

論文

植物活性に着目した  
台風 9119 号による  
塩害停電のリモート  
センシング解析

後藤恵之輔\*・後藤健介\*\*・大田哲男\*\*\*

Remote Sensing Analysis for Salt-Damage Triggered Power Failures due to Typhoon 9119 with Reference to Vegetation Vigour

Keinosuke GOTOH\*, Kensuke GOTO\*\* and Tetsuo OHTA\*\*\*

Abstract

The Typhoon 9119 attacked the northern part of Kyusyu District, the western part of Yamaguchi Prefecture and Hokkaido District on September 27 to 28, 1991. This typhoon was so strong that considerable damages on cedars forests in Hita City, Oita Prefecture, apples orchards in Aomori Prefecture and others were yielded. One of its characteristics was a windy typhoon which triggered a lot of power failures due to salt damage in Chugoku District including Hiroshima, Yamaguchi and Okayama Prefectures. In this paper the authors analysed these power failures in Yamaguchi Prefecture by comparing two sets of the vegetation vigour data obtained from satellite remote sensing before and after the typhoon. The satellite data were MOS-1/MESSR data with the space resolution of 50 m and the vegetation vigour was calculated by RVI (Ratioed Vegetation Index). As a result the distribution map of salt damages examined by RVI almost coincided with that of salt-damage triggered power failures obtained by surveying in situ. Lastly the countermeasure against this kind of power failures was proposed with space and ground remote sensing technique.

キーワード：リモートセンシング，塩害停電，台風，植物活性

Key words : remote sensing, salt-damage triggered power failure, typhoon, vegetation vigour

\* 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  
Graduate School of Marine Science and Engineering,  
Nagasaki University

\*\*\* 長崎県土木部  
Public Works Division, Nagasaki Prefectural Office

本論文に対する討論は平成12年3月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

1991年9月27日夕方から28日朝にかけて九州北部、山口県西部そして北海道を襲った台風9119号は、瞬間最大風速が50 m/s以上という非常に強い台風であり、通常の雨台風とは違い、強風のわりに雨が降らないという典型的な風台風であった。この台風の影響で、例えば大分県日田市のスギ林や青森県のリング園などに大打撃を与えたほか、多数の停電も引き起こした。特に、停電被害においては台風9119号は史上最大規模のもので、産業各方面に多大な影響を及ぼした。この停電被害は、電柱や送電線の倒壊によるものは勿論のこと、がいしや変圧器などの絶縁不良によるものが多かったという特徴があった。これは、台風9119号が風台風であったために海水を内陸部に撒き散らし、海水中の塩分が絶縁体のがいしや変圧器などに付着したからである。この塩害による停電、すなわち塩害停電の被害は、電柱の倒壊などにより台風通過後すぐに起こる停電とは違って、がいしや変圧器に付着した塩分が台風後しばらくしての降雨により溶け出して絶縁不良となるため、約1日遅れの時間差で起こることが多く、また被害面積も広いので復旧に時間がかかってしまう。

台風9119号による塩害停電についての研究は、この台風の気象状況や被害状況を整理し、特に風速について様々な検討を行い、その中で停電被害の概況について述べた自然災害研究会による研究<sup>1)</sup>、塩害と内陸への塩分侵入量について述べた田中・鳥羽の研究<sup>2)</sup>、九州地区における送電用鉄塔および配電柱の被害分布について調べた前田の研究<sup>3)</sup>、中国地方および九州地方の配電柱の被害について報告した林らの研究<sup>4)</sup>、また、九州、山口各県の被害の概況を調べ、この中で停電被害について述べた中吉の研究<sup>5)</sup>などがある。しかし、これらの研究は現地調査を主としたもので、リモートセンシングを用いて塩害停電を調べた研究は、著者らの知る限り見当たらないようである。さらに、既往の研究では塩害停電の対策について述べたものは無いようである。塩害停電の対策は困難であるため、現在でも事前に耐塩がいしに取り替

えるか、事後にがいしの洗浄を広範囲に行うしか方法はない。しかし、塩害停電の広域性を考えれば、これらの方法では復旧作業の能率低下は免れない。

そこで、本研究では広域観測を一大利点とする人工衛星データを利用し、樹木の植物活性に着目して、その台風前後の変化から塩害停電の被害域を抽出するとともに、リモートセンシング技術を用いた新たな塩害対策の方法を考案した。成果の確認は、実際の塩害停電の被害分布と比較することで行った。なお、人工衛星リモートセンシングによる塩害停電の被害地抽出は、山口県地方を対象地とした。

この研究で対象とする塩害停電は、150時間(約1週間)という短い期間の問題のようであるが、復旧作業に時間がかかることや、停電の間に停電にあった人や世帯ではどれほど生活に難儀をきたすか、更に健常者だけでなく、高齢者や車椅子利用者等の障害者がどれだけ大変であるかを考えれば、早急の塩害対策が必要となってくる。以上のことから、現在社会において、本論で取り上げている塩害停電とそれに対する本論の成果が重要となってくるものと考えている。

## 2. 台風9119号の概要

台風9119号は、1991年9月13日午前9時にマーシャル諸島の西海上(北緯14度50分、東経158度40分)に発生し、西に進みながら発達して、その後進路を北北東に変え、9月27日午後4時過ぎに長崎県佐世保市の南に上陸した(図1)。そして、九州のほぼ全域を暴風域に巻き込み、速度をさらに早めながら九州北部、島根県の北海上を横断し、28日午前8時前に北海道南部に再上陸、その後勢力を弱めてオホーツク海に抜け、同日午後3時に千島付近で温帯低気圧に変わった<sup>1),5),6),7)</sup>。この台風が26日~27日にかけて通過した東シナ海の海水温度は27~28℃と高く、その分水蒸気が多く発生して台風を補給され続け、強い台風に発達させた。その結果、通常であれば日本に近づくにつれて勢力を弱めることが多い台風が、東シナ海上を通過する際に一時勢力をさら

