

津波防災施設としてのわが国海岸林の機能評価に関する研究

Functional Assessment on Coastal Forests in Japan as Tsunami Barrier Facilities

浅野敏之¹・松元千加子²・永野彩佳³

Toshiyuki ASANO, Chikako MATSUMOTO and Ayaka NAGANO

Recently, coastal forests have received much attention for their concurrent benefits for environment and tsunami disaster protection. This study has surveyed coastal forests in Japan from viewpoints of tsunami barrier functions. Using detailed land maps and satellite images, their topographic and vegetation properties, such as altitude, distance from the shoreline, growth areas, etc. are investigated. Considering the tsunami vulnerability and hinterland land-use in each area, the tsunami reduction ability of individual coastal forest has been assessed. In addition, field surveys are conducted to investigate tree-configuration properties and their relationships with stand density from aspects of hydrodynamic resistance against incoming tsunamis.

1. はじめに

近年、環境保全と防災を両立させる津波対策として海岸林の活用が注目されている。過去の災害事例から海岸林による津波エネルギーの軽減効果が知られているが、もともと海岸林は、森林法では飛砂防備保安林・防風保安林・潮害防備保安林などに指定されるもので、津波防災を目的に造成されたものではない。そのため、津波に対して防災効果の高い海岸林を造成・育成・管理する手法については、林野庁（2005）がその重要性を指摘しているものの、現在に至るまでほとんど研究されていない。静岡県沼津市などが行ったアンケート調査によると、地域住民の半数が海岸林に津波被害の軽減を期待する結果が示されているが（林野庁，2005），定量的にどの程度の軽減効果が見込まれるのかは明確ではない。現状では、海岸林が適切に育成・管理すれば津波防災施設として大きく貢献するものであるのにその活用が図れていない場合や、逆に、現状の規模・状態の海岸林に対して過度の津波防災効果を期待してしまう場合など、合理的な海岸林の津波防災能力の評価がなされていない。

本研究は、海岸林の持つ津波防災能力を繁茂規模や特性、地形条件などの客観的データに基づいて検討しようとしたものである。わが国の代表的な海岸林で津波災害が危惧される地域のものを選定し、それぞれについて地盤標高や規模と位置、背後地の状況を調べ、海岸林の持つ防災機能を評価した。また、鹿児島県「くにの松原」海岸林において、海岸林内の樹木形状特性や立木密度との関係について現地観測調査を行い、地形図や衛星写真による解析調査で不足する森林特性などの林分内の樹木

特性について考察を行った。

2. 海岸林調査の方法

表-1に示す海岸林について林帯幅や海岸林前縁の汀線からの距離などの諸元を衛星写真から読み取った。また、各自治体から海岸林がある地区の等高線のある地形図（縮尺2500分の1）を取り寄せ、地盤標高や海岸林の位置を読み取った。これに衛星写真・航空写真も参考にしながら、海岸林とその周辺の標高、海岸線や背後地の集落との位置関係を示す海岸断面図を作成した。その結果は次章の図-1～11に示すが、ここでの横軸は汀線からの距離を、縦軸は地盤標高を示す。また図中yの値は海岸林端から海岸線に沿った距離である。図中の家や樹木はその分布位置を表したもので、実際の家屋寸法や立木密度・樹高とは関係がない。また図中の断面図の曲線が濃淡の2種類で示されているが、淡い部分は水田・湿地・河川を表している。なお、海岸林は林齢とともに隣接樹木との競合によって自己間引きを行い、さらに人的伐採や開発行為、マツクイムシなどの虫害などの影響を受ける。表-1および図-1～11に示した林帯幅などの諸量は地形図作成時あるいは衛星写真撮影時のものであって、時間的に不変のものではないことを付記しておく。

3. 各地の海岸林の特徴

本節では、わが国の代表的な海岸林を津波防災施設としての観点からその特徴を述べる。個々の海岸林の植栽・造林などの沿革や地理的・環境的条件については紙幅の関係から記述を省略する。これらについては村井ら（1992）を参照されたい。また調査は表-1に示す12の海岸林について行ったが、紙幅の関係でそのうちの9つの海岸林について記述する。

