

「役に立つ」海岸林を再生するために

森林総合研究所東北支所生物被害研究グループ長 中村 克典

1. 常識が覆されたとき

長らく、松くい虫（実体は「マツ材線虫病」と名付けられているマツ類樹木の伝染病）による松枯れ被害を研究対象としてきた私には、守られるべき松林に対し、思い入れが強過ぎる部分があるかもしれない。そんな思い入れを差し引いても、松林が林業的に、あるいは防災、景観などの公益的機能の面で地域の役に立っている場面は決して少なくない、とは言えるだろう。中でも海岸松林は、その多くが海からの潮風や飛砂を防ぐために先人達によって植え、育てられてきたものであり、白砂青松の言葉に代表されるような情緒的な結びつきも相まって、地域の人々の暮らしに貢献する重要な存在と認められてきた。さらに、日本の海岸にとって宿命と言える津波の襲来に際しても、侵入する水の勢いを弱め、漂流物を捕捉して被害を抑制する働きがあることが知られていた（石川 1992、坂本 2011）。海岸林には防風、防砂、防潮といった防災機能があり、役に立つものだ、という観念は私にとっては完全に常識であったし、多分多くの人にとってもそうであったことと思う。しかしこの常識は、2011年3月11日の東日本大震災津波で一気に覆ってしまった。

津波はこれを押しとどめてくれるはずの海岸林を易々と乗り越えて内陸に流入した。激しい水流に抗しきれなかった海岸林の松の木はあるいはへし折られ、あるいは根こそぎ流されて漂流する凶器となってしまった。津波の去った海岸では、多くの松の木が浅い円盤状の根系を曝して横転しており、生き残ったかに見えた松の木でも時間の経過とともに衰弱し、枯れていってしま

うものが見られた。

少なくとも今回の巨大津波に対し、クロマツを主体とする海岸林が十分な防御効果を果たしたとは言えず、「海岸林は役に立たなかった」という実感をもたれてしまうのは致し方ない。ただし、海岸林がここまで役に立たなかったことの最大の理由は、海岸林の発揮できる防災機能に比して津波が巨大過ぎたことにある。過去の津波被害の際に海岸林が一定の防潮効果を発揮してきたことは事実であるし（写真1）、今回の災害でも現にそのような効果が発揮された場面があることが報告されている（岡田ほか2012、坂本ほか



写真1 上：昭和35年チリ地震津波の際の漂流物を食い止めた高田松原（岩手県農林水産部資料）

下：東日本大震災津波被災後の高田松原。上写真とほぼ同じ構図であるが、砂浜、海岸林であったはずの場所が海になっており、今回の津波被害の規模の大きさを物語っている（原図：中村2015）

2012)。しかしながら、海岸林の防潮効果はもともと堤防のように水の流れをブロックするといった強力なものではなく、あくまで補助的、補完的なものである。ここに過大な期待を寄せること自体に無理があり、また、海岸松林の重要性を強調したいがため、ことさらに防潮効果を強調してきた我々松林に関わる研究者は深く反省しなければならないところである。

一方、教科書的には深根性とされているクロマツで垂直根の発達が弱く、膨大な量の倒伏・流出木が発生してしまったことや、津波に耐えたクロマツやアカマツが後になって枯れてゆく現象など、これまでの常識にはなかった事態は、我々を当惑させるものであった。そして、多くの研究者がこの当惑を正面に据えて、震災後の研究に取り組んできた。いまやこれらの当惑は、震災後数年にわたる研究の成果によってほぼ解消されつつある。

2. 覆された常識を検証する

東日本大震災津波の被災地の多くで、海岸林の樹木の倒伏、根返り（～流出）、幹折れ等の被害が発生した。被害を受けた樹木のほとんどがクロマツであったが、これは単に、もともとの海岸林でクロマツが主な構成樹種であったからであって、クロマツが津波に弱かったことを示す証拠ではない。また、仙台平野などの例で流出したり根返りしたりしたクロマツの根系が浅い円盤状を呈していたことから、クロマツは浅根性である（したがって、津波への耐性がない）という見解が広まるに至っているが、ことはさほどに単純ではない。まず、被災地をつぶさに見て回れば、海岸前線部にあって流されも倒されもしなかったクロマツが少なからず存在し（写真 2）、あるいは幹折れ被害の現場では、根系は津波に耐えたが幹が先に限界に達して折損に至ったものであるという事実気づくことができる（中村 2015）（写真 3）。また、深根性とされるクロマツで垂直根が発達しない場合があり、それは地下水位が高く根系発達が阻害されるからであることは、実は以前から知られていたことであった（苅住 1978、小田 2001）。震災後に集約的に取り組まれた研究からも、根系の浅いクロマツが多く見られた仙台平野では地下水位が高く（野口ほか 2014、渡部ほか 2014）、実際に、残存するクロマツの根系を調べると地下水が現れる高さで垂直根の発達が止まっていた（菊池ほか 2012）。

従って、津波による倒伏に耐性のあるクロマツ林を成立させるには、地下水面までの距離をかせぎ、根系発達のための植栽基盤を確保することが重要であると結論できる（飯塚 2012、渡部ほか 2014）。地下水を突き抜けて根を伸長させられないのはクロマツに限られたこととは考えがたいので、この結論はクロマツ以外の多くの樹種に敷衍^{ふえん}できるはずのものである。