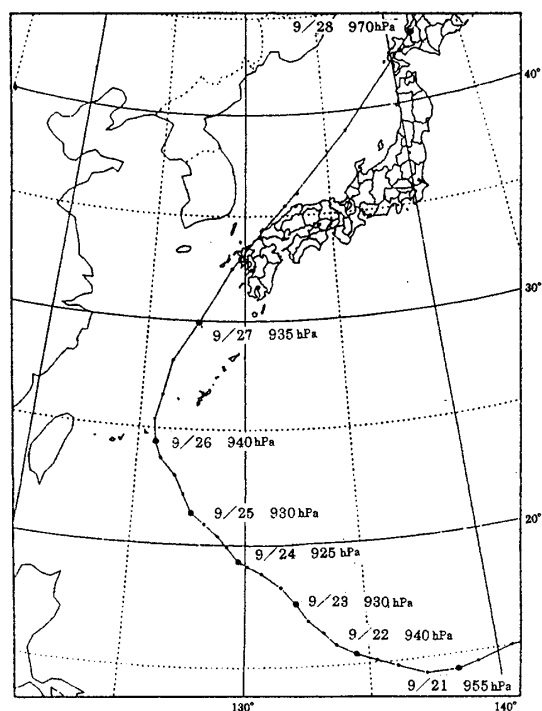


図1 台風9119号の経路(福岡管区気象台提供)

に強めている。

このように台風9119号は、強い勢力を保ちながら日本列島を足早に横断し、九州・中国地方では40 m/sを超す暴風が吹き荒れ、各地の気象台では観測史上最大の風速を記録した。特に、鹿児島県下甕島では最大瞬間風速88 m/sを記録した。また、上陸時の気圧も940 hPaと非常に低く、この台風が大型で非常に強い台風であったことが分かる。しかし、台風の動きが速かったため、9月26日から28日にかけての総降水量が、100～150 mmに達した北部の島根県境などの一部で大雨となったが、極端な大雨とはならなかった。表1に風台風である台風9119号と、同年上陸していなかった雨台風である台風9112号および台風9118号の総降水量を比較して示す。総降水量とは全国各県の平均降水量に県の総面積をかけて求めたものである。この表からも、上陸していない台風9112号と台風9118号に比べ、上陸した台風9119号の総降水量が少なかったことは明らかで、台風9119号が風台風であることを示している。また、図2は、山口県萩市と特に塩害が多かった下松市の、台風が通過した9月25日～10月1日までのそれぞれの降水量をグラフにしたも

表1 総降水量の比較

台風	総降水量(億 t)
台風9112号(8/18～24)	約230
台風9118号(9/17～20)	約220
台風9119号(9/25～28)	約150

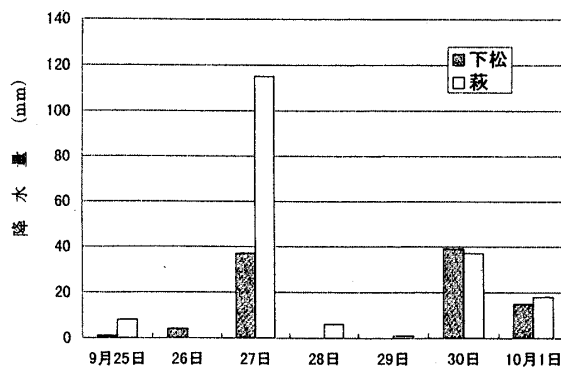


図2 降水量の比較(原データは福岡管区気象台提供)

のである。これを見れば、塩害を受けた下松市は降水量が非常に少なかったことがよく分かる。

この台風で、全国で死者61人、住宅被害約70万棟と多大な被害を出した<sup>8),9),10),11)</sup>。全国有数のスギ、ヒノキの産地である大分県日田市ではスギ、ヒノキの植林面積の32%が被害を受け、そのうち樹齢30年以上の樹木の被害率は73%にも及んだ<sup>12)</sup>。また強風や塩害により、全国での農林水産被害は3900億円にのぼり、さらに送電鉄塔や電柱の倒壊等の影響も含めて、全国で約740万戸の大規模な停電も発生した<sup>1)</sup>。このように台風9119号は様々な被害を多く出し、短期間で日本を縦断していった。

台風9119号の特徴を簡単にまとめれば、次のようになる。

- (1) 移動速度が速く、大型で非常に強い台風であった。
- (2) 降水量が比較的少なく、風台風であった。
- (3) 風台風であったため塩害の被害が多く発生したが、逆に水に関する被害は極端に少なかった。

### 3. 塩害による停電

塩害は、台風などの強風によって海から運ばれ

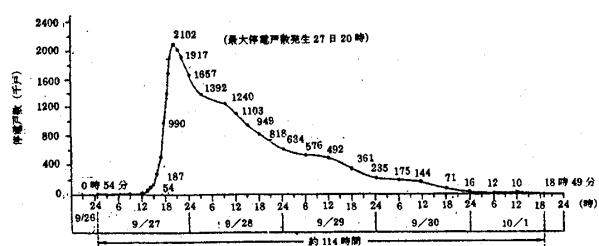
た塩分が植物などの地上物に付着し、これが降雨などで洗い流されないでいると起こり、この塩分が農作物や樹木、また今回のようにがいし等絶縁体に害を及ぼし、多方面に影響する。台風 9119 号は典型的な風台風で、風が非常に強いわりには降雨量が少なかったために、塩害が起きてしまったわけである。今回の台風による塩害の被害で注目すべき点は、農林水産被害が多かったのは勿論のこと、送電鉄塔や電柱が塩害によって被害を受け、大規模な停電が発生したことである。前述したように延べ停電戸数は国内総需要戸数の約 13% に当たる約 740 万戸にも及んだ。山口県では 9 月 27 日 19 時をピークに、県内全戸数の 84% に当たる 65 万 3000 戸が停電した<sup>5)</sup>。