1 正会員 工博 鹿児島大学大学院教授 理工学研究科
2 学生会員 鹿児島大学大学院博士前期課程
3 デル宮崎

表-1 衛星写真から読み取った海岸林の諸元

海岸林名	能代 海岸	庄内	陸前 高田	東海村	九十九 里浜	湘南 海岸	千本 松原	煙樹 ヶ浜	入野 松原	一つ葉 海岸	吹上浜	くにの 松原
平均林帯幅 (m)	468	358	84	173	134	72	142	286	237	486	451	550
最大林帯幅 (m)	1,180	640	260	560	290	160	240	490	380	1,710	840	840
汀線距離 (m)	88	192	54	82	110	81	92	130	170	88	78	110
全長 (m)	31,830	33,090	2,050	4,260	53,880	12,800	14,960	3,530	2,300	14,220	35,250	12,880
観測測線数	10	11	5	10	17	7	5	3	3	10	10	5

(1) 岩手県陸前高田海岸林

陸前高田松原は、天橋立、敦賀気比の松原とともに三大白砂青松と呼ばれる延長約2kmのクロマツ林である。明治三陸津波で大きな減災効果を発揮したとの記録があるが、図-1に示すように地盤標高は最高点でも約3mしかない。これより東方の断面では地盤標高はさらに低くなり、汀線から集落までの距離も500m程度と短くなる。西方には気仙川が流れ、海岸林と集落の間にある古川沼は広田湾につながっている。こうした地形特性は津波に対してやや脆弱な面が認められ、林帯幅を拡張するなどにより海岸林の津波減災効果を十分に確保すべきと考える。なお松原の内陸側には海岸林の津波防潮機能を補完するために、高さ約5mのコンクリート防潮堤が築かれている (小田, 2003)。

(2) 山形県庄内海岸林

庄内海岸林は、北は遊佐町吹浦から南は鶴岡市湯野浜に至る全長33km、最大林帯幅が640mとわが国でも屈指の規模を持つ海岸林である。表-1に示したように汀線からの距離は平均で192mと、今回選定した海岸林の中では最も大きく、汀線から離れて位置することがわかる。図-2に最上川河口から1800m南側の断面図を示したが、最大標高は10mと高く地形の持つ津波安全度は高いと判断される。

(3) 千葉県九十九里海岸林

九十九里海岸林は全長54kmと今回選定した中では最も規模が大きい海岸林である。図-3は海岸林の南端から1800mの一宮町東浪見付近、図-4は南端から5100mの一宮海水浴場付近の断面地形図である。全体を通じて最大標高は5～7m程度であり、背後地はさらに地盤高が低く平坦な地形となっている。地形の持つ津波防災力は必ずしも十分とは言えず、海岸林の育成・管理が津波防災に果たす役割にも期待しなければならない。

(4) 神奈川県湘南海岸林

湘南海岸は大磯・江ノ島・鎌倉等の景勝地を控え、保養地・別荘地ともなっている。また首都圏の通勤圏でもあり、背後地は約100万人の人口を擁している。海岸林は大磯町東端から藤沢市片瀬海岸まで延長約13kmに広がっている。背後地ならびに国道134号線の飛砂対策と

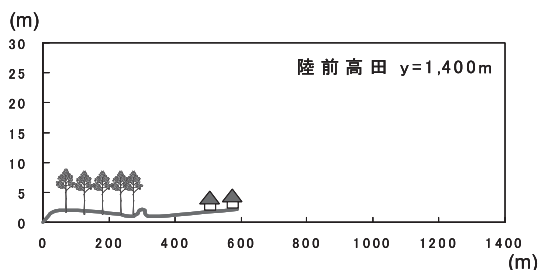


図-1 陸前高田海岸林の断面地形図

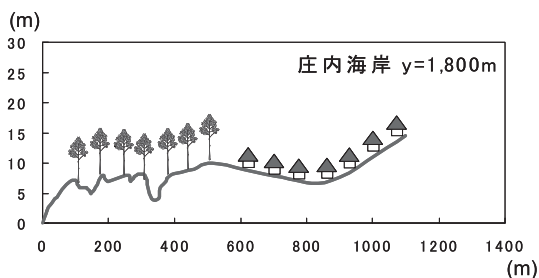


図-2 庄内海岸林の断面地形図

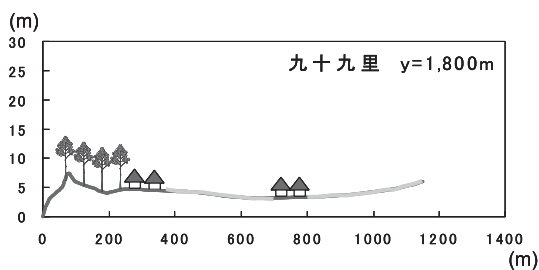


図-3 九十九里海岸林の断面地形図 (y=1,800m地点)

