

## リモートセンシングによる霜害茶畑の検出

石黒 悦爾・小川 幸春・宮里 満・陳 介余

(農業システム工学講座)

平成5年8月10日 受理

### Discrimination of the Frost Damaged Tea Fields Using LANDSAT-5/TM Data

Etsuji ISHIGURO, Yukiharu OGAWA, Mitsuru MIYAZATO and Jie Yu CHEN

(Laboratory of Agricultural Systems Engineering)

#### 緒 言

農業におけるリモートセンシングの試みは、トウモロコシ等の主要穀物の収穫量を高い精度で予測するため、アメリカで1974年にLACIE(Large Area Crop Inventory Experiment)計画を行ったのが始めとされている。その後、人工衛星に搭載した可視域、近赤外域ならびに赤外域のセンサを利用して土壌・作物の水分状態の肥握、地表面温度・蒸発散量等の推定ならびに収量予測の試みが行われている<sup>1-3,5-9,11)</sup>。しかしながら、衛星に搭載したMSSセンサの地上分解能が50m×50mであるため、狭い耕作地にしかも種々の作物が栽培されている日本の農業ではリモートセンシングの実用化は困難であるとされてきた。しかしながら、筆者等はこのような日本農業においてもリモートセンシングの適用が可能であると考え、地上分解能が30m×30mのTMセンサを用いて水田の抽出ならびに水稻の収量予測に一定の成果を挙げてきた<sup>4,10)</sup>。

鹿児島は日本で有数の茶の生産量を上げるなど、県農業における茶業の占める割合は少なくない。しかし、85年4月には南薩地域で大規模な霜害に遭遇するなど、茶業農家にとって霜害対策は重要な問題である。ここで、霜害地域を正確に検出することは霜害発生機構の解明ならびにその対策を検討する上で重要である。そこで、水田より狭くしかも点在する茶畑の検出がリモートセンシングで可能であるか、またその検出精度が実用に耐え得るかを検討するとともに、抽出した茶畑を対象とした霜害畑の検出を試みた。

#### 供試材料及び方法

解析地域として、緑茶栽培が盛んで、しかも85年4月に霜害に遭遇したと報告されている南薩地域の知覧町周辺部を選定した。

解析のフローチャートをFig.1に示す。まず、LANDSAT-5/TM(以後L-5と略記)の1月21日から10月4日までの観測時期が異なる5つのデータを

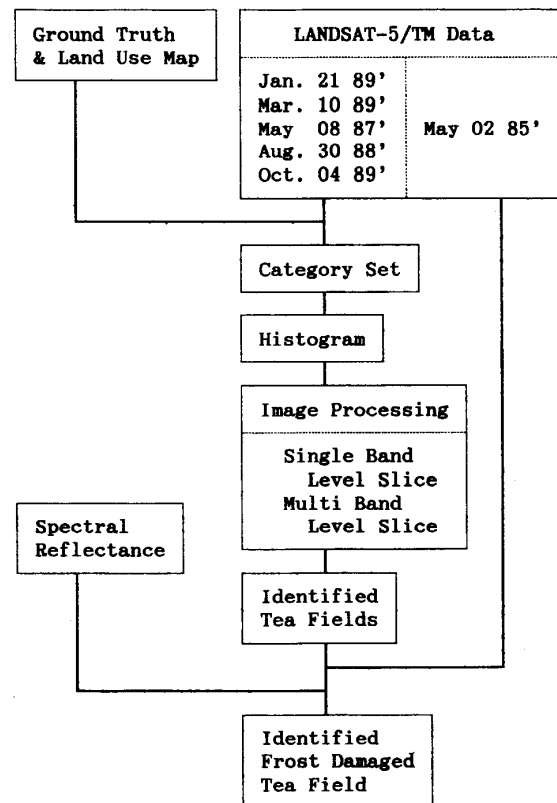


Fig. 1. Flow chart of the analyzing procedure.

