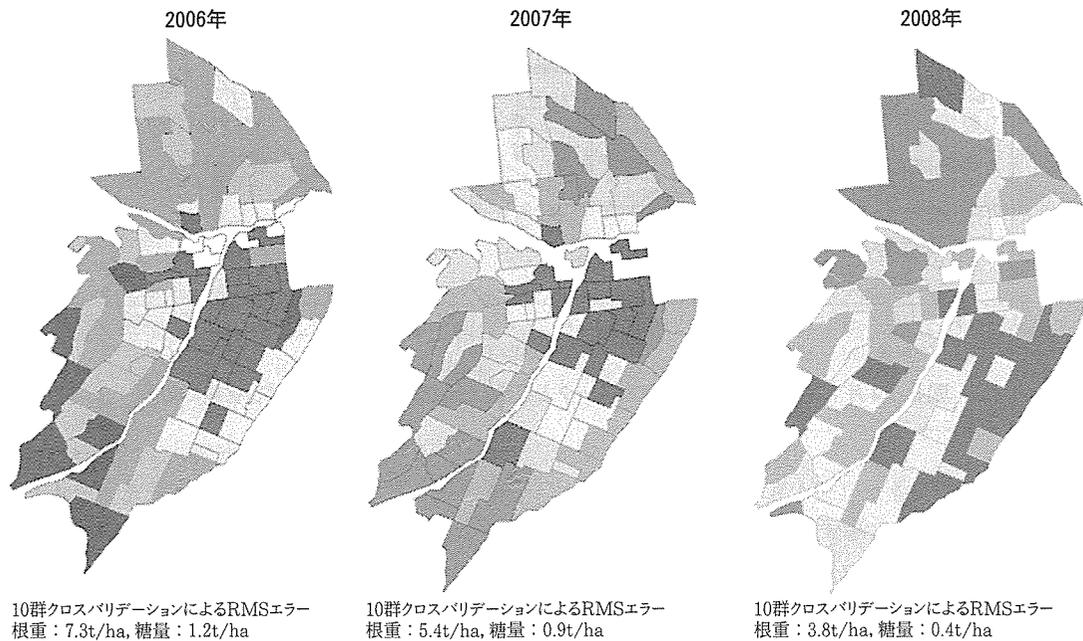


図4 2006年～2008年の根収量順位付けマップ  
(推定量が多い順に、赤→黄→緑→シアン→青)

像解析においても得られたことから、再現性のある解析結果であると言える。さらに、推定精度の検証を行うために各時期のデータをランダムに10のグループに分割し、そのうちの1つのグループのデータを取り除いて残りのデータだけによる推定式を作成し、それぞれの推定式に対して先の1つのグループを用いて予測を行う10群クロスバリデーションを行った。これを6回繰り返してその予測誤差の平均値を求めた結果、各年の根収量および糖量の予測誤差〔解析年(根収量)(糖量)の順に記載〕は、〔2006年(7.3 t/ha)(1.2 t/ha)〕〔2007年(5.4 t/ha)(0.9 t/ha)〕〔2008年(3.8 t/ha)(0.4 t/ha)〕であった。図4には、推定した根収量から各営農集団単位で平均値を求め5段階に分割した根収量順位マップを示す。

推定式に赤の放射輝度値およびGNDVIが選択される理由は、7月頃の地上部の生育量と収穫期の根収量との間に密接な関係がある結果であるといえる。このことについて、図5の2007年7月12日に測定した(SPAD×草丈)値と10月4日に得

られた根収量データとの関係を示して説明する。葉色の度合いを示すSPAD値と草丈を乗じたこの値は、作物の栄養や生育状態を表す診断指標として用いられ、数値が高いほど相対的な生育量も多いと判断できる。両者の関係は決定係数が0.64

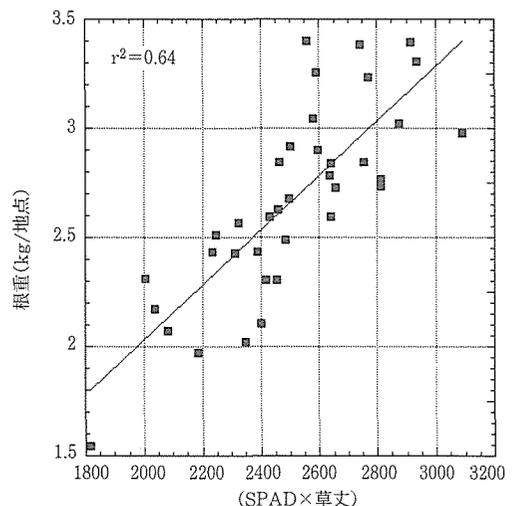


図5 (SPAD×草丈)と根収量の関係

であり、7月上旬に地上部の生育量が多いてん菜は根重も相対的に高く、収穫期の生育は7月の早い段階で決定されることが示唆された。さらに、7月12日に測定した(SPAD×草丈)値と7月27日撮影の衛星画像から求めた植生指数との間には正の相関関係が認められた( $R^2 = 0.60$ ) (図6)。以上のことから、7月頃に撮影された衛星データを用いることで、収穫の2~3ヶ月前に根収量を予測できることを説明できる。

