

# 防潮堤が係わる海岸林の生育に関するリモートセンシング

西川 肇<sup>1</sup>・近田文弘<sup>2</sup>・塩坂邦雄<sup>3</sup>・工藤勝輝<sup>4</sup>・藤井寿生<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工学博士 日本大学生産工学部土木工学科教授 (〒275 習志野市泉町1-2-1)

<sup>2</sup>理博 国立科学博物館室長

<sup>3</sup>正会員 理修 環境アセスメントセンター社長

<sup>4</sup>正会員 工修 日本大学生産工学部専任講師

<sup>5</sup>正会員 日本大学生産工学部助教授

多くの海岸では、防潮堤が築かれることによって、高潮などによる住民への直接的被害を防ぐことができるようになった。しかし、一方では堤体や付帯施設工等による風環境の変化が後背地に生育する海岸林の成育を阻害する事例が各地で見られるようになった。

本研究は、防潮堤の堤体構造の異なる位置や付帯施設工等に接する海岸林の林縁部において発生している成育阻害事例を地球観測衛星で観測された可視光～近赤外線波長域のリモートセンシングデータ(多重分光)から算定される植生指標を使って判読するとともに、その成育阻害の程度と当該個所における潮風の風速分布との因果関係を調査し、土木工学的な防潮堤と海岸林に見る植生環境との相互関係を検討したものである。

**Key Words:** remote sensing, coastal forest, vegetation index, tide embankment, windbreak

## 1. 研究の概要

海岸林は、潮風、飛砂、高潮から内陸部を護り、また、風致林として多くの人々から親しまれるとともに、付近の農家に燃料と農作物を貯蔵するための資材を提供してきた。このような営みは、多少その形は変わりこそすれ日本の海岸林の多くに共通のもので、日本人が好む白砂青松のイメージの大本をなしていると言って良いと思われる。

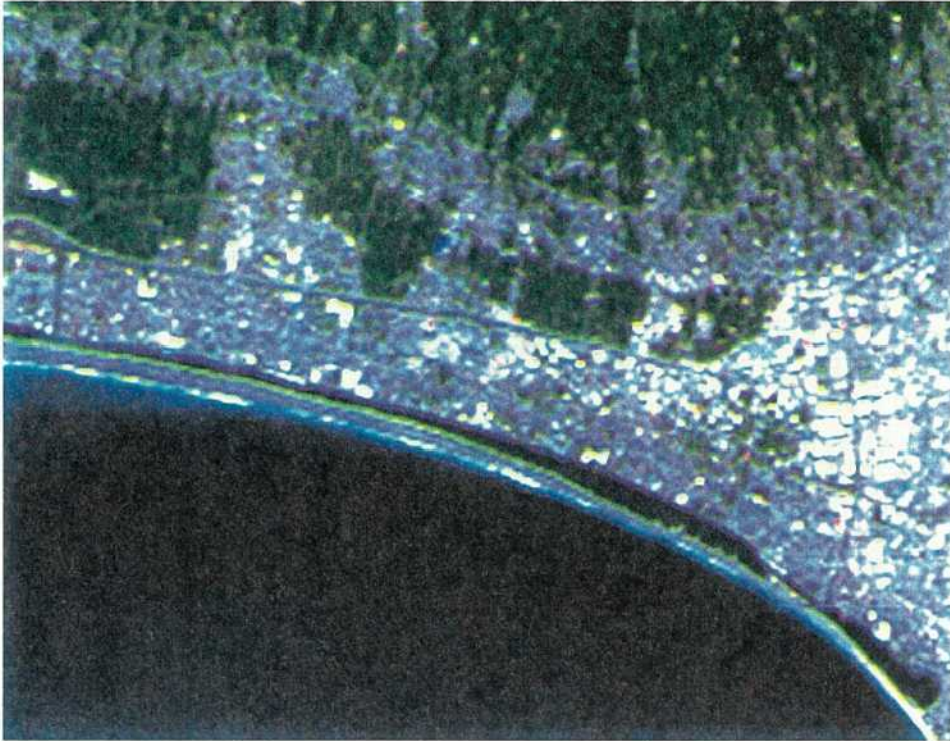
多くの海岸林は、燃料革命と高度経済成長、そしてコンクリート防潮堤の構築などによって構造的にも、機能的にも大きな変化を生じることになった。防潮堤が築かれることによって、高潮による住民への直接的被害は防ぐことができるようになったが、防潮堤の付帯施設工等による後背海岸林への潮風害の影響が問題とされている。防潮堤に付帯施設工を持つ堤体に面する林縁部では、潮風害により樹木の生育が影響を受けることが指摘されてきているが、多様な堤体構造と、それに対応した影響を定量的に評価した研究は少ないようである。自然環境の保全がやかましく言われるようになった今日、植生の変化と言う少し長い時間の尺度で、土木工学的な防潮堤と海岸林に見る植生環境との相互関係を考える良い機会が訪れているように思える。

本研究はその第一歩として、静岡県沼津市千本松原の海岸林を調査対象に、従来の研究では欠けていた、防潮堤の付帯施設工ごとの堤体を通り抜ける潮風の風速分

布、林縁部の塩分付着および生育状態などを定量的に把握し、植生環境のサイドから防潮堤構造についての検討を試みたものである。クロマツを主とする千本松原の海岸林は、昭和40年代に防潮堤が完成して以来、約40年にわたってその影響を受けてきた。長時間にわたって生長を続けるクロマツのような樹木にとって、一時的な潮風や異常低温などは生育上大きな影響を受けないが、数十年オーダーで連続して加わる外的な力の累積的影響は大きいものと考えられる。この意味で、森林の自然環境的評価の立場から、海岸林と防潮堤の構造の関係を解明することを本研究の目的とした。植生の生育状態は、同時的かつ同一尺度で把握する手法として、生育状況を定量的に評価可能な人工衛星リモートセンシングデータ(以後、衛星データ)を利用した。

