

千本浜におけるクロマツ海岸林面積の経年変化

—空中写真を用いた予備的調査—

鈴木 静男, 加藤 輝一

Area changes of black pine coastal forest along Senbonhama:

A preliminary investigation by aerial photographs

Shizuo SUZUKI*, Kiichi KATO*

Abstract

Because pine forest protected the landward area from the strong wind with salt spray and sand from the shore, environments of the area behind the pine forest became mild. Such forest is also useful as recreation area. Coastal forests dominated by Japanese black pine is important for residents near the coast. Senbonmatsubara is one of the largest Japanese black pine forests in Shizuoka prefecture. In this study, Changes in coastal forest area dominated by Japanese black pine in Senbonhama were quantified with aerial photographs from 1974 to recent year. An accurate region extraction by binarization method can be conducted for area measurement of the black pine coastal forest. The developed method enable efficient software operations and the processing of large number of image analysis. Percentages of the coastal forest area increased about 10% from 1974 to 1983 and decrease about 7% from 1988 to recent year. These results suggest that, the increasing and decreasing in coastal forest area are due to enhanced growth of black pine itself as well as invasion of broad-leaved tree species after seawall construction and logging after pine wilt disease, respectively.

Key Words: Aerial photograph, Binarization, Black pine, Coastal forest, Vegetation change

1. はじめに

日本の海岸の多くは、海から来る飛砂、潮風、霧及び高潮等の影響から内陸部を防護する樹木が、帶状に林立している。海岸林には多様な樹種が用いられるが、その代表がクロマツである。クロマツ海岸林は、自然休養や風致等の機能を有するため、昔から多くの人々から親しまれる有益な存在である^[1]。

海岸林の生育状態は、気象や土壤などの立地特性や密度管理などの人為的条件によって影響を受ける。また、それが原因で樹勢が衰退している場所がある^[2]。近年、幹線道路沿いのマツ枯れが著しいという報告があり^[3]、景観を保守するための対策が求められている。クロマツの大量枯死は、松くい虫の増殖説や、クロマツ林への多くの広葉樹の侵入説、さらに最近では大気汚染なども原

因の一つとされるが、明確なメカニズムは解明されていない^{[3][4]}。

千本松原は沼津港以西から富士市田子の浦港までの約10kmにわたる長大なクロマツ林である。植林の開始は戦国時代まで遡るとされ、日本の白砂青松100選にも選ばれる歴史ある松原である。この千本松原でも松枯れ現象が発生している。1966年頃には、大径木が衰退し、無立木地が多く存在するようになり、その後の自然保護思想の浸透により植えられた広葉樹が現在クロマツ林に多く侵入し、1940年代とは大きく林層が変わったという報告がある^[5]。

この実情に対応するには、適正なモニタリング調査が必要である。一方で長大な海岸林の生育状態を現地に行って調査するには多大な労力を要する。そこで広大な植生調査として、衛星リモートセンシングが有効な方法として挙げられる^{[5][6]}。しかし衛星画像の中でも

* 電子制御工学科

LANDSAT は画像解像度が低いため、千本浜のクロマツ林のように狭幅で長い面積の植生は解析が困難である^[7]。

一方、空中写真は衛星を利用したリモートセンシングと比較して地上分解能が高いため、幅は狭いが距離が長い植生からでも有効にデータを取得できる。また地上の建造物を目印にすることで異なる年代の画像を対比し、目的とする対象を詳細に解析できる^[8]。

本研究では、空中写真を用いて千本浜に生育するクロマツの年代別植被面積の予備的調査を行い、各年代で発生した事象と照らし合わせることで、どのような要因がクロマツ林の盛衰に影響を与える可能性があるか検討する。

