

論文

衛星及び地上リモートセンシングを利用したサトウキビ塩害の調査解析と塩害対策の提言

後藤恵之輔*・後藤健介**・金 應南***

Sugar Cane Damage Caused by Typhoon-Brought Salt Water and Its Countermeasure Proposals Based on Remote Sensing Techniques

Keinosuke GOTOH*, Kensuke GOTO** and Eung-Nam KIM***

Abstract

As a result of the windy with little rain Typhoon 9713 which passed around the vicinity of Nansei Islands, Japan on August 18, 1997, a lot of salt damages occurred on the sugar cane fields. In order to evaluate these damages the ground remote sensing technique together with the Landsat Satellite data were used. At first as of the in-situ investigation by using the ground remote sensing technique such as a portable photometer and a thermal infrared camera at Amami-Oshima Island it was cleared that the damages occurred on the sugar cane farms by the salt water can be easily observed. Secondly, through the analysis of the Landsat Satellite data it was found out that the damaged areas in Amami-Oshima and Kikaishima islands can be detected by evaluating the normalized difference vegetation index (NDVI). Finally, based on these investigations the authors proposed that early detection with the ground remote sensing, the exact grasp of damaged areas using the satellite data and sprinkling with water sprinklers or vacuum cars are effective as the countermeasure against salt damages of sugar cane fields.

キーワード：塩害，サトウキビ，台風 9713 号，衛星リモートセンシング，地上リモートセンシング

Key words : salt damage, sugar cane, Typhoon 9713, satellite remote sensing, ground remote sensing

* 長崎大学工学部
Faculty of Engineering, Nagasaki University
** 長崎大学大学院海洋生産科学研究科博士課程
Graduate School of Marine Science and Engineering,
Nagasaki University

*** 大韓民国江原大学校非常勤講師
Kangwon National University, Korea

本論文に対する討論は平成 11 年 12 月末日まで受け付ける。

1. はじめに

1997年8月から9月にかけて、南西諸島では数十年に一度といわれるほどの塩害が起きた。この塩害を引き起こした台風9713号は典型的な風台風であり、その結果、強風によって海から運ばれ植物に付着した海塩粒子が、降雨等によって洗い流されることなく植物の生育を阻害し、生育旺盛期であったサトウキビ栽培に大打撃を与えた¹⁾。

しかしながら、残念なことに現在サトウキビの塩害対策は何もなされておらず、雨待ちであるのが実状である。対策を立てられない原因は、サトウキビは塩害を受けた直後には被害が可視化せず、1週間経ってから現れ、もうそのときは既に手遅れであるからである。しかし、実際にはサトウキビの内面では不可視的に何らかの変化が起こっているはずである。

そこで、本研究では大被害を受けた南西諸島のうち、奄美大島の笠利町、喜界島の喜界町を対象地とし、現地調査とともに衛星および地上リモートセンシングを用いて、目に見えない不可視情報を目に見える可視情報とし、サトウキビの詳細な塩害調査を実施することとした。これらの結果を踏まえて、今後のサトウキビ塩害の対策について若干の提言を行うものである。

ここで、既往の研究に触れてみる。サトウキビのリモートセンシングを用いた研究では、藤川²⁾がマルチスペクトルカメラを利用して、サトウキビの作柄評価を行ったものがある。塩害の一般論については、塩風害の発生機構について述べた幸喜³⁾の研究や、海塩粒子に関する鳥羽⁴⁾の研究がある。特に幸喜・島田⁵⁾、幸喜⁶⁾は、台風時の空中塩分付着量の推定に関する研究や、沖縄の飛塩に関する研究も行っている。

また、塩害の被害調査に関する研究事例として、三陸沿岸の塩害について総合調査を行った岩手県自治連絡協議会による報告書があり、この中で、後藤^{7), 8)}は塩分量と気象の関係や、マツについての調査を行っており、さらに雨および風によって運ばれる塩分の調査解析を行っている。これらの他には、茶園での塩風害発生機構について述べた青野ら⁹⁾や、カンキツの塩風害防止についての小

笠原¹⁰⁾の研究がある。サトウキビ塩害については幸喜³⁾の研究があるが、耐塩性のみについて述べているに過ぎない。

以上のように、塩分量に関することや植物の耐塩性についての研究はいくつかあるが、サトウキビ塩害の調査解析や今後の対策に関する既往の研究は皆無のようである。本研究の成果が、今後のサトウキビ塩害の調査解析やその対策に、少しでも役立てられれば望外の喜びである。

2. 調査解析の方法と対象地

2.1 調査解析方法

本研究で行う調査解析の方法をFig. 1に示す。

まず、研究対象地を選定し、そのサトウキビ畑を調査する。塩害を受けたサトウキビの内面の変

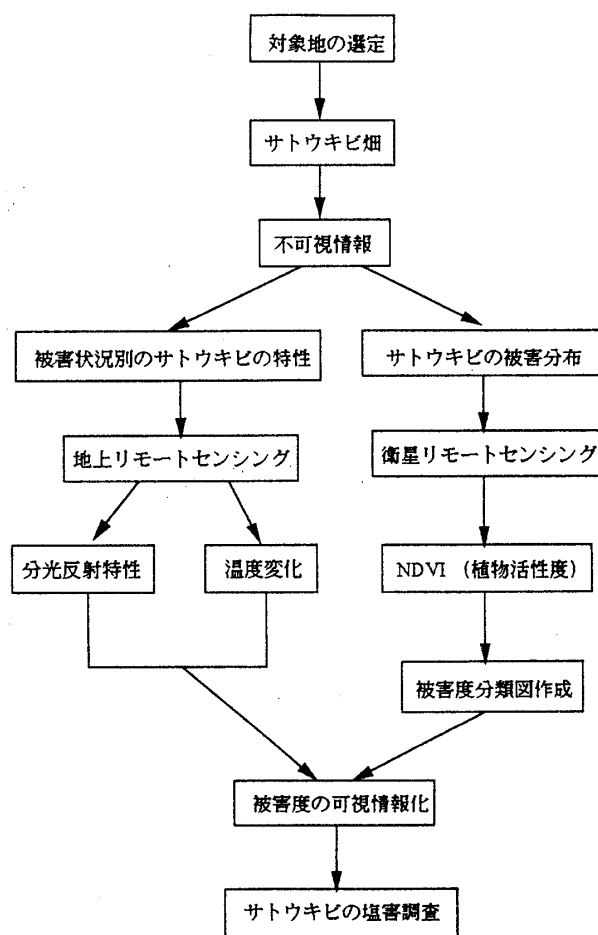


Fig.1 Investigation procedure of the salt-damaged sugar canes by using the ground remote sensing technique and the Landsat Satellite data.

