

庄内海岸砂防林現状調査報告書

山形大学農学部

目 次

1. 現状調査の目的	2
2. 現状調査の方法	3
3. 庄内海岸砂防林の概要	4
4. 庄内海岸砂防林の現状	8
5. 庄内海岸砂防林の課題と課題解決の手法	37
6. 砂防林の再生を目指して	42

1. 現状調査の目的

わが国の海岸の美しい風景を表している「白砂青松」という言葉があるように、全国各地の海岸地域に松林が存在している。しかし、近年、松くい虫被害による松枯れのまん延や、植物の遷移による広葉樹の侵入、海岸の松林から人々の足が遠のいたことによる管理不足などが原因で、海岸林の衰退が進んでおり、現状のままでは将来海岸の松林が消失するという危機的な状況を迎えている。庄内海岸砂防林も例外でなく、松林の衰退の危機を迎えており、長年海岸林が担ってきた防風・飛砂防止の機能の低下が懸念されている状況にある。

そこで、海岸林の保全・管理をすすめ、海岸林の再生を図る事を目的とした庄内海岸砂防林の松原再生計画を作成するにあたり、計画を作るための基礎調査・基礎資料の整理をする必要があることから、現状調査を実施して、庄内海岸砂防林の現状について把握する事を目的とする。

第4章の「庄内海岸砂防林の現状」では、現状把握のためには、庄内海岸砂防林の主目的が防風、飛砂防止であることから、これらについての基礎的な原理を知っておかなければならないと考え、これらの基礎的な原理についてまず述べた。

次いで、庄内海岸砂防林に関する既報の論文、報告書等を整理し、これらと前述の防風、飛砂防止に関する基礎的原理とを基に、庄内海岸砂防林が現在どのような状況にあるのかについて指摘することとした。

2. 現状調査の方法

現状調査の内容について、「健康診断調査」と「基本情報調査」の2つの調査を行うこととする。

「健康診断調査」は、先述の防風、飛砂防止に関する基礎的原理と山形大学農学部や山形県森林研究研修センターなどが実施した庄内海岸砂防林の調査・研究に関する資料・論文を基に、庄内海岸砂防林の現状を把握し、海岸松林の健康状態を把握するために実施する。

「基本情報調査」は、山形県、沿岸市町等の行政機関が発表する統計資料や海岸林に関する著書・パンフレットなどを元に、海岸林の面積や海岸林の造成経緯など、庄内海岸砂防林に関する基本情報を収集し、整理するために実施する。

「基本情報調査」の調査結果は、「庄内海岸砂防林の概要」として、「健康診断調査」の調査結果は、「庄内海岸砂防林の現状」としてそれぞれまとめ、調査結果より庄内海岸砂防林の抱える課題を把握し、課題の解決方法について考察し、報告するものとする。

3. 庄内海岸砂防林の概要

庄内海岸砂防林は、山形県の北西部にあたる庄内地方にあり、長さ約 33km、幅約 2 km、総面積約 2,500ha と広大な面積を有している。そのため、酒田市、鶴岡市、遊佐町の 2 市 1 町にまたがっている。砂防林の所有区分も国有林と民有林にまたがっており、国有林の面積は約 850ha で、酒田市の「万里の松原」や海岸部の最前線に多くある。民有林の面積は約 1,360ha であり、残りの約 290ha は公園等になっている。国有林、民有林を問わず飛砂防備・潮害防備・防風・保健保安林などの各種の保安林指定を受けているほか、鳥海国定公園（第 3 種特別地域）や庄内海浜県立自然公園（普通地域）、日本の白砂青松百選の指定を受けている。

庄内海岸砂防林がある庄内地方では農業は基幹産業であり、庄内海岸砂防林においても例外なく農業が行われている。平成 17 年に調査が行われた「農林業センサス」によると、庄内海岸砂防林がある地域・集落における農地の総面積は 3,487ha であり、各市町単位の主な作目は、酒田市では、米、メロン、スイカ、イチゴ、大根、柿、鶴岡市では米、メロン、大豆、大根、ネギ、トマト、ストック、遊佐町では米、トルコギキョウ、カスミソウ、アルストロメリア、ユリ、スターチス、メロン、スイカ、大根、長いも、ネギ、パプリカなどがあげられる。作目では、砂丘の背後地で主に栽培されており、庄内地方の農業の主力作目である米が一番多いが、砂防林周辺は砂丘地であり、水利などの理由から畑作が多く、主な特徴としては、メロンが庄内砂丘の特産品となっているように、メロンに代表される果菜類やトルコギキョウなどの花き類が多く栽培・生産されていることがあげられる。

庄内砂丘の上に形成された庄内海岸砂防林は、長い年月を経て自然に出来た天然林ではなく、強風や飛砂から田畑や住まいを守るために人が植栽し、育ててきた人工林である。大昔は広葉樹が生い茂る森林であったといわれているが、戦国時代の戦乱や年貢としての塩を作るための薪として、あるいは木材や燃料等の生活の糧として伐採していったうえ、季節風や海岸の砂地であることなどの厳しい環境が追い討ちをかけ、広葉樹林は衰退していき、やがて森を失い強風と飛砂に悩む不毛の砂漠になった。そして、飛砂により家や田畑、河口は砂で埋まり、行き場を失った川は氾濫を繰り返すという、「飛砂」と「洪水」の二重苦に苦しむ時代を迎えた。そこで、砂丘を静め、安全な暮らしを取り戻すため、砂丘にもう一度森林を取り戻すため、約 300 年前から植林を始めた。様々な樹種を植えていき試行錯誤をしたが、厳しい海岸砂丘地の環境に耐えられる樹木として「クロマツ」を見出した 18 世紀の半ばに植林事業が本格化していった。この頃になると、当時庄内地域を治めていた庄内藩も植付役という植林の指導監督者を置いて藩としても植林に取り組んでいった。植林事業では、佐藤

藤左衛門・佐藤藤蔵父子や曾根原六郎、本間光丘、佐藤太郎右衛門など後世に「先人」と呼ばれる多くの優秀な植林事業者を輩出した。遊佐町の西遊佐地区では、「先人」である佐藤藤蔵の偉業をたたえる佐藤藤蔵祭が毎年11月10日に行われている。「先人」以外にも、藩の補助を受けて行ったものや藩有林として行ったものなど、広大な庄内砂丘に多くの人たちが長年にわたり多くの失敗や揉め事を乗り越えて植林事業に取り組んだ結果、次第に森林は形成され始めていった。

しかし、第二次世界大戦時には、植林や管理は二の次となり、燃料の収奪や開墾、松根油採取などのために砂防林は切られ、荒廃していった。その結果、昭和の時代になって再び飛砂の猛威に苦しめられる事となった。そして、戦後、国営事業として大規模な海岸砂丘地の造林事業が進められるなど、活発に植林事業が展開された結果、江戸時代から続いてきた植林事業は昭和40年代に至ってようやく一応の完了を見ることとなった。

従来は生活資源を得るための場であった庄内海岸砂防林も、現在では森林に対する考え方が多様化していることもあり、砂防林を散策やレクリエーション、憩いの場として活用している事例もある。

酒田市の万里の松原、光ヶ丘公園は、国有保安林と都市公園が一体となった松原で、区域内には遊歩道が整備されており、市民が散策や憩いの場として活用している。

また、庄内空港緩衝緑地は、庄内空港周辺にある都市公園で、公園内にはキャンプ場やスポーツ施設などが整備されており、身近なレクリエーションの場を提供している。

鶴岡市では、いこいの村庄内に散策路があり、松林の中の散策・ジョギングやバードウォッチング、森林浴を楽しむ事ができるほか、国有林を活用した国際ノルディックウォークの開催といった松原を活用した行事も行われている。

遊佐町では、西浜キャンプ場が、松林の中にあり、レクリエーションの場として活用されている。

庄内海岸砂防林をレクリエーションの場として活用しているほかに、庄内海岸砂防林に親しみ、庄内海岸砂防林を通して森林に対する理解と認識を深めるために、森林環境教育に取り組んでいる。山形県庄内総合支庁が行っている出羽庄内公益の森整備事業（現在は出羽庄内公益の森づくり事業に改称）で学習林が整備された6つの小学校では、学習林を活用した学習・体験活動が行われている。また、国有林の「遊々の森」制度を活用して学習林を設定して学習活動を行ったりしているほか、多くの学校が庄内海岸砂防林の一部をフィールドとして、森林整備活動や森林学習が行われている。

近年では、森林ボランティア団体も立ち上がり、ボランティア活動として庄内海岸砂防林の整備活動が行われているほか、地域団体の行事として森林整備

を行っている地区・集落も多い。また、遊佐町の西山地区砂防林整備ボランティアのように行政機関が主催・共催して市民ボランティアを集めて森林整備活動を行ったり、環境団体が海岸地域などでゴミ拾いを行ったりするなど、様々な形で活動が行われている。現在活動を行っている主な森林ボランティア団体については、次のとおりである。

○特定非営利活動法人（NPO）庄内海岸のクロマツ林をたたえる会

公益の役割を果たしている庄内海岸のクロマツ林を理解し、啓発に努め、その環境を保全し、健全で有用な砂防林として未来に引き継ぐことを目的に平成13年に設立し、平成15年に特定非営利活動法人（NPO）の認証を受けた。

会としてクロマツ林の整備ボランティアを行ったり、自治体が主催する整備ボランティアに参加しているほか、学校が取り組んでいる森林環境教育の支援活動を行っている。

また、「クロマツシンポジウム」を開催したり、やまがた緑環境税を活用して「庄内クロマツ探検隊」を実施するなど普及啓発活動にも取り組んでいる。

○万里の松原に親しむ会

市民の森として整備された万里の松原を地区住民が身近な森林空間として大切に育てようと平成13年に設立した。

設立以来、万里の松原に植栽された木々の剪定や植樹、遊歩道づくり、松原内の環境美化活動を活発に実施している。合わせて、地域交流を積極的に実施し、現地学習等活発に行っている。会報を発行し、会の活動のPRも行っている。松原内に自然観察教育林（面積2ha）を設けており、地域内にある学校の学習活動の場になっている。

森林ボランティア活動が活発であり、活動を通して子どもたちに森林の大切さを伝えている。地区内の小・中学校及び高等学校を加えて地域活動として広がっており、森林・環境・地域づくりに期待される。

○飯森山の緑と景観を考える会

平成15年に設立し、酒田市の飯森山公園を中心としたフィールドで活動を展開している。

公園や地域にある緑及び景観に関する学習を行うとともに緑の管理、環境美化活動への参加・協力を行っている。年間を通して「例会」を開催しており、各種の観察会や森づくり作業、緑の管理作業、美化作業、茶話会、研修会、講演会、楽しむ会などの活動を随時行っている。

○ 砂丘地砂防林環境整備推進協議会

防風林・防砂林として築き上げてきた西山地区の海岸砂丘に広がるクロマツ林が松くい虫被害により存続が危ぶまれる状況になったことから、地域住民による森林整備ボランティアグループとして平成9年に組織された。

松くい虫被害跡地へのクロマツの苗木の植栽や下刈等の整備活動に積極的に取り組んでおり、砂丘地砂防林の環境保全整備を継続して行っている。

協議会の活動が地域住民の環境保全意識を喚起し、毎年12月の第一日曜日に協議会が中心となって実施している「西山地区森林整備ボランティア」活動は年々広がりを見せ、現在では遊佐町の全町あげての活動となっている。

また、関係団体が連携して一体的かつ健全に保全をし、未来に引き継いでいく方法を話し合う場として、行政機関・教育機関・森林ボランティア団体・森林組合が参加する「出羽庄内公益の森づくりを考える会」が平成14年に設立されている。考える会は毎年3回会議を開催し、活動に関する情報交換や意見交換、情報提供などが行われている。

また、山形県庄内総合支庁の行っている出羽庄内公益の森づくり事業では、森林環境教育の支援活動を行っているほか、森林ボランティアリーダーの養成を目的にボランティアリーダー研修を行っている。

4. 庄内海岸砂防林の現状

4-1 海岸クロマツ林の防風・飛砂防止機能

4-1-1 防風機能

1) 海岸地帯と風

我が国は島国であり、海岸線の総延長は 34,000 kmにも及ぶ。しかも、島々の中央部には山岳があり、平野部は河川に沿ったごく一部があるものの、その大部分は海岸沿いの地帯に限られており、この限られた地帯に産業が発達し、人口が集中している。この海岸沿いの地帯の自然条件は内陸部と比較して決して温和ではなく、厳しい自然条件下にある。とりわけ、風の条件はこの地帯にとって厳しい条件の1つである。

こうした風が及ぼす影響の違いを海岸地帯と内陸部において比較するため、海岸地帯として酒田を、内陸部として山形を例にとり、10m/s 以上の日最大風速の階級別日数および風速の最大記録(1990年まで)について比較すると下記のようなになる。

