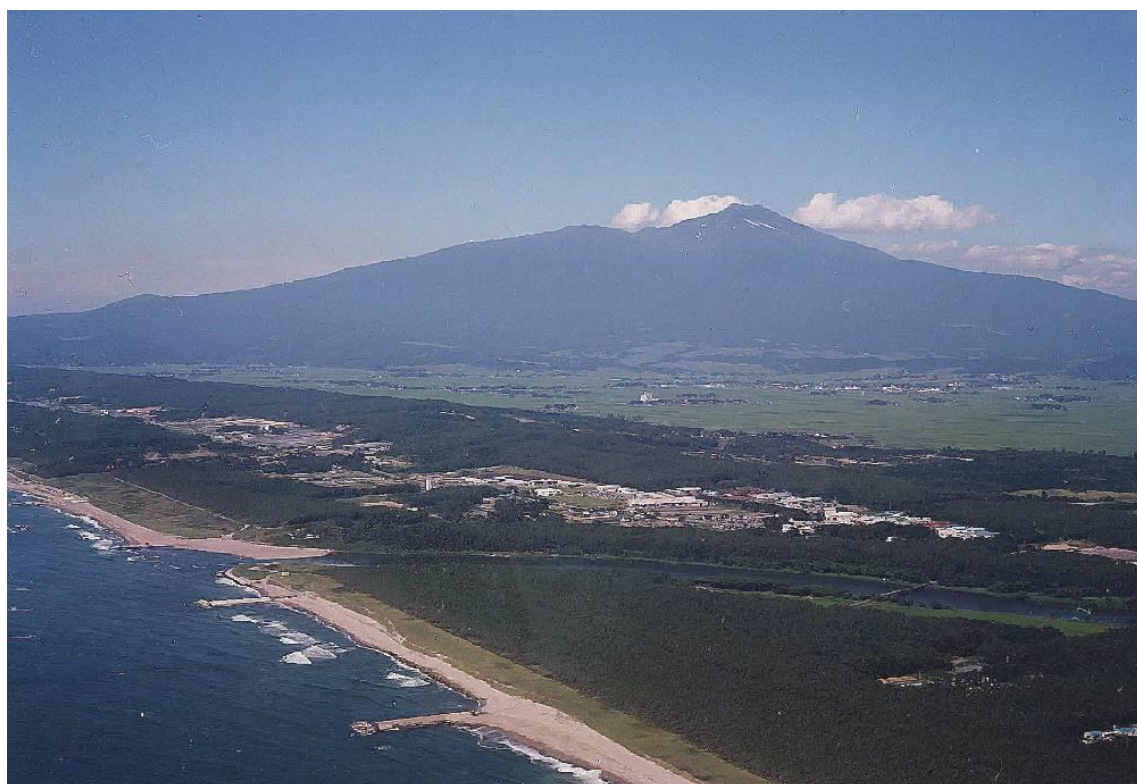


提 案 書

「松くい虫被害対策に係る 庄内海岸林のゾーニング」



令和6年11月

出羽庄内公益の森づくりを考える会

目次

1. はじめに	2
2. 庄内砂丘の形態と特徴	3
3. 庄内海岸クロマツ林の沿革	5
4. 松くい虫被害の現状と課題	6
(1) 松くい虫被害の経過	6
(2) 広葉樹との混交林化	7
(3) クロマツ林の過密化	8
(4) 耕地防風林	9
5. 松くい虫被害対策を考慮した庄内海岸林のゾーニング	10
(1) ゾーニング用基本図の作成	10
①対象とする範囲	10
②使用したデータ	10
③解析方法	10
(2) ゾーニング区分の基本的な考え方	13
①松くい虫被害対策としての視点から	13
②海岸林の防災機能維持の視点から	16
③庄内海岸の潜在自然植生の視点から	16
④歴史・文化等の視点から	17
⑤耕地防風林の視点から	17
6. 庄内海岸林のゾーニング	18
(1) 重点エリア	18
(2) 準重点エリア	19
7. 施業方針	20
(1) 重点エリア	20
(2) 準重点エリア	20
8. 管理ユニットの設定	22
9. まとめ及び今後の課題	25
10. 別図（ゾーニング図）	26
11. 引用・参考文献	31
12. 付属資料	33

1. はじめに

庄内海岸林は、地域の自然環境を保全し、防風・防砂機能を発揮することにより、生活や農業活動を支える重要な役割を担っている。しかし、近年、海岸クロマツ林の松くい虫被害が深刻化し衰退の危機に瀕しており、生活環境や地域の農業に悪影響が現れ始めている。

これまでの庄内海岸林の松くい虫被害対策は、全量駆除を前提に行われ、懸命の努力によって被害を抑え込んできた。しかし、被害量が増大するにつれて、予算や人的資源が限界に達してきており、効果的な防除を図るためには、場所によっては広葉樹林への転換を図り、防除区域を縮小させる必要がある。そこで、本提案書では、庄内海岸林の持続可能な管理を目指し、松くい虫被害対策の選択と集中に基づいた新たなゾーニングを提案する。本ゾーニング案に沿って松くい虫防除を行いながら、全国に先駆けて戦略的にクロマツ林の保全と樹種転換による森林の多様化を進め、庄内海岸林が持つ多面的機能の維持・増進を図っていききたい。

なお、本書は深刻化する松くい虫被害対策に係る提案であり、クロマツ林が優占する海岸林の保全や防除対策、更には広葉樹への樹種転換も含む管理のあり方について検討することを目的としている。

一方、「庄内海岸松原再生計画【改訂版】R6.3」では、防風・飛砂防備といった防災機能の発揮・維持の点から当初計画立案当時（平成20年）の林況について、大まかな目標林型によるゾーニングを行った。

これら立案の目的の違いから両ゾーニングは異なっている。

2. 庄内砂丘の形態と特徴

庄内海岸には、山形県の海岸線北端に当たる遊佐町吹浦から鶴岡市湯野浜まで、並行して南北に延びる 2～3 列の砂丘が連なる。その大きさは、南北約 33km、東西最大約 3 km、総面積 5,500ha に亘っている。その南北に伸びた砂丘のほぼ中央を、最上川が東から西に流れ込んで砂丘を二分している。(鶴岡市立図書館編, 1997)

2～3 列から成る砂丘は、高度分布からみると、南北に延びる 3 列の砂丘列からなり、大きく西部砂丘、中部砂丘、東部砂丘に分けられる(図 1)。以下、最上川より北部を「川北砂丘」、南部を「川南砂丘」として述べる。(図 2)

西部砂丘は 20m 前後の標高で、幅はあまり広くない。中部砂丘と呼ばれる砂丘は、宮野浦から十坂小学校にかけて分布するもので、標高 30m 前後の起伏の小さい砂丘である。中部砂丘が分布しない地区では標高 10m 前後の平坦な砂丘列間低地が西部砂丘と東部砂丘の間に分布している。東部砂丘は川北砂丘で 50～60m、川南砂丘では 60～70m の標高を示し、西部砂丘や中部砂丘に比べて著しく高くなっている。また、東部砂丘は高度が高いだけでなく、面積規模も大きく、また起伏に富んでいる。砂丘地形を形成する砂丘層の中には腐食に富む褐色～黒褐色～黒色の砂礫の層(クロスナ層)が挟まれている。大正 10(1921)年～昭和 2(1927)年まで行われた赤川新田の掘削工事ではこのクロスナ層からクリ、ナラ、ヤナギ等の広葉樹の炭化した根株や縄文晩期の土器片や土師器などの生活痕跡が発見されている。(五十嵐和人, 1993)



図 1 庄内海岸の砂丘列
中央の川が最上川、濃い黄緑が砂丘
(国土地理院地図(電子国土 Web) 色別標高図より)



図2 川北・川南砂丘断面位置図
(国土地理院地図(電子国土Web)より)

※林地開発等の地形変更により本来の砂丘地形とは異なる。

川南砂丘断面図

3. 庄内海岸クロマツ林の沿革

庄内砂丘は、中世頃までは広葉樹が生い茂る森林で覆われていたと言われているが、戦国時代から江戸時代初期にかけての戦乱等により乱伐が繰り返されたことから森は失われ、強風と飛砂に悩む不毛の土地となった。そのため、森林をもう一度取り戻そうと、300年前頃から砂丘での植林が始まった。様々な樹種を植え、試行錯誤を繰り返す中で、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」が見出され、江戸時代中期から植林事業が本格的に進められ、次第にマツ林が形成されていった。

しかし、第二次世界大戦時には、燃料材としての収奪や開墾などのために再びマツ林は伐られ、荒廃が進んだ。戦後、砂丘の最前線は国の所管となり、国営の事業として大規模な植林事業が進められた。その結果、江戸時代から続いてきた植林事業は昭和50年代に至ってほぼ完了した。

このように、約3世紀にわたる歳月を経て現在の姿となった庄内海岸クロマツ林は、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欠かせない存在だった。しかし、燃料革命等により松葉かきや枯れ枝の採取も必要がなくなり、植林が進み飛砂の脅威もなくなったことから、人心はマツ林から次第に離れていった。人の手が入らなくなったマツ林では、落葉が堆積し、土地の肥沃化と植生遷移が進んだ。同時に、管理が行き届かないマツ林は、過密化し、樹幹にはつるも巻きつき、人を寄せつけない、いわば藪のような状態で荒廃が進んでいる。さらに昭和50年代中頃には松くい虫被害が初めて確認され、その後被害が急速に拡大、まん延し、管理が行き届かなくなっていた庄内海岸クロマツ林の荒廃に拍車をかけることになった。

4. 庄内海岸クロマツ林の現状と課題

(1) 松くい虫被害の経過

西日本・東日本で猛威を振るっていた松くい虫被害が昭和 50 年代頃に庄内海岸クロマツ林でも確認され、その後は急速に被害が拡大してきた（写真 1）。その一因にはマツ林の維持管理が行き届かず、森林の健全性が衰えていたことが考えられる。

これまでの庄内管内における松くい虫被害の経過（図 3）をみると、昭和 54 年に確認されて以降は増加し続け、平成 6 年に最初のピーク、平成 14 年に 2 回目のピーク

を迎え、その後は平成 23 年まで減少してきた。しかし、平成 24 年以降は増加に転じ、平成 28 年の被害量は 30,000 m³を超えた。これらは、極端化する気象現象（豪雪、大型低気圧など）によるダメージや、間伐などの手入れ不足、クロマツの高齢化による抵抗力の低下のほか、松枯れ被害対策箇所の漏れなど様々な要因によるものと考えられる。