通常、台風による停電は、強風による送電鉄塔や電柱の倒壊による被害が多い。しかし、塩害による被害は図 3 (a), (b) および図 4 (a), (b) にあるように停電の時間が長く、特に研究対象地の山口県を含む中国電力管内では、停電が一時回復に向かったものの、9 月 30 日には発生戸数が再び増えている。これは台風時に雨が少なく、瀬戸内海に面した場所では強風によって海から海塩粒子が運ばれ、これが送電鉄塔や電柱の配電線の接続部にある絶縁体のがいしや変圧器等に付着した

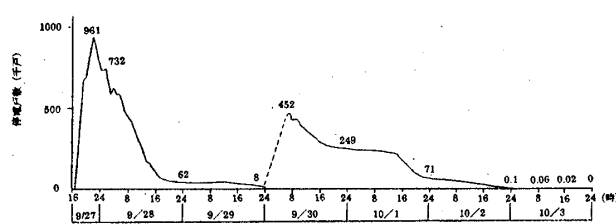
結果、塩分が電流を通しやすい性質があるので絶縁不良を起こし、ショートや漏電の原因となったからである。また、中国地方では、台風通過後の 30 日未明から降りだした雨により (図 2 参照)、洗い落ちずに付着したままであった塩分が溶け出し、さらに大きな停電を発生させた。すなわち、付着した塩分が、雨が少なかったためにそのまま洗い流されることなく乾燥してしまい、30 日に降った雨によって溶けてがいしや変圧器を覆ってしまったのである。

がいしや変圧器に付着した塩分を取り除くには、がいしや変圧器を一つ一つ手で拭いていくか、放水車で塩分を洗い流すしか方法がなく、また壊れたがいしや変圧器は交換しなければならないので、復旧に長時間を費やすこととなった。塩害対策として、塩分ががいしの表面を覆った場合、がいしの表面を電流が伝わりにくくなっている耐塩がいし (図 5 参照) があるが、かつて大規模な塩害が発生したことの無い中国地方では、瀬戸内海沿岸部から 3 km までしか耐塩がいしを使用していなかった。このことが、今回の大規模な塩害停電につながった一つの要因であると考えられる。

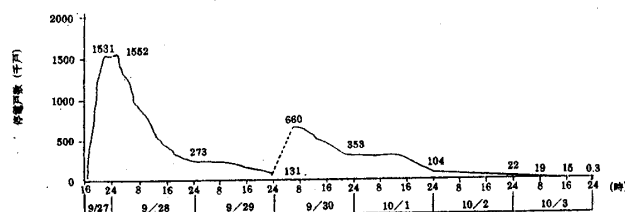
また、図 6 は、中国電力の調査による塩害被害分布図である。当時の中国電力字部営業所長の談



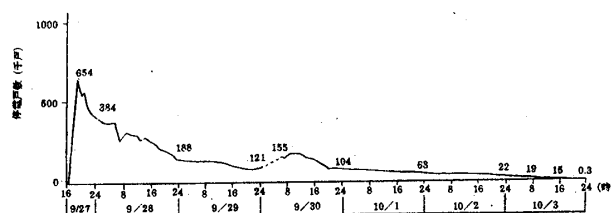
(a) 九州電力管内



(a) 広島県内



(b) 中国電力管内



(b) 山口県内

図 3 台風 9119 号による時間別停電戸数 (九州電力及び中国電力管内, 九州電力及び中国電力提供)

図 4 台風 9119 号による時間別停電戸数 (広島県及び山口県内, 中国電力提供)

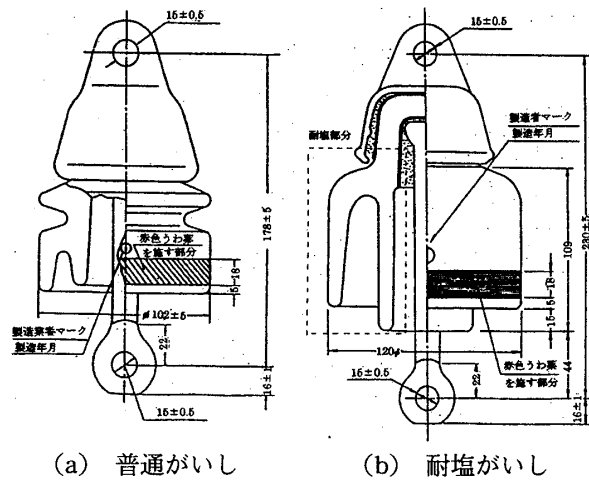


図5 がいし（中国電力提供。耐塩がいしは、がいし内部部分に塩分が入り込まないように、大きく窪みが施してある。）

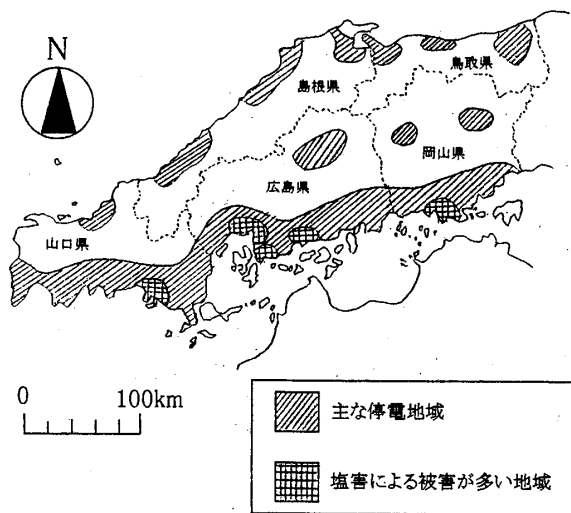


図6 台風9119号により被害を受けた地域（中国電力提供）

によれば、瀬戸内海側の主な停電地域はほとんどが塩害による停電であり、瀬戸内海側の斜線部も塩害を受けたところと考えられる。この図6を見れば、山口県は瀬戸内海沿岸地域で被害が多いことが分かる。これは、台風の進路方向に対して右側が、中心に向かう上昇気流による強風のため塩害が特に多くなる<sup>13),14)</sup>のであるが、瀬戸内海沿岸地域が台風の進路方向の右側に位置することから（図1参照）、この地域では特に被害が多かったと思われる。今回は風の通り道となっている場所においては、海岸から約50 km離れた所でも被害