2. 方法

千本浜海岸林の空中写真の入手から画像処理を経て、海岸林面積測定までのフローチャートを Fig. 1 に示す。

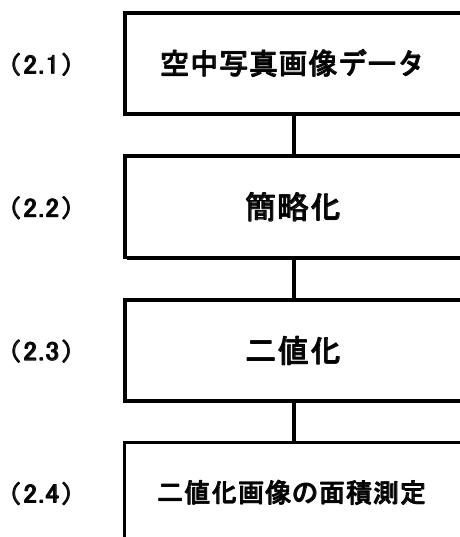


Fig. 1 画像解析のフローチャート

2.1 空中写真画像データ

本研究で使用する空中写真是、国土地理院（電子国土 web）^[9]が公開している空中写真 4 年代（1974 年～1978 年、1979 年～1983 年、1988 年～1990 年、2007 年～）の 1/10000 縮尺のものを用いた。また、場所の範囲も沼津港～片浜駅の間の海岸林と範囲を絞った。ここに範囲を絞った理由としては、第三期（1988～1990 年）から第四期（2007 年～）の間に海岸林の状態が大きく変わっていたからである。さらに、海岸林は旧国道一号線である県道 380 号線以南に存在するものとする。

2.2 画像の簡略化

画像処理ソフト Gimp を用いて、大まかなマツ林の外形を切り取った。不要な部分を切り取ることによって二値化のときに障害となる住宅地の陰などをあらかじめ切り取ってから解析を行った。

2.3 画像の二値化

画像処理ソフト ImageJ を使って海岸林空中写真 (Fig. 2a) の二値化を行った。ImageJ はアメリカ国立衛生研究所が開発したオープンソースの画像処理ソフトウェアであり、科学的研究における画像解析に広く利用されている。Image (画像編集) メニューから Adjust (補正) サブメニューの Threshold (閾値) を用いて、目視で判断しながら閾値の値を調整することで画像を海岸林部分と背景に分割した。ここで閾値が設定されている状態で Process (処理) メニューから Binary (二値化) サブメニューの Make Binary (二値化画像の作製) から Fig. 2b の二値化画像が作成される。この作業を 4 年代分行い、すべての二値化画像を作成した。

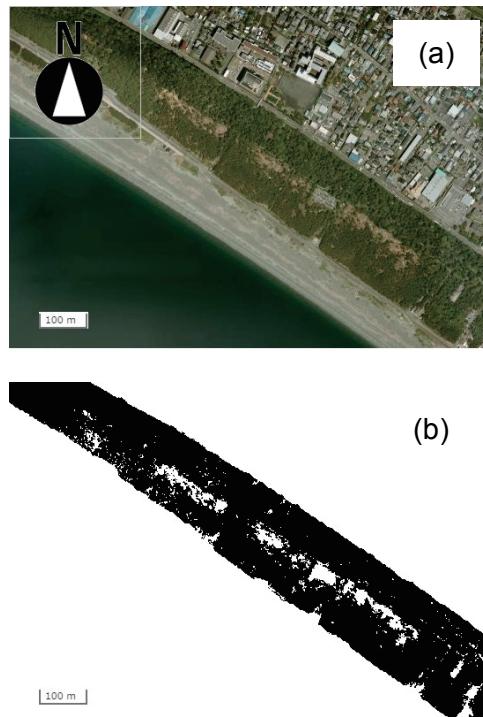


Fig. 2 沼津市立片浜小学校近くの
 (a) 空中写真と (b) その二値化画像

2.4 二値化画像の面積測定

画像処理ソフト ImageJ を用いて作成した二値化画像の面積を測定した。まず、空中写真に付属していた縮尺

を用いて Analyze (解析) メニューの Set Scale (スケール設定) からピクセル単位の長さを算出した。このコマンドを使う前に、縮尺の距離の部分をなぞるように直線ツールで直線の選択部分を作成した。この後、Set Scale ダイアログを呼び出し、Known Distance (既知の距離、長さ) を 100 に、Unit of Measurement (計測単位) をメートルに設定し、OK をクリックした。このとき、Global (全画像に適用) にチェックを入れ、このダイアログで設定されたスケールがそのアクティブな画像だけではなく、すべての画像に適用されるようにした。もう一度 Threshold コマンドを用いて二値化画像の黒の部分を選択し、Analyze メニューの Set Measurements (計測の設定) のダイアログボックスの Limit to Threshold にチェックを入れ、選択した注目部分を全体として計測できるようにした。Analyze メニューから Measure (計測) を選択し、面積を算出した。出力された Results ウィンドウにおいて、Area に表示される数値が二値化画像の面積である (単位は m^2)。この手法で二値化画像の面積をそれぞれの年代で算出した。