化は、人間の目には見えない不可視情報であるので、これを可視化しなければならない。このためには、被害状況別のサトウキビの特性を調べたり、サトウキビの被害分布を知る必要がある。これを、前者について地上リモートセンシング、後者について衛星リモートセンシングをそれぞれ用いて解析する。

地上リモートセンシングによって得られる塩害サトウキビの分光反射特性および温度変化、衛星リモートセンシングによって得られる被害度分類図で、塩害を受けたサトウキビの特性とサトウキビ塩害の被害がどのように分布しているかを調べる。以上の方法で解析を進めていき、最終的に不可視情報を可視情報にするものである。

2.2 対象地

本研究の対象地は、塩害によるサトウキビの被害が大きかった奄美大島の笠利町と喜界島の喜界町とした。奄美大島および喜界島は、Fig. 2に示すように鹿児島県南部の南西諸島に位置し、笠利

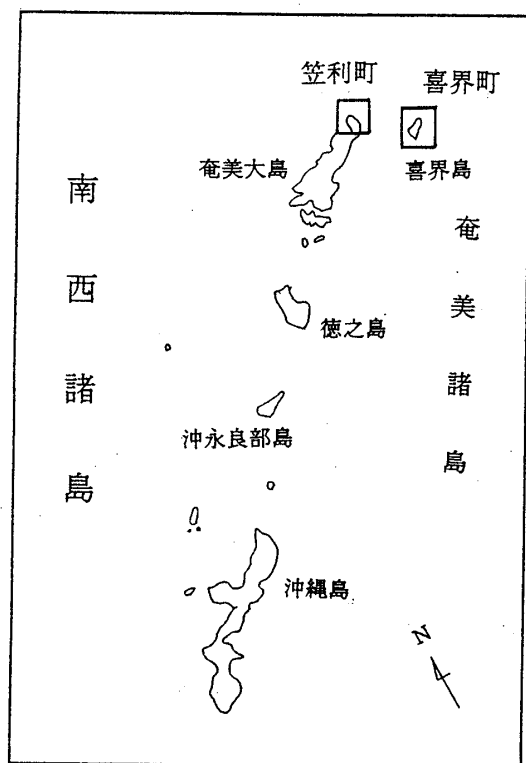


Fig. 2 The location of the investigated areas in Amami-Oshima and Kikaijima islands.

町は奄美大島の北部にある。

サトウキビ畑は笠利町では主に島の東側に広がっており、喜界町では島全体に広がっている。いずれの町もサトウキビが主な農産物になっており、今回に限らず塩害による減収は深刻な生活問題となる。

3. 台風 9713 号の概況

福岡管区気象台の報告¹¹⁾によれば、1997年度には25個の台風が日本に上陸または接近している。

なかでも、今回南西諸島を襲った台風9713号は、8月9日21時に北緯15.0度、東経154.9度のサイパン島の東海上に中心気圧1000 hPaで発生した。その後、Fig. 3のように進路を西北西にとり、17日、18日にはサトウキビが発育最盛期にある南西諸島を襲い、19日に中国大陸に上陸して消滅した。特に、今回被害が大きかった南西諸島の諸地域は、この台風の進路方向に対して右側に位置しており、台風の中心における上昇気流によって強風が吹き、この風が海から海塩粒子を吹き上げて塩害を起こしている¹²⁾。

この台風と一般的な雨台風である台風9719号との雨量を比較したTable 1をみてみれば、台風9713号は雨がほとんど降らない典型的な風台風であったことが分かる。このため、台風の強風で海から吹き上げられた海塩粒子が植物に付着し、通常であれば雨による洗浄作用によって除去されるはずの塩分が除去されず、塩害が起こったわけである⁶⁾。さらに、この台風が襲来した1997年8月は、Table 2に示すように、奄美大島では雨がほとんど降っておらず、平年と比べてわずか12%、一昨年(1996年)と比べても23%しか雨が降っていない。なお、本来であれば対象地域の気象記録をここで述べるべきであるが、Table 1, Table 2の記録しか得られず、喜界町の風向、風速、降雨の毎時の記録については入手できなかったことを付言しておく。

また、この台風の最低中心気圧は915 hPa、最大風速は50 m/sで非常に大型の台風であった。これに加え、台風の発生から消滅までの期間、つ

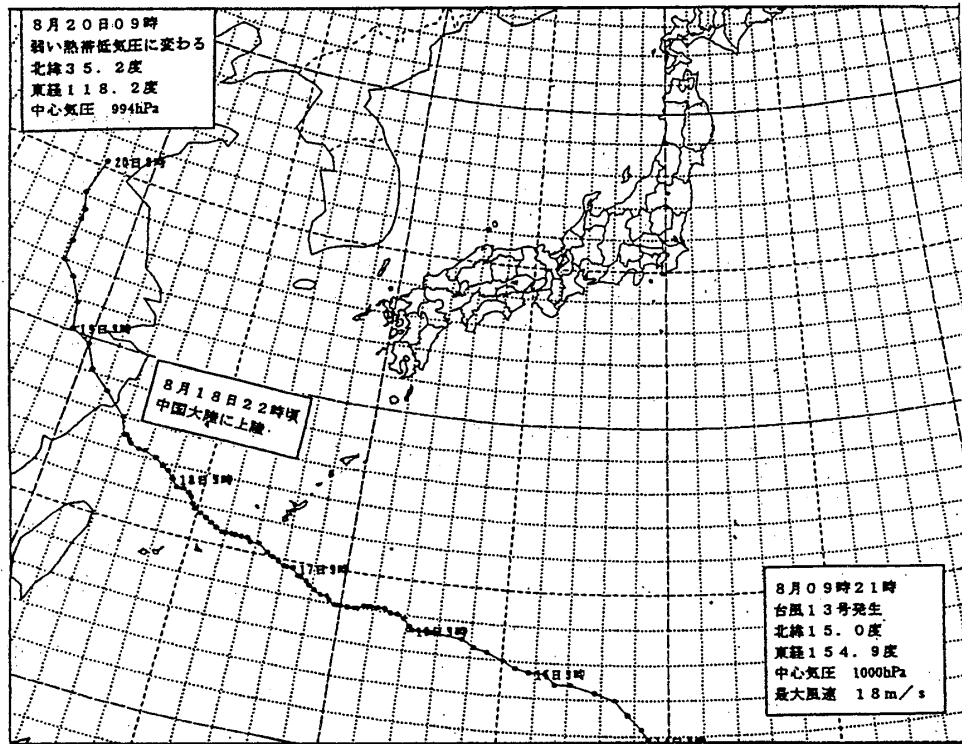


Fig. 3 Route map of Typhoon 9713 (after Fukuoka Meteorological Observatory).

Table 1 Comparison of the amounts of precipitation between Typhoon 9713 and Typhoon 9719.

	台風9713号	台風9719号
	8月16~17日	9月14~16日
大島本島	9.0	308.0
喜界島	0.0	*177.0
徳之島	17.5	209.0
沖永良部	31.5	109.0
与論	126.0	20.0
計	184.0	823.0

*喜界島は13~15日の数値 (単位 mm)

Table 2 The precipitation in Amami-Oshima in July and August of 1996 and 1997.