## 2. 研究の背景

著者等は、富士山南麓や九十九里浜のクロマツ林で進行している松くい虫や根腐れによる枯損の進行について、衛星データから得られるクロマツ林の分光反射特性の分析や専門的な植生調査などにより研究してきた<sup>1),2),3)</sup>。これらの既発表論文の成果は、衛星リモートセンシングによる植生調査で利用される植生指標のうち、可視光赤波長域(R)と近赤外線波長域(NIR)との比率(NIR/R)で示される植生指標RVI<sup>4)</sup>(Ratio Vegetation Index)の時系列的な画像化により、枯損の進行がビジュ



ランドサット TM データのバンド 1 に青、バンド 2 に緑、バンド 3 に赤色を与えて合成した画像で、宇宙から肉眼による色調で見た千本松原海岸林周辺の状況である。

写真一 千本松原海岸林のトルーカラー画像

アルに把握できることを示すとともに、それを現地で検証できたことである。この研究課程で作成された衛星画像から、海岸林の海側林縁部に、ある間隔を置いて並ぶ生育不良部が見出された。後に、これを現地で検証した結果、海岸林の海側に構築されている防潮堤の付帯施設設置部や前砂丘の切り欠き部などと一致していることを確認した。富士山南麓の千本松原クロマツ海岸林では、防潮堤海側の斜路工からの風の通り抜けによる枯損が問題にされているように<sup>5)</sup>、防潮堤を併用した海岸林では何処でも起こり得る現象と思われる。この現象は、土木工学的な構造物が自然環境に与える影響のひとつの事例と考えられる。

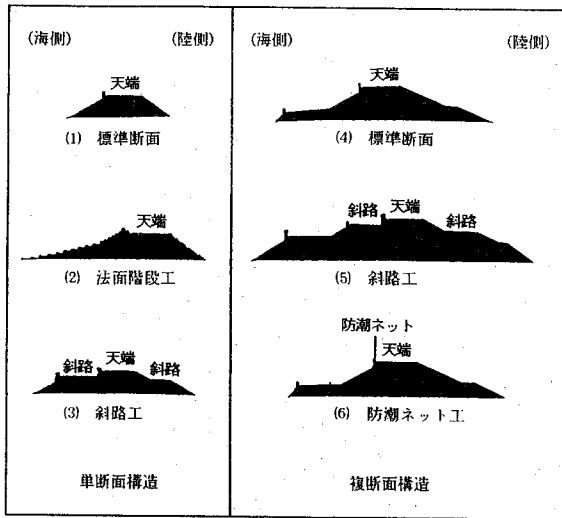
防潮堤には、保安管理、周辺環境の維持、地域住民のための憩いの場などの目的でいろいろな付帯施設が設けられている。そのような個所では、堤体を越える潮風の流れのメカニズムに影響を与えることは流体力学的な面からも十分予測される。千本松原の海岸林では、現地調査や風洞実験により堤防海側の斜路工や防潮堤ネット端で風の通り抜けが確認されている<sup>5)</sup>。また、防潮堤が併設されていないところでも森林の林端や切れ目付近では風速が強まるという報告もある<sup>6)</sup>。このように、防潮堤に付

帯施設工が施工された個所では、潮風の通り抜けによって林縁部に強風が吹き込むため、強風が吹き付けると葉面の飛塩捕捉量（塩分付着量）が増大するとともに<sup>7)</sup>、強風による飛砂、葉ずれなどにより葉面が物理的損傷を受け、その部分から海塩粒子が進入し<sup>8)</sup>、潮害を起こす<sup>9)</sup>メカニズムが想定される。構造物が自然環境に与える影響について工学的に検討するには、このようなメカニズムを多様な堤体構造に対する定量的な解析が必要であると思われる。

本研究では、これらに対処するため、多様な堤体構造と風の通り抜けの現状分析、通り抜けた風の強さと林縁部の塩分付着量ならびに生育状態との関係、などを現地観測データの分析と衛星データの画像解析によって検討することにした。

### 3. 解析対象防潮堤および海岸林の概要

写真一は、沼津市原町付近から千本浜公園にかけて広がる千本松原海岸林および周辺域の衛星画像である。この画像は、ランドサット TM バンド 1、バンド 2 およびバンド 3 データのカラー合成処理で得たトルーカラー



図一 千本松原海岸防潮堤の堤体構造ならびに付帯施設

で表示してある。画像下部の駿河湾に沿って細い濃緑に写る弓状の植生域が千本松原海岸林である。画像の上・中部に見える植生域は愛鷹山麓の茶畑や浮島地区の農耕地、それぞれの南部を東西に走るリニアメントは東名高速道路および国道1号線バイパスである。植生域以外にも沼津市中心街や海岸の波頭などの様子が観測されており、海岸林を取り巻く海、山、植生、市街地など自然環境や土地利用などの状況が詳細に観察できる。

### (1) 千本松原海岸防潮堤の概要

防潮堤の前面に展開する駿河湾の海岸地形が急勾配であるので、沖合の高波は途中でそのエネルギーを失うことなく海岸に襲来する。また、千本松原海岸は、駿河湾の最奥部にあり、この地域では風向や波向がほとんど南西または南が卓越している点も、高波の起こり易い条件を備えている。それ故、住民は早くから砂丘を強化したり蛇籠堤を築くなどしてこれに対処してきた。