が確認されており<sup>1)</sup>、台風9119号がいかに強い台風であったかが分かる。

以上のように、台風9119号による塩害は大規模な停電を起こし、復旧に多大な時間と労力を費やしてしまう結果となった。また、塩害による停電は、その被害の広域性などから新たな対策を立てるのも困難な状況である。

4. 調査解析の方法

地上のあらゆる物質は太陽からの光を反射しており、各波長域において物質特有の反射率を示している。これを分光反射特性という。植物も同様にこの特性を持っており、図7のように植物の活性度によってこの特性に違いが出るが分かっている。このことを利用して、分光反射率から植物の活性度を調べるためのものが植生指標である。この植生指標は数値で表すことができ、この値が小さければ植物活性が低いことを示し、大きければ植物活性が高いことを示す。植物が塩害を受けると、塩分によって植物体内において浸透圧のバランスが崩れ、蒸散作用などの生理現象に影響が出る。この結果、生育が阻害され、活力が低下する。すなわち植物が塩害などの被害を受けて活力が落ちた場合には、植物活性は低下する。植物の活性度が低くなっているところを探し出すことが

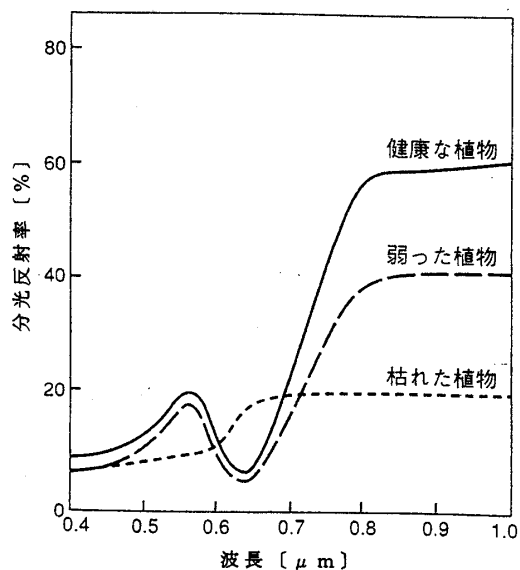


図7 植物の分光反射特性<sup>15)</sup>

できれば、塩害を受けている植物の場所が分かるのである。この塩害の被害を受けた場所では、植物だけでなく送電鉄塔や電柱の配電線の接続部にある絶縁体がいしや変圧器等にも塩分が付着し、塩害による停電が起きている場所といえる。しかし、今回のように対象地が広範囲に及ぶ場合には、植物の活性度を調べるのは非常に困難である。そこで、衛星リモートセンシング技術を用いて、この活性度を定量的かつ定性的に、すなわち活性度を量として表現し、調査者の主観によらず普遍的に評価解析することとした。

図8に本研究の解析手順を示す。研究対象地は図9に示すように、塩害による停電が多く発生した瀬戸内海沿岸部周辺を含む山口県地方とした。研究対象地としては、塩害停電が最も著しかった広島県地方が望まれたが(図4(a)参照)、この地方に関する台風直後の衛星データがなかったため、衛星データのある山口県地方を選んだ。解析には人工衛星MOS-1のMESSRデータを使用し、台風直後の塩害時のデータとして1991年10月2

日観測(台風通過後5日目)のものを用いた。塩害を受けてから5日後の植物の状態は、表面上は被害が可視化していないものの、内面では塩分によって蒸散などの生理現象が阻害され、何らかの変化が起きていると考えられるときである。これに対して、台風前のデータは1989年10月18日観測のものである。これは、台風後のデータが10月2日観測であるため、できるだけこの時期に近いデータを用いたことによる。また、本来であれば、被害の1年前である1990年のデータの使用が望まれるが、雲量が多かったため、1989年のデータを用いたのである。図7にあるように、MOS-1/MESSRデータでは、バンド2(赤色光域: 観測波長 $0.61\sim 0.69\mu\text{m}$ )とバンド4(近赤外域: 観測波長 $0.80\sim 1.10\mu\text{m}$ )が活性度を大きく反映していることが分かる。なお、MOS-1/MESSRデータの地上解像度は50mである。