	7月	8月
雨量平年値	147.9mm	257.5mm
1996年降水量	44.0mm	139.2mm
1997年降水量	68.3mm	32.1mm
平年比	46%	12%
1996年比	155%	23%

まり台風の寿命は11日間であり、通常の台風の1週間に比べてかなり長命で、それだけ長く滞在して被害を大きくしたことが分かる。

以上のことから、台風9713号の特徴を簡単にまとめれば次のようになる。

- (1) サトウキビ栽培を行っている地域付近を通過していき、特に進路方向に対して右側に位置する地域(研究対象地を含む)で塩害の大きな被害が出た。
- (2) 降水量がわずかで、典型的な風台風であった。
- (3) 勢力圏が広く、非常に大型で強い台風であった。
- (4) 寿命が長く、ゆっくりとした速度であった。

これらの悪条件が重なって被害を大きくし、数十年に一度のサトウキビ塩害が起きてしまったのである。

4. 台風9713号によるサトウキビ被害の概況

今回の台風9713号による鹿児島県の被害をTable 3に示す(鹿児島県と同様に、雨が少なく

Table 3 Damages occurred by Typhoon 9713 in Kagoshima Prefecture.

	サトウキビの 被害額(千円)	サトウキビの 被害面積 (ha)
奄美大島	48042	557
名瀬市	163	2
龍郷町	3162	64
笠利町	42391	474
大島北部計	45716	540
宇検村	0	0
瀬戸内町	2326	17
住用村	0	0
大島南部計	2326	17
喜界町(島計)	160018	1076
徳之島	588703	3532
徳之島町	253776	1064
天城町	105468	1271
伊仙町	229459	1197
沖永良部島	78642	822
和泊町	54815	415
知名町	23827	407
与論町(与論島)	40739	583

風が強かった沖縄県でも被害が多く出ている。その被害については、資料調査を行っているが、これを付記することは紙面の都合上省略する。

サトウキビの塩害による、赤く変色するなどの可視変化は、台風直後の1997年8月18日にはほとんど見られず、10日後の28日には赤く変色し始めた。Photo 1 (a), (b) に、奄美大島笠利町用地区におけるサトウキビの変色状況を示す。普通、台風によるサトウキビの被害は、台風の目が通過した後、通過前と風向きが逆になり、さらに風が強くなる、いわゆる吹き返しによる折損が多く、この場合成長が完全に止まってしまう。これに対して、一般に塩害は、風によって海から運ばれた海塩粒子がサトウキビに付着し、これが雨などで洗い流されないでいることにより起こる。このことで生育が阻害され、健全なサトウキビの節間がこの時期約15cmであるのに対して、塩害を受けたサトウキビの節間はPhoto 2に見られるように短くなってしまい、これが減収につながってしまう。

しかし、笠利町役場の中川昌則氏の談によれば、塩害にあったサトウキビは成長が一度止まるが完



Photo 2 The effect of salt damage on the length of sugar canes.
(Photoed at Suno District, Kasari Town on Sept. 24, 1997)



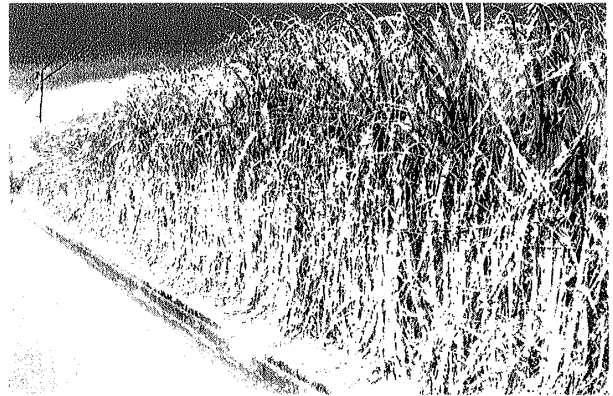
Photo 3 The remaining of salt on the pine tree after one month of the Typhoon at Kasari Town.
(Photoed at Suno District, Kasari Town on Sept. 22, 1997)

全に枯死するわけではなく、今回も台風9713号の通過後約1ヶ月の台風9719号の襲来前に、新芽が5, 6枚出るまで少し回復していた。そこに、台風9719号による大量の雨をもたらされて、塩害を受けたサトウキビは回復し、また成長を始めたのである。それでも、成長が一旦止まったことによる大幅な減収は免れなかった。

また、現地調査を行った同年9月22日～9月24日の時期でも、Photo 3に示すようにまだマツやその他の植物に塩害の跡が見られた。



(a) Just after the Typhoon
(Photoed at Yo District, Kasari Town on Aug.18, 1997)

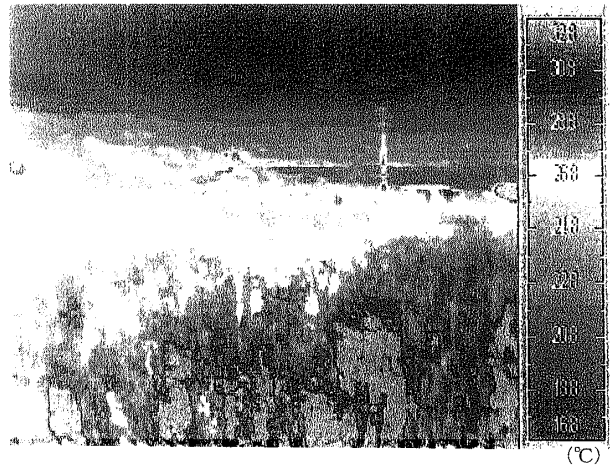


(b) 10 days after the Typhoon
(Photoed at Yo District, Kasari Town on Aug.28, 1997)

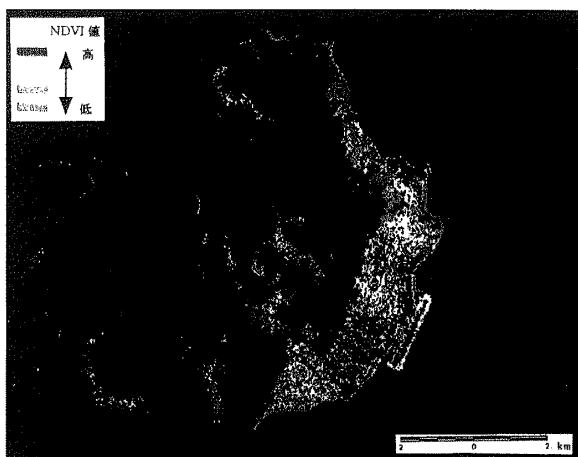
Photo 1 Variation of sugar cane leaves by salt damage (after Kasari Town Office).



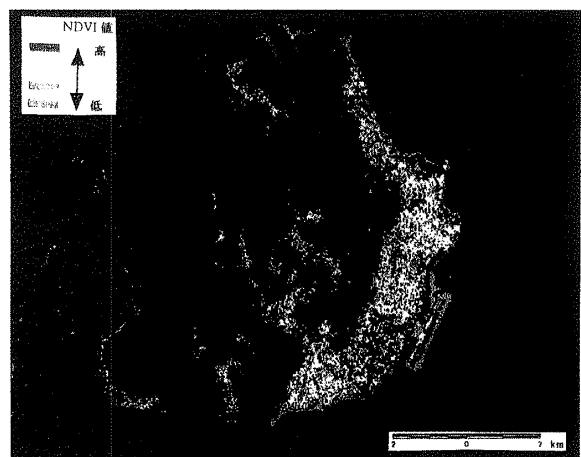
Photo 4 The state of sugar cane fields as obtained by the ground remote sensing technique. (Photoed on Sept. 24, 1997)



Imagery 1 The thermal image of the three subareas as obtained by the thermal video camera.



before the Typhoon



after the Typhoon

(a) Kasari Town

Imagery 3 Sugar canes images as obtained by NDVI.