このような被害状況を受け、平成 27 年には国・県・市町・森林組合・研究機関・マツ林保全民間団体からなる「庄内海岸砂防林松くい虫被害対策強化プロジェクト会議」が設置された。同会議は年 2 回、その年の松くい虫被害の発生状況等の情報共有と防除対策などの検討を行っている。具体的には、県港湾事務所や市町などの関係機関への働きかけや海岸林に近接する区域における市町独自の被害対策事業の創設を促すなど、空白域のない総合的な防除を念頭に、毎年全被害木の処理を推進してきた。その結果、平成 29 年から令和 2 年までの被害量は減少したが、令和 3 年には 1 月の風雪害と夏季の高温少雨により再び増加に転じた。令和 5 年は、夏の異常高温や少雨などにより、前年の 2 倍超の被害量と爆発的に拡大した。

上述のようにこれまでは被害木の全量駆除による被害対策を推進してきたが、前年の 2 倍超の被害量を記録した令和 5 年度には十分な予算を確保できず全量駆除を達成することができなかった。近年、被害の増加に対して駆除作業が予算や労力の面で追いつかず、駆除がなされなかった被害木が感染源となって被害が拡大するという悪循環が危惧される状況にある。（中村克典, 2024） 昨年度被害木のうち伐倒駆除できなかった被害木は民有林と国有林を合わせて約 28,000 m³、すなわち令和 5 年度被害量の半分に達しており、今年度（令和 6 年度）の被害拡大が懸念されている。



写真 1 松くい虫被害状況（鶴岡市湯野浜）

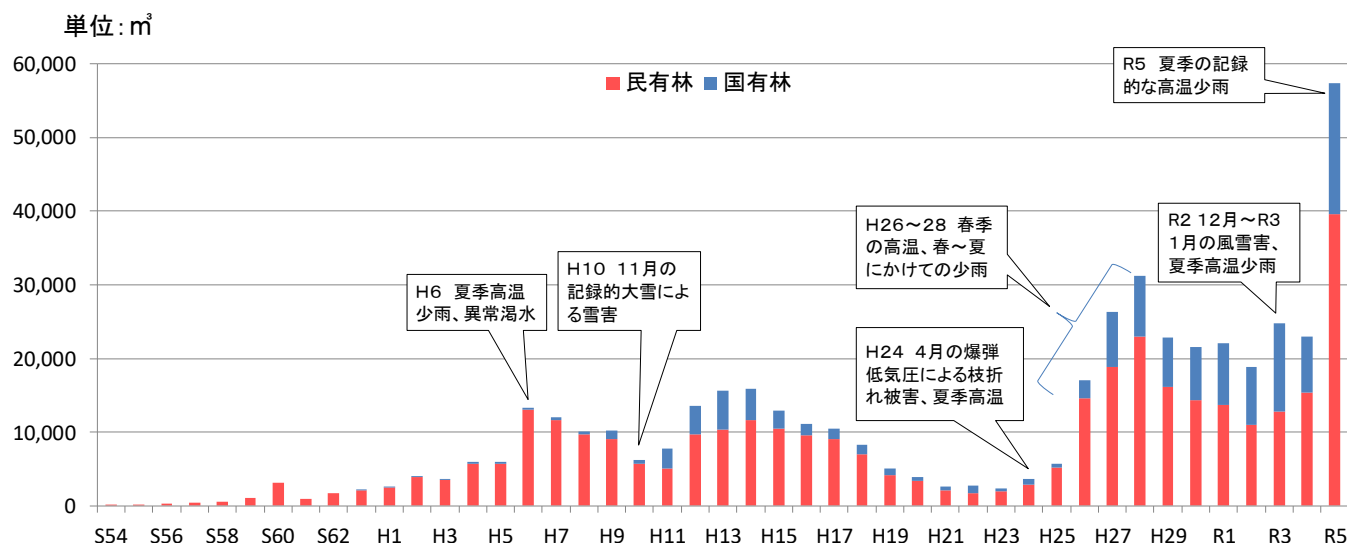


図3 庄内海岸林の松くい虫被害量の推移

(2) 広葉樹との混交林化

松くい虫被害などによって空間が開いたクロマツ林では、クロマツと広葉樹との混交林化が急速に進んでいる(写真2)。単一の樹種からなる森林は特定の病虫害や気象害により壊滅的な被害を受ける恐れがある。

一方、多様な樹種からなる森林はそのような壊滅的な被害を受ける危険性は高くはなく、病虫害対策や造成にかかる費用の軽減が期待できる。また、防災機能や生物多様性保全機能、レクリエーション機能などの生態系サービス(森林からの様々な恵み)の安定した享受も期待できる。

人間が大きく手を加える以前の庄内海岸の原植生はカシワやエゾイタヤ等からなる広葉樹林であったと考えられており、多様な広葉樹の侵入による混交林化は庄内海岸の潜在自然植生に移行する過程にあるとも考えられる。更に、下枝が枯れ上がったクロマツ一斉林よりも下層に広葉樹が混交している森林の方が津波の波力を抑える効果が高いことや、クロマツ一斉林では見られなかった生物種の生育・生息が確認されるなど、クロマツ海岸林に混交する広葉樹の役割が見直されるようになった。

しかし、白砂青松への思い入れから生まれる混交林化への抵抗感や防災効果



写真2 広葉樹(タブノキ)とクロマツの混交林
(遊佐町菅里 2022年)

への不安、混交林化が進む現況への認知度の低さ等を背景に、庄内海岸林維持管理・保全において混交林化は戦略的に進められてはこなかった。今後、松くい虫被害に強く多様な生態系サービスを安定的に享受できる健全な海岸林を維持管理・保全していくためには、クロマツ林に混交林や広葉樹林を含めた海岸林全域の科学的根拠に基づいた分かりやすいゾーニングと具体的な施業方針の提示が必要となる。

(3) クロマツ林の過密化

平成 10 年 11 月、庄内海岸クロマツ林は冠雪害により幹折れや幹曲がり、枝折れ、倒伏などの甚大な被害を受けた。雪害が甚大化した背景には、クロマツが樹高の割に幹が細く、下枝が枯れ上がっていて雪の重みや風等の外力に弱い樹形であったことが挙げられた。現在でもその状況は変わっていない。(写真 3) 森林総合研究所が取りまとめた報告書によれば、冠雪害や津波への耐性を考慮すると、目標形状比（樹高／胸高直径）は 60 程度が妥当とされている。



写真 3 過密状態にあるクロマツ林
(酒田市飯森山西 2023 年)

山形大学農学部と山形県森林研究研修センター、朝日航洋（株）、東北公益文科大学が共同で行った研究成果（山形県森林研究センター, 2023）によれば、庄内海岸クロマツ林(民有林のみ)のうち、令和 4 年時点で形状比 65 未満が約 5%、65～75 未満が約 40%、75 以上が約 50%と冠雪害等に弱い危険な状況にあり、75 以上の林分については早急に改良を図る必要があるとされている。

したがって、立地環境に適した本数調整伐を計画的に実施することや、植え替え等によりクロマツの形状比を改善することで、より自然災害に強い健全なクロマツ林に誘導していくことが今後の重要な課題である。

(4) 耕地防風林

耕地防風林の歴史は古く、藩政時代にまで遡る（写真4）。最上川の北側（以下、川北地域）では製塩が盛んで、燃料として樹木が大量に伐採されたために飛砂が激しく、森林を面的な広がりを持って残すしかすべがなかったため、耕地開発があまり進まなかった。一方、最上川の南側（以下、川南地域）では、川北地域に比べて比較的飛砂も少なく、既に多くの土地が耕地化され、その保護を目的とした植栽が個々人で行われており、海側から順に樹林-畑地-樹林-畑地という土地利用が形成された。



写真4 耕地防風林（酒田市浜中）

その川南地域における耕地防風林は、多くの場合、個々の農家が所有し、個別に管理されてきており、管理水準もバラバラであったことから林帯幅や植栽密度の選定基準、密度調整や更新等の管理方法は分かっていない。

現在、川南地域のクロマツ耕地防風林は南北方向に伸び、その幅は広いもので25m、狭いものでは2～3mと様々だが、潮風や飛砂から作物を守り、ビニールハウスの倒壊を防ぐなどの重要な機能を発揮している。

近年、この耕地防風林の松くい虫被害と老齢化が大きな問題となり、対策が求められている。まず松くい虫被害によって枯損が進み、林帯には局部的に大きな穴が開いた箇所が目立ち始めている。さらに、畑地間の限られたスペースに成立しているために、伐採が難しいことも問題を一層大きくしている。

また、耕地防風林の中には樹齢70年、樹高20mに達するクロマツがあり、大きく張った枝によって「日射が遮られる」、「太い枯れ枝が畑へ落下する」、「枝でハウスが破損した」などの苦情が農業者から寄せられるようになった。若齢のうちは枝下高が低くて、成立本数も多いために防風機能は高いが、成長しすぎると防風機能は低下し、農作業への悪影響を及ぼしてくる。耕地防風林を複層林型にして上層から順次伐って下層に更新していけば良いが、林帯幅が狭いことやクロマツが陽樹で強度の光を必要とすることから、この方策も適切であるかどうかは明らかではない。

耕地防風林の更新を進めていくには、耕地防風林の管理者と農業者の協力・連携のもと、狭い林帯幅の中での伐採などにより一時的な防風機能の低下も起こり得ることを互いに理解しつつ、その許容範囲を探りながら、長期的な更新・管理計画の策定、管理責任の明確化、そして細やかな情報交換を図り、防風林を末永く維持する体制を整備していくことが急がれている。

5. 松くい虫被害対策を考慮した庄内海岸林のゾーニング

松くい虫被害対策を効果的に進め、防風・防砂機能等の生態系サービス享受を長期的に維持することを目的に庄内海岸林のゾーニングを行う。本提案では、「クロマツ林の保全を行う区域」（重点エリア）と、「広葉樹林への転換を進める区域」（準重点エリア）に区分し、それぞれの区域に適した施業を実施する。これにより、松くい虫対策における限られたリソース（予算、人員、時間等）の効果的な活用が可能となる。

なお、今回のゾーニングは国有林及び民有林を対象に行ったが、使用した航空レーザデータについては、遊佐町北部以外は民有林のデータしか入手できずやむを得ず民有林データのみを使用したものとなっている。

