

人工衛星リモートセンシングを用いた 海岸クロマツ林の生育評価

工藤勝輝*・藤井壽生**・西川 肇***・近田文弘****

Monitoring Growth in Coastal Black Pinus Grove Using a Landsat TM Time Series

*Katsuteru KUDOH**, *Hisao FUJII***, *Hajime NISHIKAWA****, and *Fumihiko KONTA*****

Abstract: Land cover changes can be readily detected using satellite imagery based on changes in spectral reflectance or the introduction of spatial features such as road or field outlines. The remote sensing of vegetation trend in state of health is more challenging than standard land cover change analysis. Theoretically, trends in vegetation vigor can be discerned from minor changes in spectral response. Previous studies have reported that the growth cycle of coastal black pinus grove in this country has been declined due to impacted by minor or major land cover changes. This growth cycle is controlled by growth limiting factors, such as land cover changes, water availability or climate. NDVI representing various vegetation indices is mathematical transformation designed to assess the spectral contribution of vegetation to multispectral observations. This most widely used green vegetation index is formed with data from discrete VR(red) and NIR(near infrared) bands. NDVI operates by contrasting intense chlorophyll pigment absorption in VR against the high reflectivity of plant materials in the NIR. In this study, the growth cycle change of coastal black pinus grove at the Kujukuri coast line was evaluated using time series NDVI, obtained from Landsat analysis. As results, followings are assessed; 1) high potential of effective transformation of newly developed radiometric methods was verified, 2) regression analysis of in situ data and satellite digital data was well-correlated, 3) land cover changes and long term of insufficient supply of grove maintenance work have principally affected growth cycle of black pinus forests.

キーワード：人工衛星リモートセンシング，海岸林被害，バンド比，正規化植生指標

1. はじめに

我が国では、国土の70%が森林であるために平野の占める割合は非常に乏しい状況にある。従って、その少な

い平野を求める人々は、海岸域を有効的に利用するようになった。これにより、海岸域には新しい道路が出来、人口が増加し、産業も発達するようになった。また、海岸林は、飛砂・強風・津波・高潮・海霧などの自然による災害を防止する機能だけでなく、海岸地域の住民の生

*日本大学生産工学部土木工学科助教授

**日本大学生産工学部土木工学科教授

***日本大学総合科学研究所教授

****国立科学博物館植物第一研究室長

活と農業を始めとする産業、交通などが安全で快適に営まれるために欠かせない存在である。しかし、最近では、農地・住宅・工業用地・レクリエーション用地などの開発により林帯幅が減少し、労力の不足と確実な間伐指針が無いために手入れが無いままに放置されて、防災機能の低下した貧弱な海岸林が増加している。

このようなモニタリングには、森林の規模や形状のみでなく生育状態までも判読できる人工衛星リモートセンシングデータ（以後、衛星データと称す）の利用が有効的であると考えられる。

本研究は、衛星データによるリモートセンシング技術の特徴を活かして、千葉県長生郡白子町九十九里海岸クロマツ林の動態を調査したものである。

2. 研究対象海岸林の概要

本研究で解析の対象にした千葉県は三方を海に囲まれており、海岸線の延長は 400 km に達する。房総半島の東側に九十九里海岸林が位置しており、県有保安林で面積は 630 ha となっている。九十九里海岸林は、南は一宮町から北は飯岡町まで約 56 km に延びるクロマツ海岸林である。我が国でも有数の長い砂浜海岸で、現在、既存の海岸林の全面に、高さ 3-4 m の砂丘が形成され、その背後に静砂垣を設け新しく植栽が行われている。

2.1 植生の概況

調査対象の海岸クロマツ林では、1980 年代から集団枯損の発生が顕著になった¹⁾。林帯中央部付近に位置するクロマツが、集団的に、数年から 10 数年の長期にわたって徐々に衰退し、枯死するのが特徴で、枯損の発生地やその周辺では梅雨期にしばしば滞水現象が観察される。それらの枯損様式は、病徴が現れた後 1-2 年のうちに枯死するマツノザイセンチュウ病による枯損様式^{2,3)}とは異なっている。また、九十九里海岸は工業地帯から離れているためか、Sox, Nox 等の大気汚染物質による樹木