用いて茶畑の抽出を行った。これらのデータはいずれも日本リモートセンシング協会 (RESTEC) よりフロッピーディスクで購入した。また、このデータを画像解析処理装置 (SPICCA, Avio Ltd.) で解析するために、ランドサットデータコンバータソフト (ELM, Ltd.) を用いて変換した。

ここで、茶畑の抽出はリモートセンシングでよく利用されている教師付き分類法を用いた。すなわち、知覧町役場より提供を受けた土地利用図を参考に、茶畑、市街地と森林部の3つのカテゴリを設定した。その後、これらのカテゴリの各バンドの輝度特性を求め、その結果をもとに種々の画像間演算を行って茶畑を抽出するとともに抽出精度を検討した。

また、茶葉の生育時期による分光反射特性の変化を測定波長領域が $0.4\mu\text{m}$ から $1.05\mu\text{m}$ のポータブルフォトメータ (Model-2706, 阿部設計) を用いて測定した。この機器による反射率は標準白紙を100%とした相対反射率で示される。測定は快晴日を選び、しかもL-5が鹿児島上空を通過する午前10時頃に合わせて行った。

さらに、摘採茶葉を $-10^{\circ}\text{C}$ の状態約6時間貯蔵し、その後急速に室温に戻して得た人工の疑似霜害茶葉と健全茶葉との反射特性の差異を測定し、霜害の有無による茶葉の分光反射特性の変化を検討した。この時、光源として白色光のレフランプ (300W) を用い、フォトメータによる分光反射率測定の際の光量不足による測定誤差を防いだ。

最後に、抽出した茶畑にこれらの分光反射特性を考慮して得た種々の画像間演算指標を適用して、85年4月中旬の霜害を受けた茶畑の検出を試みた。

## 結果と考察

### 1. 茶畑の抽出

#### (1) ヒストグラム

各カテゴリの輝度ヒストグラムの一例として、87年5月のBand-2とBand-4のヒストグラムをFig. 2に示す。観測波長領域が $0.52\mu\text{m}$ から $0.60\mu\text{m}$ の範囲の可視域 (緑色帯) のBand-2では、茶畑は38から46の輝度範囲となり、しかもほぼ単一のピークを有する分布を示した。しかし、市街地と森林部はいずれも多くピークを持ち、これらの輝度範囲はそれぞれ41から51と33から38の範囲となった。このように茶畑と市街地の輝度範囲が重なるBand-2のみで茶畑を抽出すると、輝度範囲が重なる市街地の一部も茶畑として抽出されることが示唆された。

一方、 $0.76\mu\text{m}$ から $0.90\mu\text{m}$ の近赤外域の波長帯であるBand-4では、いずれのカテゴリも多くピークを持つヒストグラムとして示された。このように各カテゴリが多くピークとなったのはカテゴリ内に種々の構成要素が存在し、しかもこれらの構成要素が異なる反射特性を示すことに起因したと考えられる。しかしながら、Band-4では市街地と森林部の輝度範囲は重なったが、茶畑はこれらのカテゴリの輝度範囲とは重ならず、Band-4のみによる茶畑の抽出が可能であることが示された。

以上の結果をもとに、各観測データについて茶畑と他のカテゴリの輝度範囲が重ならないバンドを求めると、Fig. 2に示した87年5月のBand-4以外に89年3月のBand-4だけであった。

#### (2) 茶畑の抽出

Photo. 1は単バンドによる茶畑抽出の一例として、最も精度良く茶畑を抽出できた87年5月のBand-4の結果を示す。ここでは、前に示したヒストグラムの結果をもとに、輝度が115から150の範囲をレベルスライス処理後、2値化し、白色部分を茶畑として示した。この結果を土地利用図と比較すると、茶畑でない部分も茶畑として抽出されていたことが確認された。