既存の蛇籠や階段堤が破壊された昭和34年の伊勢湾台風災害の後、天端高 T.P.+13 m の防潮堤が海岸林の前面に施工された。しかし、昭和41年の台風26号では、伊勢湾台風後に築堤されたばかりのコンクリート防潮堤の階段堤部の破壊や非常に大きな高波の越波などによる災害が後背地を見舞った。この災害に対して、これまで予想した最大波浪が不十分であるとの評価から、昭和42~47年度に建設省が T.P.+17.00 m の計画高で嵩上げをして現在に至っている<sup>10)</sup>。

現在の堤防構造は、既設堤の後部に新たに嵩上げた構造の複断面形式(天端高 T.P.+17.00 m)と、既設堤を単に嵩上げた構造の単断面形式(天端高 T.P.+15.30 m)である。堤体の法面や天端に、それぞれの目的に応じ

た取付斜路工、階段斜面工ならびに防風柵工などが施されている(図一参照)。

### (2) 千本松原海岸林の概要

千本松原の海岸林は主としてクロマツの植林からなっており、沼津市から富士市にかけて約10 kmの長さにわたっている。林帯幅は沼津寄りでは180 mを越える一方、富士寄りでは40 m位と狭い。林帯が100 m以上ある個所では、海岸から内陸に向かって、樹齢20年位のクロマツ密生林、樹齢70年以上のクロマツ高木林、樹齢70年以上のクロマツ高木林にクロガネモチやハゼノキなどの広葉樹が進入した林分の三つの異なる林分構造が認められる。

林縁部のクロマツ密生林は、立木密度が1 haあたり2000本と過密の状態、下枝が上っているのが認められる。この密生林は防潮堤に接しているが、最縁部に防潮堤に面しているクロマツは太い力枝を防潮堤に向かって伸長させることができ、生育は良好ではあるが林内のクロマツは過密のために樹冠は小さくなっている。また、林縁にウバメガシやマサキが植栽されている場所もある。クロマツ密生林内には、低木としてヒメユズリハ、ヒサカキ、ハリエンジュ、イヌビワ、ハゼノキ、クロガネモチ等が密度高く生育している。

この海岸クロマツ林は、付近の住民(主として農民)による松葉掻きが行われ、落枝落葉、クロマツの球果等は燃料および貯蔵用として盛んに利用されていた。このため、クロマツ林内には広葉樹やススキなどの草木が少なく、純林状のクロマツが潮風、飛砂防備保安林としての役割りと、風致林としての機能を果たしてきた。昭和35年頃に起こった燃料革命によって事態は一変し、農民による松葉掻きが行われなくなった。そして、その後、林内への広葉樹の進入が顕著となり、クロマツ林の存続とその意義が問われるようになっていく。この広葉樹の進入は、防潮堤によって加速されたのではないかと考えられ、広葉樹の中には防潮堤と同じ年代を持つものが観察されている。また、取付斜路、段状斜面および防潮ネットのような付帯施設を持つ堤体に面した海岸林は、その形状等の影響によって生ずる強風により樹高が低く、生育も悪くなっているのが観察される。

写真一2は、防潮堤天端に防潮ネットが設置してある堤体に面した個所で、潮風がその終端部から強く吹き抜けるため、その風道にあたる林縁部で他に較べて樹高が極端に低くなっている様子を示した。

### 4. 衛星データによる海岸林の生育判読法

本研究で利用した衛星データは、JERS-1が1992年9月10日に観測したPath 62, Row 242のOPSデータ



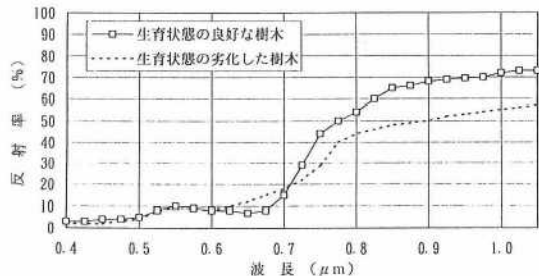


防潮ネットが設置してある堤体に面した林縁部クロマツの生育状況である。防潮ネットの背後は生育が良好で、手前の風道に当たる個所の生育が良くない状況が見られる。

写真一 防潮ネットに面した林縁部の生育状況

である。解析対象波長域は、可視光青波長帯(バンド1:  $0.52\sim 0.60\ \mu\text{m}$ )、可視光緑波長帯(バンド2:  $0.63\sim 0.69\ \mu\text{m}$ )、近赤外波長帯(バンド3:  $0.76\sim 0.86\ \mu\text{m}$ )である。この衛星データを利用した主たる理由は、LANDSAT, MOS-1 および SPOT 衛星が観測している多重分光データに比べて地表面解像度 ( $18.3\text{m}\times 24.2\text{m}$ )が高いからである。なお、本研究で利用した衛星データは、通商産業省及び宇宙開発事業団が行った地球観測衛星1号(JERS-1)システム検証で提供されたデータの一部であることを付記する。

衛星データから植生域の生育環境を判読するには、植物が示す電磁波の分光反射特性を利用することになる。地表面被覆物が太陽光を受けると、その一部は反射され、一部は吸収、透過される。それぞれの波長帯の光をどのような割合で吸収、反射するかは、地表面被覆物の材質や環境によって異なり、各物体はその材質および環境に応じた固有の分光反射特性を持つ。生きた植物の葉が示す分光反射特性は、可視光域では緑波長の  $0.55\ \mu\text{m}$  付近と赤波長の  $0.68\ \mu\text{m}$  付近に反射のピークと吸収が現れ、近赤外線域の  $0.7\sim 1.1\ \mu\text{m}$  に入ると反射が強くなり最大反射を示す独特の特徴を有する。