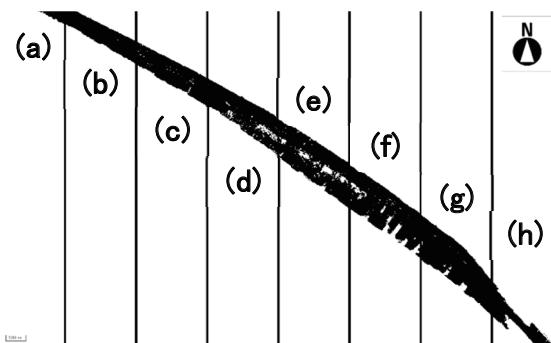


Fig. 3 グラフに対応する海岸林の区分け

(a)～(h)は Fig. 5 と対応する。

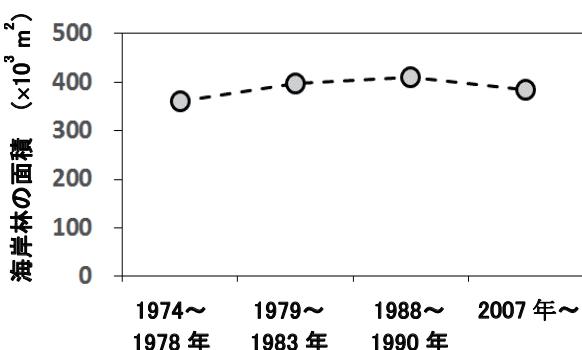


Fig. 4 千本浜海岸林における面積の経年変化

さらに海岸林面積の時間変化を詳しく見るために二値

化画像を Fig. 3 のように年代毎に 8 つに区切ってそれぞれの場所で面積の変動を見た。

3. 結果及び考察

全対象地を含む海岸林における面積の経年変化 (Fig. 4) と区分別面積の経年変化 (Fig. 5b, e, f, g, h) より、第一期 (1974～1978 年) から第二期 (1979～1983 年) の期間において、海岸林の面積が増加した。