5. 地上リモートセンシング解析

5.1 解析方法

サトウキビの塩害の被害は、台風直後ではなく1週間程度経てから現れる。このため、適切な対策を適切な場所で行うことができず、被害を最小限に食い止めることができない。しかし、外見上は健全なように見えても、内面ではそうとは限らず、付着した海塩粒子の影響で、何らかの変化が生じている可能性がある。

そこで、塩害を受けたサトウキビの被害度別の熱分布と分光反射特性を、サーマルカメラとスペクトルフォトメータを用いて調べ、健全時のサトウキビのデータと比較して、どのような変化が起こったのかを調べてみることにした。変化があれば、塩害が起こった場合の目安のデータとし、そのデータをもとに対策を行えばよいのである。

5.2 対象地

地上リモートセンシングの対象地は、鹿児島県奄美大島の笠利町で、あやまる岬付近のサトウキビ畑とした。海岸から約300m離れた、海拔高度約15~20mの所にあり、周辺には海からの風を遮るものもあまりなく、また、内陸方面にも同様に風を遮るものはなく、風通しの良い所である。ここは、Photo 4にあるように、被害状況からみて、健全なサトウキビと塩害および風害にあったサトウキビが混在している場所で、今回のようなデータを得るためには、最適な場所である。緑色

で現れている真ん中の部分は健全なサトウキビ、海岸に沿ってわずかに茶色がかった部分が塩害、手前の倒れている部分が風害を受けたところである。

塩害サトウキビは大半緑色で健全なサトウキビと見た目にはそれほど差はないが、このサトウキビ畑の周囲にはマツの木があり Photo 3 のように明らかに塩害を受けていたため、少し茶色がかったサトウキビを塩害サトウキビと判定した。現地調査は、1997年9月22日から9月24日にかけて行った。なお、台風9713号通過後の雨待ちであったところに大雨をもたらした台風9719号の通過後から現地調査を行った日までの降雨量については、本論の内容に影響ないものであるため、ここでは省略した。

5.3 結果

今回使用したのは、NEC三菱製 TH3101 MRモデルのサーマルカメラと、阿部設計製 2703型のスペクトルフォトメータである。これらの装置を用いて、Photo 4の場所を測定した。

まず、サーマルカメラで測定した画像を Imagery 1 に示す。これを見れば、塩害、風害を受けたサトウキビは健全なサトウキビよりも温度が高いことが分かる。塩害を受けたサトウキビは健全なサトウキビよりも若干温度が高く、風害を受けたサトウキビは、塩害を受けたサトウキビよりもさらに温度が高かった。

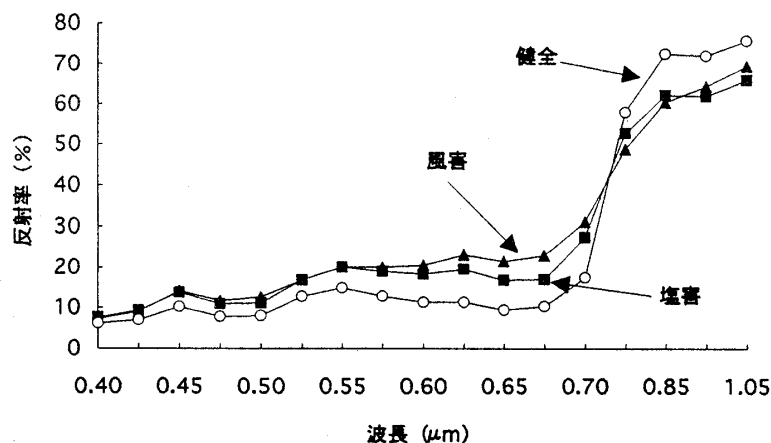


Fig. 4 Spectral reflectance of the three subareas.

次に、分光反射特性を観測できるスペクトルフォトメータを用い、被害別のサトウキビを同時期、かつ同時に調査した。その結果、それぞれのサトウキビの各波長ごとの反射率を示したものが Fig. 4 である。この結果から、塩害および風害を受けたサトウキビは、健全なサトウキビに比べて可視光域のすべての波長帯で、反射が相対的に高くなっている。また、逆に近赤外域では、塩害および風害を受けたサトウキビが、健全なサトウキビに比べて反射が低くなっていることが分かる。

5.4 考察

以上のように、サーマルカメラおよびスペクトルフォトメータを用いた地上リモートセンシングで、サトウキビの被害状況による温度変化と分光反射特性の変化について解析した。

まず、サーマルカメラによる解析では、塩害および風害の被害を受けたサトウキビは、健全なサトウキビに比べて表面温度が高いことが分かった。これは、被害を受けたサトウキビでは蒸散作用が低下し、これによって周囲の空気から気化熱をあまり奪わなくなったため、温度が高くなったと考えられる。

特に、風害を受けたサトウキビは、枯死している状態に近いために生理機能が弱まっており、蒸散がほとんど行われていないことから、温度が健全なサトウキビと比べかなり高かったと思われる。

また、塩害を受けたサトウキビは、完全に枯死しているわけではなく、成長が一時止まって、そこからまた成長が始まっているので、健全なサトウキビほどではないにしろ蒸散が行われており、風害を受けたサトウキビほど温度が高くなかったと思われる。

これらのことから、サトウキビが受けた塩害をサーマルカメラという装置を使って定量的に調査することができ、塩害を受けたサトウキビは、風害を受けたサトウキビほどではないが、健全なサトウキビよりも相対的に温度が高くなっていることが明らかとなった。

次に、スペクトルフォトメータによる解析では、塩害、風害を受けたサトウキビと健全なサトウキ

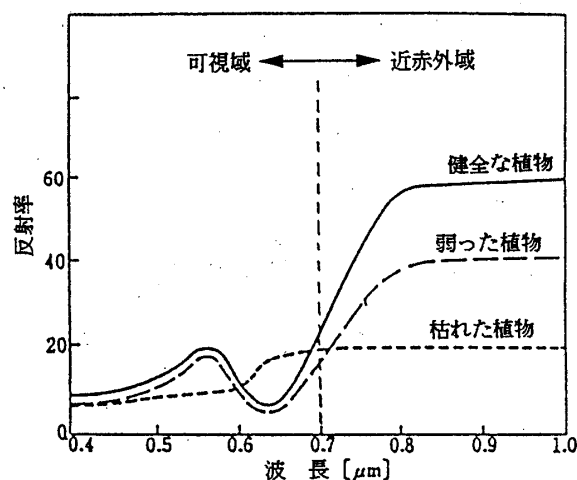


Fig. 5 Comparison of the spectral reflectance between healthy, damaged and dead vegetations.