Fig. 1 Site photograph of the Kujukuri coastal forest

衰退の報告も見られない。こうしたことから集団枯損は主に過湿によるものと推測されるが、クロマツ海岸林における成長不良や枯損要因としては、土壌水分の視点から論じられている研究^{4,5)}が多く、扱った報告⁶⁾は少ない。

本研究では、広域的かつ周期的に観測されている人工衛星 LANDSAT データを用い、現在問題視されている海岸林の生育状況評価を行った。

Fig. 1 は、本研究で対象とした千葉県九十九里海岸林である。

3. 衛星画像の有効性

防潮、防風、飛砂防止、保養休養などの目的をもつ海岸林の環境保全には、生育状態の変化などを、常時モニタリングしながらその推移を見守る必要がある。そのモニタリングには海岸林の規模や形ばかりでなく、生育状態などを経年的かつ広域的に観測している衛星データの利用が有効的であると考えられる。衛星画像を利用した植生環境調査は、データの広域性や周期性による利点だけでなく、人間には見ることができない赤外線波長域等の情報も含んでいるため、葉の細胞構造の変化に起因した評価や、葉の水分量推定等に有効性がある。

4. 衛星画像による植生の生育環境評価

本研究では、1984 年 8 月観測の LANDSAT-TM データ、2002 年 8 月観測の LANDSAT-ETM₊ データを用いた。これらに前処理を施し、以下に示す手法に基づいた画像解析を行った。

4.1 衛星データの前処理

観測時期の異なる多時期の衛星データを利用して、同一区域をパラレル評価を行う場合、主解析の前に以下に示したような前処理が不可欠である。

(1) 幾何補正

衛星画像には、幾何学的な歪みが生じているため、地理的一致を得るために、国土地理院発行の数値地形図 1/25000 を用いて多次元変換による幾何補正を行った。

以下に、幾何補正の式を示す。

$$u = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad v = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad (1)$$

(u, v): 画像座標 (ピクセル値, ライン値)

(x, y): 地図座標

幾何補正処理の結果、標準偏差で海岸線における整合性は 1 ピクセル以内、内陸部においては 1-2 ピクセル以内におさまった。

(2) 放射輝度補正

衛星画像を用いた比植生指標を算出するためには、衛星データが示す分光特性 (DN 値: Digital Number) か

ら一旦、放射輝度 (Radiance) への変換処理を施す必要がある。

$$R = (V/D_{max})(R_{max} - R_{min}) + R_{min} \quad (2)$$

R : 絶対放射輝度 ($mW/cm^2 \cdot sr$)

V : DV 値 (デジタル値)

D_{max} : 255

R_{max} : 検出器の最大放射輝度 ($mW/cm^2 \cdot sr$)

R_{min} : 検出器の最小放射輝度 ($mW/cm^2 \cdot sr$)

(3) 反射率への変換

式(2)によって算出された放射輝度を、以下に示す式(3)によって反射率に変換する。

$$\rho_p = (\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2) / (ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s) \quad (3)$$

ρ_p : 反射率 (Reflectance)

L_λ : 放射輝度 (Radiance)

D : 太陽の距離 (Earth-Sun distance in Astronomical units)

$ESUN_\lambda$: 各バンドの全入射光量 (Mean solar x-atmospheric irradiances)

θ_s : 太陽天頂角 (Solar zenith angle in degrees)

5. 分光反射特性と衛星データ

太陽から光を受けるとその一部は反射され、一部は吸収される。物体が各波長域の光をどのようにに反射し吸収するかは、その素材や状態によって異なる。

このような物体が示す波長ごとの反射および吸収の違いを、分光反射特性と言う。本研究では、280 nm-2500 nm (可視光波長-中間赤外線) の波長域を 1 nm ビッチで分光反射率を測定できるオプトリサーチ社製の多目的分光反射計 (MSR-7000) を用いて LANDSAT-ETM の観測波長域に対応したクロマツ海岸林に生育するクロマツ葉の分光反射率を測定した。

6. 画像解析

(1) NDVI 画像

植物の生育活力度を表すものとして一般的に利用されている NDVI 画像 (正規化植生指標) を用いて海岸林の植生評価を行った。NDVI は植物の葉の細胞構造に対応して変化する近赤外波長域 (Band-4 : 760 nm-900 nm), 葉のクロロフィル含有量に対応して変化する可視光赤波長域 (Band-3 : 630 nm-690 nm) の反射率を用いて、 $(Band-4 - Band-3) / (Band-4 + Band-3)$ の式より求められる指標値である。