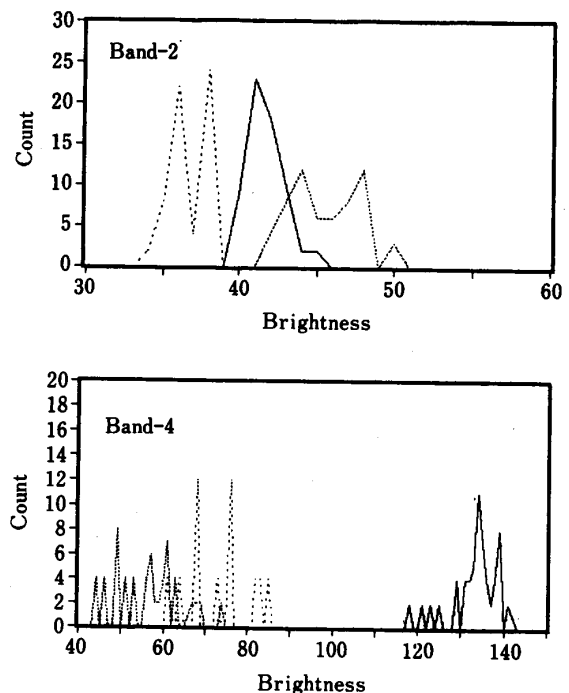


Fig. 2. Histograms of Band-2 and Band-4. (May. 08. 1987)

— Tea fields --- Urban area -- Forest zone

Fig. 3 は Photo. 1 の一部に対して、抽出割合を検討した結果を示す。ここで、Fig. 3 (A)は土地利用図をビデオカメラで撮影後、画像処理装置を用いて茶畑を黒色で抽出するとともに、これらの面積を算出した結果を示す。これらの地域では茶畑は4.57haであることが示された。一方、(B)と(C)は(A)と同地域の89年3月10日と87年5月8日のデータでは茶畑の抽出面積はそれぞれ6.64ha (147%)と4.93ha (108%)となり、いずれも実面積よりも大きな値となった。さらに、これらの抽出箇所は茶畑の一部が抽出されず、しかも茶畑以外の市街地が茶畑として抽出されていることが示された。

これは3月や5月には茶畑周辺に雑草が繁茂したり甘藷等が栽培されており、Band-4の波長領域に対するこれらの反射特性が茶葉と近似していたため、これらの一部が茶畑として抽出されたと考えられる。

Photo. 2に1月と5月のBand-4のそれぞれのデータから抽出した茶畑をマルチレベルスライス処理(MLS処理)して得た画像を示す。ここで、MLS処理は別名アンド処理とも言い、2つのデータの重なり部分のみを抽出する処理法である。この結果をPhoto. 1と比較すると、白い部分は減少した。しかも、土地利用図と比較すると茶畑以外の部分は抽出されず、さらに抽出割合が92%であることが確かめられた。これは5月に生育していた雑草がBand-4で茶畑と近似した反射特性を示したため茶畑として抽出された。しかし、1月のデータでは雑草等の生育が少ないか、または生育していても反射特性が異なったため茶畑として抽出されなかった。このように、茶畑として抽出された茶畑以外の構成要素が異なる場合には、MLS処理を行うと茶畑の抽出

が精度良く行えることが示された。

## 2. 分光反射特性

Fig. 4に学内圃場に生育する茶(*Thea sinensis* L. var. Yabukita)の92年1月から7月にかけての分光反射特性の生育時期変化を示す。茶の分光反射特性は0.4 $\mu$ mから0.7 $\mu$ mの可視域では低い分光反射率を示したが、0.5 $\mu$ m付近ではクロロフィル吸収によ

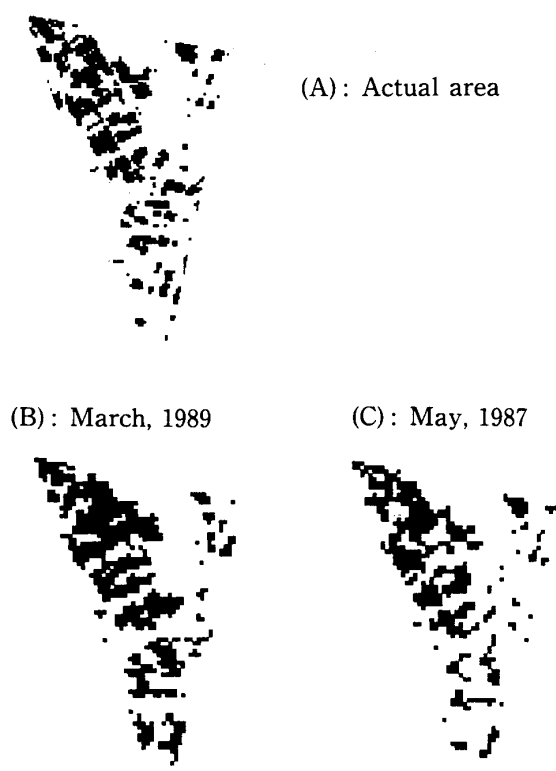


Fig. 3. Comparison of estimated area obtained with single band and actual area.