ビの各分光反射特性を調べた。

ここで、植物の分光反射特性について簡単に述べてみることにする。Fig. 5 は植物の活力度による分光反射特性を示したものである。これによれば、植物が健全でみずみずしい状態のときには、可視光域において $0.55 \mu\text{m}$ 付近の波長帯（緑色光域）で、特徴的なピークを有する。植物の葉が緑色に見えるのはこのためである。また、近赤外域においては、植物ははるかに強い反射特性を示す。しかし、植物が病気などによって弱ってくれば、この近赤外域の反射は低下し、さらに活力を失い枯れてしまうと、近赤外域の反射は著しく低下するとともに、可視光域においては $0.65 \mu\text{m}$ 付近の波長帯（赤色光域）で反射が上がる。植物が赤く見えるのはこの特性によるものである¹³⁾。

このことを踏まえて考察してみる。スペクトルフォトメータでの調査結果から、健全なサトウキビは可視光域において $0.55 \mu\text{m}$ 付近の波長帯（緑色光域）でピークを有していることが分かる。また、近赤外域においては最も強い反射率を示しており、活力があることが分かる。

風害を受けたサトウキビは、可視光域において $0.65 \mu\text{m}$ 付近の波長帯（赤色光域）でピークを有している。近赤外域では健全なサトウキビに比べ反射率は低くなっている。

塩害を受けたサトウキビは、健全なサトウキビ

ほど大きくないが、同様に $0.55 \mu\text{m}$ 付近の波長帯でピークを有している。近赤外域においては、健全なサトウキビと比べ反射率は低くなっている。スペクトル曲線の特徴は、健全なサトウキビとあまり変わらないように見えるが、起伏が余りなく少しなだらかな曲線になっている。

これらのことから、塩害を受けたサトウキビは、外見上緑に見えて健全なサトウキビと余り変わりが無いように見えるが、近赤外域において反射率が小さく、内面では活力が低下して、弱っている状態であることを示す変化が起こっていることが分かった。

また、塩害を受けたサトウキビは、被害を受けた後約1週間の間で成長が一度止まり、内面の変化が起こることが今回の解析から分かったため、台風通過後直ちに測定したとしても、今回の結果と類似した結果が得られると考えられる。

以上のことから、サーマルカメラおよびスペクトルフォトメータを利用することによって、塩害を受けたサトウキビの特性を定量的に知ることができた。このデータから、外見上見つけ出しにくい塩害を受けたサトウキビを抽出することができ、早期に対策を施し、被害を最小限に留めることができる。

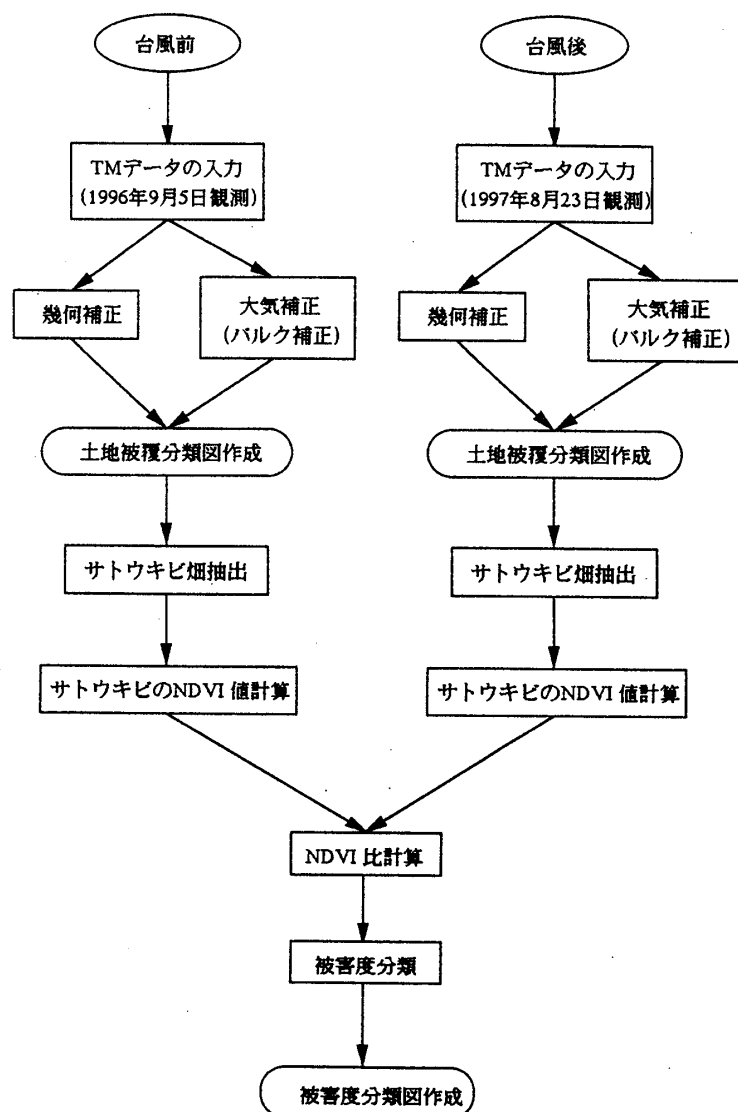


Fig. 6 Flow chart for the detection of the salt-damaged sugar cane fields using the Landsat Satellite data.

6. 衛星リモートセンシング解析

6.1 解析方法

この解析では、衛星データを用いて植生指標 NDVI 値を計算し、最終的に被害度分類図を作成して、対象地全体でサトウキビの被害がどこどのように分布しているかを調べた。なお、今回の衛星リモートセンシングの解析には、解析装置として ERDAS IMAGINE を使用している。

解析方法のフローチャートを Fig. 6 に示す。解析には、Landsat 衛星の TM データを使用した。この TM データは解像度が 30 m で、対象地を広範囲にとらえることができ、サトウキビ畑が両島全体でどのように塩害を受けたのかを調べるには十分であると考えられる。

データは塩害を受けたと考えられる夏の時期に合わせ、サトウキビの健全時のデータとして 1996 年 9 月 5 日観測、塩害時のデータとして 1997 年 8 月 23 日観測のものを用いた。

サトウキビの塩害による被害を知るには、サトウキビの活性度がどのように変化したかを調べればよい。その活性度を植生指標によって知ることができる。植生指標にはいくつか種類があるが、一般には正規化植生指標 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) が多く用いられている¹⁴⁾。本研究においてもこの植生指標を用

いた。NDVI は次式によって表すことができる。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

ここで、NIR：近赤外域の観測値

VIS：可視光域の観測値 (分光されている場合は赤色域)