(1) ゾーニング用基本図の作成

庄内海岸林の森林構造や樹種分布等を把握し、「クロマツ林の保全を行う区域」と、「広葉樹林への転換を進める区域」を明確に区分するため、航空レーザ測量データを用いて広葉樹の侵入状況を解析し、ゾーニング用基本図を作成した。

①対象とする範囲

庄内海岸砂丘上の森林で、北は遊佐町吹浦地区、南は鶴岡市湯野浜地区に及ぶ全長約 33km、最大幅約 3km に及ぶ総面積約 2,656ha とする。

②使用したデータ

本県森林ノミクス推進課が委託した「令和 4 年度森林資源デジタル化推進事業業務委託」で行った利用可能なすべての航空レーザデータ（オリジナルデータ、グリッドデータ、空中写真地図）を用いた。

③解析方法

ア 検討対象範囲図の作成

対象とするエリアについては、国土地理院の標高データ（10m 格子）から陰影図と標高段彩図を重ねた図を作成し、本検討の範囲となる砂丘の範囲を判読し検討対象範囲図を作成した。

なお、陰影図は地形の起伏に疑似光源からの光を当て地形を立体的に表現した図である。標高段彩図は標高値で色分けをし、視覚的に標高値を識別しやすくした図である。砂丘は一般的に海岸沿いの砂丘地の背後に平坦な平野が広がっているため、地形の凹凸と標高差を可視化することにより砂丘と平地の区分が容易になる。

イ 樹種区分図の作成

樹種区分図は、海岸クロマツ林内の広葉樹の侵入程度を把握するために航空レーザデータを解析等して作成した。作成した手順と各種図面を図 4 に示す。

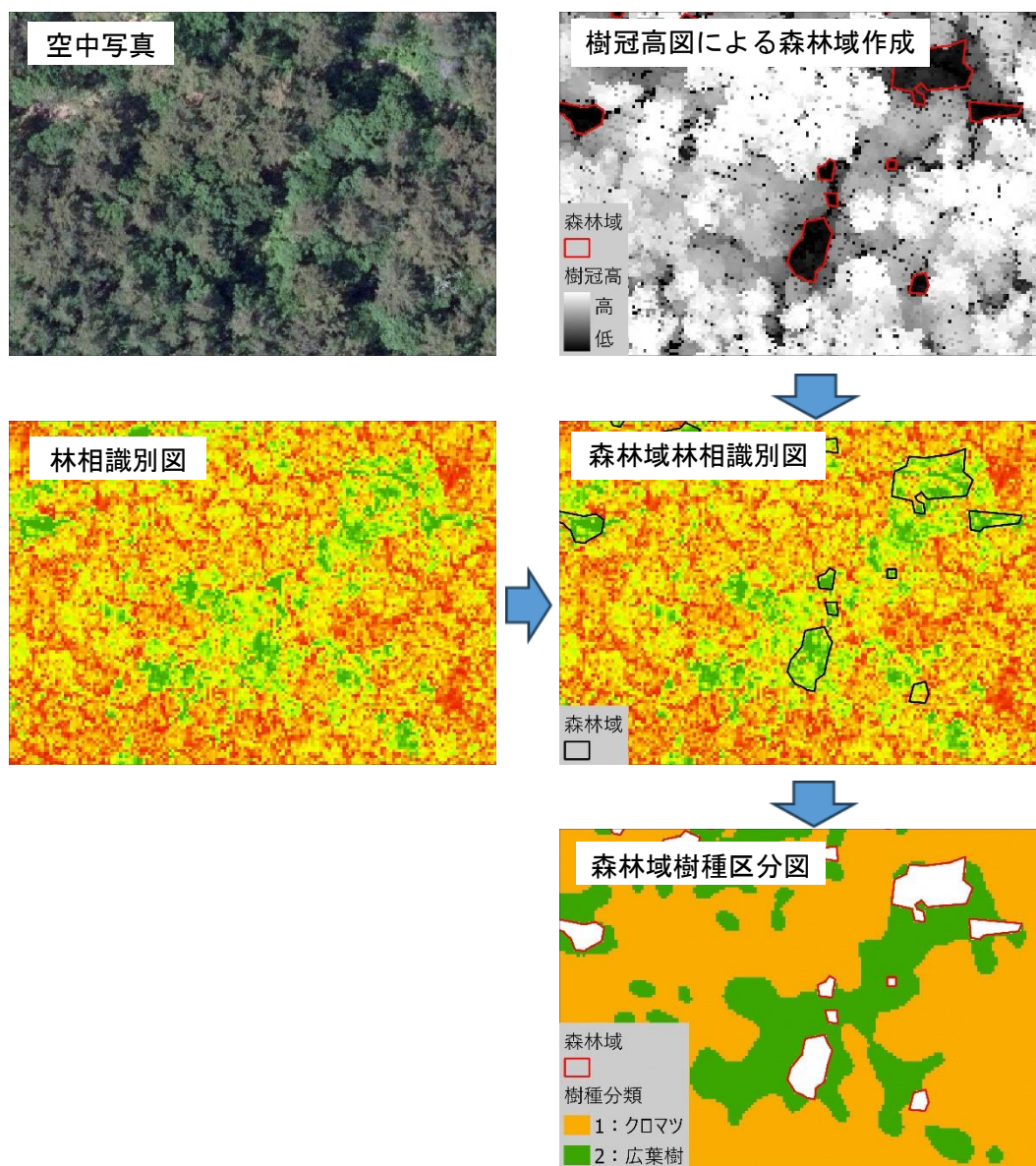


図 4 樹種区分図作成

・ 林相識別図の作成

樹種区分図作成の元データとして航空レーザデータから解析して得た反射強度、樹冠形状、樹冠透過率を用いて林相識別図を作成した。

航空レーザデータは、樹冠部の樹木形状や葉の密度・形状を捉えることができると考えられ、これらの情報を組み合わせることで、ある程度の樹種区分を自動で行うことが可能である。

林相識別図は、各種解析データから 3 種類を選び、それぞれ RGB の各バンドに割り振り、カラー表現したものである。林相識別図の作成にあたり、使用する解析データや割り当てるカラーバンドを組み替えた複数の林相識別図を作成し、空中写真と比較し、最も分類精度が高い、すなわちクロマツと広

葉樹が概ね分類できたと考えられる結果を選定した。

ただし、ニセアカシアはクロマツと区別ができなかったため、今回の分類図では、ニセアカシアが優占する林分もクロマツに区分されている。また、一部にみられるスギは、小面積であることから広葉樹に含めた。

・ 樹冠高図の作成

航空レーザのオリジナルデータから樹冠表層モデル（DSM）を作成し、航空レーザ測量成果の地形データ（DEM）との演算により樹冠高（DCHM）を算出した。（図 5）

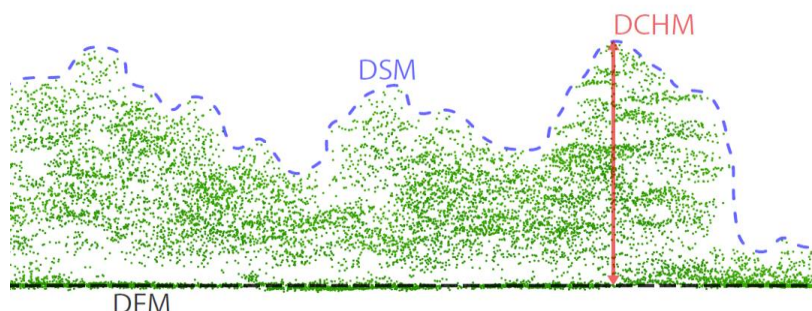


図 5 樹冠高図作成の概念図

・ 森林域樹種区分図の作成

林相識別図を 2 値化し樹種区分図を作成した。林相識別図では、クロマツと広葉樹は、画像ピクセルの数値では 2 値ではなくそれぞれ異なる輝度値となっていることから、類似する値を持つピクセル同士を同一値にして、2 値化した樹種区分図を作成した。

また、今回必要とされているのは、今後広葉樹林として成林していく可能性が高い広葉樹林の割合を把握することであり、成林が期待できない草本類や低木類を除去する必要がある。航空レーザでは、樹高を精度よく把握することができることから、樹種区分図で判定した広葉樹エリアから 4m 未満のエリア（草本類や低木類のエリア）を除外し、成林が期待できる樹高 4m 以上の樹木が生育しているエリアを広葉樹林とした。

ウ 広葉樹侵入状況の解析

森林域樹種区分図を 20m×20m のメッシュで区切り、各メッシュの広葉樹の樹冠面積を算出した。森林面積（針葉樹＋広葉樹）を分母として広葉樹の面積率を算出し、GIS 上で可視化した。（図 6）

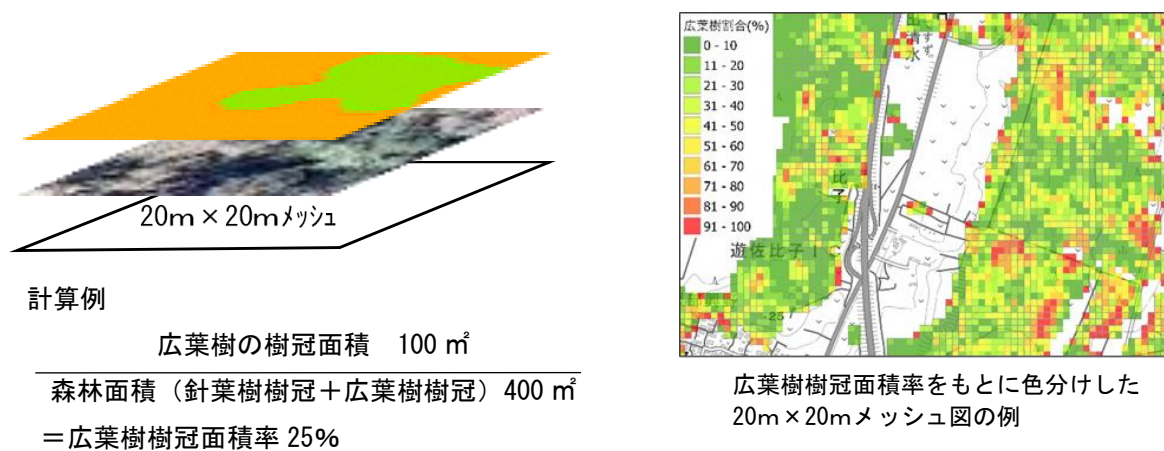


図6 広葉樹侵入メッシュ図の作成

エ ゾーニング管理用ユニット区分

海岸沿いの管理道と東部砂丘ラインを軸にして南北方向に砂丘の連続性を読み取り、市町村界や河川による砂丘列の分断箇所などを目安に対象全域を7つのユニットに分割した。(図9)