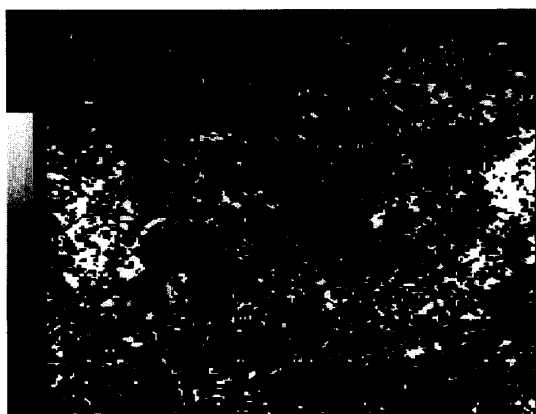


Photo. 1 Image processed by level slice of Band-4 to identify tea fields.  
(L-5/TM : May 8, 1987)



Photo. 2 Image processed by multi level slice of Band-4 to identify tea fields.  
(L-5/TM : Jan. 21, 1989 & May 8, 1987)

るピークを示した。また、 $0.7\mu\text{m}$  から  $0.8\mu\text{m}$  のレッドエッジを経て近赤外域ではプラトーを示した。これは他の農作物や樹木の分光反射特性と同様な特性であった。可視域では生育時期による分光反射特性の変化はほとんど認められなかった。しかし、近赤外域では1月から2月になると反射率は50%から40%へと低下し、以後は次第に高い反射率を示し、しかも5月と7月では約60%の値となるなど、近赤外域での分光反射率は可視域の反射率に比べて顕著な変化を示した。

Fig. 5 に同じヤブキタの茶葉を摘葉後、霜害を人工的に発生させた茶葉と健全な茶葉の分光特性の差異を示す。健全な茶葉は摘葉後6時間経過しても圃場に生育中の茶葉の分光特性とほぼ同じ傾向を示した。しかし、霜害を生じさせた茶葉は全ての波長で霜害の無い茶葉よりも低い反射率を示した。この結果、分光反射特性は霜害の有無により大きく異なり、反射特性を利用したリモートセンシングデータを用いると霜害の有無の検出が可能であることが示唆された。また、TM センサのバンドに対応する波長領域でのこれらの差異を検討すると、 $0.76\mu\text{m}$  から  $0.90\mu\text{m}$  の近赤外域の波長帯の Band-4 と可視域、特に

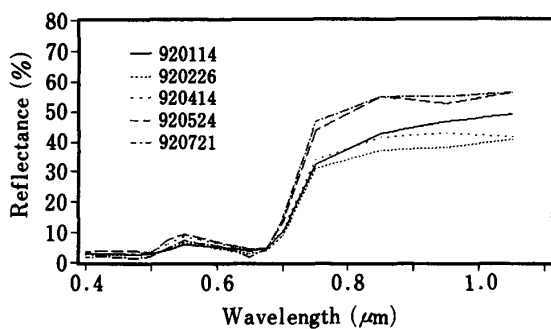


Fig. 4. Changes in spectral response of tea plants (*Thea sinensis* L. var. Yabukita) in the period from Jan. to July.

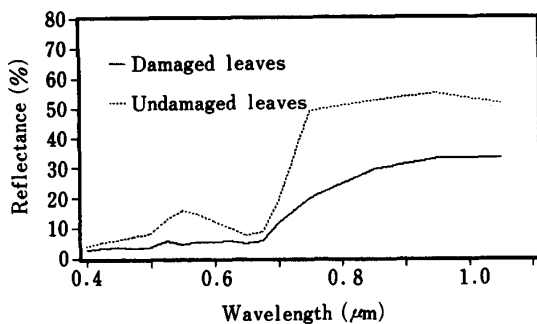


Fig. 5. Changes in spectral response of frost damaged and undamaged tea leaves (*Thea sinensis* L. var. Yabukita).