今回は TM データを用いているので、計算式は次のようになる。

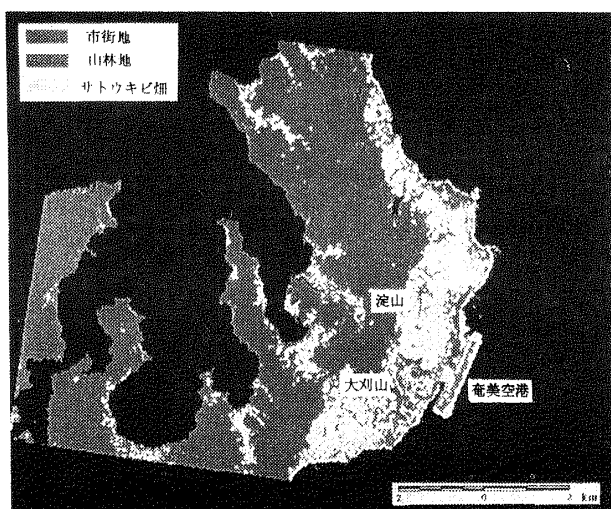
$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

ここで、TM4：バンド 4 の反射輝度

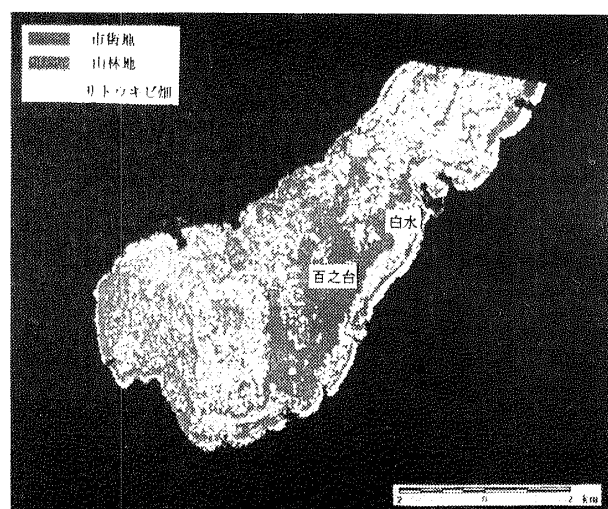
TM3：バンド 3 の反射輝度

活性の低下した植物、すなわちここでは塩害を受けたサトウキビは、近赤外域の反射が弱くなり TM4 の値が小さくなる一方で、赤色域の反射が強くなって TM3 の値が大きくなる。活性の良いサトウキビではこの逆である。したがって、塩害を受けたサトウキビは活性が低下して、NDVI 値が減少することになる。

この NDVI 値を、地形図と台風前後のトゥルーカラー画像を参考にしながらデジタイザーで分類して作成した土地被覆分類図 (Imagery 2 (a), (b) 参照) にしたがって、サトウキビ畑の部分のみで計算し、2 時期の NDVI 値を比較し、どれだけの被害を受けたかを調べる。方法としては、以下の式のように被害後 (台風後) のデータを健全

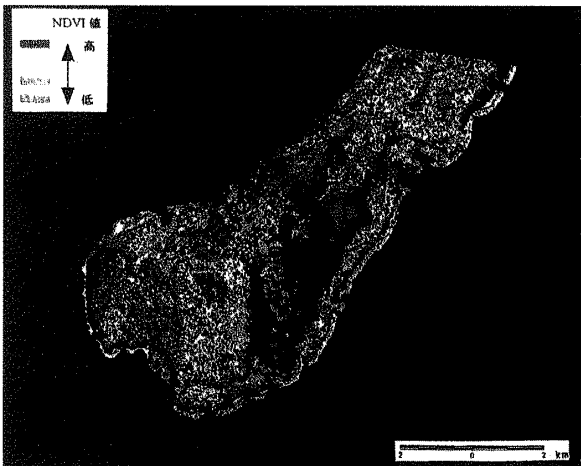


(a) Kasari Town in Amami-Oshima

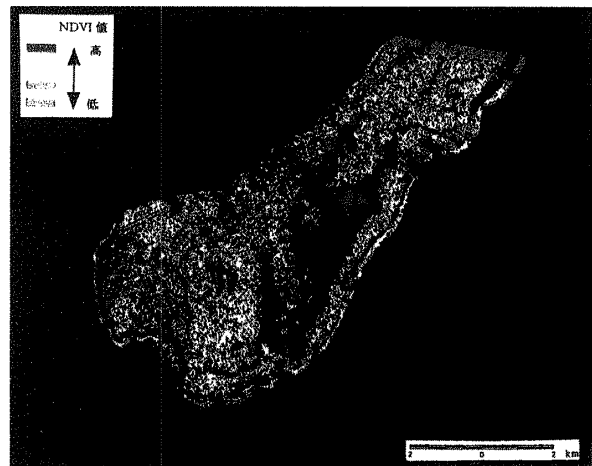


(b) Kikai Town

Imagery 2 Land classification as obtained by the Landsat Satellite data.



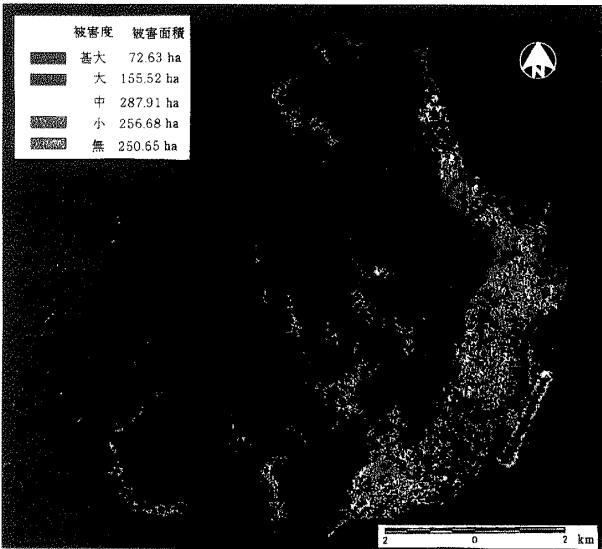
before the Typhoon



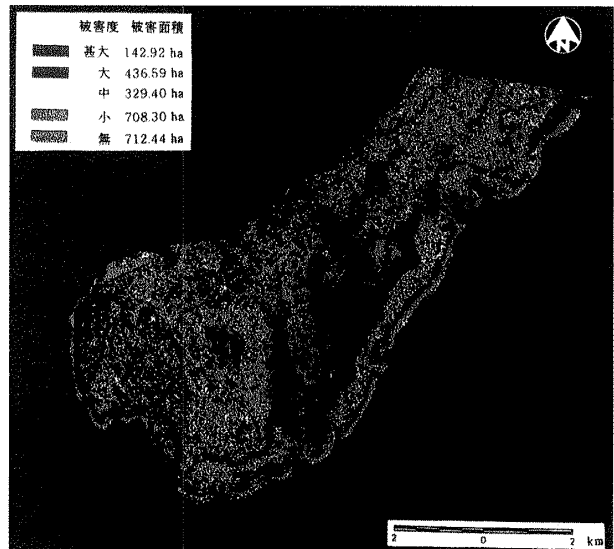
after the Typhoon

(b) Kikai Town

Imagery 3 Sugar canes images as obtained by NDVI (contd.).



Imagery 4 Salt damage classification of sugar cane fields based on the NDVI values for Kasari Town.



Imagery 5 Salt damage classification of sugar cane fields based on the NDVI values for Kikai Town.