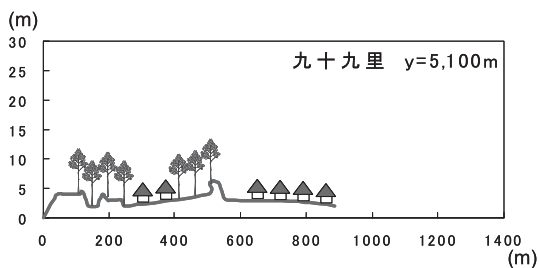


図-4 九十九里海岸林の断面地形図 (y=5,100m地点)

して設置されている海岸林は、クロマツ林内に広葉樹を下層木として密植しているのが特徴である。図-5に西端から2300m地点（平塚市湘南海岸公園付近）の断面地形図を示す。この地の海岸林は表-1からわかるように林帯幅が平均72m、最大で160mと選定した海岸林の中では最も狭い。汀線から林までの距離も短い。しかし地形は5～8m程度の最大標高を持ち比較的高い。神奈川県県土整備部（2007）は、南関東地震など4つの地震を想定した津波浸水深予測図を作成し公表している。それによれば津波堤基部などのごく限られた区間を除き、沿岸部において5mを超える浸水深は示されていない。このことと現地の地形標高を考慮すると、海岸林に大きな津波減災効果を期待しなくても良いように思われる。しかし、背後地は住宅などの密集地となっており、漂流物のブロック効果を含む付加的な津波減災効果を見込んだ海岸林の育成・管理も必要と考える。

(5) 静岡県千本松原海岸林

図-6に千本松原西側端から6000m地点の断面図を示す。地形の最高点は10mを越え、安全度はかなり高い。地形標高は西側ほど高く、東側（狩野川側）では5m程度に低くなる。この地形高度に加え、林帯の前縁部にはT. P. +17mの巨大な防潮堤があるため既に十分な津波防災力を持っており、海岸林の津波防潮機能に期待するところは小さい。ただし、背後地には住宅が建ち並び、国道1号線や工場なども密集しているため、海岸林による付加的な津波防潮機能も必要と考えられる。

(6) 和歌山県煙樹ヶ浜海岸林

煙樹ヶ浜松原は、紀伊半島の中部に西流する日高川河口に位置し、延長3.5km、平均林帯幅286mの規模を有している。図-7は海岸林北端から60m地点の断面図を示す。煙樹ヶ浜はこの断面地形ではほぼ代表され、低いところでも海岸林の地盤標高は6m、住宅地標高は10mあり、安全度は比較的高い。

(7) 高知県入野松原海岸林

入野海岸は土佐湾の西端足摺岬より東方に約30kmの高知県幡多郡黒潮町入野に位置する。図-8は西南側から1000m地点の断面図である。林帯幅はこの地点で約400mと広いが、地盤標高は5m程度しかない。1707年の宝永津波では、土佐湾沿岸で2000人近い死者を出し、流出家屋11000戸の大被害が生じている。この時、入野周辺の佐賀で6m、下ノ加江で5mの津波高さが推定されている（渡辺，1985）。こうした点を考えると津波安全性が十分とは言えず、海岸林の減災効果も期待しなければならない。