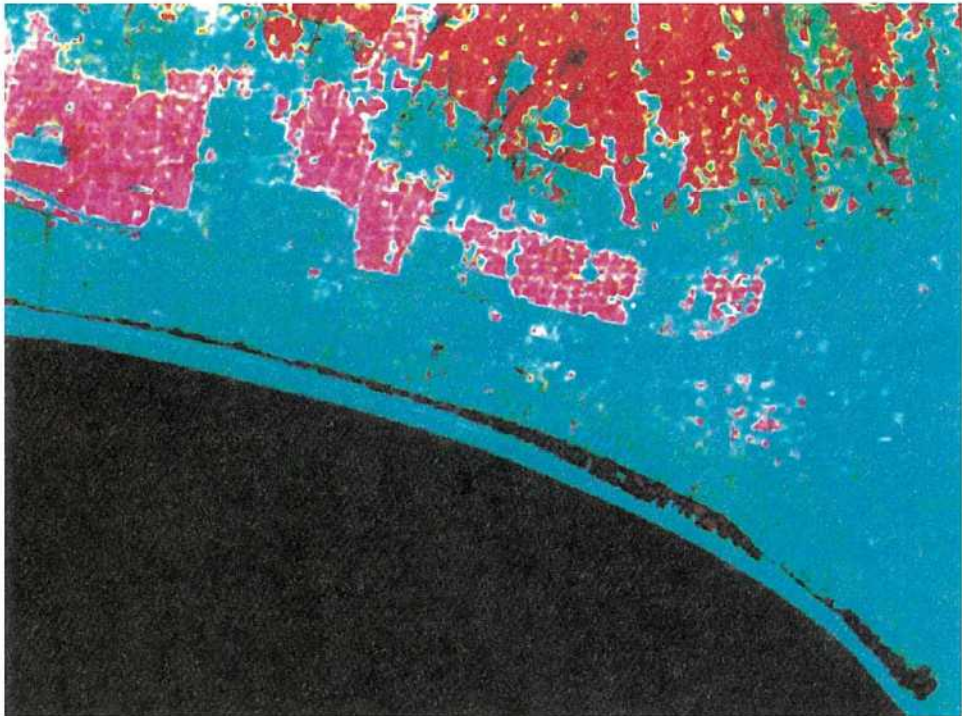


図一 生育の異なる海岸林クロマツの分光反射曲線

### (1) 分光反射特性を指標とする生育判読

植物の分光反射特性において、 $0.55\ \mu\text{m}$  付近の反射は葉色に、 $0.68\ \mu\text{m}$  付近の吸収はクロロフィル色素に、 $0.7\sim 1.1\ \mu\text{m}$  の反射は葉量や葉細胞の構造によってそれぞれ変化する<sup>11)</sup>。生育阻害を受けた植物は、クロロフィルが減少して太陽光の吸収が低下するため可視光赤波長帯の反射が上昇する一方、成熟群葉が生理的な刺激下で生長した植物は、近赤外波長帯の反射が低下する<sup>12)</sup>。

図一 2 は、研究対象海岸林において、葉色、樹高、当年生枝長などから判断した生育状態の異なるクロマツに対するフォトメータを使用した現地観測によって求めた



JERS-1 OPS データのバンド 1 に青, バンド 2 に緑, バンド 3 に赤色を与えて合成した画像である。他の地被物より近赤外線波長域で高い反射を示す植生域が赤の要素で現れる。

写真-3 千本松原海岸林の赤外カラー画像 (赤外カラー表示)

分光反射曲線である。生育状態の劣化したクロマツは、生育良好なものに比べて可視光赤波長帯の反射が高く、近赤外波長帯の反射が低くなっていることが分かる。

以上のように、植生が示す分光反射特性では、生育状況の違いが可視光波長帯 (R) と近赤外波長帯 (NIR) の反射強度に現れるので、両波長域反射率の比率 (NIR/R) の大小によって定量化した値で生育状況 (活性状況) が識別できる<sup>13)</sup>。この可視光波長域と近赤外線波長域の反射率に対応した衛星データの CCT カウントの比率で算定される値は、既述の植生指標 RVI に対応している。

## (2) 衛星データの画像処理

衛星データから目的に応じた情報を抽出するには、データを単なる衛星写真としてそのまま表現するのではなく、波長帯の異なるデータ間の合成や四則演算などの画像処理により、複合的な情報を含む新しい衛星画像を作り出して利用することが多い。本研究では、植生環境を評価する画像処理としてカラー合成処理ならびに比演算処理を利用した。