	酒田	山形
10m/s 以上の階級別日数	91 日/年	0 日/年
最大風速	37.7m/s	21.4m/s
最大瞬間風速	49.0m/s	32.6m/s

この例から、海岸地帯がいかに強風地帯であるかが容易に理解されるだろう。また、このような強風はそれのみならず、現象的に飛砂や飛塩を伴うことから、なお厳しい条件を増加させることになる。

海岸地帯では、古くからこうした強風に対処してきており、生活を守る手段として強風を緩和するための構造物や森林を造成してきた経緯がある。したがって、海岸林が防風の働きを有していることは経験的には既に知られていたことである。また、森林の防風の働きについての現地観測も既に数多くなされており、一方では現地との対応に問題は残しているものの、風洞装置を用いた多くの模型実験も行われている。しかしながら、それらの多くの観測例や実験例があったとしても、森林の条件や地形条件を総合し、定量的に森林の防風の働きを求めることは現段階では困難である。これは、それぞれの観測された森林の有している構成条件が異なるばかりでなく、風自体が空気の動きであることにより、熱的条件、気圧の安定条件等多くの影響を受けるためとも考えられる。しかしこのような条件の違いがあったとしても、既に多くの観測例や風洞実験結果があることから、これらを基に森林の防風の働きについて定性的な検討と概略的ではあるが、定量的な検討は可能である。

2) 風の特徴

海岸砂地で地形の変化が小さい砂表面上を吹いてきた風の高さ方向の風速分布は、砂表面から高くなるにつれてはじめは急激に、後は緩やかに増加する分布をなしており、一般に次式で表される。

$$V_z = 5.75 V_* \log_{10} \frac{Z}{Z_0} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

式中、 V_z は高さ Z における風速、 V_* はマサツ速度、 Z_0 は砂面の粗度に対応する長さの単位をもった量（粗度長）である。風速は地上からの高さの対数値に比例して増加するため、風速は測定した地上高を明示して表示することが不可欠である。

風向については、瞬間風向が採用されており、風向の頻度分布で最も頻度の高い風向を最多風向と呼び、ある地域、期間で最も頻度の高い場合には卓越風という。

風の中にある物体は障害物として作用し、抵抗を受ける。これを風圧力といい、その結果、風の運動エネルギーは減少することになる。一般的に、風圧力 $D\tau$ は次式で与えられる。

$$D\tau = \frac{1}{2} \rho C_D V^2 A \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

式中、 ρ : 空気の密度、 C_D : 抵抗係数、 V : 風速、 A : 物体の最大投影面積。 C_D は物体の形状、方向、表面の粗滑によって異なる。また、 C_D は対象とする障害物が植物の場合、植物の構成要素（幹、枝、葉）による運動の吸収を特徴づけるため、防風を考える場合には重要な因子となる。

この障害物に作用する風圧力によって風はその分だけ運動エネルギーを減少させるため、障害物の前後の風速が弱められることになる。このことを利用して用いられる施設を防風施設という。

3) 防風施設・海岸林の種類

防風施設としては、防風林、防風垣、防風網がある（真木 1987²⁾）

防風林は海岸防風林と内陸防風林とに分けられる。海岸防風林は海岸付近に造成され、強風及び強風によって生じる飛砂や飛塩の防止を目的とした防風施設である。内陸防風林は海岸防風林に対して用いられる呼称であるが、一般には農作物や農業構造物を強風や飛砂から保護するために、農地に隣接して造成されるものをさす場合が多い。海岸防風林は内陸防風林に比べると、一般には樹高、幅（厚さ）ともに大きく、大規模な場合が多い。また、海岸防風林は海岸林のうち、特に防風を主目的とした海岸林について呼称する。したがって、海岸林すべてが防風林として位置づけされているわけではない。さらに、内陸

と海岸の区別も位置的に厳密な定義があるわけではない。大面積の海岸砂丘地では、砂丘地内において農作物や農業構造物を保護する樹列数の少ない樹林帯もあり、これは目的からは、内陸防風林と見なされるが位置的には海岸防風林に内包される。

4) 海岸林の防風の働き

図-1は風速の測定高を一定として、森林や柵のような障害物前後における風速の変化の傾向を模式的に示したものである。

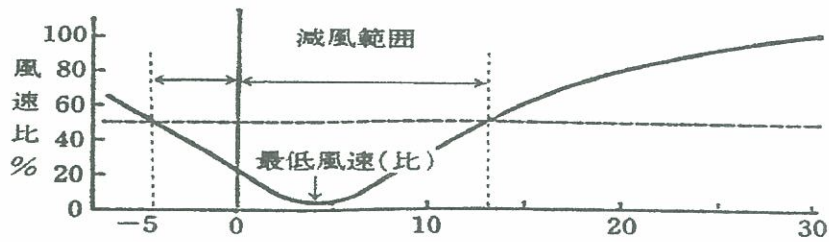


図-1 障害物前後における風速の変化状況模式図

同図から、障害物の風上側と風下側において、高さの数倍の位置で風速が低下し、以後、徐々に回復していく傾向を示すことがわかる。この障害物前後における風速低下を利用したものが防風施設や防風林に他ならない。

このような障害物前後の風速低下を生じる原因は次のように考えられている。

風に対する障害物がある場合、図-2のような風向の変化が生じる。風上側で地面に平行に吹いていた風は、障害物の近くで上方へあげられ、障害物の背後の大きな渦の上を通り、その渦の後縁に沿って元のように水平となる。このような障害物前後の風の流る変化が図-1のような風速の変化をもたらすことになるのである。

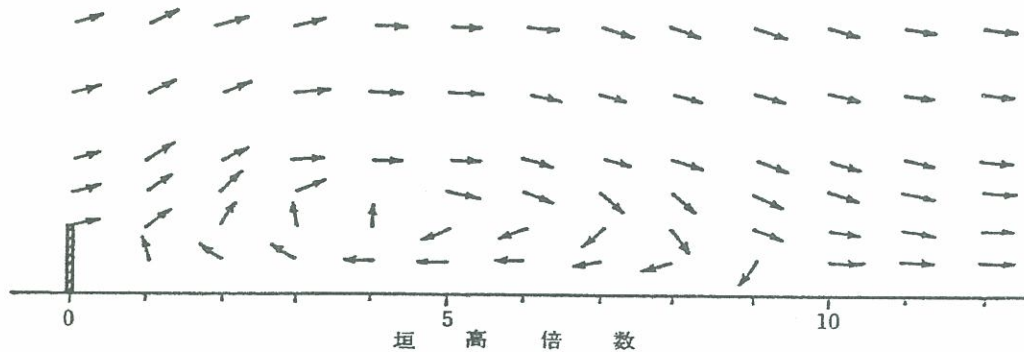


図-2 障害物(垣)風下側の風向分布 (坪井 1974⁴⁾)

このように、防風施設が風速低下を引き起こす源は、施設が風に対して抵抗し風から運動量を奪うことによる。したがって、風に対する抵抗が大きいほど、

施設の風下側の風速は減殺されることになる。風に対する抵抗は前出の風圧力で示されることから、風圧力が大きいほど、その風下側の最低風速（図-1）はより低くなる。

一方、施設の風下側の風速低減の距離を決めるのは、その場の拡散能力で、拡散が強い場合は運動量が速やかに拡散し、風速の回復が早くなり、減風の範囲は狭くなってしまふ。一般に、拡散係数は混合距離とマサツ速度との積として求められる。混合距離は卓越乱流の大きさに関係し、接地気層内では地面からの高さに比例する。乱渦の大きさは防風施設を構成する部材や間隙の大きさに影響を受けると考えられる。したがって、一般には、部材が細かく、風を透過する間隙も小さいほど乱渦も小さくなるので、風速の回復が遅くなり、減風の範囲は広くなることになる。

以上のように、防風施設の減風の働きについて評価する場合、その防風施設後の最低風速と減風の及ぶ範囲の2点から検討しなければならない。

5) 防風の働きと構造

前述のように、海岸林やその他の防風施設の減風の働きについて検討する場合、その施設後における最低風速と減風の及ぶ範囲の2点から検討しなければならない。この2点が施設の構造によって当然異なることから、この2点と施設の構造との関係について検討する。

(1) 密閉度

防風施設による風下の減風率はその施設の風圧力によって決まり、減風の及ぶ範囲は拡散係数によっている。なお、風圧力は風速及びその施設の投影面積が一定であれば、抵抗係数に支配され、抵抗係数が大きければ大きくなるほど、施設風下の最低風速は小さくなる。抵抗係数は防風施設の部材や間隙から決まる密閉度によっている。全く間隙がない塀のような施設を密閉度 100%とし、何も無い場合を0%とすると、密閉度が0から80%においては、風圧力はほぼ密閉度に比例して増すと考えられている。

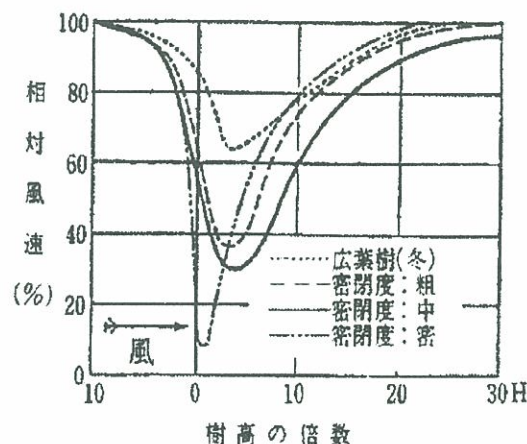


図-3 防風林の密閉度と減風状況 (Geiger 1951¹⁰⁾)

防風施設の風下側の拡散係数は、その施設を構成している部材の大きさと、その間隙の大きさに関係しており、一般に間隙の大きさも部材の大きさも小さいほど拡散係数は小さいと考えられ、減風の及ぶ範囲は広くなることになる。間隙の大きさが密閉度によっていることは明らかであるから、拡散係数は密閉度が大きいほど大きくなる。

これらのことから、施設の風下側の最低風速を小さくするには、密閉度を大きくとらなければならないが、減風範囲を広くするには、密閉度を小さくしなければならないことになる。この矛盾する条件から、その妥協の結果として、最適密度が決められることになる。

図-3は防風林の密度と減風状況とを示した観測例である(Geiger 1951)。このように、密閉度が著しく高い林帯では、林帯後方の最低風速は小さくなるが、風速の回復が早く、減風範囲が狭い。落葉した広葉樹の林帯では、最低風速も大きくなり、また疎な林帯でも、最低風速は大きい。一方、最適密度の林帯では、最低風速は過密な林帯ほどではないが、かなり低くしかも風速の回復は最も遅く減風範囲が広くなり、結果的に防風効果は最も高くなる。

一般に、森林では60~70%の密閉度の場合に減風率も高く、減風範囲も広い。

(2) 高さ (樹高)

森林を含めた防風施設の高さは、風に対する障害物として風陰を造る作用をするものと考えられている。このことから、施設高は風速の低下量よりはむしろ、減風の及ぶ範囲に大きく影響するものと考えられる。

特に、樹木の集合体である森林はその高さ(樹高)を他の施設に比べ、高く保つことができることから、減風の範囲を広くすることができる。したがって、樹高の高い森林ほど、減風範囲が広がることになる。このことは、防施設としての森林が他の施設に比べ、大きな利点であるといえよう。

樹高と減風の範囲との関係については多くの報告例があるが、減風範囲の決定方や測定条件等が異なるため、減風範囲については報告例によってかなりの差がある。しかしながら、樹高が高くなるにつれ減風範囲が増す点では一致している。

谷(1952)¹²⁾の測定結果によると、森林ではほぼ樹高に比例して減風範囲が広がるものと考えられる。

(3) 幅 (厚さ)

森林を除く防風施設では、施設幅は一般的に極めて狭く、幅の条件はそれほど問題とならず、むしろ施設幅が狭いことから場所を選ばずに設置できる利点を有している。一方、森林はその生育及び防風の働きの点から、ある程度の幅(林帯幅)を必要とせざるをえない。

林帯幅が厚くなることは、密閉度が高くなることとなり、その結果、幅の増加は林帯風下側の最低風速及び防風範囲に影響するものと考えられる。したが

って、ある一定の幅までは、幅が増すと施設風下側の最低風速は低くなるものの、減風範囲は狭くなるものと考えられる。

庄内海岸砂防林における最前線の林帯幅は、後述するように、筆者らの風速分布の測定の結果から、少なくとも 250m が必要だと判断している。

(4) 方向

図-4 は風向による防風施設の風上・風下側の風速分布の違いを示したものである (Kaiser 1959¹⁵⁾)。

この図から明らかなように、風向が防風施設に直角な時、減風範囲が大きく、直角からはずれるにつれて減風範囲は小さくなる。このことは防風施設の密閉度が風向の変化に応じて変わるため、一般には直角方向から斜め方向となるにつれ、その方向に対する密閉度が大きくなるためである。したがって、防風林を含む防風施設は対象とする風向に対して直角方向に配置することが必要である。