Fig. 2 および **Fig. 3** は、1984 年および 2002 年の NDVI 画像で、**Table 1** の通り 1984 年の NDVI 値は 0.4 以上と高い値に対して、2002 年の NDVI 値は 0.3 と低

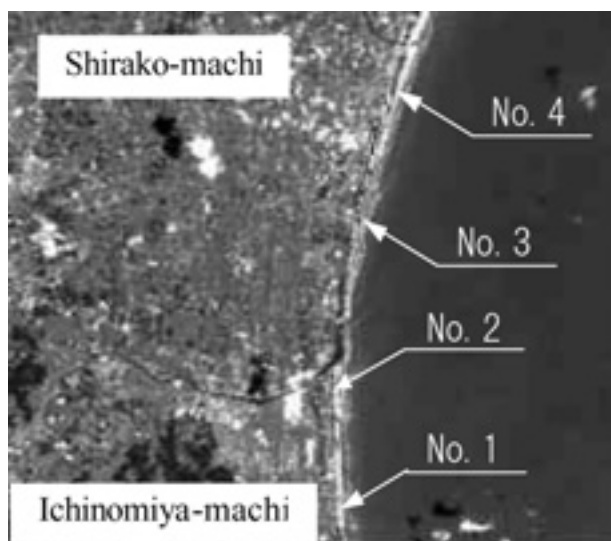


Fig. 2 NDVI imagery (1984)

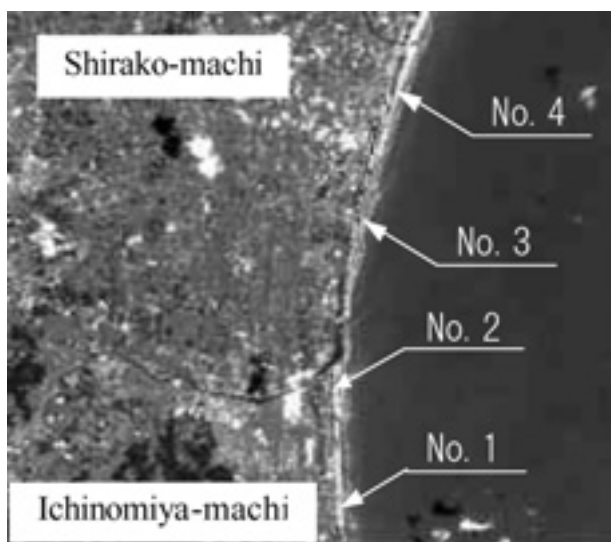


Fig. 3 NDVI imagery (2002)

Table 1 Regional differences of NDVI time series

	Satellite NDVI			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Aug., 1984	0.475	0.517	0.474	0.596
Aug., 2002	0.293	0.314	0.358	0.370

い値となっている。このことから、1984 年から 2002 年にかけて、クロマツ林が衰退していることが判読できる。

なお、各調査地点における NDVI 値は、幾何補正処理の異方誤差を考慮して周辺画素計 9 画素の平均値を用いて算定した。

(2) 放射輝度

物体表面に入射する放射束に対する反射放射束比を分光反射率 (Reflectance) または反射スペクトルと呼ぶ。

Fig. 4 および **Fig. 5** は、1984 年 8 月 16 日および 2002 年 8 月 10 日観測の LANDSAT-TM データを利用して作

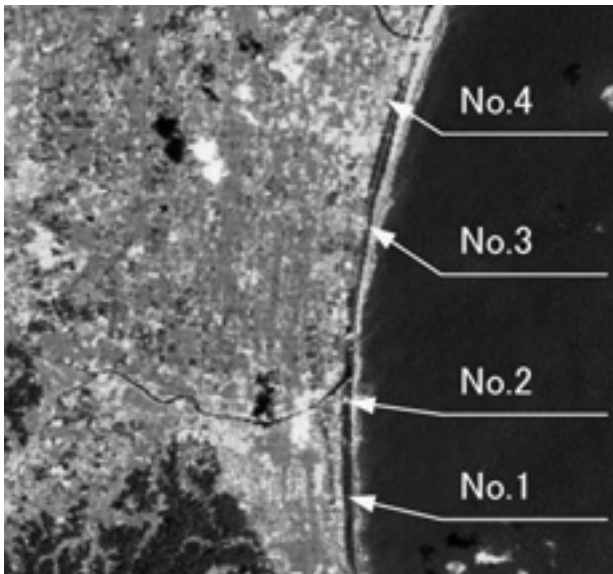


Fig. 4 Classified reflectance imagery (1984)