(8) 宮崎県一つ葉海岸林

一つ葉海岸のマツ林は、宮崎市宮崎港を南端とし石崎川を越え佐土原町に至る全長14km、平均林帯幅500mに

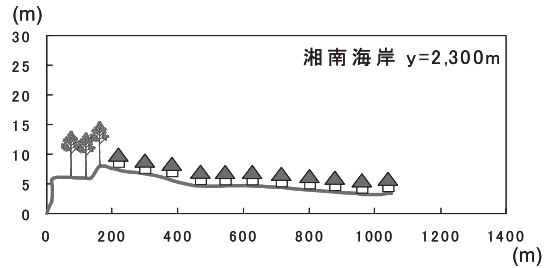


図-5 湘南海岸林の断面地形図

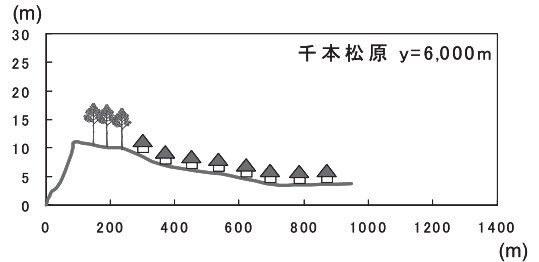


図-6 千本松原海岸林の断面地形図

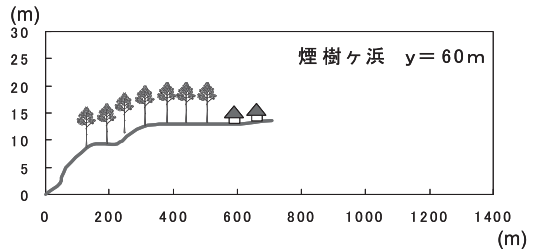


図-7 煙樹ヶ浜海岸林の断面地形図

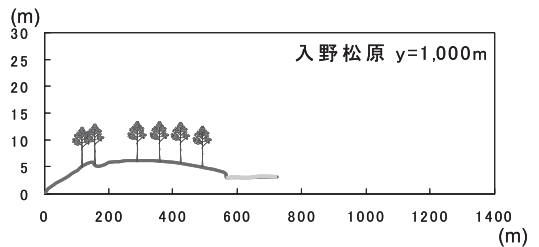


図-8 入野松原海岸林の断面地形図

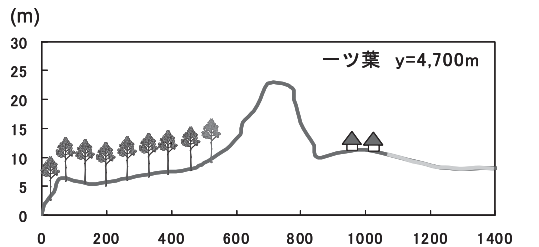


図-9 一つ葉海岸林の断面地形図 (y=4,700m地点)

及ぶ広大な海岸林である。中央に一つ葉有料道路が走っている。図-9に南端から4700m地点の断面図を示す。この地点では地盤標高が20mを越えており、南端から2000m～6000mの中央部では最大標高は15m以上となっている。したがって、海岸林が無くとも津波に対して十分な安全性を有すると判断できる。しかし、北方に行くにつれ標高は低くなり、図-10の11400m地点では最高標高が6m程度となり、近くの石崎川からの津波遡上の可能性がでてくる。

(9) 鹿児島県くいの松原海岸林

志布志湾に注ぐ肝属川と菱田川の間に、延長約13km、平均林帯幅550mにわたって広大なくいの松原海岸林が広がっている。図-11に南端から5400m地点の断面図を示す。この地点では海岸林が汀線近くに位置するが、一旦岸沖距離200～400m地点で田畑となり、再びその背後で海岸林となる。くいの松原は一部を除いて地形標高は十分にあり、南端から3600m地点では最大標高が約20mとなっていた。しかし田原川や菱田川の河口付近では地形標高が5m未満でマツ林の幅も狭くなる箇所があり、すべての地点で津波安全度が高いわけではない。

4. 津波に対する流体抵抗を形成する樹木形状特性

(1) 津波防潮機能に与える樹木形状の効果

前節では、わが国各地の海岸林の繁茂域、地盤標高、海岸線からの位置、背後地の状況などを分析・整理した結果を示したが、海岸林内の樹木特性については触れなかった。当然ながら個々の海岸林ごとに林齢・樹齢が異なり、その結果として幹直径や樹高が変化することになる。樹木群落として見た場合、立木密度も林齢とともに変化し、幹直径や樹高とも密接に関連する。海岸林の津波に対する流体抵抗を評価する時、津波高によって幹部が機能する場合と、幹部のみならず枝葉を含む樹冠部が機能する場合がある。すなわち、海岸林の津波防潮機能は、胸高幹直径、立木密度、樹高、樹冠高、枝下高など多くの形状要素が関与する。またマツの単層林であるのか、中下層部に耐陰性の広葉樹を有する複層林であるのか、についても全体の流体抵抗形成に影響を与える。本節では、鹿児島県くいの松原において、こうした樹木形状の特性を検討した結果について述べる。