植生指標にはいくつかあるが、今回はそのなかでもっとも単純であるが、図7で示される植物活性をもっとも的確に表現している比植生指標RVI

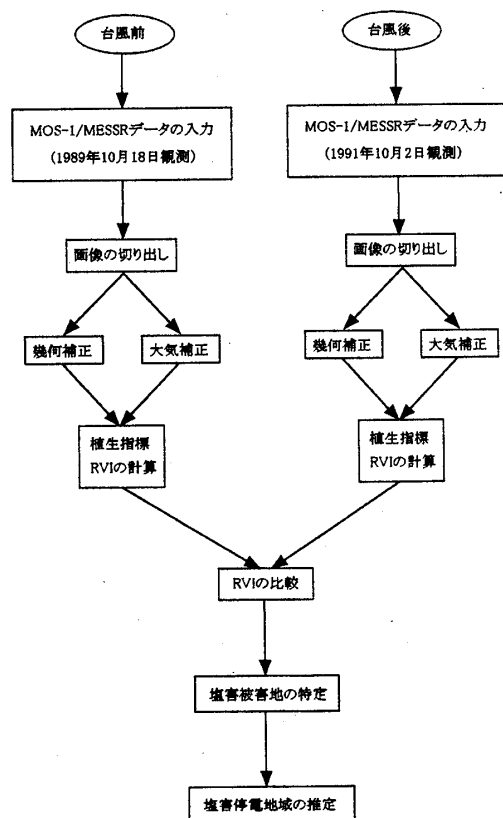


図8 解析方法のフローチャート

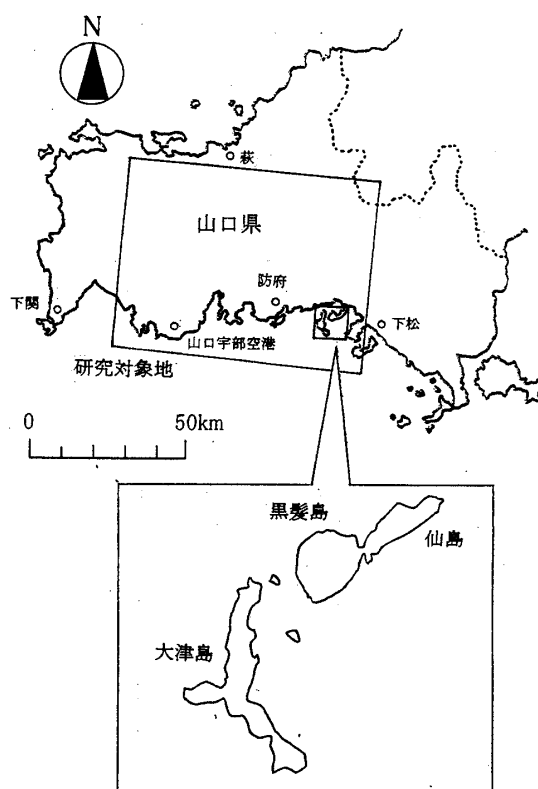


図9 研究対象地

(Ratioed Vegetation Index) を用いた。RVI は植物の近赤外域の反射率を赤色光域のそれで除したものである。したがって、**図 7** から明らかなように、RVI の値が小さくなるほど、植物は健康な状態から弱った状態、枯れた状態になっていくことが明らかである。この RVI 値を台風前後の、塩害を受けていない時期と塩害時のデータそれぞれで計算し、これを比較することで植物の活性度の変化を調べた。MOS-1 データを用いた場合の RVI 計算式を下記に示す。

$$\text{RVI} = \text{Band A} / \text{Band B}$$

ここに、Band A : バンド 4 の輝度値、Band B : バンド 2 の輝度値である。

この値を台風前後の、それぞれ 2 時期のデータで求めてその比をとれば、植物の活性度がどのように変化したかが分かる。

$$\text{RVI 比} = (\text{台風後の RVI 値}) / (\text{台風前の RVI 値})$$

すなわち、今回の植物活性度の変化は次式によって求められる。

$$\text{植物活性度の変化} = (\text{1991 年 10 月 2 日の RVI 値}) / (\text{1989 年 10 月 18 日の RVI 値})$$

この変化のうち、RVI 値が低下しているところが塩害を受けたと考えられる場所である。このことから、この RVI 値が低下しているところ、すなわち塩害停電の発生場所を推測することができる。

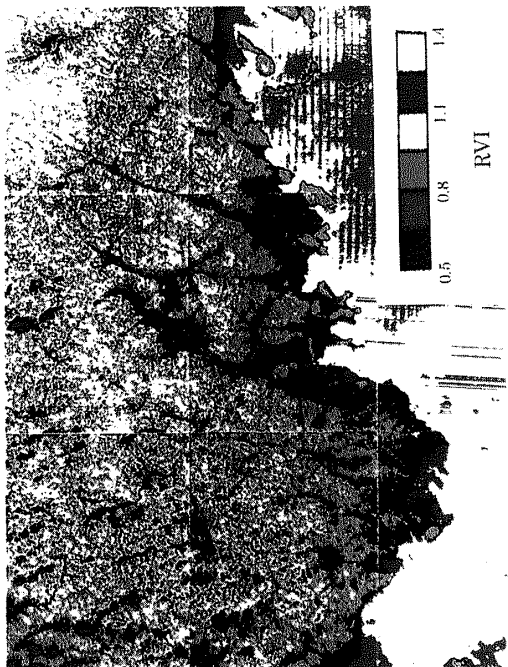
## 5. 解析結果と考察

**画像 1 (a), (b)** に台風前 (1989 年 10 月 18 日) および台風後 (1991 年 10 月 2 日) の RVI 画像を示す。カラーコードを**図**の右下に示すが、RVI 値が高いものから白、赤、黄、…の順である。これらの**図**を一見しただけでも、台風後の方が全体的に RVI 値が低下していることが分かる。内陸部で台風後の方が RVI 値が高くなっているところがあるが、これは衛星画像により雲の存在を確認

した結果から、雲の影響を受けたところである。**画像 1 (a)** の北半分および**画像 1 (b)** の日本海側の山間部の赤い斑点状の部分が雲がかかっているところである。この 2 時期の画像間で比をとり、RVI 値の変化を表わしたものが**画像 2** であり、この**画像 2** で RVI 値が低下しているところ (RVI 比が 1.0 以下のところ) が、台風 9119 号の影響、特に塩害によって植物活性度が低下したところと考えられる。なお、**画像 1 (a)**、**画像 1 (b)**、**画像 2** および**画像 3** の海上で赤や黄色の部分が何箇所かあるが、これは海の反射などによるものであり、本研究の結果には全く関係がない。