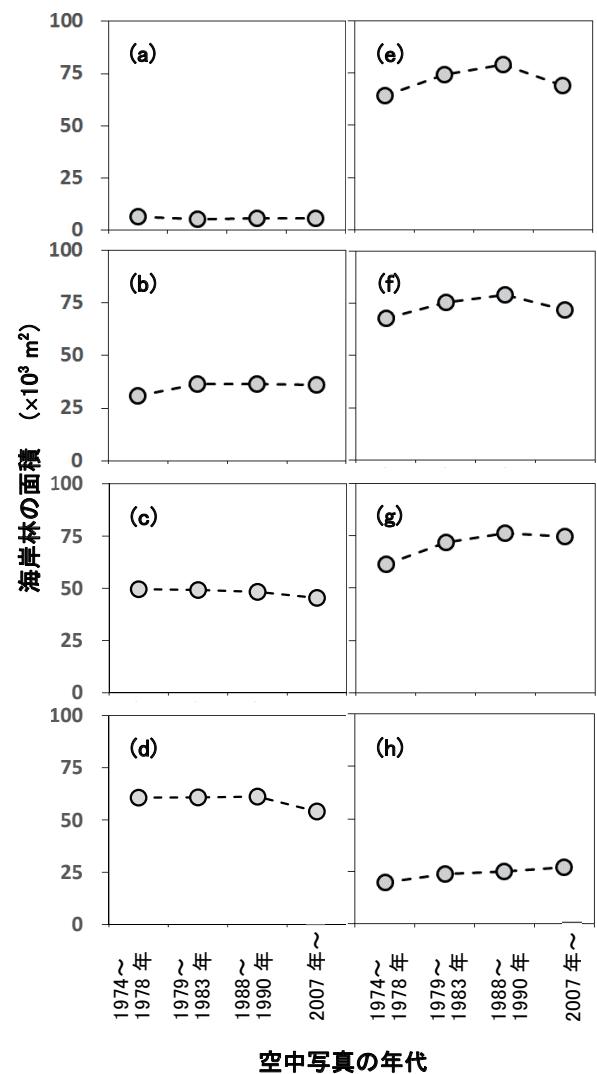


Fig. 5 各区分での面積の経年変化

(a)～(h)は、Fig. 3 と対応する。

1959 年に伊勢湾台風によって高潮の被害を受けた千本浜海岸には、天端高 13 m の防潮堤が海岸林の前面に建設された。その後、1966 年の台風 26 号に再び高潮の被害を受け、1967～1972 年に防潮堤が天端高 17 m に嵩上げされ現在に至っている^[5]。そのため、この期間に造成された防潮堤 (天端高 17 m) が海からの強風と塩分

を阻止し、樹木が侵入し易い環境が生まれたことにより、クロマツだけでなく広葉樹などの樹種が定着できるようになったと推測する。その結果、海岸林の面積が増加したと考えられる。

海岸における防風は、樹木の生育や成長を促進するという報告がある^[10]。防風柵を設置した野外実験では、柵の風下 30 m の範囲で風速と塩分量に顕著な減少が見られ、柵設置後 9 年経過しても継続的な樹木の成長が観察された^[11]。もともとクロマツは他の樹種と比較して、砂浜の乾燥、高温、塩分を含む強風、貧栄養に対して強い耐性があり、海岸の強い陽光の下で旺盛な成長をする。樹高は 40 m に達し、600 年の樹齢木があり、幼齢木から成長が早く、長年月に渡って成長する^[12]。このように耐性の強いクロマツにとっても防潮堤による環境条件の緩和は正の方向に働いたのであろう。

一方、広葉樹などの定着は、それ以外の要因も存在する。過去に海岸林で営まれていた燃料及び肥料としてのリターの収集作業の減退並びに維持管理作業の衰退は、植生の遷移をもたらした。その遷移の主なものがクロマツ林への広葉樹の自然侵入であり、このような遷移は各地で見られる^{[13][14]}。広葉樹自然侵入のプロセスとして考えられるのは、リターの堆積による土壤の発達とそれに伴う土壤養分量の増加である^{[13][14][15]}。

近田らによる千本浜における調査では、クロマツ林内に 90 種を超える木本植物が生育し、クスノキ、マテバシイ、エノキ等のクロマツと競合する可能性をもつ樹木も多く含まれていた。一方で、林床の管理の行き届いた千本松原東端にある千本公園内では、クロマツは純林を形成し林床植物の存在は極めて少なかった^[15]。これにより人為介入は、クロマツ林が優占種であり続けるための必要条件であることが分かる。

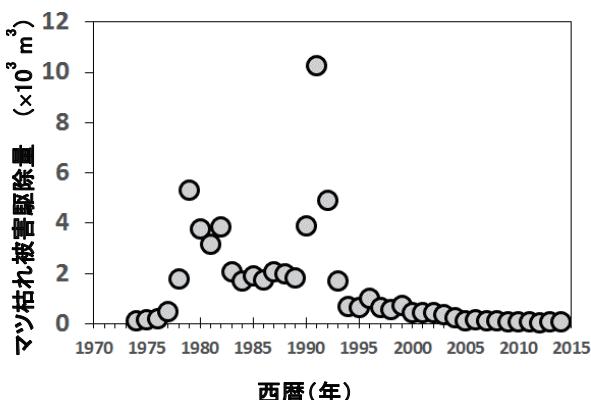


Fig. 6 沼津市におけるクロマツ枯死木の伐採本数



Fig. 7 無立木地における現在の状況

全対象地を含む海岸林における面積の経年変化 (Fig. 4) と区分別面積の経年変化 (Fig. 5c, d, e, f) より、第三期 (1988~1990 年) から第四期 (2007 年~) の期間において、海岸林の面積が減少した。沼津市産業振興部農林農地課から入手した松枯れ被害量と農薬散布の資料から沼津市全域におけるマツ枯れ被害駆除量を Fig. 6 に示した。このグラフから、第三期終わりの 1990~1993 年にマツ枯れ被害駆除量が大きくなり、1991 年では極めて大きな駆除量が記録されている。このことから、マツ枯れ木の伐採と駆除により海岸林の面積が減少したと考えられる。