(2) 現地観測の概要

現地観測は、くいの松原において2007年10月30日～11月2日および2008年12月11日に実施した。このマツ林は、クロマツを主林木とし下層木はほとんど無い。観測は「くいの松原」キャンプ場先で、立木密度の異なる計33点の標本地（プロット）を選定して実施した。測定項目は、個々の単木については胸高幹直径・樹高・（生・枯）枝下高・樹冠直径・幹傾斜角・枝の分岐角で

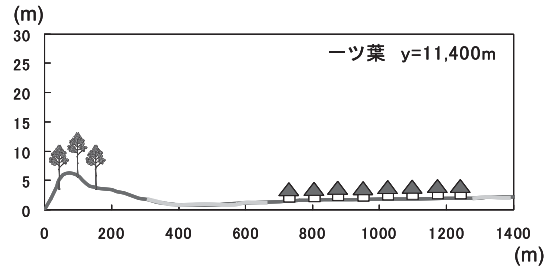


図-10 一つ葉海岸林の断面地形図 (y=11,400m地点)

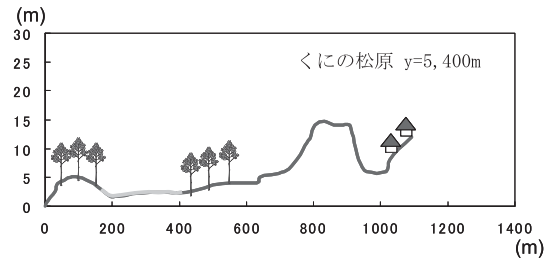


図-11 くいの松原海岸林の断面地形図

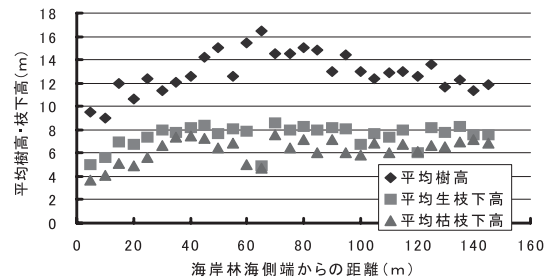


図-12 平均樹高と枝下高の海岸線からの距離に伴う変化

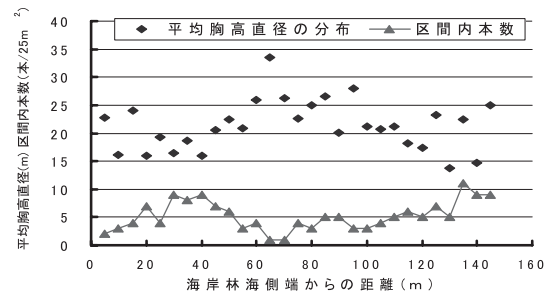


図-13 平均胸高直径の海岸線からの距離に伴う変化

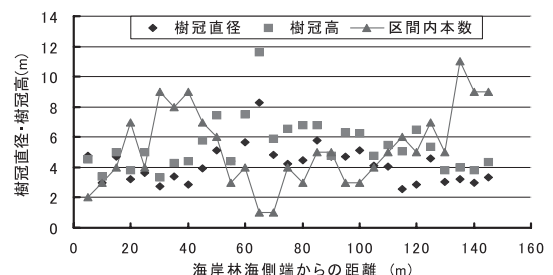


図-14 樹冠直径・樹冠高の海岸線からの距離に伴う変化

あり、林分については立木密度である。胸高直径については直径巻き尺、樹高・枝下高はバーテックス等の測高器や測棒によって計測した。立木密度は10mあるいは5m四方のプロットを設定して樹木本数をカウントするとともに、レラスコープを用いたプロットレスサンプリングも援用した（大隅，2001）。