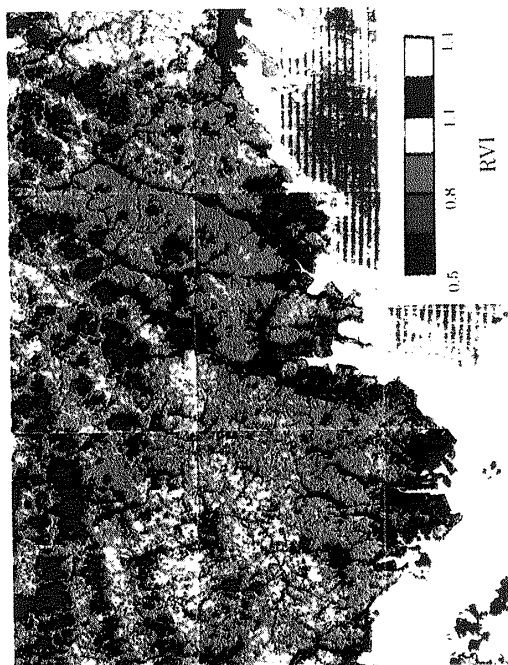
**画像 2** を見てみれば、瀬戸内海沿岸から遠い内陸部に関しては RVI 比が 1.0 以上、すなわち台風後でも活性が変化していないものの、瀬戸内海沿岸部においては全体的に RVI 比が 1.0 以下、すなわち台風後の方が活性が下がっている。このことから、台風後の影響は、内陸部にはあまり見られないが、瀬戸内海沿岸部においては大きく影響が出ていることが分かる。これは、瀬戸内海から塩分を含んだ南風が吹き込み、沿岸部では濃度の高い海塩粒子が運ばれることから、これが植物活性の著しい低下をもたらしたと考えられる。特に山口宇部空港付近 (**図 9** 参照) は平らな土地が多く、海に突出した形となっているので、潮風の影響を強く受け、塩害の被害が強かった。大津島 (**図 9** 参照) も全体的に標高が低く平らな地形ゆえに強風を遮るものがなく、全島的に被害が多く出ている。また、塩分は海岸近くの方が濃度が高く、飛塩量が多いが、**画像 3** を見てみれば、海からの南東の風によって運ばれた塩分によって、大津島全体と仙島および黒髪島東岸部 (**図 9** 参照) に被害が多く出ていることが分かる (画像の赤色に注目)。

**画像 2** の瀬戸内海沿岸部から見た内陸部においても、植物の活性度が低くなっているところがあるが、これらの地域は山間部や平らなところが多く、塩分を含んだ強風が吹き抜けていったと思われる。海から運ばれる海塩粒子は時に数十 km まで運ばれることから<sup>16), 17)</sup>、この内陸部での植物活性度の低下は塩害によるものと考えられることができる。



(b) 台風後 (1991年10月2日)

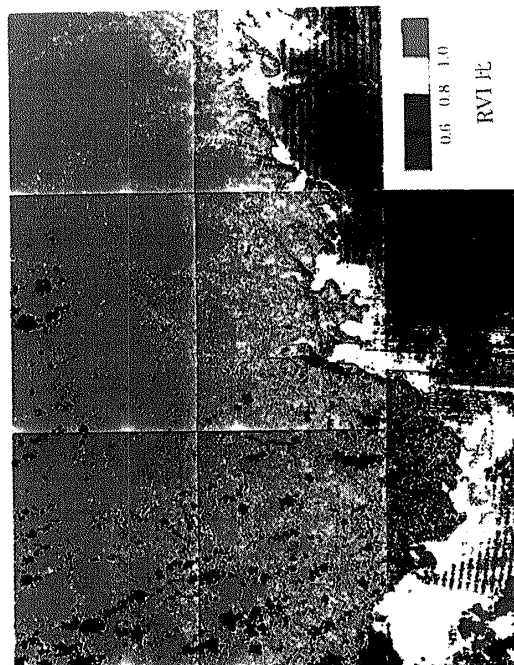
画像1 台風前後のRVI画像



(a) 台風前 (1989年10月18日)



画像3 RVI比較画像の拡大図 (大津島, 仙島及び黒髪島付近)



画像2 台風前後でのRVI比較画像 (1991年10月2日/1989年10月18日)



画像2を図6にある実際の塩害停電の被害分布と比較してみれば、画像2の赤色・ピンク色の部分と図6の斜線部とで、図6と比較する限り、かなりの部分での重複が認められる。これは、塩害地域が概ね一致していることを示しており、したがって、植物活性の変化から求めた画像2は塩害停電の推測図ということができ、本研究での方法による塩害停電地域の発見は十分可能であることが分かる。このことは、人工衛星データを用いたリモートセンシング技術を使うことによって、塩害停電について定量的かつ定性的で、図6のような既存の踏査等による大まかな塩害停電分布図よりもより詳細なデータを得ることができることを示唆している。

なお、今回の研究の精度を確認するには、厳密には現地調査が必要となるが、被害を受けた時から時間がかなり経っており、残念ながら行うことはできなかった。

また、山口県林政課によれば、今回解析した1989年から1991年にかけては、松くい虫の被害が発生していた。県内各市町村の被害面積をその自治体のマツの総面積で割って、被害率を求めた結果が図10(a)～(c)である。県内のほぼ全域に被害が及んでおり、被害率が高い部分は日本海側に多く分布していたが、今回RVIを用いて作成した塩害被害度分類図では、主に瀬戸内海沿岸に被害が多く分布していた。また、本研究で植物活性が著しく低下していることが分かった大津島と仙