沼津市の記録では、被害の多くは香貫山のクロマツであるが、御用邸記念公園や千本浜は香貫山の近隣であるため、これらのクロマツ林もマツ枯れ被害を逃れることができなかつた^[16]。マツ枯れは、長さ 1 mm の病原線虫 (マツノザイセンチュウ) が、5 月下旬から夏にかけて穿孔性害虫のカミキリムシ (マツノマダラカミキリ) を媒介者としてこのカミキリムシが枯死木から健全木へと移動する際に線虫とともに伝播することにより拡大するものである。線虫がマツの体内に侵入してから約 1 か月間で樹脂滲出が途絶し、その後約 1 か月間で枯死が明瞭になるといわれている^{[17][18]}。1950 年代からの燃料革命で里山が利用されず、枯死木の放置が増大した。枯死木中のカミキリムシや線虫は、燃料として駆除されなくなり、マツ枯れの伝染が拡大し枯死被害が激甚化したと考えられている^[17]。マツ枯れ被害を防ぐには、媒介甲虫の駆除が最も重要である。

マツノザイセンチュウによるマツ枯れ以外には、1995 年 9 月に千本浜の海岸林で土壤の極度乾燥が原因と推測されるクロマツ大量枯死が発生し、翌年 9 月には台風によるクロマツの風倒被害が突発した。その後、千本浜海

岸林での新規墓地造成が顕著になり無立木地が生起するようになった^[1]。千本浜クロマツ海岸林の自然休養や風致等の機能を失わないようするために、沼津市によると松林の中に遊歩道の整備の一環として、クロマツがなくなった無立木地 (Fig. 7) に有志のボランティアとともにクロマツ苗木を毎年植林している。クロマツ密生地の間引きや広葉樹の伐採、松枯れ対策として薬剤散布を行っている。更に有志のボランティアがクロマツ林内において落葉回収等の保全活動を積極的に行っており、近年は松枯れの発生は、ほぼ見られない。

今後は、次のような検討が有効であると考える。まず一つ目は、遷移の進行したクロマツ林の管理である。各地のクロマツ海岸林については、針広混交林または常緑広葉樹林への移行が提案され^[19]、広葉樹を取り入れるための樹種の精選試験が進んでいる^{[20][21][22]}。クロマツ林への侵入広葉樹を活用した海岸林管理は稀であり、海岸林における広葉樹の成長特性は未知な点が多い。侵入広葉樹の適切な管理は、防災機能の維持において有効か否か、並びに管理に要する費用及び労力の点において、有効か否かを検討する必要がある^[23]。

二つ目は、早期判断によるマツ枯れ対策である。目視では判別し難いマツノザイセンチュウによる初期被害木の識別が、衛星画像を用いた比植生指標と中間赤外線波長域から算定されるスペクトル指標で可能なことが明らかにされた^[24]。また最近では、無人航空機（ドローン）と位置情報による空中探査で、マツノザイセンチュウによるマツ枯れの特定と感染木の分布を精度良く調べる試みが自治体と企業の協働により開始された^[25]。このような試みは、海岸林の維持管理の強化や低コスト化につながると考えられる。

4. 要約

本研究では、画像の二値化を用いて千本浜海岸林における年代別の面積変化を事象と照らし合わせながらどのような要因がクロマツの盛衰に影響を与えるかを検討した。海岸林の面積を細かく分けて面積の変動を見ることにより、その土地での変化をより詳しく検討することができた。自然的な事象だけでなく、防潮堤の建設などの間接的な事象も海岸林に影響を与えることが分かった。

課題としては、千本浜海岸林の一部のみの解析しか行えなかったことが挙げられ、今後は千本浜全面での植被面積の経年変化並びにより正確及び迅速な判読方法の研究を行っていく必要がある。また防潮堤が造成されていない三保の松原等との比較を行うことで防潮堤の影響を更に明らかにしたい。

5. 謝辞

沼津市におけるマツ枯被害量と薬剤散布の経緯についてのデータとその内容について、沼津市都市計画部緑地公園課及び産業振興部農林農地課の方々にご協力を賜りました。ここに記して敬意を表します。