(2) ゾーニング区分の基本的な考え方

「庄内海岸砂防林現状調査報告書」(山形大学農学部・庄内海岸松原再生計画策定委員会, 2008)によれば、「庄内海岸砂防林 2,660ha 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、指針作りの基礎となる庄内海岸砂防林のゾーニング」であると記されている。

前述のとおり本提案では、松くい虫被害対策をこれまでの全量駆除の方針から、限られた予算や人員等を保全上重要だと選択された区域に集中させることにより、クロマツ林の保全と広葉樹林への転換を戦略的に進める方針に変更し、効率的かつ持続可能な森林管理を実現することを目指している。

① 松くい虫被害対策としての視点から

「マツ材線虫病にどう対処するかー防除対策の考えかたと実践ー」(森林総合研究所, 2022)によれば、松くい虫防除は達成することが極めて困難な事業であり、全国一律ではなく地域ごとに最適化した戦略的防除が必要となる。図7の松くい虫被害対策のチャートによると、年平均気温により対策が変わる。庄内地域の年平均気温は2019年から2023年の5年間に於いて13.6～14.6℃であることから、変温動物であるマツノザイセンチュウやマツノマダラカミキリの活動は活発で、症状の進行は速いと考えられるため、それに対応した対策が必要とな

る。よって、既に被害が蔓延している庄内地域では、防災機能等の維持から重点的な保全が必要な範囲を「重点エリア」として十分な予算を投入し、図7 ⑤孤立化して防除努力を集中させることと、重点エリア以外では⑥予算の範囲で単木予防処理することと⑦放置して非松林化を促進すること、つまり選択と集中による防除対策が必要である。

この被害対策チャートは、あくまでも目安であり、実際の対応は現場に合わせて調整する必要があることから、このチャートを取りまとめた森林総合研究所東北支所の中村克典主任研究員に庄内海岸の環境やこれまでの松くい虫防除対策の経緯、被害状況とその推移等についてお伝えし、庄内海岸林により適した対処方法について御検討いただいた。中村氏からは、「庄内の現状を鑑みると、予算と労力が少ない中で発生するカミキリの数进行をなるべく下げるために、チャートからは外れるが③選択的な伐倒駆除も有効な選択肢となる。庄内地域の温度条件としては、③の方法のみにより被害を終息させることは難しいが、耕地防風林や重点エリアのバッファゾーンと位置づけられる箇所においては周辺への影響を最小化するためにカミキリ発生を抑制することは可能と考えられる。」との御意見をいただいた。

このことから、庄内海岸林では、被害対策チャートにより選定された⑤孤立化して防除努力を集中、⑥予算の範囲で単木予防処理、⑦放置して非松林化を促進に加え、現場状況により選定した③選択的な伐倒駆除を加えた4種類の防除方法で被害対策を行うこととする。

● マツ材線虫病への対策をどのようにすすめるか？

▶ このチャートや示されている対応方針はあくまで「目安」です。実際の対応は現場の状況に合わせて調整して下さい。

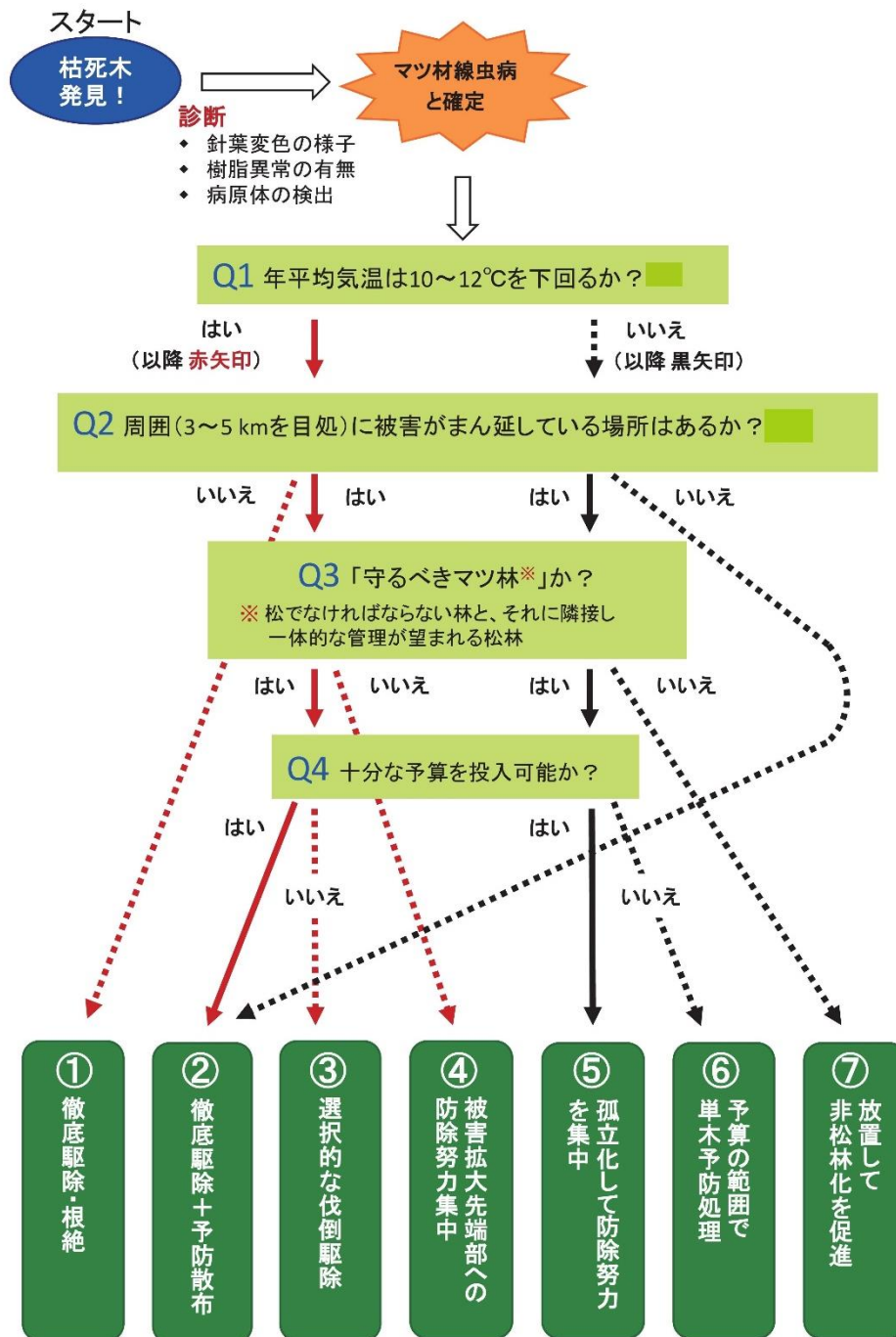


図7 松くい虫被害対策のチャート

出典：マツ材線虫病にどう対処するか
－ 防除対策の考え方と実践 － (2022)

② 海岸林の防災機能維持の視点から

「海岸保安林に関する調査報告書」(山形県・山形大学農学部, 2002)によれば、飛砂防備林(汀線に隣接する最前線部の林)としては汀線側に林帯幅約 250mで、樹高約 18mのクロマツ林がある(汀線付近から林帯幅約 250mの連続したクロマツ林が成林している場合、汀線側から徐々に樹高が増加し、内陸側では樹高は約 18mの高さになる)ことで十分な効果が得られるとしている。(図 8)

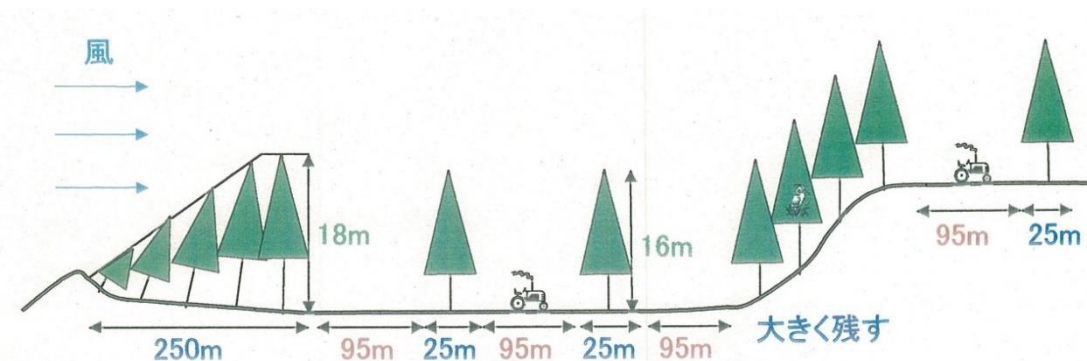


図 8 クロマツ海岸林の防風機能に及ぼす有効林分条件

出典：海岸保安林に関する調査報告書（2002）

また、「庄内海岸砂防林現状調査報告書」(山形大学農学部・庄内海岸松原再生計画策定委員会, 2008)によれば、汀線側（西部砂丘上）に林帯幅約 250m、樹高約 18mのクロマツ林があることに加えて、東部砂丘丘頂に林帯幅 250m（海側 200m、内陸側 50m）のクロマツ林が最低限必要であるとしている。しかし、これまでの松くい虫被害による甚大な量のクロマツの枯損や今後の松くい虫被害拡大防止の観点から、クロマツ林をこれまで同様に維持・更新していくことは困難であることから、本提案書では当該範囲にはクロマツのみならず広葉樹も構成種とする林分を維持していくことを念頭にゾーニングを行う。

③ 庄内海岸の潜在自然植生の視点から

東部砂丘丘頂のクロマツ林については、現在多くの広葉樹が侵入し、広葉樹林化が進んでいる。今回の分析対象範囲で森林と判別されたメッシュ（メッシュ数は 76,487）における広葉樹の樹冠面積率割合の平均値±標準誤差は約 35.0±0.1%であった。この平均値を上回る樹冠面積率 40%以上のメッシュ（メッシュ数は 27,677）を広葉樹林化が進んでいる林分と判断すると、庄内海岸林の約 4割において既に広葉樹林化が進んでいるという結果が得られた。なお、県森林研究研修センターがこれまでに行った植生調査の成果から、侵入している広葉樹は庄内砂丘の潜在自然植生とされているイノダブノキ群集やエゾイタヤケヤキ群集内によく見られるタブノキ、ケヤキ、エノキ、ヤブツバキ、エゾイタヤ、カスミザクラ、カシワ、ミズナラ等の樹種である。