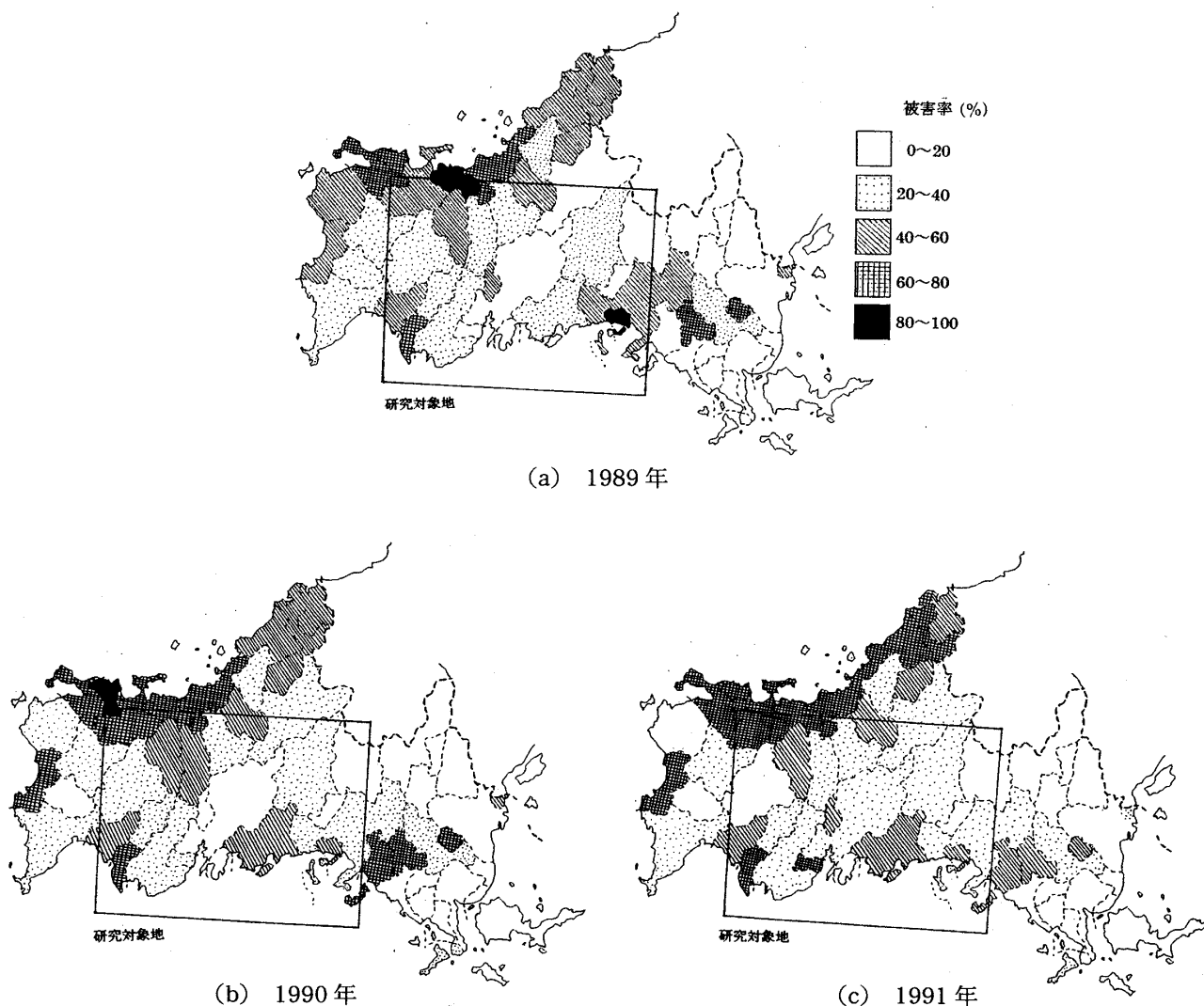


図10 山口県の松くい虫被害率の分布図

島および黒髪島においては、1989年度の被害率が1990年度および1991年度の被害率よりも高かった。以上から、松くい虫被害の影響はなかったと考えられる。しかし、山口宇部空港の北東部(図6参照)においては、図10(a)～(c)の比較により、1991年で松くい虫被害が出ているため、この箇所では、塩害によることの他に松くい虫の被害が含まれている可能性があることを断っておく。

## 6. 塩害停電の対策

塩害停電が被害の広域性と時間差で起きることから、その対策をとることは困難であることは前述したとおりである。現在でも、事前がいしを耐塩がいしに取り替えるか事後に洗浄を広範囲に行うしか方法がない。しかしながら、電力管内域で全てのがいしを取り替えるには、それだけの労力と費用をかけなければならない。また、洗浄を行うにしても、塩害にあったがいしや変圧器などの特定を行う必要があり、これも地上から肉眼による方法では不可能に近く、できるとしても労力と経済性、時間を考えれば効率が良いとは決して言えない。

そこで、本研究のように人工衛星データによる植物活性に着目した衛星リモートセンシング技術によって、広範囲に塩害を受けた植生地域を知ることができれば、塩害停電が起きた場所も特定でき、その地域でスプリンクラーやポンプ車などによるかん水によって洗浄を行えば、経済面においても時間的にも効率よく停電を予防することができる。しかし、塩害停電は時間差で起こるため、なるべく早く被害地域を発見することが何よりも重要である。衛星リモートセンシングは広域観測が可能であるが、現行の衛星では観測周期が長いいため、早期発見は今のところ難しいと考えられる。これに対して、1999年内に打ち上げ予定のEARTHWATCH衛星<sup>18)</sup>では、解像度1～3m、観測周期は1～3日程度であり、塩害停電の早期発見のためにも打ち上げ成功が望まれるところである。

著者らはこのことを踏まえて、地上で植物活性

を調べることができるスペクトルフォトメータや近赤外線デジタルカメラ<sup>19), 20)</sup>などを用いた地上リモートセンシングを利用すれば、リアルタイムで塩害植物を発見でき、塩害地域の早期発見が可能になると考える。この場合、たとえば街路樹や公園の植物などを地上リモートセンシングによって調査し、塩害地域を特定すればよいであろう。しかし、塩害停電を未然に防ぐためには、少なくとも台風通過後約1日の間という短い時間で塩害被害地を特定する必要がある。植物が例えば塩害を受けてから半日後に何らかの影響が出るかどうかは、著者らの知る限り現段階では研究がなされていないようである。このことは今後の課題として取り組んでいくつもりである。