### a) カラー合成処理の概要

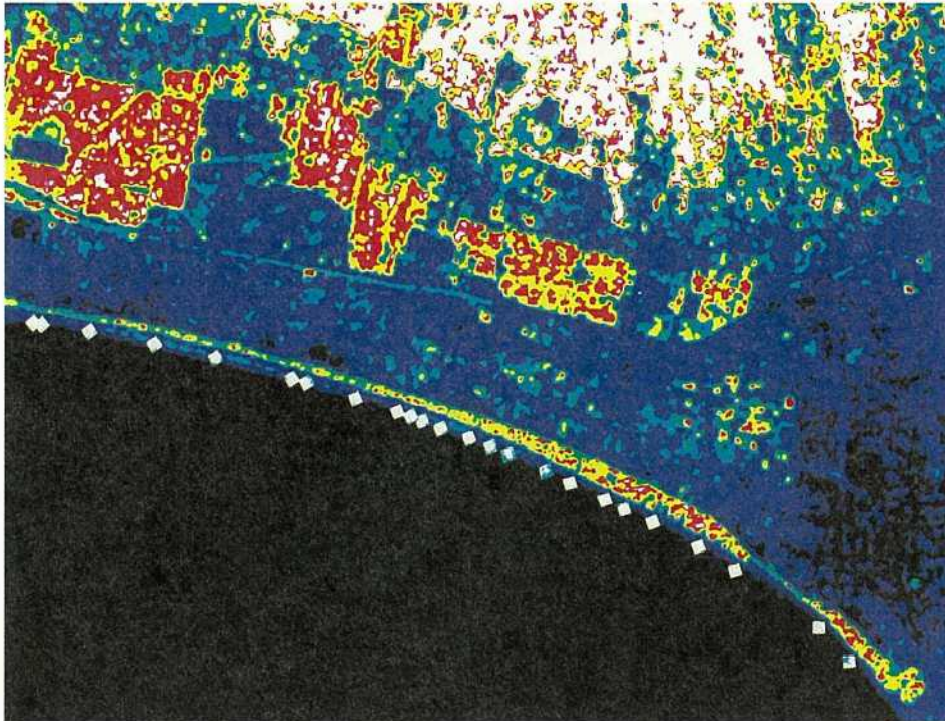
この画像処理は、波長帯の異なる複数のモノクロ衛星

写真にそれぞれ異色を与えて合成した画像を作り出す画像処理である。この処理で作られた画像を利用すれば、地表被覆物の質や環境の違いが分光反射特性に基づいた色の違いで判読できる。植生域の生育状態判読には、可視域緑波長帯に青、可視域赤波長帯に緑、近赤外波長帯に赤をそれぞれ与えて合成した赤外カラー表示のフォールスカラー画像が一般的に利用される。生きた葉を持つ植物は、他の地被物より近赤外波長帯で高い反射を示すので、この画像には、生きた植物だけが赤要素を持って現れ、さらに、樹種、葉量および生長活力など植生環境の違いが色調の変化となって現れる。

### b) 比演算処理の概要

この画像処理は、観測波長域の異なる 2 つの衛星写真が示す輝度値の比率を全画素について計算して画像出力する処理である。この処理で作られる画像を利用すれば、地表面の被覆物が示す 2 波長間の反射強度の違い、すなわち分光反射特性の違いが判読できる。植生域の相対的な生育状況の差は植生指標 RVI で判読できるので、可視域赤波長帯と近赤外波長帯データの比率を比演算処理で計算し、この計算値を新しい輝度値としたレインボーカラー対応のシェードカラー表示画像を利用して判読され





JERS-1 OPS のバンド3をバンド2で除して得た植生指標(RVI)をシュードカラー表示した画像である。海岸林内で白～赤～黄～青に依りて(RVI)の値は小さくなる。なお、海岸林に沿う白菱形印は、防潮堤に付帯施設が施工されている位置を示す。  
写真-4 千本松原海岸林の比演算処理画像

る。具体的には、生育不良の植生域は植生指標 RVI が小さくなるので、画像内の紺色に近い個所を生育不良な植生域と判読する。

## 5. 植生環境評価の結果と考察

JERS-1 で観測された富士山周辺域の OPS データから、千本松原海岸を中心とした沼津市付近 512×400 画素域を切り出し、前述の多重分光データのカラー合成処理および比演算処理によりカラー合成画像および比演算画像を作成し、海岸林の植生環境を判読する。

### (1) フォールスカラー画像による判読

写真-3 は、赤外カラー表示のフォールスカラー画像である。この衛星画像を通じて海岸に沿う濃赤色部の海岸林が示す赤色調の変化から判読される植生環境は、次のとおりである。

- 明るい赤色部に判読される個所は生長活力の高い個所、あるいは葉量の多い植生域と考えられ、特に明るい赤色に判読される部分はクロマツ林内に広葉樹が混入した個所であると考えられる。
- 防潮堤に面する林縁部の各所に見える海側から棒

状に赤色部に入り込んでいる白および青色に判読される部分は、防潮堤に取り付けられた斜路に通ずる道路の裸地あるいは生育が不良な植生域と考えられる。

- 海岸林の海側に沿ったピンク色に判読される植生域は、防潮堤前面の草地であると考えられる。

### (2) 比演算処理画像による判読

写真-4 は、シュードカラー表示の RVI 画像である。白色～赤色～紺色の順で植生指標 RVI が小さくなり生育が不良と判読されることを示している。海岸林に沿う白菱形印は、海岸林の前面に施工された防潮堤に段状斜面、取付斜路、防潮ネットなどの付帯施設が設けられている位置を示す。なお、取付斜路の位置は、1/25,000 地形図に記載された取付斜路の座標値を幾何補正処理済の衛星画像の座標値に変換して記入した。海岸林が示す植生指標 RVI の地域分布から判読されるクロマツ林の生育状態は、次のとおりである。

- 生育が良いと評価される白および赤色の個所が林帯幅の広い場所に多く判読され、林帯幅の大きいほうが潮風害が少ないと予測される。
- 生育が不良と評価される濃紺部が海側から波状に

表一 防潮堤および林縁部の風環境

堤体構造	付帯施設工	風速(平均風速/30秒)(m/s)			通り抜け率(%)
		風上天端肩	風下天端肩	最林縁部	
単断面	(1) 無し	11.1	6.7	3.9	35.1
	(2) 法面階段工	12.8	10.6	6.6	53.6
	(3) 斜路工	14.4	13.9	7.3	51.3
複断面	(4) 無し	9.0	6.3	4.8	53.3
	(5) 斜路工	9.8	6.0	5.5	56.1
	(6) 防潮ネット	13.0	11.0	8.4	64.6

入り込み、その個所が付帯施設工等のある堤体個所(白菱形印)のほとんどの個所で一致しているのが判読され、付帯施設工等の影響で潮風が強く吹き込み、生育が阻害されていることが予測される。

c) 風下側の林縁最前部がほとんど濃紺部であることが判読され、風下林縁部が交通量の多い国道に面していることから、自動車の排気ガスやゴミの投棄による影響により生育が阻害されていることが予測される。