$0.52\mu\text{m}$  から  $0.60\mu\text{m}$  の緑色帯の Band-2 でこれらの差異が大きいことが示された。

### 3. 霜害茶畑の検出

分光反射特性で緑の植生は  $0.4\mu\text{m}$  から  $0.5\mu\text{m}$  (青色帯：B) と  $0.65\mu\text{m}$  から  $0.69\mu\text{m}$  (赤色帯：R) ではクロロフィル吸収のため反射は低く、一方、750から  $1050\mu\text{m}$  (近赤外：IR) では高い反射を示した。このような特徴を利用して、バイオマスを評価する各種の植生指標、NDVI と RVI などが考案されている。

これらは

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})$$

$$\text{RVI} = \text{IR} / \text{R}$$

で示される。

そこで、霜害を受けた茶畑の検出に有効な画像間演算指標として、茶の分光反射特性の結果から得た Band-4 と NDVI と RVI の植生指標を用いた。

#### (1) 単バンドによる検出

Fig. 6 は87年と85年の5月観測データにMLS処理を行って抽出した茶畑に Band-4 を演算指標として適用して得た輝度ヒストグラムを示す。87年の霜

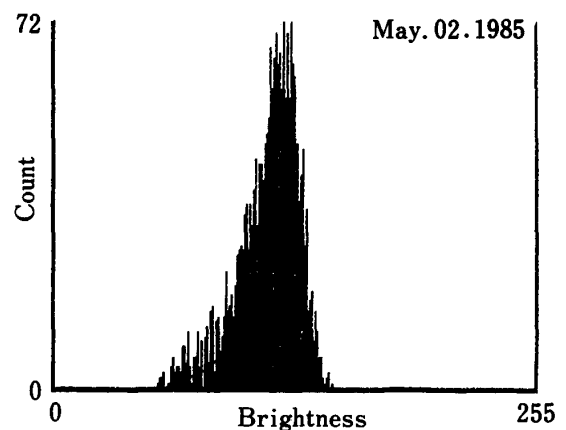
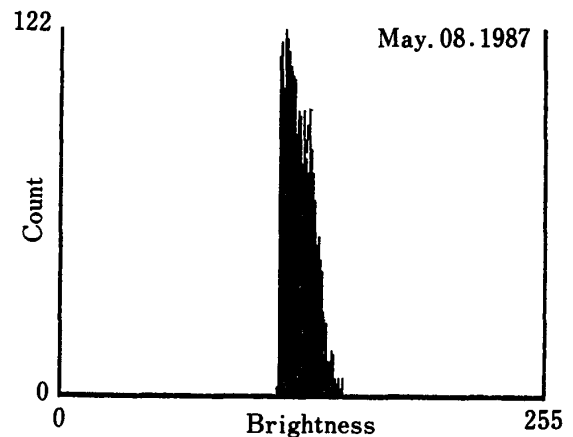


Fig. 6. Histograms of brightness for identified tea fields obtained from Band-4.

害を被っていない年の茶畑は輝度が120の輝度分布となったが、85年の霜害に遭遇して約1ヶ月後の茶畑は120以下の輝度値も多く見られるヒストグラムとなった。ここで、人工的に霜害を受けた葉の Band-4 の分光反射率は霜害を受けない葉の反射率よりも低いことが示されていたので、この結果を適用すると、低輝度の部分は霜害を受けた茶畑であることが推定される。

これら2つのデータは85年と87年と観測年度が異なるが、観測時期が5月02日と08日と極めて近いため太陽高度は同一であり、また、観測時における大気の透過率も同一であると仮定し、これらのデータの反射強度は同一であると考えた。

Photo. 3 は Fig. 6 の Band-4 のヒストグラムの結果をもとに85年の観測データの120以上の輝度範囲を灰色で、また120未満の輝度範囲を白色で表示した。抽出した茶畑の大部分は灰色の被害に遭遇していない茶畑となったが、白色で表示した霜害を受けた茶畑はいたるところに点在していることが示された。

(2) NDVI 処理による検出

Fig. 7 は抽出した茶畑について、前図と同じデータに NDVI 演算処理を行って得たヒストグラムを示す。ここで、IR として Band-4 を、また R として Band-3 を用いて NDVI の画像処理を行った。Fig. 6 に示した Band-4 によるヒストグラムと同様な傾向を示し、87年の霜害を被っていない年のヒストグラムは演算輝度が105を中心とした正規分布として示された。一方、85年の霜害に遭遇した年では同じ輝度値をピークとする分布となったが、低輝度の部分も多く発生した。