## 7. 結論

本研究は、非常に大型で強い台風9119号による塩害停電を、植物活性に着目した衛星リモートセンシングで解析したものである。特に塩害停電の被害が多かった中国地方の山口県を対象に、台風前後で植物活性の変化を調べ、植物活性が低下している場所を塩害を受けた場所、すなわち塩害停電が起きた場所とした。これらの調査解析の結果、次のことが分かった。

- (1) 台風9119号は超大型で強い台風であったが、そのわりに雨が少ない風台風であった。このため塩害を引き起こし、大規模な停電が発生した。
- (2) 塩害による停電は復旧に時間と手間がかかり、対策も困難なものであった。
- (3) 衛星リモートセンシングによって、植物活性の変化を調べ、塩害停電が起きた場所を広範囲に概ね確認することができた。
- (4) 衛星リモートセンシングを利用して、植物活性を量として表現し、調査者の主観によらず普遍的に評価解析することができ、すなわち定量的、定性的な塩害停電推測図を作成することができた。
- (5) 塩分が配電線の接続部にある絶縁体のがいしや変圧器等に付着した送電鉄塔や電柱を早期発見することが、対策を立てる上で最も重要である。

(6) 地上リモートセンシングを利用することによって、リアルタイムで塩害植物を発見でき、塩害にあったがいし等絶縁体の早期発見が間接的に可能である。

(7) 対策としては、早期発見した塩分の付着した絶縁体だけを対象にかん水による洗浄を行うことが、効率がよく効果的な方法である。

以上のように、植物活性に着目した衛星リモートセンシングによって、塩害停電が起きた場所を広範囲に特定できた。また、地上リモートセンシングを利用することによって復旧作業を効率よく行うことが可能となり、時間差で起こる塩害停電を未然に防ぐことができる。しかしながら一方では、将来的には恒久的な対策として、作成した塩害停電分布図などを基に耐塩がいしをどの範囲に設置するかを検討していく必要があるであろう。

いずれにしても、塩害を最小限に留めるには、塩害の被害を受けたものの早期発見が大切であるが、被害を受けた直後に被害が表面上目に見えるほど可視化することは少なく、未然に防ぐことは困難であるのが現状である。リモートセンシングは、人間の目に見えない不可視情報を可視情報に変えることができ、通常なら受け止めることができない塩害早期の信号をいち早くキャッチできる。リモートセンシングを利用することによって、塩害停電のように広範囲に起こる、自然災害による被害を最小限に留める方法として、本研究が少しでも役に立つことができれば幸いである。

## 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中国電力(株)、九州電力(株)、福岡管区气象台、および山口県林政課の山本、藤原の両氏には、貴重な資料や情報を提供していただいた。また、本文をまとめる際、国際航業(株)瀬戸島政博氏には、貴重なご意見をいただいた。ここに併記して感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 自然災害研究会(1993): 台風 9119 号研究報告, 台風による風災被害想定に関する研究, pp.1-90,
- pp.91-112.
- 2) 田中正昭, 鳥羽良明(1992): 台風 9119 号の塩害と内陸への塩分侵入量について, 1991 年台風 19 号による強風災害の研究, 平成 3 年度文部省科学研究費突発災害調査研究成果報告, pp.271-288.
- 3) 前田潤滋(1992): 台風 9119 号による九州地区における強風分布と送電鉄塔および配電柱の被害分布, 同上, pp.289-297.
- 4) 林 泰一, 田中正昭ほか(1992): 台風 9119 号による中国地区及び九州地区の配電柱の被害について, 同上, pp.299-305.
- 5) 中吉一行(1992): 平成 3 年台風 19 号の気象の概況と災害の概況, 技術通信, 福岡管区气象台, Vol.38, No. 2, pp.41-66.
- 6) 光田 寧(1992): 1991 年台風による強風とそれによる被害の概要, 前出 2), pp.3-22.
- 7) 早川誠而, 鈴木義則ほか(1992): 台風 9117 号と台風 9119 号の気圧特性について, 前出 2), pp.53-62.
- 8) 桂 順治, 谷池義人ほか(1992): 台風 9119 号の被害(人的被害について), 前出 2), pp.91-94.
- 9) 林 泰一(1992): 台風 9119 号による住家の被害について, 前出 2), pp.95-115.
- 10) 後藤恵之輔(1991): 1991 年台風 19 号に関する 2, 3 の調査について, 平成 4 年度第 1 回自然災害科学研究西部地区部会資料, 11 p.
- 11) 後藤恵之輔, 浜崎一弘ほか(1993): 台風 9119 号による風倒木災害と二次災害, 自然災害科学西部地区部会報・論文集, 第 16 号, pp.66-75.
- 12) 大分地方気象台防災業務課(1992): 台風 9119 号の痕跡, 前出 5), pp.67-81.
- 13) 島田守家(1992): 暴風・台風びっくり小事典, 講談社, pp.25-50.
- 14) 饒村 曜(1993): 続・台風物語, (財)日本気象協会, pp.161-194.
- 15) (財)リモート・センシング技術センター(1997): 宇宙から地球を見守るリモートセンシング, 36 p.
- 16) 鳥羽良明(1966): 海塩粒子, 海と空, Vol.41, No.3・4, pp.1-48.
- 17) 幸喜善福(1978): 海岸保全的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.
- 18) (株)日立製作所(1997): HITACHI/EARTHWATCH, 高分解能衛星画像の御紹介, 28p.
- 19) 全 炳徳, 後藤恵之輔(1996): 近赤外線デジタルカメラによる塩害など植物被害の調査法につ

いて、第15回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.127-128.

- 20) 全 炳徳, 後藤恵之輔 (1998) : 近赤外線デジタルカメラによる植物活性度の評価について, 平成9年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(その2), pp.752-753.

(投稿受理: 平成10年10月19日  
訂正稿受理: 平成11年1月28日)