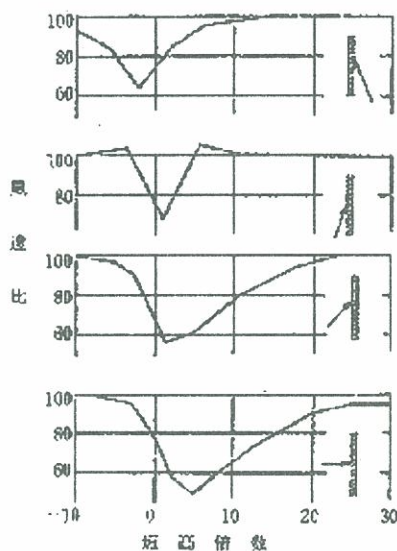


図-4 風向による風速分布の違い
垣の密閉度 50% の場合 (Kaiser 1959¹⁵⁾)

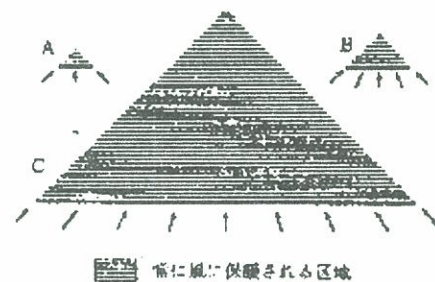


図-5 林帯の長さで減風区域
(八鍬 1961¹⁶⁾)

(5) 長さ

一般にみられる長大な海岸林については、長さはさほど問題とならないが、砂丘耕地を対象とした限定された海岸林や森林以外の防風施設では、長さを検討しなければならない。

前述のように、防風施設による減風範囲を広くするには施設が風向と直角となることが望ましいが、実際には風向は絶えず変化するのが普通である。風向が 90° の幅をもって変化する場合を想定すると図-5 のように施設の長さによって減風を受ける面積は変化し、施設長が増すほど減風面積は増大する。また、

その面積は施設長の2乗に比例することになる。したがって、いろいろな風向を有する風を防ぐためには、施設長は長いほど有利である。

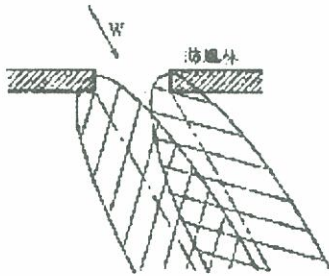


図-6 林帯の切れ目付近に生じる風速の増大(飯塚 1964¹⁷⁾)

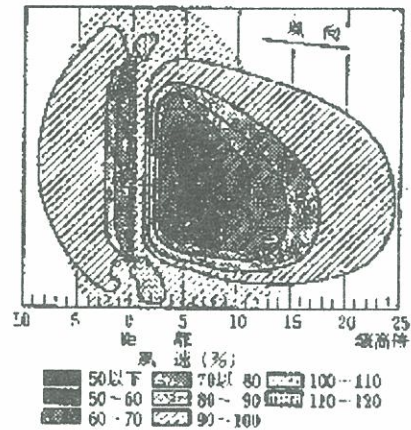


図-7 林帯付近の風速分布 (Bates 1944¹⁸⁾) 林帯付近に強風域が生じる

また、森林の林端や切れ目付近では図-6、7に示すように、風速が強まる地域が生じる。このため、北西の季節風が卓越する庄内海岸砂防林では、この風向と同一方向に海岸林を伐開することを極力避けている。

(6) 形状

前述のように、防風施設が防風の働きを生じるのは施設の受ける風圧力で、それは施設の抵抗係数によって変化する。抵抗係数は物体の形状によって変化し、広く知られているように流線型の場合には抵抗係数が小さく、半球でもその丸みのある部分を風上側に向けた場合とその逆では4倍も抵抗係数が違ってくる。したがって、防風施設の中でも、海岸林のように幅(厚さ)を有する施設では、その横断形状が防風の働きに及ぼす影響は大きいと考えられる。

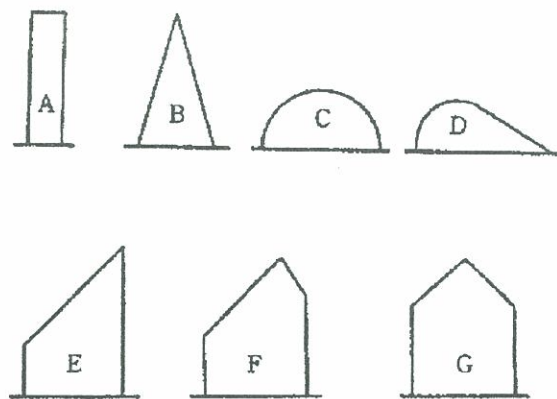


図-8 防風施設の形状(真木 1987²¹⁾)
左方が風上側

真木(1987)²⁾は図-8に示すような防風施設の臆断形状をもとに、森林では防風の働きは垂直型で端が尖った四角タイプ(図-8のA)が良く、三角型(同B)も効果が低く、半球型(同C)、流線型(同D)では効果は最も低いとしている。

また、風衝地では森林は生育しにくいため、林帯幅が広い森林の場合、風上側の生育が悪くなるので、図中のE~Gのような形状の林形となる場合が多いことを指摘している。

庄内海岸砂防林の場合、その最前線部はE形に近い形状となっていることから、風衝地の林型を呈しており、A形のような防風効率の高い形状として生育することはできない。庄内海岸砂防林はこうした形状(前縁部の樹高が低く、徐々に高くなる形状)を保持して生育しており、この樹高の立ち上がりの部分については極端に風の影響を受けている範囲であり、この部分があつてはじめてまともな防風機能を発揮することができるのである。したがって、樹高の立ち上がりの部分は、庄内海岸砂防林が生育していくための極めて重要な範囲といえ、この部分の破壊は極力避けなければならない。

文 献

- 1) 国立天文台：「理科年表」丸善、1991
- 2) 真木太一：「風害と防風施設」1~301、文永堂、1987
- 3) 末 勝海：海岸砂防工に関する基礎的研究、九州大学農学部演習林報告 43、2~73、1968
- 4) 坪井八十二：「新編農業気象ハンドブック」638~629、養賢堂、1974
- 5) Maki, T. : Aerodynamic characteristics of wind within and above a plant canop. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci., A, 23、1~67、1976(文献2)より)
- 6) 坂本知巳・斎藤武史・真島征夫：着葉期と落葉期における海岸林林冠上の風速分布の比較。第101回日本林学会大会発表論文集、595~596、1990
- 7) 坂本知巳・斎藤武史：風速の変化に伴う海岸林の祖度長の変化。第102回日本林学会大会発表論文集、587~588、1991
- 8) Kondo, J. and Akashi, S. : Numerel studies on the two-dimensional flow in horizontally homogeneous canopy layers. Boundary-Layer, 10、255~272、1976(文献2)より)
- 9) 石川政幸：林内の風について、林業試験場報告 64、166~169、1953
- 10) Geiger, R. : Der Kunstliche Windschutz als meteorologisches Problem. Erdkunde V, Lfg, 2、106~114、1951
- 11) 工藤嘉英・中島勇喜・金内英司：屏風山開拓地における防風ネットの風速減少機能について、日本林学会東北支部会誌 33、246~248、1981
- 12) 谷 信輝：防風壁の機能に関する研究、農業気象 7、134~136、1952
- 13) 中島勇喜・柳原 敦・金内英司・石井 寛：海岸防災林の減風機能に及ぼす林分条件の影響、日本林学会東北支部会誌 39、250~252、1987

- 14) 飯塚 肇：防風林の幅(厚み)に就いて、林業試験場報告 56、1~218、1952
- 15) Kaiser, H. : Die Stromung an Windshutzstreifen Berichte des Deutschen Wetterdiemstes 7(53), 1~36、1959
- 16) 八鍬利助：「農業物理学」177PP., 養賢堂、1961
- 17) 飯塚 肇：「森林防災学」271PP., 森北、1964
- 18) Bates, C.G. : The windbreak as a farm asset. Famer's Bulletin 1405、1944

4-1-2 飛砂防止機能

1) 飛砂災害の実状

我が国における飛砂防止のための海岸林の造成は、その多くが徳川幕府が成立し、政局が安定した1700年頃から始められている。

海岸砂丘地は河川の河口部に発達しており、耕地と隣接している地帯が多いため、耕地を飛砂による災害から守るために飛砂防止がはかられ海岸林が造成されてきた。徳川幕府時代には、藩の新田開発の推奨と相俟って、豪商がその財産を土地に転化するために、飛砂防止のための森林の造成が行われた。明治以降は、国や県を中心に各地の砂丘地に適した一連の飛砂防止工事がそれぞれ行われている。しかし、これらの工事のいずれもがめざす最終段階は森林の造成である。

1970年前後の飛砂災害について、中島(1973)¹⁾は図-9のような災害と防止工法の構造模式図を示している。

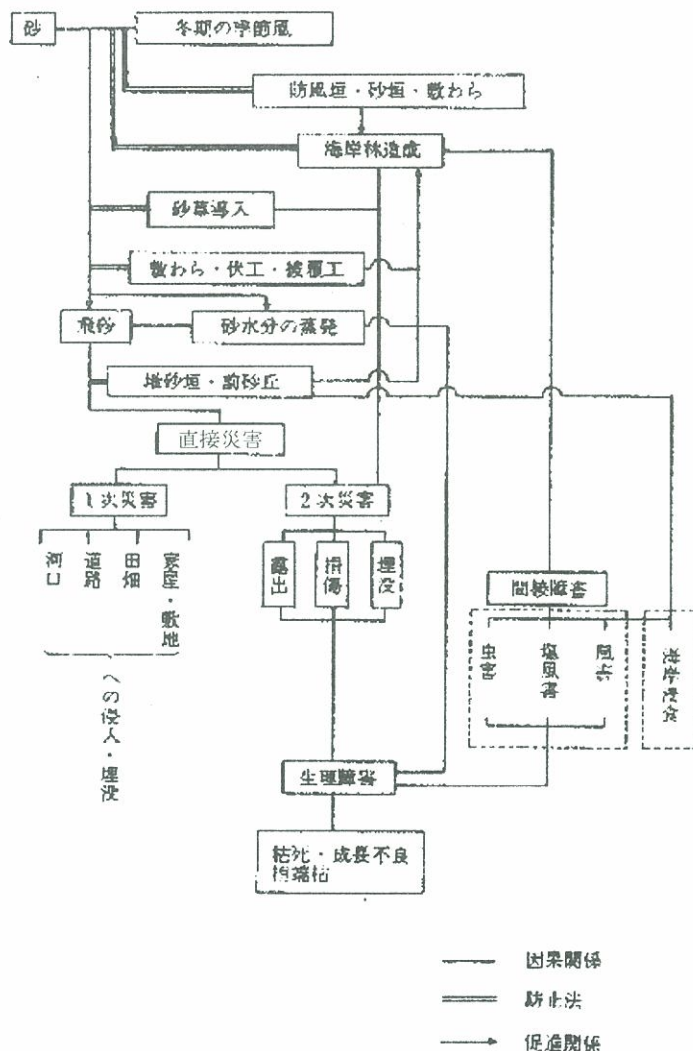


図-9 飛砂災害と防止工法の構造模式図

図-9により、1965年代以降の飛砂災害の特徴は、家屋、田畑、道路、河川を埋没するような第1次災害は著しく減少し、クロマツ幼齢木の埋没災害に代表される海岸林造成のための植栽木の災害が相対的に多発していることである。このことは、現在では飛砂防止のための森林がほぼ完備し、大規模な飛砂発生が抑制され、1次災害は減少しているものの、その一方で、1次災害防止のために植栽されたクロマツ幼齢木が、汀線から海岸林前縁間の飛砂によって埋没するといった、いわば飛砂による2次災害が生じていることを示している。しかし、この2次災害を還元すれば、森林の前縁部で飛砂の移動を抑止しているわけで、海岸林がその前縁部で大規模な飛砂による災害を防止していることを物語っているといえよう。

飛砂は風によって引き起こされる表層土砂の移動現象であり、当然のことながら風と土砂の性状に大きく影響を受ける。一方、森林はその存在自体が風や土砂の性状に大きな影響を及ぼす。したがって、森林は風や土砂の性状を変化させることを通して、飛砂に影響を及ぼすことになる。

海岸林の飛砂防止の働きについて検討するためには、まず飛砂現象と風や土砂の性状との関係について明らかにしておくなければならない。

2) 飛砂と諸要因との関係

(1) 風速とマサツ速度

風が砂表面に作用する場合、剪断力(τ)として働くが、その際、砂表面の粒子間では剪断応力を生じる。剪断応力がある限界値を超えると、剪断力に抗しきれなくなり、飛砂が生じることになる。したがって、剪断力を知ることが重要である。一般には、風速の高さ方向の分布から求められるマサツ速度： $V_* = \sqrt{\tau/\rho}$ が用いられ、これと飛砂の諸量との関係が示されている。ここで、 ρ は空気の密度である。