Photo. 4 に NDVI 処理による演算輝度100をしきい値として得た霜害茶畑を示す。白色で示した霜害茶畑は単バンド処理で得た茶畑とほとんど同じ位置となったが、霜害茶畑はわずかに多くなることが示された。

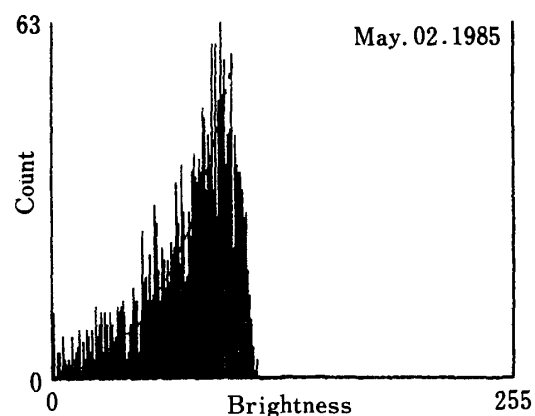
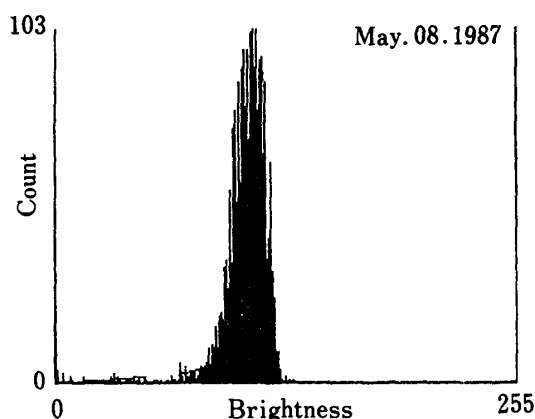


Fig. 7. Histograms of brightness for identified tea fields obtained from NDVI.



Photo. 3 Image processed by Band-4 to identify frost damaged tea fields.  
(L-5 : May 2, 1985)



Photo. 4 Image processed by NDVI to identify frost damaged tea fields.  
(L-5 : May 2, 1985)

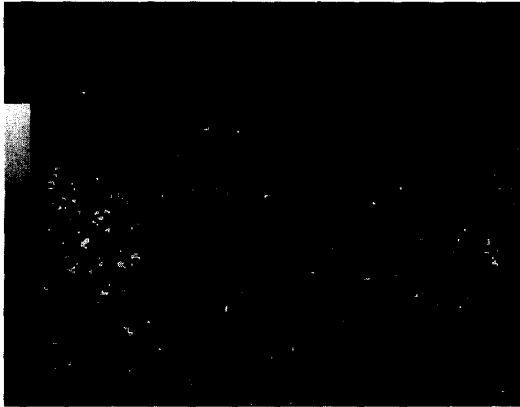


Photo. 5 Image processed by RVI to identify frost damaged tea fields.  
(L-5 : May 2, 1985)

### (3) RVI 処理による検出

単バンド処理, NDVI 処理と同様に RVI 処理によるヒストグラムを求め, 霜害茶畑を抽出した結果を Photo. 5 に示す。霜害地域は前の 2 方法に比べわずかに減少したが, この方法でも霜害茶畑の抽出が可能であることが示された。

### (4) 各処理の比較

単バンド処理, NDVI 処理ならびに RVI 処理により得た霜害茶畑の面積を比較すると, 霜害面積は全茶畑のそれぞれ 23.9%, 24.6% と 20.1% となった。このように, 単バンドと NDVI 処理結果はいずれも近似した値となったが, RVI 処理はこれらの処理に比べわずかに低い値となった。

ここで, RVI は NDVI と同様に植生指標として提案されている指標であるが, 本実験の結果, RVI 処理による霜害茶畑の検出率が他の 2 方法よりも異なった。また, NDVI 法と単バンド法はいずれも近似した検出率となったが, このように観測年度が異なるデータ値を比較して検出する場合には大気中の分光透過率が異なる単バンド法よりも, いくぶんなりとも透過率の修正がなされている NDVI 処理法がより有効な検出法だと考えられる。