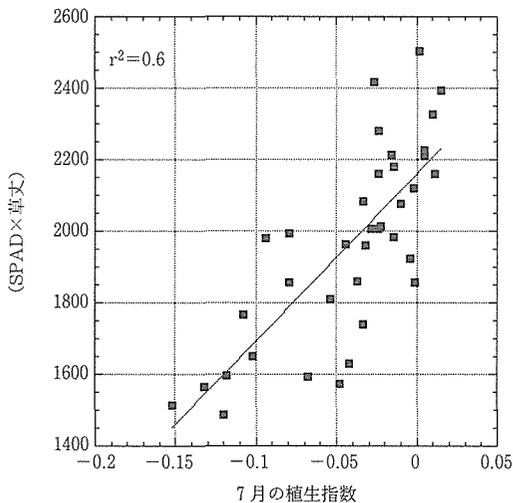


図6 (SPAD×草丈)とGNDVIの関係

## 6. 気象および衛星データを用いた根重予測

前節で述べた衛星データから根収量を推定する手法は、収穫前に根収量の多少を相対的に予想することは出来るが、7月の衛星データを解析に用いたとしても対象年の現地収量調査データを入手するまでは根収量の絶対値を求めることはできないため、収穫前に収量値を提供することができない。

一方、多くの過去の研究で、てん菜の収量は主に生育初期から中期の日射、気温、降水量から推定可能であることが報告されている。これは、てん菜の光合成速度は日射に、葉面積などの生体サイズの拡大速度は気温に強く依存するので、収量が光合成速度と生体サイズのバランスによって決まるからであると考えられている。勿論、過湿条

件では日射の不足、低温による根部生産の抑制が反映される。

そこで、第4節において著者らが明らかにした気象データと根収量の関係と、7月の地上部生育量とGNDVIとに相関関係があることに着目し、次の新たな根収量予測手法を考案した。

### <根収量予測手法>

対象地域内の圃場のGNDVI値の中央値を、表1の地域平均の根収量予測式で求めた芽室町の平均根収量に置き換え、各圃場の最小GNDVI~最大GNDVIに対して収量値を傾斜配分する。

表1の地域平均根収量予測式による2006年の根収量は58.6 t/haと算出され、実測統計値の58.4 t/haとほぼ一致した。これを、2006年7月27日に撮影されたSPOT5号から求めた全ててん菜圃場のGNDVIの中央値、気象データからの2006年の根収量予測値を用いて傾斜配分し、収穫前段階における営農集団単位の根収量を推定した。

傾斜配分後に営農集団単位で根収量を集計して実測収量との関係を調べた結果、営農集団全体では $r = 0.54$ 、RMSエラーは6.1 t/haであった。一方、地形別の予測値と実測値の関係は低地で $r = 0.81$ 、中~高台地では $r = 0.61$ であった。さらに営農集団全体の予測値と実測値の散布図から、2つのグループに分けられることが確認された(図7)。さらに、2つのグループのうちの予測値が過大評価された営農集団は含まれる圃場数が極端に少ないこと、もともと低収量地帯であることが判明した。これらの営農集団を除いた予測値と実測値の関係は $r = 0.75$ 、RMSエラーは3.6 t/haであった。以上のことから、今後は地形区分別の予測式を作成して根収量を予測すること、面積を考慮した加重平均を行うことでさらに予測精度が向上することが推察された。

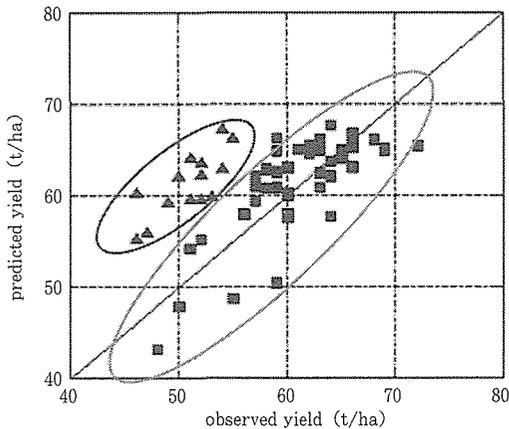


図7 予測値と実測値の関係

### まとめ

てん菜の効果的な生産・流通支援システムの構築を目指して、気象データおよび衛星画像からてん菜の根収量の予測を試みた。その結果、気象と土壌データを用いることで、対象地域や土壌タイプ別の根収量を7月に予測できることを明らかにした。さらに、GNDVI値によって地域の平均収量の予測値を圃場単位に振り分けることにより圃場単位での根収量の予測が可能であること、さらに個々の圃場の収量値を営農単位で集計することにより営農集団単位での根収量の予測が可能であることを明らかにした(本郷ら:2006, 2007, 2008, 丹羽ら:2007)。