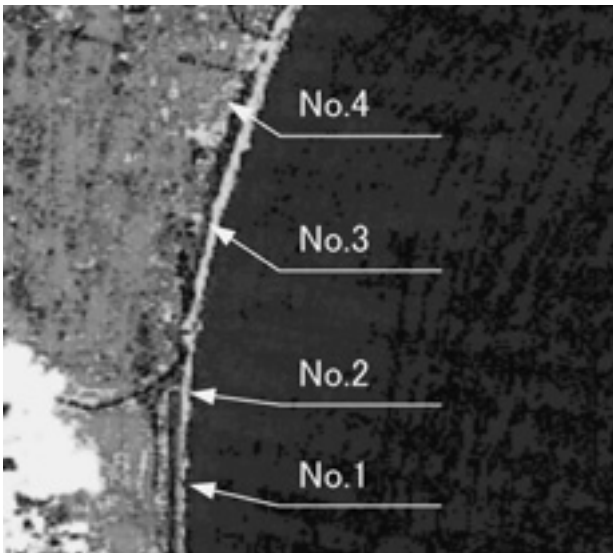


Fig. 5 Classified reflectance imagery (2002)

Table 2 Regional differences of cowerted reflectance (1984)

	No. 1 (%)	No. 1 (%)	No. 3 (%)	No. 4 (%)
Band 1	16.468	16.468	16.468	16.468
Band 2	16.658	16.138	18.221	17.179
Band 3	9.651	10.008	11.438	10.723
Band 4	58.290	59.295	55.277	63.312
Band 5	45.384	50.711	44.319	47.515

Table 3 Regional differences of cowerted reflectance (2002)

	No. 1 (%)	No. 2 (%)	No. 3 (%)	No. 4 (%)
Band 1	8.428	7.428	6.982	7.131
Band 2	8.181	7.388	7.057	7.057
Band 3	4.449	4.756	4.142	4.142
Band 4	44.867	46.543	49.213	42.548
Band 5	24.364	23.403	25.555	21.919

Table 4 Relative coordinates of ground truth sites

	Topographical coordinates		Coordinates on Imagery	
	Latitude	Longitude	X	Y
No. 1	140°23'32.40"	35°21'10.10"	444794.715	3911949.652
No. 2	140°23'32.57"	35°22'33.96"	444814.740	3914532.779
No. 3	140°23'47.45"	35°24'46.65"	445215.224	3918617.723
No. 4	140°24'05.21"	35°25'54.34"	445675.782	3920700.243