砂表面における鉛直方向の風速分布は、地形が平坦で飛砂が生じていない場合、

$$V_z = 5.75 V_* \log_{10} \frac{Z}{Z_0} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

なる対数分布をなしている。式中、 V_z ：砂表面上Zの高さの風速、 Z_0 ：砂表面の粗度を表す長さの単位をもった量、である。

Bagnold(1954)²⁾は飛砂が発生するような風速以上では、

$$V_z = 5.75 V_* \log_{10} \frac{Z}{Z'} + V_\tau \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

なる関係が飛砂層の上部で成立しているとしている。式中、 V_τ ：砂表面から高さZにおける風速である。 V_τ と Z' について、Zingg(1952)³⁾は対象砂の平均粒

径 (D) によって次式を与えている。

$$\left. \begin{array}{l} V_{*c} = 20D \text{ (mile/h)} \\ Z' = 10D \text{ (mm)} \end{array} \right\} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

また、根本ら(1969)⁴⁾は現地観測から③が成立することを追認している。

このことから、①、②式におけるマサツ速度は対象砂の粒径が等しければ、任意高さの風速のみによって変化する。ちなみに、河村(1951)⁵⁾、河田(1951)⁶⁾、浜田(1951)⁷⁾はそれぞれ $Z = 30, 100, 446.5\text{cm}$ における風速とマサツ速度との関係をそれぞれ

$$\left. \begin{array}{l} V_* = 0.048 V_{30} \\ V_* = 0.053 V_{100} \\ V_* = 0.0572 V_{446.5} - 17.1 \end{array} \right\} \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

を得ている。

①あるいは②式と③式とから、任意高さの風速を減じるには、 Z あるいは Z' といった粗度に関する量を増大させることが有効であることになる。

(2) 飛砂限界速度

砂表面の砂が移動し始める時の風速を「飛砂限界速度 (速度がマサツ速度を対象とした場合には「限界マサツ速度」、風速が対象の場合には「限界風速」)」と呼んでおり、砂の移動しやすさを表す指標とである。

対象砂の粒径分布範囲が狭い場合、Bagnold、河村は限界マサツ速度： V_{*c} を次式で与えている。

$$V_{*c} = A \cdot \sqrt{g \cdot D \cdot \frac{\sigma - \rho}{\rho}} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

Bagnold : $V_* D / \tau > 3.5, A = 0.1$

河 村 : $A = (\pi / 6)^{1/6} \lambda^{1/3} (\tan \phi_0)^{1/2}$

式中、 g : 重力の加速度、 D : 対象砂の粒径、 σ : 砂の密度、 τ : 空気の動粘性係数、 λ : 砂粒の容積率、 ϕ_0 : 砂面の静摩擦角である。なお、河村は、 $D = 0.25\text{mm}$ 、 $\sigma = 2.5\text{g/cm}^3$ の砂を用いた風洞実験で $V_{*c} = 23.4\text{cm/s}$ を得ている。

図-10 は石原ら(1952)⁸⁾が従来の実験結果を整理したものであるが、 $\sqrt{D \cdot \sigma} > 0.5$ では⑤式が成立していることがわかる。

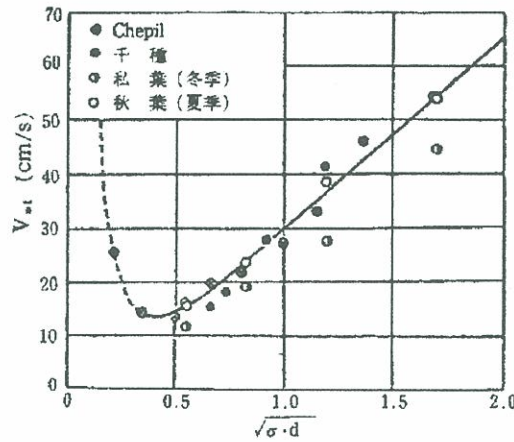


図-10 限界マサツ速度 V_{*t} と $\sqrt{\sigma \cdot d}$ との関係
(石原・岩垣 1952⁸⁾) (σ : g/cm^3 , d : mm)

また、中島(1979)⁹⁾は事項で述べる飛砂量に関する実験から、飛砂限界を客観的に判断するため、飛砂量が零となる時のマサツ速度を限界値と操作的に定義し、

$$V_{*t} \doteq 0.1 \sqrt{g \cdot D_{50} \cdot \frac{\sigma}{\rho}} \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

を得ており、これは⑤式における Bagnold の結果と一致するとし、対象砂の中央粒径とマサツ速度との関係について

$$V_{*t} = 146 \sqrt{D_{50}} \quad \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

を得ている。

⑦式と④式中の $V_* = 0.053 V_{100}$ なる関係から、 $D_{50} = 0.04 \text{cm}$ として、砂面上 1 m の高さの限界風速を求めると 5.5m/s となり、この程度の風速(砂面上 1 m 高さ)があれば、わが国の砂丘地に普通に存在する砂粒子は移動し、飛砂が発生することになる。

この飛砂限界速度に及ぼす砂表層含水比の影響について、中島(1979)⁹⁾は

$$V_{*t} = (M_2/M_1)^{5/8} \sqrt{g \cdot D_{50} \cdot \frac{\sigma}{\rho}} \quad \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

のように得ており、含水比の増大に伴って、飛砂限界マサツ速度が一次関係よりはやや急に増加することを指摘している。このことから、含水比の増大は飛

砂発生を抑止するには極めて有効であることがわかる。

(3) 飛砂量

飛砂量を知ることは海岸林をも含めた飛砂防止のための諸施設(堆砂垣、静砂垣、堆砂網等)の構造や規模を決定するために不可欠である。

飛砂量式としては、河村式と Bagnold 式とが著名であり、その他の諸式もこの2式のいずれかと大同小異であるので、この2式を中心に飛砂量式について検討する。

河村(1951)⁵⁾は砂面に直交して垂直に立てた単位幅の面を通過して、単位時間に流れる飛砂の質量を飛砂量(Q)とし、これは砂の落下量と砂粒子の平均飛距離との積によって表されるとして次式を与えている。

$$Q=K \cdot \frac{\rho}{g} (V_* - V_{*1})(V_* + V_{*1})^2 \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

ここで、Kは係数で2.78をとる。

一方、Bagnold(1954)²⁾も同様な理論から飛砂量を導き、実験によって飛砂量が対象砂の粒径の $\frac{1}{2}$ 乗に比例するとして、次式を与えている。

$$Q=C \cdot \sqrt{\frac{D}{D'}} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot V_*^3 \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

式中、D'：標準粒径で0.025cm、C：砂の粒径分布範囲によって異なる係数で、均一な砂で1.5、砂丘に見られるような自然にふるい分けられた砂の場合1.8、分布範囲が非常に広い場合2.8をとるとされている。

一方、中島(1979)⁹⁾は対象砂の粒径と飛砂量との関係を明らかにするため、対象砂の粒径分布範囲を一定とした中央粒径の異なる4種の砂についての実験結果から、飛砂量はBagnoldの実験のように、粒径の $\frac{1}{2}$ 乗に比例せず、任意の粒径で極大値をとり、その極大となる粒径はマサツ速度とともに大きくなることを明らかにしている。

また、中島(1979)⁹⁾はBagnold式が大粒径となればなるほど、またマサツ速度が大きくなればなるほど、過大な値を示すことから、これらを補正する飛砂量式として

$$Q= M_1(D_{50} \cdot V_* \cdot 6) \left\{ \left(\frac{V_*^2}{g \cdot D_{50} \cdot \frac{6}{\rho}} \right)^{0.8} - \frac{M_2}{M_1} \right\} \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

を示している。式中： D_{50} ：対象砂の中央粒径、 M_1 、 M_2 ：対象砂の粒径分布範囲、含水比によって変化する係数、である。この係数 M_1 、 M_2 の対象砂の粒径分布範囲との関係について、対象砂の粒径分布範囲を標準偏差： D_{84}/D_{16} (D_{84} 、 D_{16} ：粒径加積曲線における 84%と 16%にそれぞれ相当する粒径)で求めた場合、標準偏差が大きくなるほど飛砂量は急激に増大していくとしている。

また、⑨、⑩、⑪式から飛砂量は摩擦速度のほぼ 3 乗に比例しているとみなすことができる。マサツ速度と任意高さの風速とは一次関係にあることから、任意高さの風速が半減すれば、飛砂量は $1/8$ に減少することになり、風速のわずかな変化が飛砂量に大きく影響していることになる。このことから、風速を減じることが飛砂防止上、特に重要であることがわかる。

飛砂量に及ぼす砂表層の含水比の影響については、中島は砂表層の含水比が風乾状態から増大するにつれ、飛砂量は急激に減少し、特に摩擦速度が大であるほど風乾時と湿砂時との飛砂量の差は大きくなり、風乾時と 5%程度の含水比状態とでは $1/100 \sim 1/1000$ にも飛砂量が減少することを指摘している。

海岸砂丘地の砂の粒径分布が汀線から内陸側へ向うにつれ、徐々に小粒径で均一な砂に移行し、それに伴って、飛砂量が減少していくことは先述したが、この粒径分布の変化に伴い、砂表層の含水比は汀線から内陸に向うにつれ、徐々に高含水比へととなっていく。したがって、飛砂は内陸側へ向うにつれ、砂の粒径分布の影響に増して含水比の影響により、急激にその量を減じていくことになる。

(4) 高さ方向の飛砂量の分布

砂表面からの高さ方向に飛砂量がどのように変化しているのかを知ることは、前項の飛砂量の内訳を示すとともに、飛砂防止施設の構造や海岸林の配置・構成を考える上で重要である。

Bagnold(1954)²⁾は砂粒子の移動形態を跳躍、表面匍行、浮遊とに区別しているが、それぞれの移動量で見れば、浮遊は無視できるほどであり、匍行は全移動量の $1/4$ で、残りの $3/4$ は跳躍によるとしている。

図-11 は土屋ら(1971)¹¹⁾が高速度カメラで砂粒子の移動状態を撮影したものであるが、移動開始した砂粒子が跳躍運動によって移動していることがよく示されている。また、荒巻(1971)¹²⁾砂粒子と空気の密度差が大きいため、飛砂量の 90%以上が高さ 30cm の範囲内に集中し、砂粒子が浮遊状態で移動しえないことを指摘している。

このように、飛砂の移動高さの範囲はそれほど高くない。

飛砂の高さ方向の飛砂量の分布式については、現象的に矛盾するにもかかわらず、簡便さの点で、飛砂が浮遊し拡散するとして導かれた次式が実用的とされている。

$$q_w = c'UC_{w0}\exp(-W_0Z/\epsilon z) \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

式中、 q_w : 地上高 Z の点の飛砂量、 c' : 常数、 C_{w0} : Z_0 における単位体積あたりの飛砂の質量、 W_0 : 砂粒の沈降速度、 ϵz : 高さ方向の渦動拡散係数である。

図-12 は石原ら(1952)⁸⁾の実測結果であるが、砂面上 5 cm 以上では $\log q_w$ と Z との直接関係が成立している。また、風速が小さくなるほど直線の傾きは急になっており、これは砂面からの高さが高くなるほど、弱風となるにつれ飛砂量が急激することを示している。

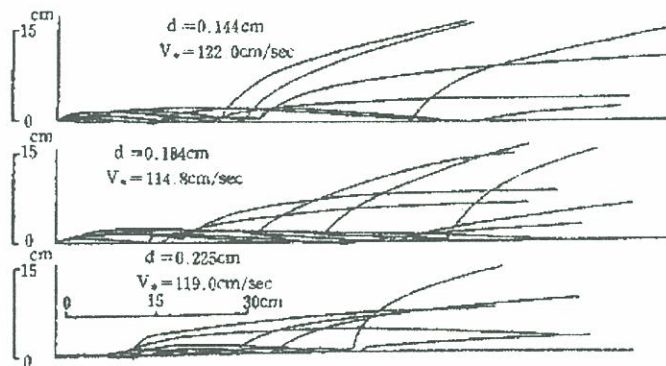


図-11 固定床における砂粒子の跳躍軌跡 (土屋・河田 1971¹¹⁾)

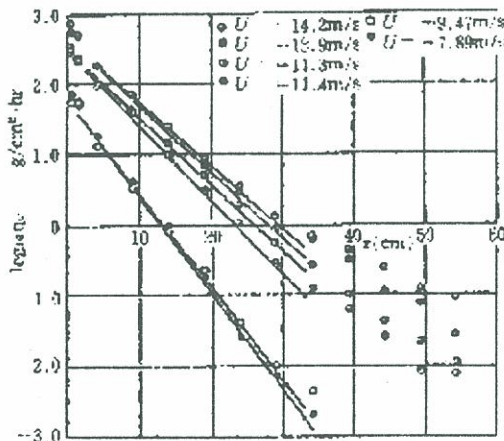


図-12 高さ方向の飛砂量分布 (石原・岩垣 1952⁸⁾)