また、「酒田市の潜在自然植生」(酒田市, 1983)によれば、現在のクロマツ林

内で無機土壌の砂層の上に腐植質を含んだ表層土が形成されており、発達した林分では低木層も多いとされている。さらに、人為的管理を抑えて落ち葉かきや、下枝刈りを止めることにより、将来は人為的に管理を行わなくとも自然のままに維持される森林が復元されるとされている。前述のとおり今回の解析からは海岸林の4割、とりわけ内陸側において既に広葉樹林化が進んでいることが明らかとなっており、クロマツ林が庄内海岸の潜在自然植生に移行する過程にあることを裏付けている。

④ 歴史・文化等の視点から

「庄内海岸砂防林現状調査報告書」（山形大学農学部・庄内海岸松原再生計画策定委員会、2008）では、歴史、文化的場所、学習林・ボランティア活動の場、保健休養の場などの特にクロマツ林として維持しなければならない場所についてもゾーニングに加えるべきとの指摘がある。この指摘を考慮に入れ、歴史・文化等の重要性からクロマツ林として維持すべき箇所を以下に記す。

- ・西浜キャンプ場（阿部清右衛門爺山、砂防植林石碑）：観光資源としても価値が高く、文化的にも保護する必要がある。
- ・道の駅鳥海東隣接地、曾根原六蔵植栽地：松くい虫防除が重要なエリアで、継続的な防除活動が求められる。
- ・東北公益文科大、遊心館、美術館周辺：住宅地や公共施設を守るため、防風・砂防としてクロマツ林の維持が重要。

上記に加え、市町やボランティア団体等に聞き取り調査を行い、歴史的、文化的、教育的にクロマツ林を維持していく必要のあるエリアを探索し、それらを重点エリアと判定した。

⑤ 耕地防風林の視点から

「海岸保安林に関する調査報告書」（山形県・山形大学農学部、2002）によれば、耕地防風林（内陸側の耕地と耕地の間にある列状の林）としては樹高約16m以上で、林帯幅約25m以上の林帯と、幅約95m以下の畑地を交互に配置すると十分な防風効果が得られるとされている。さらに、林帯の配置には地形の起伏を十分に考慮し、地形の凸部や風上斜面などの風衝地には林帯を大きく残すこととされている（図8）。

このことを考慮した上で、東部砂丘の海側の林帯は保全対象である畑地に隣接したものであることから、重点エリアと判定した。また、東部砂丘の内陸側についても基本的には重点エリアとするが、季節風の風背地であることから広葉樹の侵入等が進み環境圧の緩和が確認された場合には、樹種転換を視野に入れた準重点エリアと扱う考えである。

6. 庄内海岸林のゾーニング

本提案書のゾーニングは「クロマツ林の保全を行う範囲（重点エリア）」と「広葉樹林への転換を進める範囲（準重点エリア）」の2つに大分される。この分けにより、林分特性に合わせた効果的な森林管理が可能となり、松くい虫対策における選択と集中が可能となる。

また、森林域樹種区分図を用いた解析から、広葉樹樹冠の面積率が40%以上のメッシュが全体の約4割を占めており、別図（P. 27～P. 30）から見て取れるように広葉樹林化は進んでいる。これらクロマツ林に広葉樹が侵入し既に成長している林分では劣勢となりつつあるクロマツ林に松くい虫対策を重点的に行うよりも、混交林、広葉樹林への移行を進める方が海岸林に求める機能の維持には効果的であると考える。

上記ゾーニングの基本的な考え方をもとにさらに重点エリアを3つと準重点エリアを2つのゾーンに細分した。

(1) 重点エリア

重点エリアの目標林型はクロマツ林であり、松くい虫防除を中心とした積極的な保全管理を行う区域である。クロマツ林の長期的な維持を図るため、適切な施業を通じて、松くい虫の被害を最小限に抑えつつ、林分の健全な成長を促す。

① A-1 ゾーン

A-1 ゾーンは現在のクロマツ林を徹底的に保全する重点エリアであり、防風、飛砂防備等の機能発揮を期待するクロマツ林に対して松くい虫防除対策を徹底する。その範囲は、「庄内海岸砂防林現状調査報告書」（山形大学農学部・庄内海岸松原再生計画策定委員会、2008）に基づき、汀線近くの国有林前縁部から幅250mのクロマツ林帯を基本とするが、それに続く一連のクロマツ林帯を道路等の分断構造物や地理的状況を考慮に入れて設定する。このゾーンのクロマツ林は特に保全が必要であり、松くい虫被害が懸念される区域においては積極的な防除（薬剤散布や伐倒駆除、樹幹注入等）を行い、クロマツ林の健全性を維持する。

② A-2 ゾーン

A-2 ゾーンは耕地防風林帯（畑地等の保全すべき場所に隣接するクロマツ林）を対象としたゾーンであり、伐倒駆除を中心とした管理を行う。飛砂防備機能等を維持するため、クロマツ林を主体としながらも広葉樹の試験植栽の実施や他樹種への樹種転換を検討するなど、保全対象に隣接する重要な林帯としての機能向上を図る。

③ A-3 ゾーン

A-3 ゾーンは海岸景観が保全されているために保健休養林として利用されているクロマツ林や、文化的・歴史的背景を持ち、地域で長年に渡り保全活動等が行われているクロマツ林を対象とする。これらのクロマツ林は地域の象徴であり、特に重要な保全対象として A-1 ゾーンと同等の防除対策を講じる。薬剤散布や伐倒駆除、樹幹注入等を行い、長期的な保全を目指す。

(2) 準重点エリア

準重点エリアの目標林型は広葉樹林とし、クロマツ優占林から針広混交林、広葉樹林への樹種転換を推進する区域である。ここでは松枯れ被害木の伐倒駆除と並行して、広葉樹の導入や天然更新を促進し、多面的機能を長期的に発揮・維持する広葉樹林の形成を目指す。

① B ゾーン

B ゾーンは重点エリアである A-1 ゾーンにおける松枯れ虫被害拡大を防ぐための緩衝ゾーンとして位置付ける。対象範囲は、隣接する重点エリア端から東部砂丘の丘頂前部（西側 200m）及び後部（東側 50m）までを基本とするが、地理的状况等を考慮して判定する。このゾーンではクロマツ林の維持を図りつつ、広葉樹等への樹種転換を推進する。松枯れ病被害木の伐倒駆除と並行して、更新伐による広葉樹の導入を試み、クロマツと広葉樹が混在する混交林へ移行させていく。

② C ゾーン

C ゾーンは広葉樹林への積極的な樹種転換を推進するゾーンである。クロマツ林への広葉樹侵入割合が 40%以上の区域を含み、天然更新や更新伐を通じて多面的機能の発揮・維持が期待される広葉樹林の形成を進める。

ゾーニング区分結果については、別図（ゾーニング図 P. 27～P. 30）のとおり。

7. 施業方針

重点エリア（A-1、A-2、A-3 ゾーン）では、クロマツ林の保全を最優先とし、防風・防砂機能等の維持を図る。長期的な保全を見据え、抵抗性マツや適切な広葉樹の導入も検討し、地域の環境を守りつつ、松くい虫被害の抑制を図る。

準重点エリア（B、C ゾーン）では、クロマツ林から広葉樹林への樹種転換を進める。松くい虫の影響が少ない広葉樹の自然侵入を活用し、徐々に混交林や広葉樹林に転換する。広葉樹への移行過程では、引き続き防風・防砂機能等の維持に必要な防除等にとどめ、地域特性に応じた森林管理を進める。

各ゾーンにおいて、以下の施業方針に基づいて松くい虫防除と森林管理を進める。

(1) 重点エリア

① A-1 ゾーンにおける施業

- ・松くい虫防除を最優先し、薬剤散布や伐倒駆除、樹幹注入を徹底的に行う。

② A-2 ゾーンにおける施業

- ・クロマツを主体とした耕地防風林の維持保全を目指し、抵抗性マツと広葉樹の樹種導入を検討する。
- ・松くい虫被害木の伐倒駆除を行い、森林の多様化を進めるための広葉樹植栽の試験を実施する。

③ A-3 ゾーンにおける施業

- ・文化的・歴史的背景を有するクロマツ林の保全を最優先とし、A-1 ゾーン相当の防除を実施する。
- ・薬剤散布や伐倒駆除、樹幹注入を徹底し、地域の財産としての価値を維持する。

(2) 準重点エリア

① B ゾーンにおける施業

- ・選択的な伐倒駆除を実施する等により、できるだけ松くい虫の媒介昆虫の発生数を抑制する。
- ・クロマツ林から広葉樹林への自然遷移を見据え、伐倒駆除や更新伐（予防的なクロマツの除去）と併用して自然侵入した広葉樹の実生・稚樹を活用し、混交林としての機能強化を図る。
- ・広葉樹の侵入が少ないクロマツ林内で更新伐を実施する際は、広葉樹の植栽を行う。

② C ゾーンにおける施業

- ・枯損木伐倒や更新伐（予防的なクロマツの除去）、天然更新により広葉樹林への樹種転換を積極的に推進し、森林の多様性を確保する。
- ・松くい虫被害対策はせず、クロマツ枯損木の伐倒、玉切り、現場集積を行う。

各エリア及びゾーンの区分については、表1のとおり。

表1 ゾーニングの基本的考え方

区分1	区分2	基本的考え方	施業内容
重点エリア (クロマツ林の保全を行う範囲)	A-1 ゾーン	・松を中心として防風、飛砂防備等の機能を持たせた松林 ・国有林前縁部から250m幅を基本（庄内海岸砂防林現状調査報告書）	特別伐倒駆除、伐倒駆除、薬剤散布、樹幹注入等防除を徹底 植栽（抵抗性クロマツに限定）
	A-2 ゾーン	・耕地防風林（畑等保全すべき場所に隣接している松林）	特別伐倒駆除、伐倒駆除、植栽（抵抗性クロマツ・抵抗性アカマツ、その他防風・飛砂防備機能の高い樹種）【試験植栽を含む】
	A-3 ゾーン	・文化的、歴史的背景等を持ち、地域で長年保全活動をしているなど、今後も特に保全が必要な松林	特別伐倒駆除、伐倒駆除、薬剤散布、樹幹注入等防除を徹底 植栽（抵抗性クロマツ、その他防風・飛砂防備機能の高い樹種）
準重点エリア (広葉樹林への転換を進める範囲)	B ゾーン	・A-1への著しい被害の拡大を防止するため、計画的な樹種転換を推進し感染源の除去を図るとともに、樹種転換が完了するまでの間、伐倒駆除等の対策を併用する松林（バッファゾーン） ・東部砂丘丘頂前部（西側200m）、後部（東側50m）を基本（庄内海岸砂防林現状調査報告書）	特別伐倒駆除、伐倒駆除、更新伐（予防的なクロマツの除去）、天然更新、植栽（広葉樹）
	C ゾーン	・クロマツ林に広葉樹が一定程度侵入しており、防風、飛砂防備効果が期待できる松林	枯損木伐倒（伐倒、玉切り、搬出なし）、更新伐（予防的なクロマツの除去）、天然更新