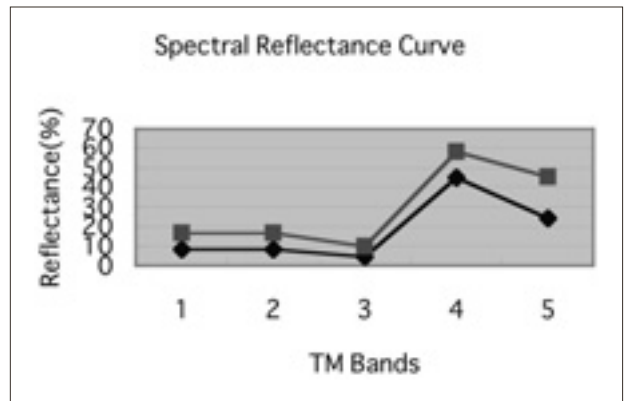


Fig. 6 Field spectra of black pinus trees at No. 1 site of ground truth work

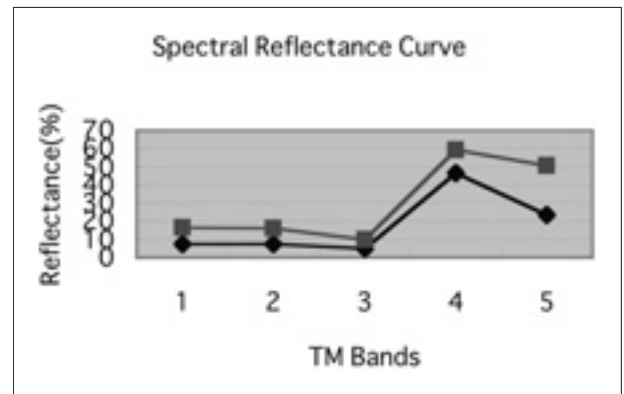


Fig. 7 Field spectra of black pinus trees at No. 2 site of ground truth work

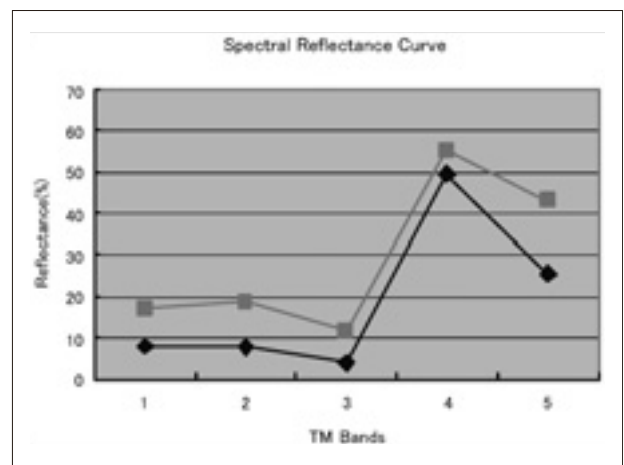


Fig. 8 Field spectra of black pinus trees at No. 3 site of ground truth work

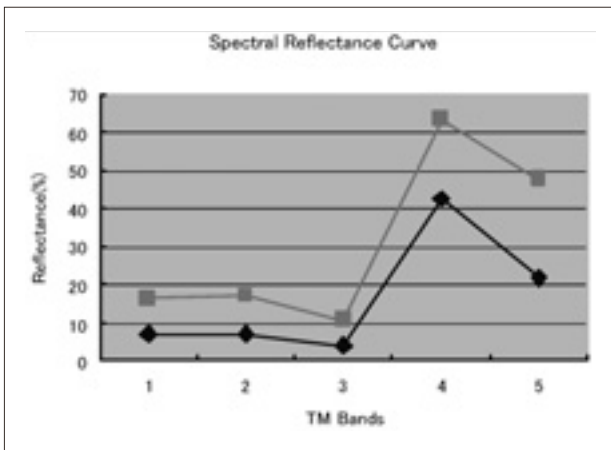


Fig. 9 Field spectra of black pinus trees at No. 4 site of ground truth work

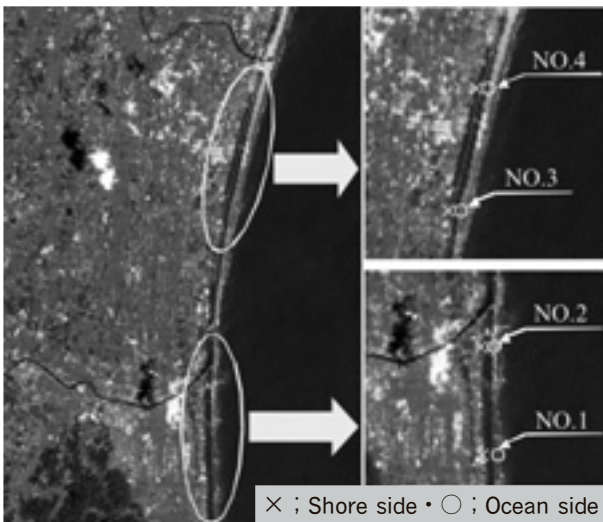


Fig. 10 Ground truth points

成された放射輝度画像である。

Table 2 および Table 3 は、1984 年および 2002 年の各調査地点の放射輝度から求められた推定反射率の一覧である。

Fig. 6, 7, 8 および Fig. 9 は、放射輝度値を表した図であるが、各調査地点とも 1984 年の値の方が 2002 年の値より高いことが確認できる。このことから 1984 年から 2002 年にかけて九十九里海岸林が衰退していることが読み取れる。