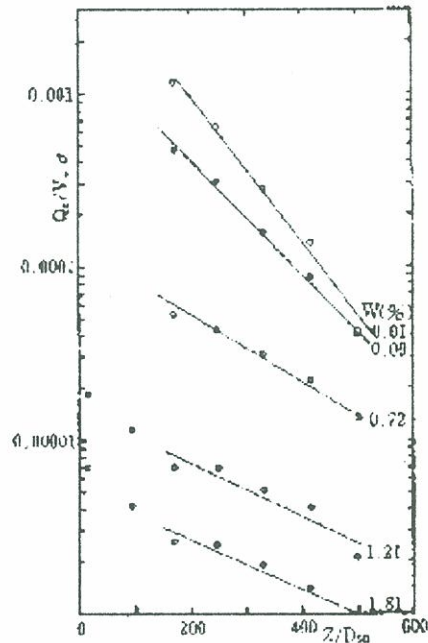


図-13 高さ方向の飛砂量分布に及ぼす含水比の影響

図-13 は高さ方向の飛砂量の分布に及ぼす含水比の影響についての実験結果を示している。

図-13 から、中島(1979)⁹⁾は実験した砂の粒径から、 $Z \geq 6.4\text{cm}$ においては $\log q_w$ と Z との直線関係は風乾状態についてだけでなく、含水状態においても成立することを確かめている。

前項で述べたように、含水比が増大するにつれ、全飛砂量は減少するが、上記の結果から明らかなように、その減少の内訳とでもいべき任意高さごとの飛砂量は、含水比の増大に伴って、高さ方向の飛砂量の変化割合が一様になりながら、その量を減じていく特徴ある減少傾向を示す。これらは、砂表面が含水状態になると飛砂の移動状態が跳躍のみになることに起因していると考えられる。

3) 飛砂防止の条件と各種防止工法

ここでは、前項における飛砂と諸要因との関係を基に、飛砂防止のための条件について整理するとともに、飛砂防止のための各種防止工法をこの条件から検討し、飛砂防止工法としての海岸林の位置付けを行う。

飛砂の発生防止やその量の軽減に大きく影響すると考えられる飛砂と諸要因との関係について列記すると下記のようなになる。

① 砂面上の風速分布に関して

- ・ 一定高さの風速は砂表面の粗度が増加するにつれて減速する。

② 飛砂限界に関して

- ・ 飛砂限界以下の風速では飛砂は発生しない。
- ・ 飛砂限界速度の値は対象砂の含有水分量が増すと急激に大きくなる。

③ 飛砂量に関して

- ・ 飛砂量は風速のほぼ3乗に比例して増大する。
- ・ 飛砂量は砂表面の含有水分が増大すると著しく減少する。

④ 高さ方向の飛砂量の分布に関して

- ・ 高さ方向の飛砂量の分布は地表に近いほど多量である。
- ・ 風速が減少するにつれて地上高の高い位置の飛砂量が急激に減じる。

⑤ 移動距離に関して

- ・ 一定時間内の移動距離は砂表面の微細な粗度に大きく影響を受ける。

これらのことから、飛砂防止のための条件が得られる。

飛砂限界速度は飛砂の発生に関わることから、飛砂の発生を防止するには対象地の砂の粒径や水分量によって得られる飛砂限界速度以下に風速を減じることが重要である。また、逆に対象砂の含有水分量を増すことにより、対象砂の飛砂限界を高めることも飛砂発生を防止するために重要である。

飛砂の発生が防止できず、飛砂が発生すればその量を軽減しなければならぬ。そのためには飛砂量が風速のほぼ3乗に比例することから、風速を減じることが重要である。さらに、砂表層の含有水分量が増すと、飛砂量が急

減することから、砂表層を湿った状態におくことが肝要である。

飛砂量の高さ方向の分布から、風速が減少するにつれ、地上高の高い位置における飛砂量が急激に減じることから、風速を減じることにより飛砂の移動層を低い位置に押し込めることができる。

飛砂の移動距離は跳躍回数と1回ごとの跳躍距離との積によって決まり、跳躍回数は砂表面の粗度に支配されるから、砂表面の粗度を大きくすることが重要である。このことは高さ方向の飛砂量の分布において、砂表面の近くほど多量に移動している飛砂量を減少させることにもなる。

飛砂限界や飛砂量に関して、砂表層の含有水分量を増す方法は飛砂防止上は極めて有効であるが、砂表層の水分は風速が増すにつれ蒸発するため、強風となればなるほど砂表層含水比は低含水比となっていく。したがって、風速を弱めることは砂表層の含有水分量の減少を防ぐことにもつながる。

これらのことから、飛砂の発生を防止し、飛砂量を減じるための工法(飛砂防止工法)が有すべき条件として

- ① 風速を低下させうること
- ② 砂表層の含有水分量の低下を防ぐこと
- ③ 飛砂粒子の移動を遮断し、あるいは補足すること、このことは砂表面の粗度を高めることにもなり、①と密接に関連している。
- ④ 上記3条件を時間的に長く、しかも不断に発揮すること

があげられる。

堆積垣は、飛砂を堆積させ後方への飛砂の移動を遮断するために設けられた飛砂防止工法として最も代表的な工法である。

この堆積垣は上の条件③を主として①を兼ね備えた工法である。

これに似た形状の工法として静砂垣がある。これは条件の①を中心として③を兼ねたもので、形状は似かよっているが、その目的は異なる。静砂垣が飛砂の移動を直接的に防止することに主眼が置かれているのに対し、静砂垣は垣内の風速を弱めて飛砂の発生を防ぎ、この垣内に植栽されたクロマツ幼齢木等の海岸林植栽木を飛砂から守ることに主目的がある。

堆砂垣や静砂垣の材料としては粗朶、竹、萱簀、化学繊維等がそれぞれ用いられているが、堆砂垣は飛砂の堆積で垣が埋没するまで、静砂垣は垣内の植栽木が活着して苗木が生育し飛砂を防止するようになるまで、といずれも長年月日にわたっての飛砂防止工法ではなく、一時的な飛砂対策である。

堆砂垣を用いて砂の堆積を造り、これを繰り返すことによって造った人工砂丘(前砂丘)は前記条件の③を主として①をほぼ満足する方法として飛砂防止に効力を発揮している。

図-14は前砂丘の飛砂防止効果を示す一例である。図-14は庄内砂丘地の前砂丘風上側における砂面変動を示している。ここでは前砂丘前部の凹部におい

て、7年間で約2mの飛砂の堆積が生じており、前砂丘工法が飛砂防止に極めて効果的であることを示している。しかしながら、この工法では、前砂丘前部の凹部が飛砂で堆積してしまえば、飛砂に対する粗度として役割をなくしてしまい、飛砂防止としての条件③、①を失う。前砂丘工法は堆砂垣や静砂垣と比べるとかなり長年月の間、飛砂を防止しうる工法ではあるが、その前部における飛砂の堆積により粗度としての自らの役割を減じ、いずれは飛砂が後方へまで侵入することになる。しかし、その機能が果され飛砂の後方への侵入がない間は、この後方においては、植栽された幼齢木の生育に良好な条件を与えるため、植栽された海岸林の幼齢木を飛砂から保護する工法としては極めて有効な工法であるといえよう。最近では、堆砂垣によって長時間をかけて前砂丘を造成するよりむしろ、土木機械によって人工盛土として短期間に前砂丘を造成する工法が各地の砂丘地でとられている。

また、前砂丘より汀線側に植栽された砂草(ハマニンニク、コウボウムギ、アメリカン・ビーチグラス等)を導入することにより飛砂を防止する草類による飛砂防止工法があり、この工法は一般に前砂丘工法に併用され、汀線から前砂丘にかけての砂地を被覆し、飛砂の発生を防止し、移動を阻止するために用いられる。

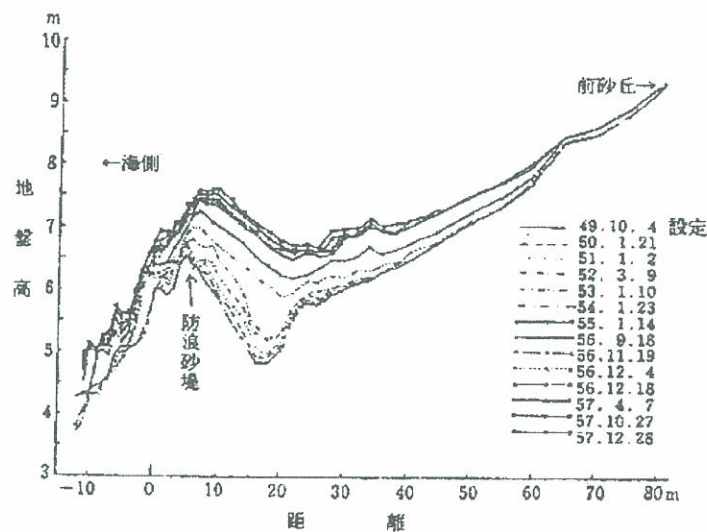


図-14 庄内砂丘地の前砂丘風上面における砂面変動変動

飛砂の移動形態や高さ方向の飛砂量の分布から判断して、飛砂を防止する工法はそれほど高い形状を有する必要はない。したがって、草類は砂地の粗度を高め、飛砂の移動を阻止するとともに、地表近傍の風速を低下させ、しかも砂表層の水分量も保持させる。この意味では前記条件の③を中心に、①、②を満足する工法である。しかし、最も飛砂の発生する秋から春にかけて、草の地上部が枯れてしまい④の条件を満足できないものが多い。また、草類は一般に地

上部が低いため、①の条件である風速減少の程度とその範囲が狭く、そのため飛砂を防止する範囲が狭い。このため、風上側から飛砂が草地区へ侵入し、飛砂防止としての条件である粗度としての役割を失ってしまうことになる。しかしながら、大面積の砂地に対する工法としては有用な工法である。

遠藤ら(1988)¹⁴⁾はこうした草類のかわりに、砂面近傍の風速を弱め、砂面の粗度を高める役割を果させるために、化学繊維の網で砂面を覆う工法を採用し、飛砂防止に効果があることを確かめている。しかしながら、この工法も草類と同様に風上側からの飛砂の侵入・堆積により、その機能を失ってしまうことになる。この工法は限定された対象地において速効的な飛砂防止を計る場合には有効な工法の1つである。

草類や網による工法のように対象地を被覆する工法の1つとして樹木を用いる工法がある。海岸林のみならず、一般の森林は、①高さ方向に10数メートル以上にまで成長する。②水平的にはごく狭い範囲から広範囲にわたって、土地を被覆する。③長年月にわたり、しかも定常的に①、②を保ち続ける、という特徴を有している。

飛砂防止に樹木を用いる工法は草類や網による工法と同様に、砂地を被覆する工法の1つではあるが、それらと異なる最大の特徴は、工法として材料の高さが著しく高いこと(上記①)であり、しかも長年月にわたる定常的な保続性(上記③)、の2点である。

海岸林の「防風」の働きにおいても述べたように、構造物の材料の高さが高いことは、その構造物の前後の風速を弱める範囲が広いということであり、風速減少の点からは決定的な意味をもつ。しかも、森林は、その風速減少の働きを定常的に時間的に長いスケールで発揮し続けるとともに、林床の砂の含有水分量の減少を防ぎ、粗度として働くことができ、飛砂防止に必要な4つの条件をすべて満足する。このことから海岸林の造成は、樹木の特徴を最大限に生かした最終的な飛砂防止工法として位置付けられる。

上述の各種の飛砂防止工法は、海岸林を造成するためにとられる事前的な防止工法としてみるべきであろう。

しかし、飛砂防止工法として海岸林が有効であるとしても、風が強く、飛砂および飛塩の激しい海岸砂地では、植物の生育が一般に困難であることから、まず海岸林造成地点より風上側の飛砂を阻止し、海岸林造成地点の風速を弱めて、植栽された苗木を保護することが重要である。そのために、上記の各種の防止工法が適宜組み合わせられて用いられる。特に、飛砂防止のための海岸林が十分生育し、飛砂防止の働きを発揮するまでの間、風速を感じ、飛砂を防止することが、各種防止工法に期待される。