リモートセンシングデータを用いた収量把握に関してこれまでに報告されている手法の多くは、現地での収量調査実施後の地点データと衛星データのデジタル値から推定式を求めるものが多く、収穫前に個々の圃場単位で収量を予測した研究成果は少ない。今回著者らは、根収量の予測は地域単位で土壌や気象データで行い、予測値を圃場単位に置き換えるために衛星データを補完データとして使用するという新たな収量予測手法を考案した。この手法を用いれば、収穫の数ヶ月前に圃場単位の収量を絶対値に近い値で把握できることから、収穫前の早い段階で集荷計画等に係わる情報

の提供が可能である。

本研究成果は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業(平成20年度より「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に事業に組替)において得られたものである。成果の一部については特許出願済である。

### 謝辞

本研究に用いた収量データ、GISデータは、JA芽室、日本甜菜製糖株式会社北海道てん菜協会より提供されたものです。ここに記してお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) Asaka, D. (1995) : The use of LANDSAT TM data for estimating the interaction of sugar beet yields damaged by cool and wet weather in 1993 with soil properties, Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan, No.72, 27-37.
- 2) 本郷千春, 丹羽勝久, 山田龍太郎, 鮫島良次, 平光志伸, 桑原真人, 鈴木啓徳 (2007) : 農業空間情報を活用した効率的なてん菜栽培支援システムの構築—第2報— 根重の推定と地帯別の実態把握, 日本リモートセンシング学会第42回学術講演会論文集, 155-156.
- 3) 本郷千春, 丹羽勝久, 横堀潤, 山田龍太郎, 桑原真人 (2008) : 農業空間情報を活用した効率的なてん菜栽培支援システムの構築 第3報—気象および衛星データを用いた根重の予測—, 日本リモートセンシング学会第45回学術講演会論文集, 115-116.
- 4) 本郷千春, 鈴木啓徳, 平光志伸, 宮元隆 (2006) : 農業空間情報を活用した効率的なてん菜栽培支援システムの構築 第1報 衛星画像とGISを用いたてん菜の生育解析, 日本リモートセンシング学会第41回学術講演会論文集, 291-292.
- 5) 黒沢厚基 (1994) : テンサイ品種の生育型に関する作物学的解析, 北海道大学農学不邦文紀要, 19(1), 99-149.
- 6) 松崎康範, 吉田俊幸, 三分一敬 (1983) : 気象要

- 因とテンサイの生育および収量, てん菜研究会報, 25, 189-195.
- 7) 中里秀昭, 今木一喜 (1997) : テンサイ生育期における気象条件と収量の関係について, てん菜研究会報, 39, 101-107.
- 8) 丹羽勝久, 辻 修, 大淵清志, 菊地晃二 (1999) : 細粒質褐色低地土に生成した耕盤層が土壌水分動態およびテンサイ根系に及ぼす影響, ペドロジスト, 43, 7-14.
- 9) 丹羽勝久, 横堀 潤, 菊地晃二, 本郷千春 (2007) : 十勝管内芽室町におけるテンサイ収量の土壌間差とその時系列変化, 日本土壌肥料学会北海道支部講演会.
- 10) 岡野千春, 福原道一, 西宗 昭, 早坂昌志, 嶋田典司 (1995) : ランドサットTMデータによるテンサイの窒素吸収量の評価, システム農学11(2), 137-144.
- 11) 岡野千春, 福原道一, 西宗 昭, 嶋田典司 (1993) : 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根中糖分, 根重の推定と生産高の評価事例, システム農学10(1), 11-20.
- 12) Saitou, G., Fukuhara, M. (1982): Spectral reflectance factor in sugar beet growth and yield estimation, Research bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station, No.139, 39-54.
- 13) Saito, G., Yasuda, Y., Emori, Y. (1991) : Estimating Sugarbeet Yields by Spectral Radiometer, ASEAN PACIFIC TRMOTEC SENSING JOURNAL, 4 (1), 109-116.
- 14) 富山信夫 (1976) : 収量と糖分の早期予測法に関する考察 -北糖地区の実態に基づいた-, てん菜研究会報, 17, 141-151.
- 15) 富山信夫 (1980) : 収量と糖分の早期予測法に関する考察 -北糖地区の実態に基づいた- (第6報), てん菜研究会報, 21, 189-195.