7. 現地調査

Fig. 11 は、一宮町および Fig. 12 は、白子町における 2002 年 8 月の海側・陸側で現地調査を行いクロマツ海岸林の分光反射率を表したものである。ここで、一宮町と白子町のクロマツ葉の分光反射率を比較検討した結果、両町とも陸側で採取したクロマツ葉の分光反射率が低く、海側で採取したクロマツ葉の分光反射率が高いことがわかる。このことから、陸側と海側とでは、クロマツ海岸林の生育状態が異なっていると推定できる。

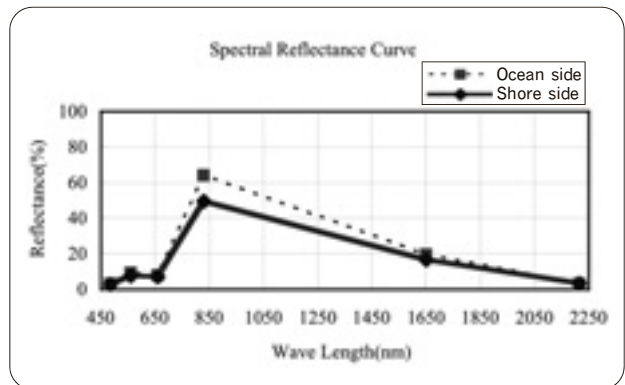


Fig. 11 Comparison of field spectra of black pinus trees between at ocean side and at shore side of Ichinomiya area

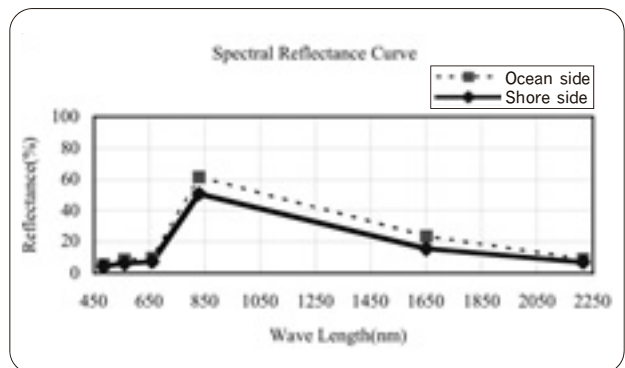


Fig. 12 Comparison of field spectra of black pinus trees between at ocean side and at shore side of Sirakomachi area

8. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

(1) 周期性を持つ LANDSAT データによる画像解析の結果、1984 年と 2002 年の九十九里海岸の各 4 測点の NDVI 画像からの NDVI 値を比較することにより、1984 年より 2002 年のクロマツ海岸林が衰退の傾向にあることがわかる。また、放射輝度から得られた値を解析した結果も同様に、経年的に海岸林が劣化していることを示している。

(2) 現地で採取したクロマツ葉の分光反射率の値からも、陸側と海側を比較しても海側の分光反射率が高い結果が得られた。この結果より、海側に比べ陸側のクロマツ葉の植生状態が劣化していることが考察される。

本研究で用いた LANDSAT-ETM データは、宇宙開発事業団より提供された研究目的に配布データであることを付記する。

謝辞

本研究は、日本大学より平成 14 年度学術研究助成金の助成を受けて実施されたものである。

ここに記して、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 千葉県：海岸保安林管理基本計画，千葉県，pp.131-175 (1997)
- (2) 金子 繁：マツが枯れる原因，森林防疫，45(5) 4-8 (1996)
- (3) 作山 健・佐藤平典：マツの材線虫病によって翌年に枯れた事例，日林東北支誌 32，pp.206-207(1980)
- (4) 三寺光夫・根本 茂・藤田敏雄・沼田 真：海岸クロマツ林の生態学的研究 iv ー成長阻害要因の検討(3)ー 千葉大文理紀要，4 尾/(4)，pp.583-589 (1966)
- (5) 小田隆則：海岸防災林の保育及び改良に関する研究 (v) ー造成阻害要因の検討(2)ー 千葉林試研報 2，pp.45-50 (1979)
- (6) 川名 明：堤列海岸平野の低地過湿林の改良に関する研究，東農工大演報 4，pp.1-115 (1966)
(H 17. 1 .29 受理)