（3）結果ならびに考察

5m×5mのサンプリング区画ごとに平均された樹高や胸高直径・樹木本数などと、海岸林海側端からの距離との関係を調べた。海側端から40m程度までは、海からの強風や潮害の影響によって樹高や枝下高が低くなる（図-12）。また、平均胸高幹直径（図-13）、樹冠直径・樹冠高（図-14）についても海側端近くでは海風や潮害による成長の阻害影響が見られる。図-13、図-14中には幹直径・樹冠長などのデータとともに、区間内本数の分布を示したが、これらより樹木の寸法と区間内本数は逆相関の関係があることがわかる。これについての検討の詳細は瀬戸口ら（2009）を参照されたい。

胸高幹直径は大きいほど、津波の大きな流体力に耐えることができるが、幹が太い樹木群は立木密度が疎らな状態で実現されるため、その点では海岸林全体の流体抵抗が低下することになる。同様に樹冠部の大きな樹木は、津波高が樹冠部に至る場合には大きな流体抵抗を発揮するが、立木密度が大きい状態ではこうした豊かな樹木が実現できない。同じ樹高であれば枝下高が低いほど、がっしりした樹形となり大きな津波流体抵抗が発揮されるが、同様に林分の成長に伴って隣接樹木との競合が生じ、枝の枯れ上がりが発生しやすくなる。

5. まとめ

- （1）わが国の代表的な海岸林の持つ津波防災能力を、地盤標高、海岸線からの位置、分布幅、背後地の状況などから評価した。地盤標高が十分でない地域、背後地に人口が集積する地域を明らかにし、こうした地域では海岸林の減災効果が十分発揮できるよう林帯幅の拡張、樹木群の育成・管理をすべきことを指摘した。
- （2）一方では既に十分な地盤標高を有していたり、前面に高い防潮堤防が設置されている海岸もある。こうした地点では海岸林に津波防潮機能を期待する必要があるようにも考えられるが、津波を起因させる地震によ

って防潮堤の倒壊や地盤液状化による沈下なども報告されており、海岸林による津波防潮機能の2次的な備えが現実に役立つことも予想される。

- （3）以上の考察は、あくまでも代表的な断面地形から判断したものであって、海・陸の地形によって津波エネルギーの集中する箇所や、河川遡上を通じて越流することも考えられ、個々の海岸の詳細地形にわたっての考察が別途必要である。
- （4）津波防潮機能を形成する林分内の樹木形状特性について、くにの松原における現地観測結果を示した。樹木形状特性は、海岸林前縁からの距離や立木密度と密接に関連することが明らかになった。海岸林の津波流体抵抗は、林齢・樹齢とともに成長・変化する立木密度、樹高、幹直径などに支配される。わが国の海岸林の津波防潮機能をより高精度に評価するためには、くにの松原の現地調査で求めた樹木寸法、立木密度などの特性を考慮に入れた考察が必要と考える。

謝辞：本研究を実施するにあたって、各自治体からは海岸林周辺の地形図を送付して頂いた。くにの松原の海岸林の現地調査には、鹿児島大学農学部森林管理学講座の寺岡行雄准教授、博士前期課程学生大村康秋氏のご指導・ご協力を頂いた。2007年の現地観測には、本研究室に在籍した北山剛史君、内園憲仁君の協力を得た。以上を記して謝意を表します。本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究C（課題番号19560515）の補助を得て実施された。

参考文献

- 小田隆則（2003）：海岸林を作った人々，「白砂青松の誕生」，北斗出版，254p。
大隅眞一（2001）：森林計測学講義，養賢堂，287p。
神奈川県県土整備部（2007）：神奈川県津波浸水予測図解説書，p21，http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/sabo/kouwan/shinsui/map/s_map-s0.html/
瀬戸口修造・浅野敏之（2009）：海岸林を遡上する津波の減衰に関する数値シミュレーション，海洋開発論文集，第25巻，pp. 75-80。
村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也（1992）：日本の海岸林，ソフトサイエンス社，513p。
林野庁（2005）：海岸林防災機能の高度発揮のための管理システムに関する調査報告書，109p。
渡辺偉夫（1985）：日本被害津波総覧，東京大学出版会，206p。