このように、各種の飛砂防止工法(堆砂垣、静砂垣、被覆工、伏工、前砂丘等の工法)を組み合わせ、最終目的である飛砂防止のための海岸林を造成する一

連の工事を海岸砂防工という。図-15は、こうした海岸林と各種防止工法の一般的な配置状況を模式的に示したものである。

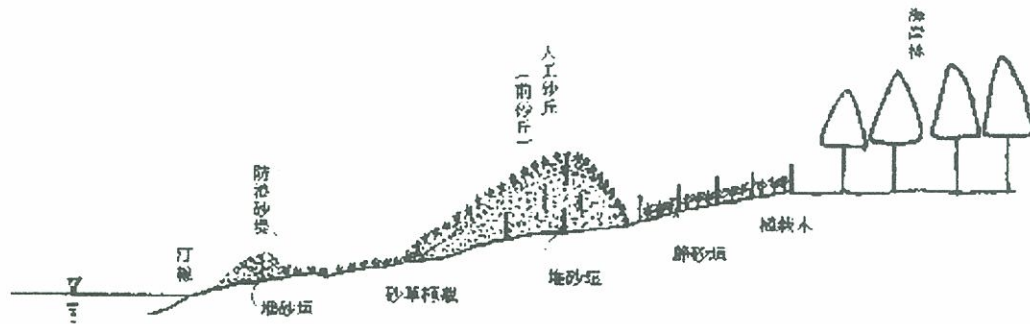


図-15 各種飛砂防止工法の模式的な配置状況

4) 海岸林の飛砂防止の働きとその構造・造成

これまでのことから、海岸林が飛砂防止のための条件をすべて満足することは上述したとおりであるが、ここではその海岸林でもどのような林分構造を有する森林が飛砂防止の働きをより高度に発揮するかについて検討する。

まず樹高についてみると、低木の森林では、上述したように、高木の森林に比べ森林帯の風上、風下両側での風速減少範囲が狭く、したがって、飛砂防止範囲も狭い。このため、低木の森林は高木の森林に比べ風上側からの飛砂が容易に森林内に侵入することになる。

このことは、低木の森林のみならず、高木性の森林でも、その幼齢期における樹高の低い期間においては同様であり、「防風」で上述したように、しばしばクロマツ幼齢木が飛砂により埋没させられ、枯死害を生じていることから明らかである。風上側の森林が枯死すれば、飛砂はなお徐々に森林内に侵入することになる。したがって、飛砂防止のためには、森林が可能な限り風上側の広い範囲まで、風速減少機能を発揮する必要がある、そのためには樹高が高いことが要求される。さらに、樹高が高ければ、例え飛砂が林内に侵入し堆積しても、樹木が埋没して枯死することはなく、森林が破壊されることはない。

森林の風速減少の働きは風を森林内に導入し、樹幹、枝葉によって風に抵抗することによって風速を低下させる作用によるものである。このことから、森林の風上側の風速を限界速度以下に落すことができなければ、飛砂が森林内に侵入するのは当然である。したがって、森林の風上側の飛砂発生を抑えることがまずもって重要であり、そのためには森林の樹高は高いほど有効に作用することになる。しかし、一般には高木となるほど樹幹部が上方にあり、地表近くの枝葉による風速減少機能が少なくなり、飛砂が侵入しやすくなってしまふ。このため、高木の森林では風上側前縁に低木の林帯やそれにかわる防風や堆砂

のための人工構造物を設けたり、風上側砂地を草類で被覆するなどの防護対策が必要である。

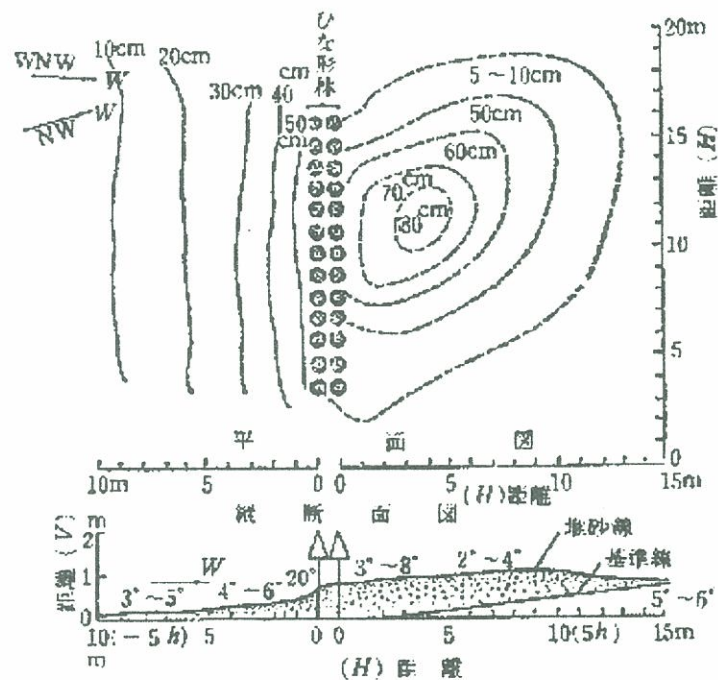


図-16 クロマツひな型林による非堆積状況(田中 1962¹⁵⁾)
堆積状況の平面図と縦断面図

森林の風下側への飛砂防止の働きについて、田中(1962)¹⁵⁾は、クロマツのひな型林による飛砂固定実験から、ひな型林の飛砂固定の状況は図-16 のようになり、ひな型林の風下においては、ひな型林を底辺とする三角形の堆砂となり、この範囲は風速の半減領域と極めてよく相似した結果となるとしている。「防風」では上述したように、風速の半減する領域は大略、風下林縁から樹高の約10倍の距離までであり、このことから考え合わせると、森林の風下側での飛砂防止の働きが及ぶ範囲は樹高の10倍の距離程度までといえよう。この点からも森林の樹高は高いほど、飛砂防止の働きを増すことになる。さらに、一般には、森林が高木であるほど、林内および林外の一部は日陰となり、砂地の含有水分が保持されることから、高木の森林では、日陰部分の砂地の飛砂限界が高くなり、飛砂発生を抑制することがより可能となる利点がある。

次に森林の幅(厚さ)について検討する。森林内に侵入した飛砂や、森林内の林床の砂を飛砂として森林外へ出さないことが、森林の飛砂防止の働きとして最も重要である。このためには、森林内の風速を限界速度以下に保つか、あるいは林内の砂の飛砂限界を高くする必要がある。

上述のように、森林内の風速は、風上側林縁から林内に入るに従って減少す

る。したがって、森林内の風速を限界速度以下に低下させるためには、森林は一定限界以上の幅を有しなければならない。また、森林の幅が厚ければ落葉落枝による土壌の腐植化も進み、林床の砂地の含有水分量を高めることもできる。

飯塚(1964)¹⁶⁾はクロマツ林では森林の幅 70mのものは、砂の林内への侵入は不十分ながらもくい止められており、森林の幅 55mのものでは、砂の林内への侵入が盛んに行われており、また森林の幅 146mのものでは、飛砂に対して安定した状態にあるとしている。

また檜山は、幅の広い森林でも十分な防災機能を発揮している森林の範囲は、その森林の風上側林縁から約 100mの幅までの部分であるとしている。

これらのことから考えると、飛砂防止のため森林は少なくとも 100m以上の幅を有することが必要である。

海岸林の密度と飛砂防止の働きとの関係について直接的な調査事例は少ない。しかし、森林の防風の働きが風をその幹、枝、葉によって細分化することによって生じることから、飛砂防止の働きを期待する森林の密度は大きいことが重要であるといえよう。

飛砂防止のための海岸林の造成は海岸砂地造林あるいは海岸砂防造林と称せられ、砂丘各地に適応した造成法がすでに採用されている。ここでは、海岸林の造成について要点を述べる。

飛砂防止のための海岸林は植栽される林木にとって厳しい生育環境の地帯に造成されるので、植栽に当たっては上述の各種工法を適宜組み合わせる施工し、それによって植栽木を保護する方法がとられる。

この造林に使用される樹木は、適地適木であることはいうまでもないが、一般には、①水分、養分に対する要求が少ないこと、②強風、寒風、飛塩、砂粒子の衝突に対する抵抗力が大きいこと、③砂地の高温・乾燥に耐え、寒気や急激な温度変化に対する抵抗力が大きいこと、④うつ閉を保ち、落葉・落枝により地力の改良に効果があること、などの性質が要求される。これに適する樹種としては主にクロマツ、アキグミ、ネムノキ、カシワ、マサキ、トベラ、トドマツなどがあげられる。これら砂地に適した樹種の中でも、飛砂防止のための森林は当然のことながら、風速減少機能を十分に発揮するものでなければならない。そのためには樹高は高いことはもちろんであり、その機能を生ぜしめる原因となる風の乱れを増し、さらに飛砂粒子の移動を直接的に妨げるためにも、飛砂の激しい時期にも落葉せず、枝葉が細かく、多いことが必要である。クロマツがこれらの条件を最も満足する樹種であり、飛砂防止のための海岸林の主林木としてクロマツが用いられている砂丘地が多いのは理に適っているといえよう。

したがって、一般にはクロマツを主として、これにアキグミやネムノキ等の肥料木を配して、前砂丘後方に設置された静砂垣内に植栽されることが多い。

クロマツ苗は、1年生苗が2年生苗より、風に対する揺れが少なく、砂地に早くなじみ、根系の発達がよく経費も安いという利点がある。クロマツ苗の植栽本数は砂丘地によって異なるが、一般的には1haあたり1万本で、植栽時期は早春に行うのが通例である。

植栽されたクロマツの保育・管理も砂丘地によって異なるが、山形県庄内砂丘地では、植栽後8～10年でうつ閉度がほぼ100%となることから、8年で1本おきの千鳥状に50%の除伐を行い、15～20年後に2回目の除伐が3,000本の残存木となるように行われている。

(附)

なお、前出の砂草植栽に際して従来用いられてきた外来種のアメリカーン・ビーチグラスについては、飛砂防止には極めて有効であるものの、その繁茂が在来種のハマニンニクよりも旺盛で、それを駆逐するほどであり、現在では使用が控えられるとともに、駆除の対象となっている。

文 献

- 1) 中島勇喜: わが国における最近の飛砂害とその防止工法の実状。日林誌 55(8)、250~252、1973
- 2) Bagnold, R.A. : The physics of blown sand and desert dunes. Chapman and Hall, London、1954
- 3) Zingg, A.W. : Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. Proc. Of the Fifth Hyd. Conf., Iowa Inst. of Hydr. Res、1952
- 4) 根本 茂・三寺光雄ほか: 砂粒が跳躍し始める時の摩擦速度(英文)。気象研究所研究報告 20(4)、365~383、1969
- 5) 河村龍馬: 飛砂の研究。東大理工研報 5(3/4)、1951
- 6) 河田三治: 海岸砂地造林に関する調査報告。治山事業参考資料第4輯、林野庁、1951
- 7) 浜田徳一・大久保彦市ほか: 石巻港及び渡波港技術調査報告、運輸技術研究所港湾気象部、1951
- 8) Ishihara, T. and Iwagaki, Y. : On the effect of sand storm in controlling the mouth of the Kiku River. Disasten Prevation Reseach Institute, Kyoto Univ., 2、1~32、1952
- 9) 中島勇喜: 飛砂制御に関する研究。九州大学農学部演習林報告 43、125~183、1979
- 10) Chepil, W.S. : Influence of moisture on erodibility of soil by wild. Soil Soc. Proc., 288~292、1956
- 11) 土屋義人・河田恵昭: 飛砂における砂粒の運動機構(2)。京都大学防災研究所年報 14、B、311~325、1971
- 12) 荒巻 孚: 「海岸」犀書房、1971
- 13) 中島勇喜・柳原 敦: 蛍光着色粒子による浸食土砂の移動に関する研究(VII)。98回日本林学会大会論文集、633~635、1987

- 14) 遠藤治郎・吉沢繁彦ほか：網を用いた伏工による飛砂量の減少。砂丘研究 35(2)、89~102、1988
- 15) 田中一夫：海岸防災林の飛砂固定に関する実験的研究。砂丘研究 8(2)、69~124、1962
- 16) 飯塚 肇：「森林防災学」森北出版、1964

4-2 庄内海岸砂防林に関する論文等

植栽開始以来約3世紀にわたる歳月をへて、現在の形態を形成した庄内海岸砂防林は、かつては燃料や木材などの生活物資を得る場として、暮らしに必要な存在だったが、石油・ガスなどの化石燃料が普及すると、松葉かきや枯れ枝の採取などの作業の必要がなくなり、次第に松林から人の足が遠のき始め、人の手が入らなくなり、やぶとなり始めた。人の手が入らなくなった砂防林は、落葉が堆積し、植生遷移が加速度的に進行していった。従来は、クロマツのみの林だったが、今ではクロマツに広葉樹や外来種であるニセアカシアが入り混じった森林に変わってきている。そして、人の手が入らなくなるにより人の心も砂防林から離れ、砂丘地は開発の対象となり、大規模な港湾建設や砂利採取により大量の砂防林が伐採されたこともある。

昭和50年代に入ると、西日本・東日本で猛威を振るっていた松くい虫の被害が庄内海岸砂防林でも確認され、急速に松くい虫の被害が拡大、まん延していった。行政が連携して一体となって松くい虫防除と予防を続けてきた結果、近年はおおむね減少の傾向にあるが、依然として松くい虫被害の沈静化のめどは立っておらず、今後も松くい虫防除に取り組んでいく必要がある。