8. 管理ユニットの設定

庄内砂丘は全長約33km、最大幅約3kmの全国でも有数の砂丘であることから、海岸林全体を管理していくには一定の基準をもとにユニット区分を行い、ユニット単位で計画を立て、ゾーニングをもとにした施業の実施状況や進捗状況、今後の展開方針等について管理していくことが効果的である。また、海岸には海風や波浪といった汀線からの距離に応じた明瞭な環境傾度が存在する。そのため海岸林は、それぞれの林分の成立位置によって植生遷移の段階や進む方向が異なっている。また、砂丘の数や高さ、方向等の地形条件が異なるということは、何らかの自然環境の違いが存在している可能性がある。そこで、砂丘列の数、砂丘列の方向、東部砂丘頂の標高、西部砂丘上のクロマツ林の状況、砂丘列間低地の幅、砂丘列間低地の土地利用（耕地防風林帯の有無）、市町界、砂丘を分断している河川といった条件を基に7つの管理ユニットを設定した。（図9）

なお、ユニットには国有林と民有林が含まれている。

以下に、各管理ユニットのおおよその諸元を示す。

表2 管理ユニット諸元

ユニット名	①(km)	②(km)	③(ha)	④(ha)	⑤(%)	⑥(%)	⑦
1 遊佐	10.3	1.7	1,908	745	39	19	遊佐町
2 酒田宮海	3.3	1.5	514	86	17	9	酒田市
3 酒田大浜	2.3	1.3	516	27	5	7	酒田市
4 酒田宮野浦	4.1	1.6	859	172	20	29	酒田市
5 酒田十里塚	3.7	2.5	1,045	316	22	28	酒田市
6 酒田浜中	4.8	2.5	1,250	328	38	27	酒田市
7 鶴岡	2.6	2.9	970	261	30	44	鶴岡市

凡例：①長さ、②幅、③ユニット面積、④森林面積、⑤森林率、⑥混交林化が進んだクロマツ林（広葉樹の樹冠面積が20m×20mメッシュ当たり40%以上）の森林面積に対する割合、⑦管轄市町

表3 管理ユニット内ゾーニング面積

単位：ha

	A			B	C	備考
	A-1	A-2	A-3			
1 遊佐	438	0	233	427	406	A-3：国営防除区域
2 酒田宮海	119	0	0	134	0	
3 酒田大浜	55	0	0	27	0	
4 酒田宮野浦	165	70	45	135	148	A-3：公益大、美術館 周辺の保安林
5 酒田十里塚	210	476	14	39	194	A-3：赤川河口部の 飛砂防止、法面保護
6 酒田浜中	172	570	0	49	197	
7 鶴岡	61	224	0	255	300	
計	1,220	1,340	292	1,066	1,245	