6. 参考文献

- [1] 村井宏: 開発インパクトと保全策, 村井宏, 田中一夫編, 日本の海岸林 : 多面的な環境機能とその活用, ソフトサイエンス社, (1992), 492-505.
- [2] 工藤勝輝, 西川肇, 藤井壽生: 房総半島クロマツ海岸林の衛星リモートセンシングに関する研究, 海岸林学会誌, 5, (2006), 7-14.
- [3] 遠藤稔: 松針葉の葉面主として気孔中における付着物質(粒子状物質)の分析 : 松枯れの原因解明へのひとつのアプローチ, 環境科学会誌, 16, (2003), 1-10.
- [4] 加藤龍夫, 花井義道, 植田博: スミチオンの空中散布による大気汚染, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 13, (1986), 25-36.
- [5] 近田文弘, 伊藤忠夫, 西川肇: 沼津市千本松原海岸林の重態: I. 海岸林の概要とベルトランセクトによる植生調査, Bulletin of the National Science Museum Series B, Botany, 22, (1996), 77-85.
- [6] 大林成行: 人工衛星から得られる地球観測データの使い方, 234, 大成出版社 (2002).
- [7] 柄澤孝和, 本條毅, 梅木清: 航空写真を用いた九十九里海岸クロマツ林の植生変化の解析, 環境情報科学論文集, 21, (2007), 457-462.
- [8] 瀬戸島政博, 今井靖晃, 船橋学, 勝木俊雄: 航空データ上の色調変化および落葉推移に基づく混交林の代表的な樹種の区分, ランドスケープ研究 68, (2005), 931-936.
- [9] 国土地理院: 地図・空中写真閲覧サービス, <<http://mapsgsigojp>>, (アクセス日: 2015年10月22日).
- [10] 大池航史, 佐野淳之: 防風柵による保護がクロマツ海岸林の成長と更新に与える影響, 広葉樹研究, 16, (2015), 21-27.
- [11] 山野井克己, 河合英二, 溝口康子, 工藤哲也, 松岡廣雄: 海岸林の樹高成長に及ぼす間伐材防風柵の効果, 日本林學會誌, 83, (2001), 143-149.
- [12] 近田文弘: なぜ、クロマツなのか?: 日本の海岸林の防災機能について, 海岸林学会誌, 12, (2013),

- 23-28.
- [13] 河合英二：海岸防災林の最近の問題点，山林，(2000), 58-65.
- [14] 中島勇喜：海岸林の現状と課題，日本砂丘学会誌，47, (2000), 128-135.
- [15] 藤田恵美，中田誠：海岸砂丘地のクロマツ林における広葉樹の混交による立地環境の変化：新潟県下越地方における事例，日本林學會誌，83, (2001), 84-92.
- [16] 近田文弘，伊藤忠夫，西川肇：沼津市千本松原海岸林の動態 II. 千本松原海岸林の保全，自然環境科学研究，(1997), 17-30.
- [17] 黒田慶子：里山の健康低下とその要因(2)マツ枯れの原因と対策，農業および園芸，90, (2015), 1107-1112.
- [18] 二井一禎：海岸クロマツ林保全の課題：三保の松原保全を例として，グリーン・エージ，42, (2015), 25-28.
- [19] 河崎弥生，田中一夫：海岸防災林の保育,更新に関する基礎的研究-1-密度管理と林分構造について，砂丘研究, 30, (1983), p233-247.
- [20] 平尾勝男，西垣真太郎：海岸林の実態調査からクロマツに替る樹種選定について，林業試験場試験研究報告，(1984), p23-31.
- [21] 八神徳彦：石川県における海岸林植生と樹種転換に適した樹種の選定，石川県林業試験場研究報告，(2005), 1-8.
- [22] 林業技術編集部：神奈川県湘南海岸の砂防林，林業技術，(1991), p17-20.
- [23] 山口友平，中田誠：市街地に隣接した海岸クロマツ林における常緑広葉樹の侵入と成長--新潟県新潟市の事例，海岸林学会誌，7, (2008), 7-15.
- [24] 西川肇，藤井壽生，工藤勝輝：衛星データを利用したクロマツ海岸林の害虫被害判定法に関する研究，海岸林学会誌，1, (2001), 21-26.
- [25] 新潟市：新潟市におけるドローン実証プロジェクトに関する連携協定を締結しました，<https://www.city.niigata.lg.jp/shisei/seisaku/kokk atokku/tokku/tokku-oshirase/drone-kyoutei.html>, (アクセス日：2016/11/25), (2016).