## 6. 潮風および生育状態の現地検証

JERS-1 OPS データから得られる植生指標 RVI を利用した林縁部クロマツ林の生育判読の妥当性を検証する目的で、堤体を通り抜ける潮風の強さ、林縁部の塩分付着量、(NIR/R)値、当年生枝長および葉の乾物重を現地で測定した。

### (1) 堤体構造と潮風

本海岸で最も卓越して吹く南西の強風時を選び、防潮堤および林縁最前部の地上高 2.3 m における 30 秒間の平均風速を太田式風杯型ハンド風速計により測定した。

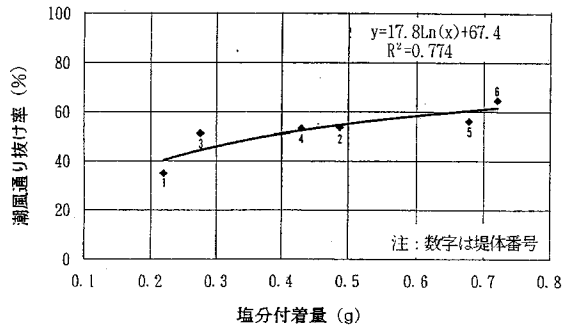
表一は、林縁最前部の風速を風上側天端の風速で除して得られる潮風の通り抜け率によって表した林縁部の風環境を示した。林縁部への通り抜け率が最も大きい付帯施設工は防潮ネット工であり、堤の取付斜路、段状斜面の順に小さくなり、最も小さかったのは付帯施設のない単断面構造であった。

風に対する障害物がある場合の風下側の風環境は、風上側で地面に平行に吹いていた風は障害物で上方にあげられ、障害物背後で発生する大きな渦流の上を通り、後背地では障害高の約 10 倍区間で減風するパターンを示す<sup>14)</sup>。単純構造の防潮堤の背後でも同じような風環境が出現すると思われ、千本松原の防潮堤では付帯施設のない単断面構造が他の堤体構造に比べて潮風の通り抜けが小さくなるものと考えられる。

堤体ならびに林縁部の風速分布から推測される各堤体構造側における潮風の状態は、次のようである。

表二 付帯施設工に面した林縁部の塩分付着量

堤体構造	付帯施設工	塩分付着量
		(試料溶液の誘電率 $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
単断面	(1) 無し	0.219
	(2) 法面階段工	0.487
	(3) 防潮ネット	0.275
複断面	(4) 無し	0.430
	(5) 斜路工	0.677
	(6) 防潮ネット	0.720



図一 林縁部の潮風吹抜率と塩分付着量との関係

### a) 防潮ネット端部 (潮風通抜け率 64.6%)

南西からの潮風が防潮ネットにより行手を妨げられてネット沿いに東に流れ、ネットが終わる地点で風速を増し、林縁部に強く吹きつける。

### b) 段状斜面部 (潮風通抜け率 53.6%)

風上および風下側法面の段状構造による影響で潮風は堤体に沿うような流れになり、林縁部に強く吹きつける。

### c) 取付斜路部 (潮風通抜け率 単断面構造 : 51.3%, 複断面構造 : 56.1%)

潮風が取付斜路に集中し、その延長線上の林縁部に強く吹きつける。

### d) 無付帯施設部 (潮風通抜け率 単断面構造 : 35.1%, 複断面構造 : 53.3%)

複断面構造では風上側の側道により乱流を起こして堤体に沿った流れが多くなり、単断面構造より強く林縁部に吹きつける。

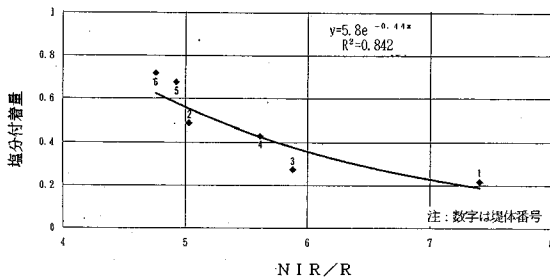
### (2) 林縁部の塩分付着

林縁部からランダムに選定した複数本のクロマツ樹冠部から 300 グラムの葉を採集して良く混ぜた後、50 グラムの葉を抽出して 50 cc の蒸留水に 24 時間浸し、濾紙によって汚れなどを除去した溶液の塩分濃度を示す導電率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) を測定した。

表二および図一は、各種付帯施設工のある堤体に面した林縁部のクロマツ葉に付着した塩分付着状態および塩分付着量との関係を示した。林縁部の塩分付着量は、

表一三 付帯施設工等のある堤体に面した林縁部の (NIR/R) 値

堤体構造	付帯施設工	クロマツ葉の分光反射率 (%)		(NIR/R) 値
		可視光赤波長 (R)	近赤外波長 (NIR)	
単断面	(1) 無し	9.40	69.64	7.41
	(2) 法面階段工	9.33	46.90	5.03
	(3) 斜路工	10.40	61.16	5.88
複断面	(4) 無し	7.13	39.98	5.61
	(5) 斜路工	8.88	43.68	4.92
	(6) 防潮ネット	9.65	45.90	4.76



図一四 林縁部の塩分付着量と (NIR/R) 値との関係

それぞれの林縁部で差が認められ、林縁部に吹き付ける潮風の強さと比例していることが分かる。

### (3) 林縁部の (NIR/R) 値

林縁部のクロマツ葉が示す (NIR/R) 値は、フォトメーターを用いて現地で測定した可視域赤波長帯 (R) および近赤外波長帯反射率 (NIR) から算定した。測定値は、JERS-1 OPS データの観測波長帯に対応した波長帯  $0.65\sim 0.70\ \mu\text{m}$  および  $0.75\sim 0.85\ \mu\text{m}$  の平均反射率であり、白色標準反射板に対する測定対象反射率の百分率で表した。