※単位は ha。上記面積には、森林以外（畑等）の面積も含まれる。

※備考は A-3 ゾーンの設定箇所である。

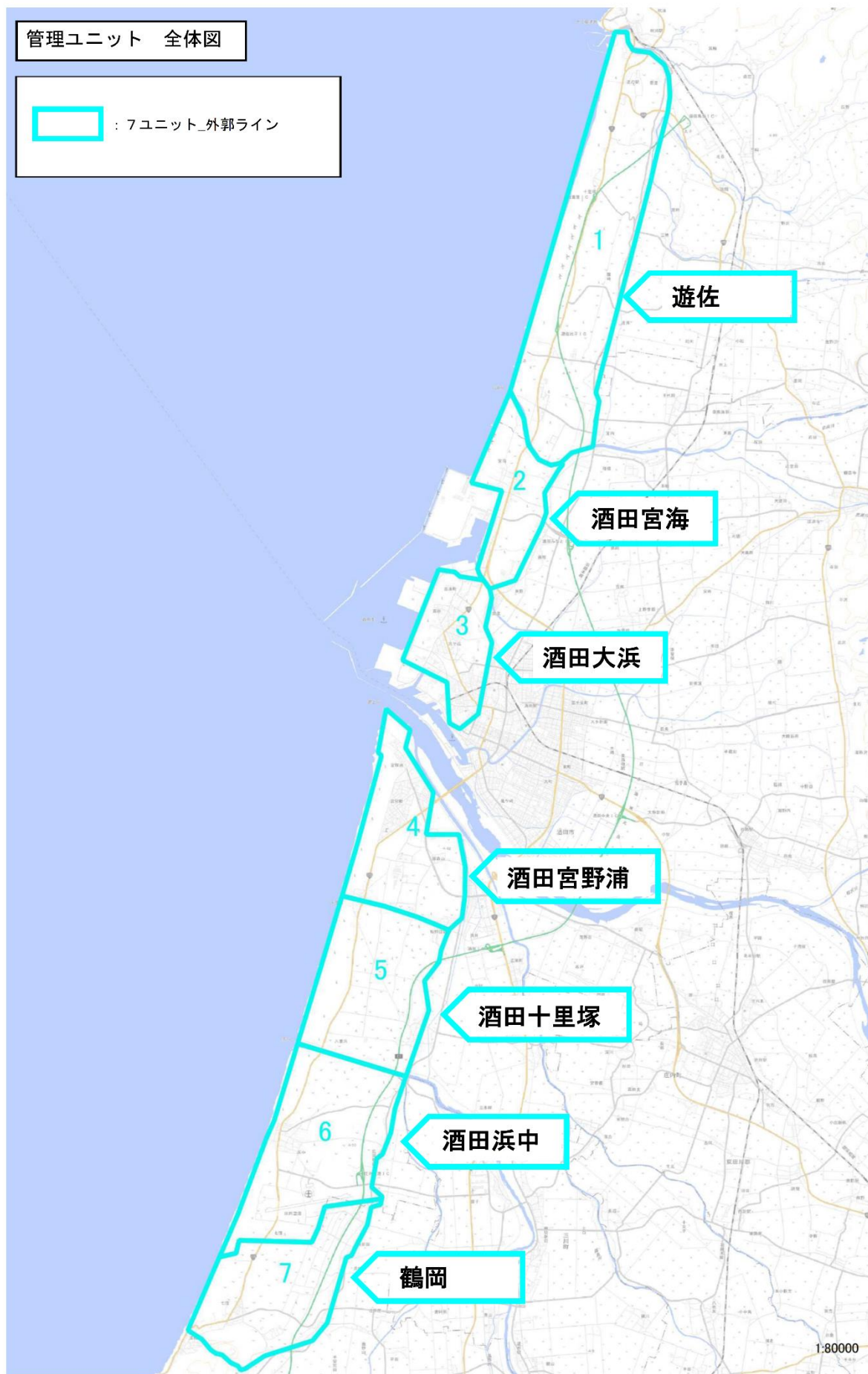


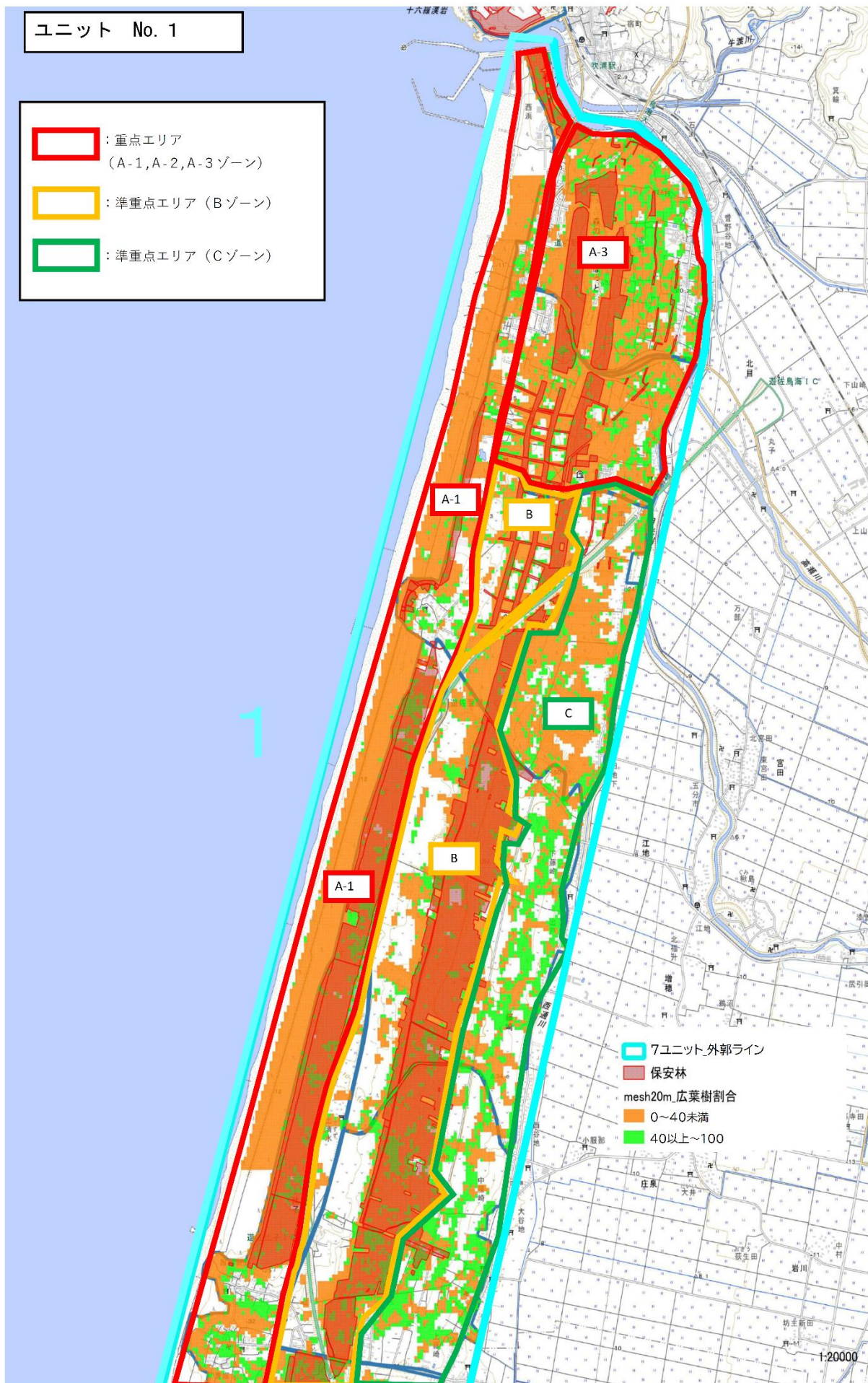
図 9 管理ユニット図

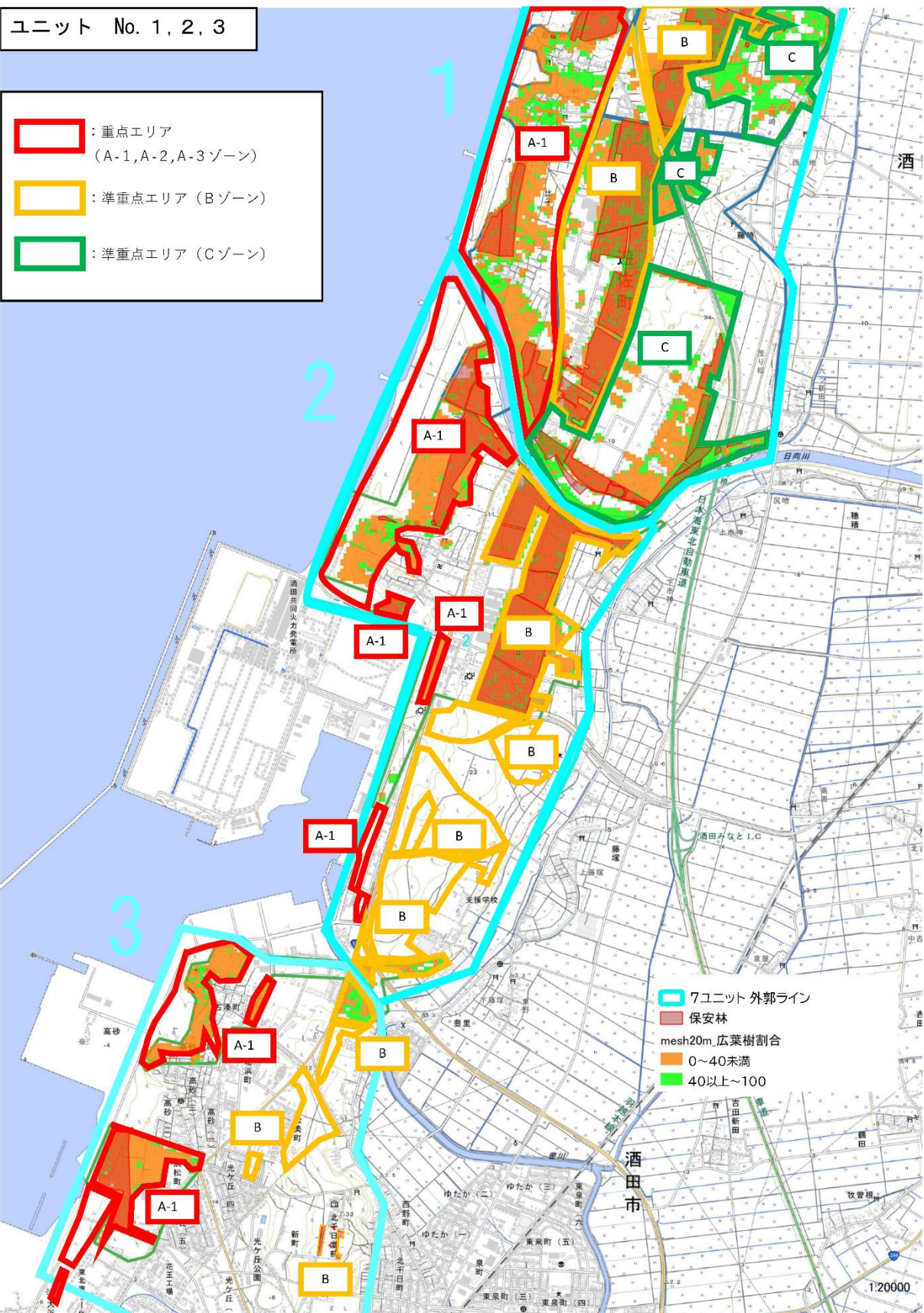
9. まとめ及び今後の課題

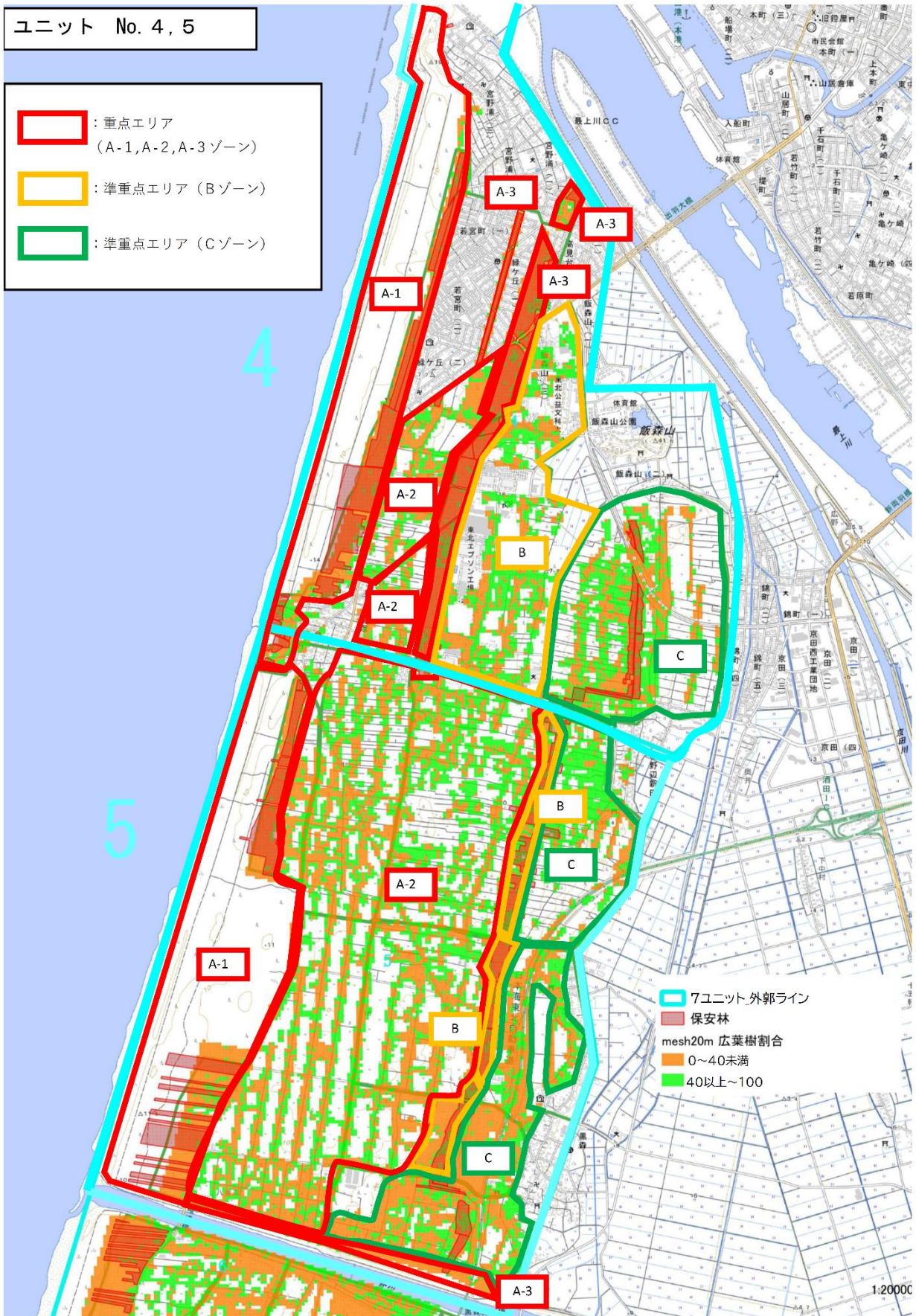
本書では、庄内海岸林における松くい虫被害対策として、従来の全量駆除から選択と集中、すなわち科学的なゾーニングに基づいた新たな施策への転換を提案した。重点エリアではクロマツ林の保全と防風・防砂機能等の維持を最優先し、準重点エリアでは広葉樹林への樹種転換を進めることで、地域の求める多面的な公益機能の向上を図る。今後、温暖化の進展等によって松くい虫被害がさらに拡大する場合は、被害状況に応じてゾーニングを見直すこととする。