また、海岸林については様々な論文、報告書があるが、既に山形大学農学部を中心に実施されている1994年以降の卒業・修士論文(論文数62)、博士論文(1)、学会誌論文(18)、報告書(2)等について、その要旨をとりまとめたところ、結果は資料1のとおりである。

資料1を内容的に整理すると、①クロマツの生育に関するもの、②クロマツ林の形状と根系発達に関するもの、③クロマツ林への広葉樹の侵入に関するもの、④ニセアカシアに関するもの、⑤マツノザイセンチュウ病に関するもの、⑥防災機能に関するもの、⑦クロマツ林の雪害に関するもの、⑧飛砂に関するもの、⑨クロマツ林の土壌環境に関するもの、⑩保全活動及び住民意識に関するもの、⑪塩分濾過効果に関するもの、⑫魚つき林に関するもの、⑬庄内空港開設に伴うもの、⑭カシワ林の生育に関するもの、⑮砂丘地・海岸部の緑化に関するもの、⑯砂草に関するもの、⑰クロマツ林前縁部の防風柵の効果に関するもの、⑱ショウロに関するもの、⑲砂丘地の開発(報告書)、⑳潜在植生導入に関するもの(科学研究費報告書)、㉑海岸林造成の史的展開に関するもの(博士論文)に分類することができる。

資料1は、庄内海岸林に関して数多くの研究がなされており、幅広いテーマについて調査が行われていることを示している。このように、庄内海岸のクロマツ林に関して数多くの調査が実施されていることは、当地にそれに応じた多くの問題点や新奇性があることを物語っているといえよう。

報告書⑱、博士論文㉑については庄内海岸林のみを対象にしてはいないが、庄内海岸林を主体とするか、或いは含んでいることからここでとりあげている。

⑱は庄内海岸林を中心に、日本海沿岸北部の海岸林について多面的な検討が行われている。⑳については、秋田県と山形県の国有海岸保安林の事例を取り上げており、両県の国有海岸保安林の造成について歴史的な展開を示した論文である。

③、④に関しては、それぞれ個別的で地域的な調査が卒業論文を中心に行われているが、山形県森林研究研修センターの調査論文は庄内海岸林全域にわたっての調査が行われており、③、④に関して貴重な資料となる。山形県森林研究研修センターでは、庄内海岸砂防林の状況を把握する目的で、庄内海岸砂防林を250メートル区画のメッシュに分け、メッシュ内の状況について調査を行ったものがあり、その結果について、最上川を境に川北・川南に、そして海岸からの距離で汀線・内陸にという形で、庄内海岸砂防林を4つの区分に分けて整理を行っている。なお、この調査では、クロマツの健全度やクロマツと広葉樹等との混交の状況、繁殖力が強い外来種のニセアカシアの侵入状況について調査を行っている。

クロマツの健全度については、高木層におけるクロマツの被度によって判定を行った結果、クロマツ健全林が全体の74%となり、健全性を保っているクロマツが多いことがわかった一方、内陸側でのクロマツは川北が24.1%、川南が19.5%と全体の割合より高い数値を示し、国道沿いや内陸側の林縁部で松くい虫被害によってクロマツの衰退が進んでいることがわかった。

クロマツと広葉樹との混交状況については、高木層より低い亜高木層における被度によってクロマツ純林、クロマツと広葉樹が混交している広葉樹混交、クロマツとニセアカシアが混交しているニセアカシア混交、その他に分類して集計を行った。その結果、庄内海岸砂防林の全体の53%がクロマツ純林という結果であり、庄内海岸砂防林ではクロマツの純林が半数を占めている事がわかった。クロマツとの混交の状況については、広葉樹混交は全体では20%という結果だったが、内陸で25%前後となっており、内陸側でクロマツと広葉樹と混交した割合が高い。また、ニセアカシア混交も全体で18%となり、広葉樹とほぼ同じ程度混交が進んでいることがわかった。特に川南の内陸部では、クロマツとニセアカシアの混交林が26%に達している。この調査結果から、クロマツがなくなったときに従来の海岸林機能を補えるだけの広葉樹は存在していないこと、内陸側では環境が安定しており、広葉樹が大きく成長しやすいこと、川南の内陸部ではクロマツの林帯幅が短く、林床まで光が届くことからニセアカシアが混交しやすいことがわかった。

ニセアカシアの侵入状況については、高木、亜高木、低木の全ての階層でニセアカシアが確認されるかを調査し、結果をまとめた。その結果、全体の59%でニセアカシアが確認され、階層別では低木層で最も多くニセアカシアが確認された。ニセアカシアの侵入については、地域間で差がないことから、ニセア

カシアの侵入は庄内海岸砂防林全体に広がっていることがわかった。また、ニセアカシアは繁殖力が強く、ニセアカシアが優占するとニセアカシアの純林になりやすい。ニセアカシアは根が浅く倒れやすいことから、現状を放置すればニセアカシアがやがてクロマツを被圧するほど成長し、庄内海岸砂防林が担ってきた防風機能を発揮できないニセアカシア林が増加していくことが考えられることがわかった。

山形県森林研究研修センターが行った庄内海岸砂防林の実態調査からは、庄内海岸砂防林は、現時点ではある程度健全性は保たれているものの、混交林化やニセアカシアの侵入が進んでおり、今後の状況によっては砂防林が衰退し、防風機能を持たないニセアカシア林となる可能性もある現状であることがわかった。

⑩に関しては、呉(東北公益文化大学)が海岸林の保全活動の現状と課題について取り上げ、多様な主体の協働が庄内海岸林において実施されていることを報告しており、今後、海岸林のゾーニングが必要であることを指摘している。

⑱の砂丘地の開発に関する報告書は、酒田市の海岸砂丘地における砂利採取の現状と問題点を示している。併せて、当地における海岸林の必要林分条件を示しており、当地における海岸林の配置に対する指針を与える調査データとなる。

上記の論文等・報告以外でも、海岸林に関する記録集や広報誌等も発行されており、その一部をここに示す。

○海岸林に関する記録集・広報誌・新聞記事等

- ・海岸治山事業概要 (酒田営林署、1983)
- ・庄内海岸林砂丘の海岸林の成立と推移～大いなる遺産を未来につなぐ～ (梅津勘一、2006、しんりんほぜん No. 61)
- ・庄内砂丘歴史探訪～庄内海岸林砂丘の植林の歴史を知り、松林の現状と未来を考えよう～ (梅津勘一、2006、平成 18 年度出羽庄内公益の森整備事業－ボランティアリーダー養成研修(第 2 講))
- ・「白砂青松」～「海岸林」の多面的な機能とその再生をめざして～ (中島勇喜、2004、みどり樹 21、山形大学)
- ・未来へつなごう、庄内砂丘海岸林 (中島勇喜、2006、みどり樹 27、山形大学)
- ・森林の力が暮らしを守る～海辺の最前線に生きる、海岸林の可能性～ (中島勇喜、2006、神籬 33、西脇林業)
- ・白砂青松 SOS～庄内浜の防衛最前線～、1. 松くい虫と静かな激闘、2. 対策が追いつかない、3. 津波被害軽減にも効果、4. 被害木ペレットに変身、5. 広がる森づくり活動、6. 海岸林、人の手で守れ(小関裕之署名記事、2005、山形新聞)

- ・クロマツを未来へ～庄内浜から～（佐野司署名記事、2007、読売新聞）
- ・庄内海岸（山形県庄内支庁河川砂防課）
- ・みんなで考えよう、庄内砂丘のクロマツ林（国土交通省東北地方整備局酒田工事事務所・林野庁東北森林管理局庄内森林管理署）
- ・庄内砂丘の海岸林～大いなる遺産を未来につなぐ出羽庄内公益の森～
（山形県庄内総合支庁森林整備課）
- ・庄内海岸の国有林～海岸防災林造成事業の歩み～（林野庁東北森林管理局庄内森林管理署）

「海岸治山事業概要」は年代的には古いが当時の国有林の海岸治山事業を知る貴重な資料である。

上記中の「梅津の資料」は県の森林行政に携わり、海岸林の現場から直接、問題点を掘り起こしたばかりでなく、多くの資料に目をとおして見た庄内海岸林が語られている。

「中島の資料」は海岸林の機能とその維持管理を中心に、庄内海岸林をとおして我が国の海岸林全体をとらえた資料である。

「山形新聞による庄内海岸林に関する記事」は取材が丁寧で、庄内海岸林が抱える問題点を幅広く的確に指摘した資料となる。また、「読売新聞による記事」は上、中、下の三部作で、歴史、松枯れ、ボランティア団体の活動などについて記載されている。この中には、「庄内海岸松原再生計画策定委員会」についても触れられている。

「庄内海岸（山形県庄内支庁河川砂防課）」は庄内海岸全域の概要を示すとともに、海岸林の大切さを示している。また、海岸侵食により海岸林の生育基盤が流出し、危険な状態になっていることを訴えている。

「みんなで考えよう、庄内砂丘のクロマツ林と庄内砂丘の海岸林～」と「大いなる遺産を未来につなぐ出羽庄内公益の森～」、「庄内海岸の国有林～海岸防災林造成事業の歩み～」は、いずれも海岸林の歴史や現状・展望を行政としてまとめたものである。

5. 庄内海岸砂防林の課題と課題解決の手法

防風、飛砂防止に関する基礎的な原理と既往の論文や研究資料、記録集などの既報を基にとりまとめた結果、見えてくる庄内海岸砂防林の現状は、

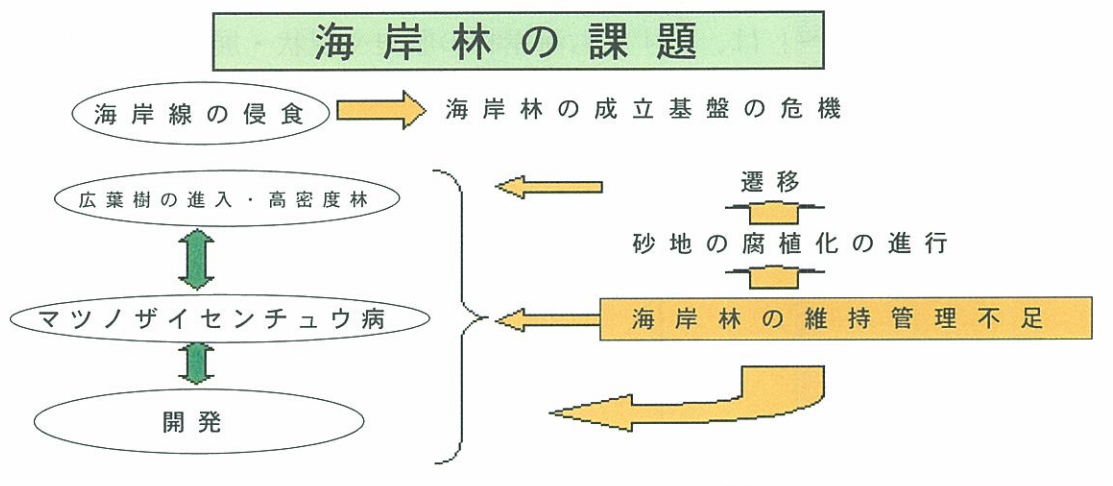
- ① 遷移による広葉樹・ニセアカシアの侵入
- ② 手入れ時期を逸した高密度林の存在
- ③ マツノザイセンチュウ病
- ④ 砂利採取(土地開発)
- ⑤ 海岸侵食

の問題を抱えて喘いでいる姿と、それらを必死に食い止めようと行政・ボランティア団体が活動している姿である。

①～④の問題はそれぞれにおいてクロマツの減少・疲弊に大きな影響を与えているが、それらが複雑に連動しながらクロマツの減少・疲弊を加速させており、問題の解決をより困難にしている。

庄内海岸砂防林が抱えるこうした問題を引き起こす源は、いわゆる燃料革命以降の「クロマツ林の維持管理不足」である。したがって、これらの問題を解決する課題は、明らかに「いかにしてクロマツ海岸林の維持管理を行うか」とすることができる。今後、「クロマツ海岸林の維持管理がどのようにして行うのか？」が、今、問われているのである。