Photo 5 Recommended water sprinklers (after Kasari Town Office).

喜界町全図

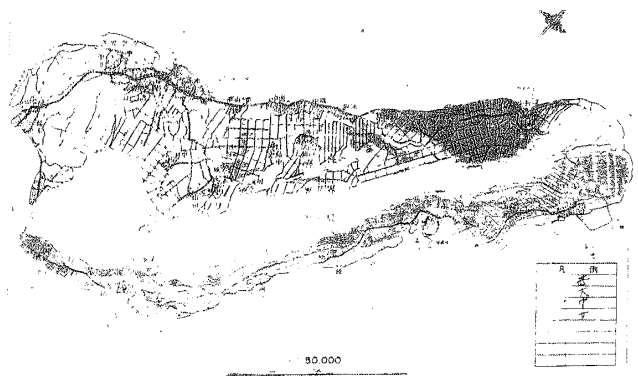


Fig. 7 Man-made salt damage classification of sugar cane fields for Kikai Town (after Kikai Town Office).

時（台風前）のデータで割り、比をとればよい。

$$\text{NDVI 比} = (\text{被害後の NDVI 値}) / (\text{健全時の NDVI 値})$$

すなわち、今回は以下ようになる。

$$\text{NDVI 比} = (\text{1997年8月23日の NDVI 値}) / (\text{1996年9月5日の NDVI 値})$$

被害度分類図が作成できれば、我々人間の目には見えないサトウキビの内面の変化（不可視情報）を目にみえるもの（可視情報）にすることができるのである。

6.2 結果

Imagery 3 (a), (b) に、笠利町および喜界町の 2 時期のサトウキビ畑の NDVI 画像を示す。NDVI 値が高いものから赤、黄、緑、水色で表している。これらと比較してみれば、台風前よりも台風後で NDVI 値が高いことを示す赤色および黄色の部分が、笠利町、喜界町のいずれでも減少しており、全体的に植物活性度が塩害後に低下していることが分かる。Imagery 4 と Imagery 5 は、Imagery 3 (a), (b) の NDVI 値を比較し、植物活性度を表す NDVI 値がどれだけ変化したかを示した、笠利町および喜界町の被害度分類図である。被害度分類は甚大、大、中、小、無の 5 段階とし、その分類の境界値は Table 4 のようにした。

Table 4 Degree of salt damage classification based on NDVI value.

境界値	被害度	色
0.7未満	甚大	赤
0.7~0.8	大	ピンク
0.8~0.9	中	黄
0.9~1.0	小	青
1.0以上	無	緑

Imagery 4 から、笠利町では東側の海岸線で被害が大きく、特に、奄美空港の北西に位置する大刈山と淀山の間で被害が大きいたことが分かる。全体的に見れば、笠利町の南東部で被害の大きい場所が多くなっている。被害面積は甚大が 72.63 ha、大が 155.52 ha、中が 287.91 ha、小が 256.68 ha、無が 250.65 ha と求められる。

また、Imagery 5 から、喜界町でも南東側の海岸付近で被害が特に大きいが、被害の大きい場所は島全体に分布しているのが認められる。被害面積は、甚大が 142.92 ha、大が 436.59 ha、中が 329.40 ha、小が 708.30 ha、無が 712.44 ha となっている。

これら笠利町および喜界町の被害面積を、Table 5 に比較して示す。この表から、喜界町の被害面積は笠利町のそれより 2 倍以上大きいことが明らかである。

6.3 考察

2.2 で述べたように、笠利町は、主に島の東側にサトウキビ畑が広がっており、サトウキビ畑の約半分にあたる約 516 ha が被害度が中以上で、被害が大きかったことが分かる。特に海岸沿いは被害が大きく、海塩粒子の濃度が高く風速も強いことが原因と思われる。また、奄美空港の北西部で被害が大きくなっている。これは大刈山と淀山の間で道路が通っており、これによりこの場所に風が吹き込み、風速も強くなったからであると思われる⁵⁾。

島全体で見れば、西側のサトウキビ畑よりも東側のサトウキビ畑の方が被害が大きい。台風は反時計回りで、これによる吹き返しで島の東側に被害を多く出すことになったと考えられる¹²⁾。ま

Table 5 Areas of the salt-damaged sugar cane fields.

被害度	笠利町	喜界町
甚大	72.63 ha (7%)	142.92 ha (6%)
大	155.52 (15%)	436.59 (19%)
中	287.91 (28%)	329.40 (14%)
小	256.68 (25%)	708.30 (30%)
計	772.74 ha (75%)	1617.21 ha (69%)

た、島の中央から西にかけては山があるが、これを海からの風が越えて、西側のサトウキビにも被害を与えていることも分かった。

これに対して、喜界町はサトウキビ畑が島全体に広がっている。その結果、被害は島全体に分布しており、特に島の北部の中央は被害が大きい。東側の海岸沿いには針葉樹林帯があるが、海塩粒子を含んだ海風がこれを越えていることが分かる。また、島の南東部には、東海岸から約 500 m 離れた地域に、海拔高度約 140~200 m の百之台という台地が広がっているが、海風がこの台地を越えて南西部にも被害を及ぼしていることが分かる。海岸沿いはやはり被害が大きくなっている。白水周辺も被害が大きくなっているが、ここも西側に前述した台地が広がっており、海からの風を包み込むような地形になっているためと思われる。

以上のことから、塩害は笠利町、喜界町の両方でサトウキビ畑全体に被害を及ぼしており、特に高い山でなければ、土地の起伏に関係なく被害を及ぼしていることが分かった。このことから考えて、対策として防風林を設置する場合には、よほど密にサトウキビ畑の周りを囲むように設置しなければ効果がない。

このように被害度分類図を作成することによって、植物活性度という植物の内面の情報を用いて、サトウキビの塩害による被害が島全体でどのように分布しているのかを知ることができる。

7. 今後のサトウキビ塩害の対策

今回のように数十年に一度とまでいわれる塩害によって、南西諸島の主たる農産物であるサトウキビが被害を受け、農家の人々の生活まで脅かされるに至っている。それにも関わらず、対策の立てようがないまま、ただ雨が降るのを待っているのが現況である。サトウキビは、塩害を受けても直後に被害が可視化しないことがその原因であるが、今回のように地上リモートセンシングの技術を用いることによって、サトウキビは体の異常を我々の目には見えない信号で知らせていたことが分かった。

このことから、被害が可視化するまでの約 1 週

間の間に、地上リモートセンシングによって(サーマルカメラもしくはスペクトルフォトメータのどちらか一方だけでもよい)塩害を受けたサトウキビを早期に発見し、干害対策として行われているスプリンクラー (Photo 5 参照) や、バキュームカーなどによるかん水をなるべく早くそれらのサトウキビに対して行うことが、最も効果的であると思われる。簡単なことだが、このように今まで困難であった塩害を受けたサトウキビの早期発見が、対策を行ううえで一番重要なことなのである。この解決方法として、地上リモートセンシングはまさに打って付けの技術である。ただ、南西諸島のように台風の通過回数が多いところでは、恒久的な対策として、防風林の設置などで風を弱めたりすることも考える必要があると思われる。