クロマツの反射率は、林縁部からランダムに選んだ複数本の林冠部から採集した 300 グラムの葉を良く掻き混ぜた後に 100 グラムの葉を抽出し、これを測定板の上に 5 cm の厚さに並べて測定した。なお、分光反射率の測定にあたっては、(NIR/R) 値の測定状況による変動を生じないように、各測定対象に対して測定時刻、太陽光に対する測定角度などの測定条件を一致させた。

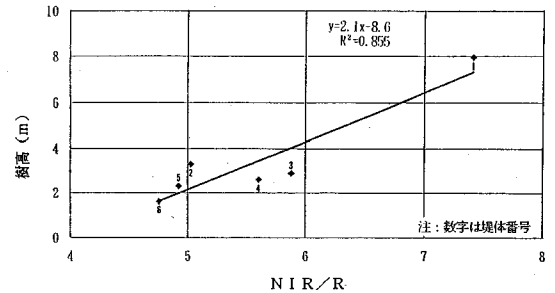
表一三および図一四は、各林縁部のクロマツ葉が示す (NIR/R) 値と塩分付着量との関係を示した。それぞれの林縁部で差が認められ、塩分付着量が多い林縁部のほうが (NIR/R) 値も小さくなる負の相関関係が認められた。なお、各林縁部の (NIR/R) 値と塩分付着量の測定値は、測定日、対象樹木を変えた複数測定結果の平均値である。

### (4) (NIR/R) 値と生育状態との関係

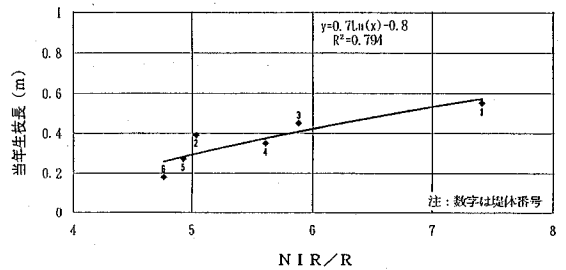
樹高、当年生長量、新鮮重および乾物重などで表され

表一四 付帯施設工等のある堤体に面した林縁部の生育状態

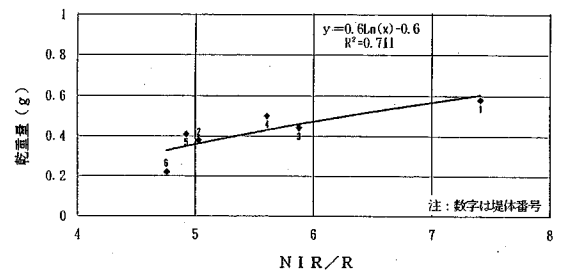
堤体構造	付帯施設工	林縁部クロマツの生育状態			
		樹高 (m)	当年生長長 (m)	新鮮重 (g)	乾物重 (g)
単断面	(1) 無し	7.96	0.55	5.08	0.58
	(2) 法面階段工	3.30	0.39	3.47	0.38
	(3) 斜路工	2.80	0.45	2.94	0.44
複断面	(4) 無し	2.60	0.35	4.74	0.50
	(5) 斜路工	2.30	0.27	3.29	0.42
	(6) 防潮ネット	1.60	0.18	2.37	0.22



(1) 樹高と (NIR/R) 値



(2) 当年生長長と (NIR/R) 値



(3) 乾物重と (NIR/R) 値

図一五 付帯施設工等のある堤体に面した林縁部の生育状態と (NIR/R) 値との関係

るクロマツの生育状態を現地に設定した  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  のコドラートから定量的に測定した。なお、当年生長量は新枝の長さ、乾物重は採集 50 葉を  $60^\circ\text{C}$  で 30 時間乾燥し



た後の重量である。

表-4は、各林縁部の中からランダムに選択した5本のクロマツの樹高、当年生枝長、新鮮重および乾物重の平均値を示した。堤体構造や付帯施設によって、それぞれの林縁部に相対的な差異が認められた。

図-5は、林縁部の(NIR/R)値と樹高、当年生枝長、および乾物重との関係である。いずれも生育状態を示す定量値が大きくなれば(NIR/R)値も増大する正の相関関係が認められ、植生指標RVIの地域分布によって判読した林縁部クロマツの生育状態が妥当であったことを検証することができた。

## 7. まとめ

本研究は、クロマツ海岸林における枯損の進行について、衛星データの植生指標を利用して判読を行っている課程で、衛星データ画像に海岸林の全面に施工されている防潮堤の付帯施設工部で林縁部の生育が劣化していることが見出されたことがきっかけとなった。現地植生調査データや衛星データを使って解析した結果、付帯施設の構造によって発生する通り抜け潮風が林縁部に吹き付けるため、クロマツの生育阻害が生ずるメカニズムを定量的に把握することができた。

我が国の海岸林の実体は、地域的な立地条件でその形態は異なる。千本松原海岸は、既述のように地形的および気象的条件により巨大な高潮が来襲する確率が高く、これを海岸林のみで防御することは困難であり、津波・高潮による直接的被害の軽減を防潮堤に頼らざるを得ない海岸である。千本松原の海岸林は、飛塩、飛砂の後背住宅地等への飛散に対する防止機能が要求されつつも、防潮の期待よりは自然環境、あるいは近隣住民の保健休養地としての期待が高くなっているのが現状のようである。海岸災害対策による防災事業が各地で施行されている今日、このような海岸林の状況が各地で見られるようになり、防潮林としてより自然環境の立場から海岸林を見る人々が増えて来ているのも現状である。