## 要 約

茶畑に発生する遅霜による被害の発生機構を解明し, その対策を講じるための第一歩として, 水田よりも狭く, しかも点在する茶畑に生じた霜害畑の検出をリモートセンシングのデータを用いて試みた。

リモートセンシングで一般に用いられている手法の一つである教師付き分類法を用いて茶畑, 市街地と森林部の 3 つのカテゴリを設定し, これらのカテ

ゴリの各バンドにおける反射特性の差異を利用すると 90% 以上の割合で茶畑を抽出することが可能となった。

また, 疑似霜害の有無による茶葉の分光反射特性の差異を利用した Band-4, NDVI と RVI の演算指標を考案し, 抽出した茶畑に対してこれらの演算指標を適用した画像間演算を行うと, 霜害茶畑の検出が可能であることが示された。

今後, リモートセンシングデータに GIS (Geographic Information System) を用いると, 対象地の抽出精度が向上することが報告されており, これに霜害の程度を考慮した分光反射特性の差異に関する実験を行うと, 得られた処理画像は被害程度の推定まで可能になると思われる。

**謝辞** 本研究を遂行する上で, 教師付き分類法に有益な土地利用図を提供して下さった知覧町役場に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) Chaeles R. P. and Lyle F. L.: Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, **14**, 169-182 (1984)
- 2) D. L. Williams, R. F. Nelson and C. Lisette Dottavio: A georeferenced LANDSAT digital database for forest insect-damage assesment. *Int. J. REMOTE SENSING*, **6** (5), 643-656 (1985)
- 3) Dusek D. A., Blad B. L. and Musick J. T.: Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. *Remote Sens. Environ.*, **18**, 255-267 (1985)
- 4) E. Ishiguro, *et al.*: Use of rice response characteristics in area estimation by LANDSAT/TM and MOS-1 data. *Int. J. Photogrammetry and Remote Sens.*, **48** (1), 26-32 (1993)
- 5) Gardner B. R. *et al.*: Evaluation and interpretation of thematic mapper ratio in equation for estimating crop growth parameters. *Remote Sens. Environ.*, **18**, 225-234 (1985)
- 6) MacDonald R. B. and Hall F. G.: Global crop forecasting. *SCIENCE*, **208**, 670-679 (1980)
- 7) Martin Jr. R. D. and Heilman J. L.: Spectral reflectance patterns of flood rice. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **8**, 1885-1890 (1986)
- 8) McCloy K. R.: Use of rice response characteristics in classification using LANDSAT MSS data. *Int. J. Remote Sens.*, **8**, 735-740 (1987)
- 9) McCloy K. R., Smith F. R. and Robinson M. R.: Monitoring rice areas using LANDSAT MSS data. *Int. J. Remote Sens.*, **8**, 741-749 (1987)
- 10) M. Miyazato, *et al.*: Estimation of the area of rice paddy field using satellite data—By Band Ratio Method—. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.* **29**, 113-119 (1993)

- 11) 山本晴彦：葉の重なりおよび厚さが分光反射率に及ぼす影響，日本農業気象学会九州支部大会講演要旨，7-10(1991)

### Summary

In Kagoshima Prefecture, there has been a big amount of yield of tea leaves and an important place has been occupied by the tea-industry in the agriculture. In a part of southern Kagoshima, in April, 1985, large scaled tea fields were damaged severely with frost. It has been one of the important duties for us, to fix effective measures to meet the frost damage mechanisms elucidated.

As a first step, making of an effective discrimination of the frost damaged tea fields, using LANDSAT-5/TM data was attempted. Three categories, tea fields, urban area and forest zone, were established by a teacher's classification method which has been used frequently in Remote Sensing Techniques. It is possible to identify the tea-fields with more than 90% accuracy, provided that we shall make use of the differences observed among the characteristics of reflectance in the respective category for each measuring band with LANDSAT-5/TM.

Spectral reflectance for tea leaves (*Thea sinensis* L. var. Yabukita) which were damaged artificially as in case of the frost were measured with the hand-held spectroradiometer. Several indices, Band-4, NDVI and RVI, were devised from these experimental results.

It was ascertained that images processed by these indices for LANDSAT-5/TM data were effective to identify the frost damaged tea fields with a reliable accuracy.