また、どのような場所でどれくらいの被害が出ているかという被害分布を詳しく知るのには、今後の対策を考えるに当たり重要なことで、そのためには詳細な被害度分類図を作成することが必要である。今までのように現地調査によって作成された被害度分布図では、人間の目に見える被害、すなわち可視化した被害しか確認できず、見る人の判断に委ねられていたが、衛星リモートセンシングを用いることによって、より詳細に、そして定量的に被害度分布図を作成することができる。なお、Fig. 7 は喜界町役場が地上踏査により作成した被害度分類図である。この図と今回衛星リモートセンシングを用いて作成した被害度分類図 (Imagery 5) を比較してみれば、どれだけ今回作成した分類図が詳細に描けているかが分かる。さらに、Fig. 7 と Imagery 5 からそれぞれ求められたサトウキビの被害面積の合計を比較してみても、役場によるものが 1076 ha であるのに対して、衛星リモートセンシングによるものが 1617.21 ha となり、目には見えない不可視情報を解析できたことで、より詳細な被害を確認できたことが分かる。

以上のことは、サトウキビだけに限らず、他の植物の塩害調査や対策にも役立てることが可能である。このようなリモートセンシングの応用によって、今までは困難であった植物の塩害調査解析の

新たな方法と、新しくしかも簡単な対策を行うことが可能になっていくのではないかと著者は思う次第である。

8. おわりに

本研究では、台風9713号によってもたらされたサトウキビの塩害調査を、地上リモートセンシングおよび衛星リモートセンシングを利用して行った。地上リモートセンシングでは、被害が大きかった笠利町のサトウキビの温度変化と分光反射特性を、そして衛星リモートセンシングでは、笠利町および、これと同じく被害の大きかった喜界町のサトウキビの植物活性度を調べた。

これらの調査解析から、次の結果を得ることができた。

- (1) 台風9713号は典型的な風台風であり、このため雨がほとんど降らず、塩害を引き起こした。また、この台風の特徴が塩害の被害を大きくしてしまった。
- (2) 地上リモートセンシングを利用して、サトウキビの被害状況別による温度変化、分光反射特性を調べることで、サトウキビの塩害に対する特性を知ることができた。特に健全なサトウキビと塩害を受けたサトウキビの特性を比較してみることで、塩害を受けたサトウキビの特性を浮き彫りにすることができた。このことにより、サトウキビ塩害の対策を立てることが可能になった。
- (3) 地上リモートセンシングによる解析の結果、塩害を受けたサトウキビの早期発見が、対策を立てるうえで最も重要である。
- (4) 対策としては、発見した塩害サトウキビにスプリンクラーやバキュームカーなどによるかん水を行うことが、簡単かつ最も効果的な方法である。
- (5) 衛星リモートセンシングを利用して、塩害を受けたサトウキビの植物活性度の変化を調べ、被害がどのように分布しているを知ることができた。
- (6) 衛星リモートセンシングを用いることで、今までよりも詳細かつ定量的に被害度分類図を作

成することができる。

以上のように、地上リモートセンシングと衛星リモートセンシングの技術によって、塩害を受けたサトウキビの内面の変化（不可視情報）を可視情報に換え、塩害を定量的に調査することができた。このことは、被害が可視化する以前に対策を効果的に行い得ることを示唆するものである。

また、今回の現地調査は、サトウキビが塩害を受けて約1ヶ月後に調査を行った。塩害を受けたからの経過時間は、塩害を受けたサトウキビの特性を解析する上で、非常に重要となってくると思われるが、新聞等で台風9713号による塩害を確認してから現地調査を計画したため、塩害を受けた直後に調査を行うことは不可能であった。しかし、今回の現地調査によって被害別によるサトウキビの特性を知ることができ、この結果により、今後の塩害の対策を考案することができた。さらに、今回の研究によって、被害を受けて（塩をかぶって）からどれだけの時間が経過してから、地上リモートセンシングによる調査を行えば良いかも分かった。塩害を受けたからの経過時間については、今後の課題として、実験や現地調査を行い、研究を進めていく必要があるだろう。

いずれにしても、効率良い対策を行い被害を最小限に留めるためには、まずサトウキビの塩害の調査方法を確立することが先決であり、これに本研究が少しでも役立てられれば幸いである。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、協力を惜しまれなかった下記の各署、各氏には貴重な資料や情報を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表したい。また、紙面の都合上ここに記すことができなかった各署や各氏にも、多大の協力をいただいた。ここに深甚の謝意を表する次第である。

- ・鹿児島県大島郡笠利町役場 産業振興課
糖業係長 中川昌則氏
畜産・水産係主査 手島 正氏
- ・鹿児島県大島郡喜界町役場 経済課
- ・鹿児島県農産課 伊藤氏
- ・生和糖業株式会社

- 福岡管区気象台
- 南海日日新聞社編集局
報道部副部長 武下宜史氏
- 九州大学農学部 高山昌照教授
- 岩手県自治連絡協議会事務局

参 考 文 献

- 1) 朝日新聞, 1997. 9.3 付.
- 2) 藤川武信編: リモートセンシングによるサトウキビの作柄評価, 自然災害特別研究成果, pp.129-171, 1979.
- 3) 幸喜善福: 塩風害の発生機構, 1987年九州西北部における台風12号による強風災害の調査研究, pp.48-57, 1988.
- 4) 鳥羽良明: 海塩粒子, 海と空, Vol.41, No.3・4, pp.1-48, 1966.
- 5) 幸喜善福, 島田賢司: 強風(台風)時における空中塩分付着量の推定に関する研究(II), 砂丘研究, Vol.34, No.2, pp.17-23, 1987.
- 6) 幸喜善福: 海岸保全の見地からの沖縄の飛塩に関する研究, 琉球大学農学部学術報告, Vol.25, pp.427-554, 1978.
- 7) 後藤達夫: 岩手県種市町における雨および潮風によって地上に運ばれる塩分について, 三陸沿岸の塩害総合調査報告書, 岩手県自治連絡協議会, pp.1-28, 1962.
- 8) 後藤達夫: 三陸沿岸における雨および潮風によって陸地に運ばれる塩分について, 三陸沿岸総合調査報告書, 岩手県自治連絡協議会, pp.49-119, 1966.
- 9) 青野英也, 梁瀬好充ほか: 茶園の潮風害発生機構, 農業気象, Vol.30, No.3, pp.131-140, 1974.
- 10) 小笠原佐代市: カンキツの潮風害防止技術, 農業気象, Vol.29, No.1, pp.41-45, 1973.
- 11) 福岡管区気象台提供資料.
- 12) 島田守家: 暴風・台風びっくり小事典, 講談社, pp.32-33, 1992.
- 13) 後藤恵之輔: 森林の気象災害とリモートセンシング, 気象利用研究, Vol.2, pp.50-54, 1989.
- 14) 日本リモートセンシング研究会編: 図解リモートセンシング, 日本測量協会, pp.94-95, 1992.

(投稿受理: 平成10年4月23日
訂正稿受理: 平成10年11月20日)