千本松原海岸のクロマツ林では、防潮堤の付帯施設工付近に見られるクロマツ林の生育状態の悪さが、付帯施設工との関連で問題とされてきた。また、付帯施設工を越えて林内に吹き込む潮風を弱めるために、クロマツ林の前面にウバメガシのような常緑樹を植栽したり、防風柵を設置することが行われたことは既述した。しかし、いずれも確かな効果をあげられなかった。それは、付帯施設工により堤体を越える潮風が林縁部の一部に集中するメカニズムを定量的に解析することが行われなかったからと考えられる。本研究では、沼津市の千本松原海岸においては、防潮堤の潮風通り抜け率50%は堤防に接するクロマツ林の生育を阻害し、クロマツ林の健全上は通

り抜け率35%以下を維持すべきことが示された。本研究の結果を考慮すると、防潮堤が併設された海岸クロマツ林の生育を促進させる堤体構造の見直しが効果的であると思われる。具体的には、防潮ネットの編目の大きさやネット端形状の検討、風向の地域特性を配慮した斜路工の設計、潮風の通り抜けを引き起す稲妻形斜路工の見直し、堤体の横断方向に沿った潮風の流れを生じさせない階段形状の設計などが考えられる。

我が国では、海岸線の総延長約34,000kmのすべてに海岸林があるわけではないが、海岸防災林の面積は国有林・民有林合わせて約135,444haに及んでいる<sup>15)</sup>。海岸林のような広範囲にわたり細長く分布し、しかも多面的な環境保全機能の評価が必要な植生の生育環境調査には、観測範囲の広域性、観測の周期性、観測精度の同一性、赤外線を含む観測波長域の多重性などの特性を持つ衛星データの利用価値は高い。また、潮風害による生育障害のような現象は、環境と関連させて検討するため長い時間をかけて調査を続ける必要があり、データの蓄積が豊富な衛星データの利用価値も高い。最小林帯幅40m程度の海岸林を対象にした植生環境評価が地上分解能18.3m×24.2mの衛星データで十分対処できることは本研究で確認した。もう間もなくメートル単位の高解像度衛星データも利用できる時代が来る。衛星データを利用した植生環境評価にとって新しい展開が開けるものと期待している。

## 参考文献

- 1) 塩坂邦雄, 西川 肇, 近田文弘: ランドサットTMデータによる富士山南麓のクロマツ林の環境評価, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 14, No. 1, 1995.
- 2) 藤井寿生, 工藤勝輝, 岩下圭介, 西川 肇: 衛星データから見た海岸林の推移に関する研究, 土木学会第48回学術講演会, 1993.
- 3) F. Konta, H. Nishikawa, T. Ito and K. Shiosaka: ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE PINE FOREST (*Pinus thunbergii*) BY THE LANDSAT TM DATA AT NUMAZU CITY, CENTRAL JAPAN. Abstract of XV International Botanical Congress, Yokohama, p.237, 1993.
- 4) Jordan, C.E.: Deviation of leaf area index from quality of light on the forest floor, *Ecology*, Vol. 50, pp.663-666, 1969.
- 5) 石川政幸, 松岡廣雄: 静岡県千本県有林の枯損原因とその対策に関する調査報告書, 静岡県治山課, pp.1-71, 1975.
- 6) 飯塚 肇: 「森林防災学」, 森北出版, pp.27, 1964.
- 7) 村井 宏, 石川政幸, 遠藤治郎, 只木良也編: 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, pp.320-321, 1992.
- 8) 宮内 宏, 益子義明: 樹木の潮風害発生機構に関する研究(I), (II): 第98回日本林学会大会論文集, pp. 619-622, 1987.

- 9) 河野良治, 竹下 幸, 志水俊夫: 塩分と飛砂がクロマツの葉に及ぼす影響(III): 林業試験所九州支場年報 15, pp.59, 1972.
- 10) 栗田美巳, 菊地昌久, 飯田賀雄: 千本松原, 育林の現状とその対策, 第 22 回治山林道研究発表会, 日本治山治水協会・日本林道協会, pp.107-117, 1987.
- 11) E.B. Kniping: Physical and Physiological Basis for Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation, J. Remote Sensing of Environment 1, 155, 1970.
- 12) C.E. Olson: Early Remote Sensing Detection of Physiologic Stress in Forest Stands, Proceeding of the Second Workshop on Aerial Color Photography in the Plant Science, Univ. of Florida. pp.37, 1969.
- 13) 野口俊郎, 近津博文: リモートセンシングによる植物の活力度および植被率の測定に関する研究, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 5, No. 4, 1985.
- 14) 坪井八十二: 「新編農業気象ハンドブック」, pp.628-629, 養賢堂, 1974.
- 15) 村井 宏, 石川政幸, 遠藤治郎, 只木良也偏: 日本の海岸林, ソフトサイエンス社, pp.20, 1992.

(1995.5.15 受付)

## REMOTE SENSING FOR MONITORING THE STATE OF GROWTH OF THE COASTAL FOREST CONCERNING WITH THE SEA-WALL FOUNDATION

Hajime NISHIKAWA, Fumihiro KONTA, Kunio SHIOSAKA,  
Katsuteru KUDOH and Hisao FUJII

After construction of the sea-wall in 1972, the direct damage to people's life environment due to the tidal wave (high tide) have decreased at the Senbonmatsubara, Numazu City, Shizuoka prefecture. However, it is still remained as a serious problem that the coastal forests growing at the rear-side of the sea-wall structure or the foundation of appurtetant facilities have been suffered by strong window and by heavy salt deposited on their leaves. This study proposes the quantitative analysis method to evaluate the suffering state of growth of the coastal forests at the rear-side of each sea-wall at the Senbonmatsubara, using satellite remote sensing data.