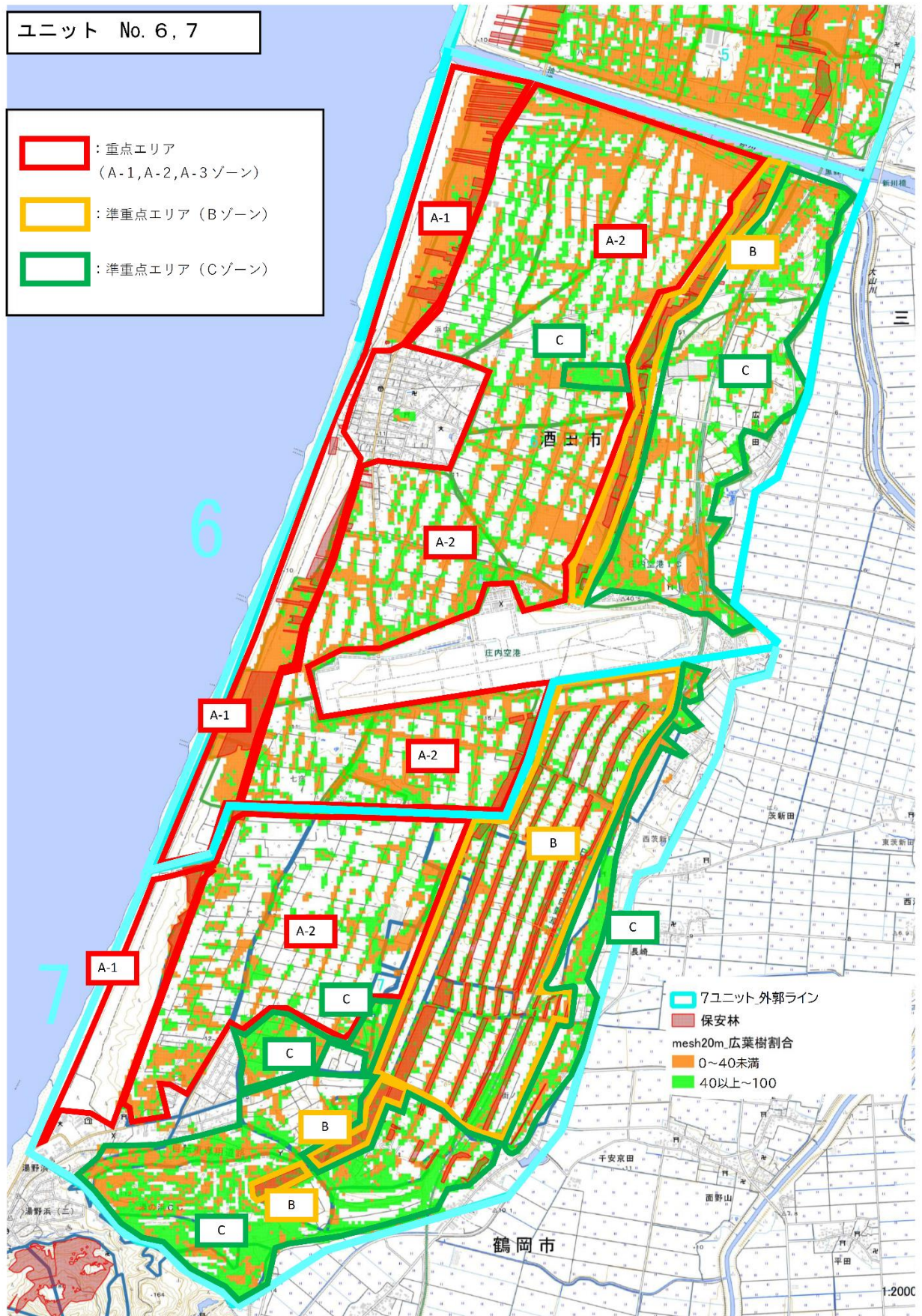
今後の課題として、各エリアにおける施業の実効性を確保するためのモニタリング体制の整備、耕地防風林の広葉樹の導入に向けた試験的植栽の推進、林地開発跡地や耕作放棄地における自然侵入クロマツの松くい虫被害リスクの管理、地域住民の理解や協力体制の確立などが挙げられる。各現場ではその地域特有の状況に応じた適切な対応が求められるため、柔軟な施策の実施が必要である。また、長期的な視点での森林管理計画を策定し、気候変動や自然災害への対応策も考慮に入れた柔軟な施策が求められる。

別図 （ゾーニング図）









引用・参考文献

- アジア航測株式会社（2024）令和 5 年度森林資源デジタル化推進事業業務委託（庄内南工区・解析）報告書. アジア航測株式会社.
- アジア航測・朝日航洋・国際航業設計共同体（2023）令和 4 年度森林資源デジタル化推進事業業務委託（南工区）業務報告書. アジア航測・朝日航洋・国際航業設計共同体.
- 五十嵐和人（1993）北庄内の砂丘（北庄内の自然 p. 17-25）. 飽海地区理科教育研究会.
- 伊藤聡（2006）山形県の海岸丘陵地帯における広葉樹林復元の目標林型（山形県森林研究研修センター研究報告第 30 号 p. 21-27）. 山形県森林研究研修センター.
- 小川真・伊藤武・栗栖敏浩（2012）海岸林再生マニュアル-炭と菌根を使ったマツの育苗・植林・管理-. 築地書館.
- 株式会社パスコ（2024）令和 5 年度森林資源デジタル化推進事業業務委託（庄内北工区・解析）報告書. 株式会社パスコ.
- 酒田営林署（1963）海岸砂地造林事業概要. 酒田営林署.
- 酒田市（1981）酒田市の植生と植物相. 酒田市.
- 酒田市（1983）酒田市の潜在自然植生. 酒田市.
- 「酒田の自然」編集委員会（1999）酒田の自然. 酒田市教育委員会.
- 森林総合研究所多摩森林科学園編（2014）クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用方法-松枯れから防災機能を守るための広葉樹林化-森林総合研究所多摩森林科学園.
- 森林総合研究所東北支所編（2015）津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き-海岸林を造成・管理する実務者のために-. 森林総合研究所東北支所.
- 森林総合研究所東北支所編（2022）マツ材線虫病にどう対処するか-防除対策の考え方と実践-. 森林総合研究所東北支所.
- 立石友男（1989）海岸砂丘の変貌. 大明堂.
- 鶴岡市立図書館編（1997）庄内の大地. 鶴岡市教育委員会.
- 出羽庄内公益の森づくりを考える会（2023）庄内海岸林施業管理指針-庄内海岸における森林の造成と管理の手引き-. 出羽庄内公益の森づくりを考える会.
- 出羽庄内公益の森づくりを考える会（2024）庄内海岸松原再生計画～公益の森がつくる豊かな暮らし～【改訂版】. 出羽庄内公益の森づくりを考える会.
- 中島勇喜（1999）日本海沿岸北部海岸林の潜在植生導入による保全技術. 平成 8～10 年度文部省科学研究費補助金基盤研究（B）（2）研究成果報告書.
- 中村克典（2024）庄内海岸における松くい虫被害の現状と今後の対策（令和 6 年度日本海岸林学会米子大会講演要旨集 p. 14-15）. 令和 6 年度日本海岸林学会米子大会実行委員会.
- パスコ・ナカノアイシステム設計共同体（2023）令和 4 年度森林資源デジタ

ル化推進事業業務委託（北工区）報告書. パスコ・ナカノアイシステム設計
共同体.

- 宮脇昭編（1978）日本植生誌 東北. 至文堂.
- 宮脇昭・奥田重俊編（1990）日本植物群落図説. 至文堂.
- 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編（1992）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.
- 山形県・山形大学農学部（2002）海岸保安林に関する調査報告書. 山形県.
- 山形県森林研究研修センター（2007）砂丘クロマツ林内に植栽可能な広葉樹（平成 18 年度新しい技術の試験研究成果（普及指導資料及び行政資料））. 山形県農林水産部.
- 山形県森林研究研修センター（2013）砂丘クロマツ林内への樹下植栽に供した広葉樹 22 樹種の適正評価（平成 24 年度新しい技術の試験研究成果（普及指導資料及び行政資料））. 山形県農林水産部.
- 山形県森林研究研修センター（2015）海岸クロマツ林の健全化に向けた指針の作成（平成 26 年度新しい技術の試験研究成果（普及指導資料及び行政資料））. 山形県農林水産部.
- 山形県森林研究研修センター（2023）庄内海岸クロマツ林全域での航空レーザ測量による健全度判定と GIS による可視化（新しい技術の試験研究成果（普及指導資料及び行政資料））. 山形県農林水産部.
- 山形県遊佐町教育委員会（2021）遊佐町藤崎茂り松のエゾイタヤカシワ残存林調査報告書. 遊佐町教育委員会.
- 山形大学農学部（2008）庄内海岸砂防林現状調査報告書. 庄内海岸松原再生計画策定委員会.

付属資料

1. 「松くい虫被害対策に係る庄内海岸林のゾーニングについて提案書」作成の経過
2. 出羽庄内公益の森づくりを考える会名簿（令和 6 年度）
3. 出羽庄内公益の森づくりを考える会 情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会名簿（令和 6 年度）

1. 「松くい虫被害対策に係る庄内海岸林のゾーニングについて提案書」作成の経過

- ・ 第1回情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会を開催
(令和6年5月21日)
- ・ 第2回情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会を開催
(令和6年6月26日)
- ・ 第1回出羽庄内公益の森づくりを考える会を開催 (令和6年7月 9日)
〔 県庁森林ノミクス推進課長より、「松くい虫被害対策に係る庄内海岸林のゾーニングについて」提案依頼 〕
- ・ 第3回情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会を開催
(令和6年8月 9日)
- ・ 第4回情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会を開催
(令和6年9月 2日)
- ・ 第5回情報共有システム構築・ゾーニング再検討部会を開催
(令和6年10月2日)
- ・ 第2回出羽庄内公益の森づくりを考える会を開催 (令和6年10月21日)
〔 「松くい虫被害対策に係る庄内海岸林のゾーニングについて提案書」の検討 〕
- ・ 「松くい虫被害対策に係る庄内海岸林のゾーニングについて提案書」の提出
(令和6年11月18日)

2. 出羽庄内公益の森づくりを考える会 参加団体及び構成員名簿

(令和6年度)

分野	所 属	備 考
行政 機関 (8)	庄内森林管理署	
	朝日庄内森林生態系保全バッファゾーン	
	国土交通省酒田河川国道事務所	
	山形県庄内総合支庁（森林整備課）	
	山形県森林研究研修バッファゾーン	
	鶴岡市農山漁村振興課	
	酒田市農林水産課	
	遊佐町産業課	
教育 機関 (3)	山形大学	
	東北公益文科大学	
	庄内教育事務所 指導課	
森林 ボランティア 団体 (5)	庄内海岸のクロマツ林をたたえる会	
	万里の松原に親しむ会	
	砂丘地砂防林環境整備推進協議会	
	飯森山の緑と景観を考える会	
	西郷砂防林維持管理協議会	
林業関係 団体(2)	出羽庄内森林組合	
	北庄内森林組合	
事務局	庄内総合支庁森林整備課	

会 長：東北公益文科大学 教授 呉尚浩

副会長：庄内海岸のクロマツ林をたたえる会 会長 梅津勘一

**3. 出羽庄内公益の森づくりを考える会 情報共有システム構築・ゾーニング
再検討部会名簿（令和6年度）**

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
山形大学 農学部准教授	菊 池 俊 一	部会長
東北公益文科大学 教授	呉 尚 浩	
庄内海岸のクロマツ林をたたえる会 会長	梅 津 勘 一	
林野庁東北森林管理局庄内森林管理署 総括森林整備官	山 内 武 文	
山形県森林研究研修バッファゾーン 副所長（兼）研究主幹	渡 部 公 一	
山形県庄内総合支庁 森林整備課長	伊 藤 聡	