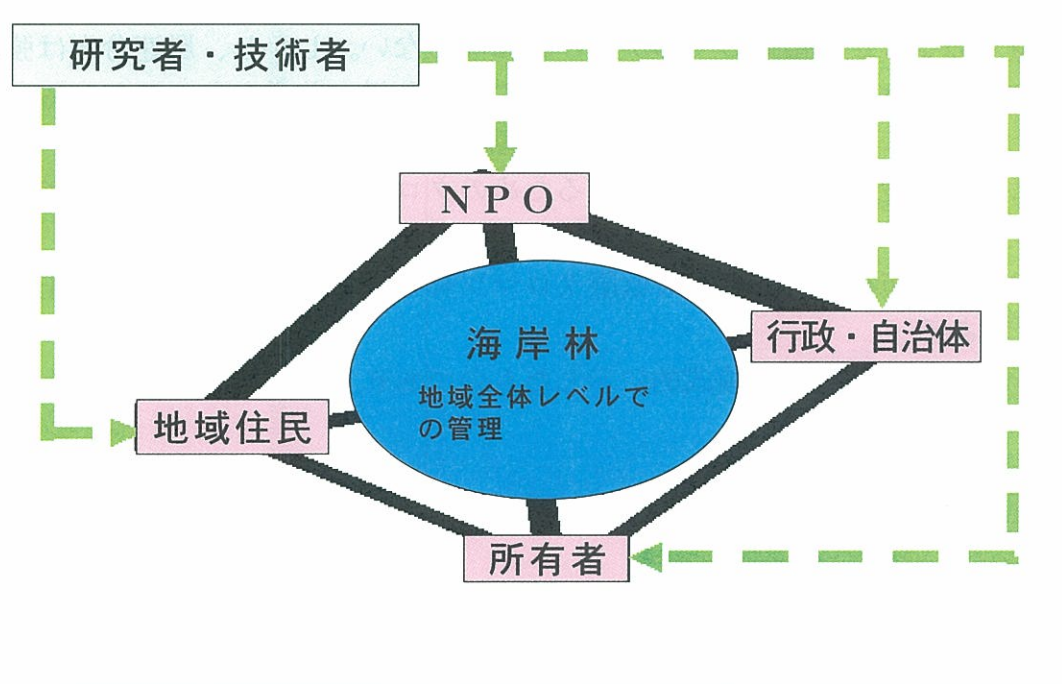
以上の庄内海岸砂防林が抱える問題点とその源を模式化して示したのが図一17である。



図一17 庄内海岸砂防林の課題

また、庄内海岸砂防林が抱える上記の今日的問題の他に、海岸砂草地・国有林前縁部への飛砂の侵入が現在も生じており、砂草部と国有林前縁部でその侵入を食い止めているものの、砂草やクロマツ林前縁部の一部が飛砂の堆積によって、枯死したり疲弊したりしている現況があることも、既報の論文から指摘される。この問題は、砂丘幅が広く、強風地帯である庄内海岸では、汀線から海岸林前縁までの距離を長くとらなければクロマツが生育し得ない庄内海岸砂防林特有の問題といえる。これらの枯死や疲弊を食い止めるために、国有林の地道な作業が続けられていることにも目を向けなければならない。

上記の課題を受けて、その解決のためには「クロマツ林の維持管をどのように行うのか？」について、地域ぐるみで検討しなければならない。いわゆる燃料革命以前は、貴重な燃料源であったクロマツの枝葉は、現在では見向きもされない放置状態となっており、このことがクロマツ林地の腐植化を進めた大きな原因である。生活様式が一変した中で、「クロマツ林の維持管理」をどのようにして行うのか、「松原の再生」はこの点の解決にかかっているとんでも過言ではない。この点に関しては、当地では「出羽庄内公益の森を考える会」が山形県庄内総合支庁の呼びかけで立ち上がっており、地域全体で庄内海岸砂防林を守るためにはどうすれば良いかが、一堂に会して話し合われている。その維持管理検討組織について示したのが、図一18である。



図一18 庄内海岸砂防林の維持管理検討組織

図一2の中で、それぞれの組織は個々の役割を担っているが、この中で基本を担うのは「研究者・技術者」集団である。「庄内海岸砂防林約2,500ha全域に及ぶ維持管理をどのように実施していくのか」についての指針づくりをこの集団が担わなければならない。この指針がなければ、ボランティア団体やNPOも活動の展開の方向が見えないからである。

庄内海岸砂防林2,500haの維持管理指針づくりにとって、今、急がなければならないことは、指針づくりの基礎となる庄内海岸砂防林の「ゾーニング」である。なぜなら、庄内海岸砂防林にかかわる多様な協同体があったとしても、庄内海岸砂防林全域にわたって活動を展開することはできない。したがって、クロマツ林で維持管理する場所と、そうでない場所とを区分し、それに基づいた手入れの指針を示すことが重要である。

ゾーニングに関しては、上記の既報の論文⑥とそれを含んだ⑩に示されている、風速分布の調査結果から得られた、「庄内海岸林の有効林分条件とその配置」が活用できる。

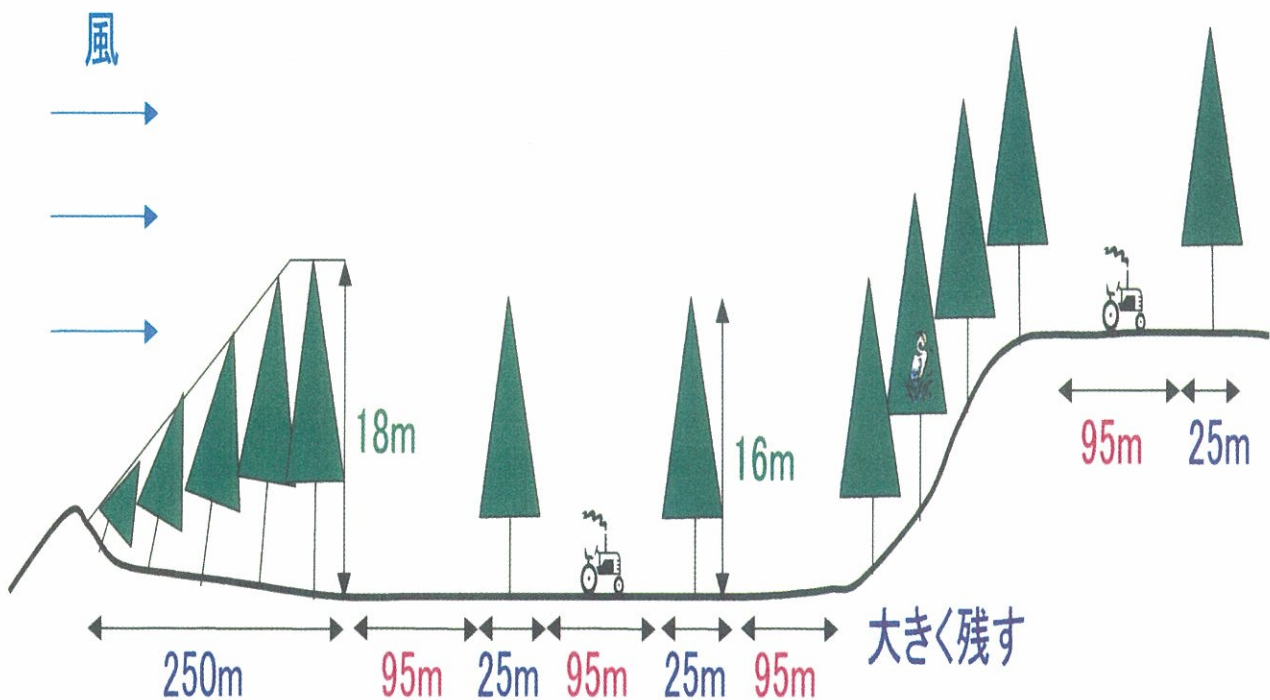
この結果によると、クロマツ林として最も維持しなければならない地区は、汀に最も近い国有林前縁部と第1天然砂丘頂の2箇所であり、その必要幅は最低限250mであるといえよう。最低限250mについて、国有林では、海側前縁から250m、第1天然砂丘では丘頂前部200m、後部50mの確保が最低限必要となる。

この結果は、風速分布分に基づいて得られたものであり、最低限の幅を示したものであることを指摘しておかなければならない。しかし、風速分布は強風防止、飛砂防止、飛塩防止等の海岸特有の災害分析の基礎となることから、このデータを基にしたゾーニングを当地の基礎とすることを提案する。

また、庄内砂丘地には、耕地を守るためのクロマツ林も存在する。この林帯幅については25mが必要であることを指摘している。

庄内海岸砂防林において、最低限クロマツ林として、維持する部分は上記のとおりである。

図一19は上記の結果を模式的に示したものであり、⑩に記載の図である。



図一19 風速分布による庄内海岸林の有効林分条件

庄内海岸砂防林はもともと防災機能を担っていることから、その機能の基礎となる風速分布による仕分けを行い、クロマツ林として維持しなければならない地域を指摘したが、この地域以外にも歴史文化的場所、学習林・ボランティア活動の場、保健休養の場など特にクロマツ林として維持しなければならない箇所も存在する。また逆に、広葉樹化が進んだ箇所も学術的モデル林としての活用がある。このような箇所については厳密に把握し、ゾーニングに加えておく必要がある。

次に、ゾーニングを決定する時、どのような区分けをしておく必要があるだろうか。山形県森林研究研修センターの調査結果より、庄内海岸砂防林は半数がクロマツの純林であるが、クロマツと広葉樹・ニセアカシアとの混交が進んでおり、さらにはニセアカシアが砂防林全域に侵入していることが分かっている。この状況の中で、庄内海岸砂防林全域の維持管理を進めていかなければならないことから、既に触れたとおり絶対クロマツ林でなければならない区域と、クロマツと広葉樹が混交してもよい区域と分けておく必要がある。一方海岸線付近では、砂浜のそばであることから、風で砂が飛びやすい。そこで、草を植栽し、根をはらせることで砂を固定し、海岸の後背地への飛砂を軽減する必要がある。そして、植栽した砂草が十分に期待した機能を発揮できるよう、絶えず

管理していく必要がある。そのため、砂草地のエリアもゾーニングに明確に入れておいた方が良い。また、すでに広葉樹林となっている箇所については、すでに自然林の状態になっており、人為的に手を加えることに問題があることから、広葉樹林というゾーニングも必要であろう。

上記の考察と「風速分布における庄内海岸林の有効林分条件」を基にゾーニングを行うと、庄内海岸砂防林はおおむね次の5つの区分に分けることができる。

- ①砂草地
- ②クロマツ純林
- ③クロマツ林（クロマツの下で広葉樹が生育している林）
- ④針広混交林（クロマツと広葉樹の混交林）
- ⑤広葉樹林

なお、庄内海岸砂防林では、外来種のニセアカシアの侵入が進んでいるが、ニセアカシアについては、倒れやすく、飛砂や強風から守るという防災上の観点から問題がある。また、クロマツ純林及びクロマツ林というゾーニングでは、ニセアカシアは繁殖力が強く、将来クロマツを駆逐する恐れがあり、伐採を進めていく必要がある。そのため、ニセアカシア林はゾーニングには盛り込まないこととする。

この5区分に歴史的に重要な箇所や学習林、ボランティア活動の場所などの個別の情報を盛り込み、庄内海岸砂防林のゾーニングとするとともに、市民ボランティアにもわかるよう、あらかじめゾーニングの区分ごとに想定される作業内容を盛り込む必要がある。

6. 砂防林の再生に向けて

今回提案したゾーニングを踏まえて庄内海岸砂防林の維持管理を進めていくことになると思われるが、維持管理を進めていくには、多くの活動の担い手が必要になる。すでに砂防林の保全活動を行っている森林ボランティア団体があり、行政機関と森林ボランティア団体が連携を行って活動をすすめているものの、行政機関と既存の森林ボランティア団体で庄内海岸砂防林の維持管理をすべて担うのは困難といわざるを得ない状況にある。そこで、一般市民や、様々な団体に対し、庄内海岸砂防林を保全することの重要性を訴えていく普及啓発活動を進めていく必要がある。啓発活動は、砂防林の維持管理を継続していくためにも、必要な活動である。

近年、都市計画道路酒田遊佐線の整備問題や、酒田市にある4高校を統合した新しい高校の建設問題など、庄内海岸砂防林の保全と開発行為との関わりについて考えさせられる問題が発生している。また、第二次世界大戦後に植栽され、植栽後50年以上経過している耕地防風林の更新方法などの新たな研究課題も出てきている。現在行われている庄内海岸砂防林の保全活動が始まってからまもなく10年を迎えようとしている今、防災目的で整備された海岸砂防林を衰退、消失させ、飛砂などに苦しめられた過去の苦い経験を再び繰り返さないためにも、生物や自然環境の多様性に配慮し、保全活動と開発行為とのバランスをとりながら砂防林の維持管理を進め、庄内海岸砂防林を後世に引き継ぐことが重要である。そして、今ある庄内海岸砂防林が果たしてきた役割に感謝し、その重要性をPRし続けて、活動を絶やすことなく続けていくことによって、庄内海岸砂防林の再生への道が開けてくることを信じてやまない。

※別冊：資料編（参考文献、松原に関する資料等）

この報告書は「三井物産環境基金」の助成により
作成したものです。

庄内海岸砂防林現状調査報告書

平成20年3月発行

発行者／庄内海岸松原再生計画策定委員会

事務局／〒997-8601 鶴岡市馬場町9-25

鶴岡市農林水産部農山漁村振興課

印刷所／東洋印刷