被災直後の段階で、津波に耐えて立木として残ったクロマツの多くは緑の葉を維持し、倒伏した個体ですら新芽を伸長させていることがあった。ところが、一見したところ問題なく見えたこれらのマツで、その後衰退症状を呈し、枯死するものが現れた。例えば、青森県の太平洋岸の海岸クロマツ林では、



写真2 海岸前線部にあって津波に耐えたクロマツの樹群（岩手県山田町、2011年6月）



写真3 津波の強大な勢力に耐え抜いたクロマツの根系（岩手県山田町、2011年5月）

は、津波による直接的な被害面積が12haであったのに対し、その後のクロマツの枯死被害が120haを超えるという事態となり、復旧計画に大きな影響が及んだ（青森県林政課 2014）。

樹木を海水に浸けると高濃度の塩類による生理障害（塩害）が生じ、これに対する抵抗性（耐塩水性）はクロマツ、マサキ、ハマゴウなどで強く、アカマツは弱いことが知られている（高橋・堀江 1965、堀江 1968）。津波被災地の海岸松林で我々が行った経時的な毎木調査（中村ほか 2012）でも、アカマツには被災直後から葉量の減少などの衰退症状が現れ、枯死に至るものも少なくなかった。一方クロマツでは、場所や条件により

枯れるものと枯れないものがあった。まず、被災前から他個体に被陰された状態にあった劣勢木や、津波で根元から押し倒されたり樹幹が屈曲させられたりする強い物理的なダメージを受けた木は、多くが早期に針葉を変色させて枯死した。被陰や物理的損傷によるストレスのため、塩害に対抗する余力がなかったのであろう。また、林内の土地の起伏や人工構造物のため浸入した海水が滞留しやすかったと考えられる所では、慢性的にクロマツの衰弱が進んで全滅に近い枯死被害となったところがあった（写真4）。上記の青森県の例などもこれにあたる。結局、津波被災地のクロマツの衰弱・枯死はこのような悪条件下で生じたものであり、クロマツ自体の耐塩水性の高さは過去の知見で示されていた通りであると結論できる。実際に、津波被害を乗り越えたクロマツの多くは枯死を免れて維持され、その場での海岸林再生の一翼を担っている（写真5）。

ただし、津波後も維持され



写真4 青森県八戸市の津波被災海岸林で見られたクロマツの衰弱・枯死（上：2011年6月、下：2012年10月撮影）



写真5 仙台平野の復旧工事現場にパッチ状に残っている震災前からのクロマツ海岸林（宮城県仙台市、2015年9月）

ていたクロマツ林が復興工事との兼ね合いで伐採され、消失ないし大きく面積を縮小させてしまった場所は少なくない。また、もともと松くい虫被害が蔓延^{まんえん}していた地域では、震災後の混乱のため十分な防除を実施することができなくなったため、残存する海岸松林で被害が広がってしまった例も報告されている（八木・佐々木 2015）。津波被災地で見られる松林の衰退は、このような人為的な要因によっても生じているのである。

3. 松林への不信が生んだ広葉樹への期待

こうして我々研究者は海岸松林の津波被害により覆された常識について検証作業を進めていったのだが、現地調査やデータに基づく科学的な検証にはそれなりの時間が必要であった。しかし、このような科学的な検証は、震災直後の日本で求められていたスピード感には到底追いつけるものではなかった。社会に広まってしまった「マツは役に立たなかった」という実感は、「マツはよくなかったので広葉樹を植えるべき」という主張に転化され、これまでのクロマツ一辺倒の海岸林造成に疑念を抱く人々から政治家、芸能人、大企業も巻き込んだ一大ムーブメントが形成されることとなった。

しかし、「マツより広葉樹」とする主張の論拠のうち、少なくとも「マツは根が浅い（が広葉樹は深い）」「マツは海水に弱い（が広葉樹は強い）」という議論が誤解ないし一面的な見方に過ぎないことは前段に述べた通りである。それ以前の問題として、海岸林造成で想定される劣悪な海浜環境（貧栄養な砂質土壌、乾燥、潮風など）のもとで広く広葉樹を植栽しようとするここと自体が前例のない冒険的な取り組みである。一部で実施されているような、客土や敷き藁を前提とした高コストな植栽方法を広大な被災海岸林に適用するのは現実的に困難であり、よしんばそれで苗木が活着したとしても厳しい海浜環境下で成林し、維持されるという確証はない。

そもそも、津波に対して海岸林が十分な防災機能を発揮できなかった、という根本的な問題は、クロマツを別の樹種に置き換えたからといって解決されるものではない。津波に対するバリアという点だけで言えば、海岸林の効果はあくまで限定的なものであり、防潮堤や土地利用のあり方、あるいは警報や避難といったソフトウェアも含む総合的な津波対策、いわゆる多重防御

の一環に位置付けられるべきものである。広葉樹への過度な期待は、かつてのクロマツ海岸林の防災機能に対する盲目的な信頼と同様の危険をはらんでいる。

4. 海岸林再生に求められる課題

あの巨大津波を経験した後の海岸林再生の議論の中で、海岸林の対津波性能が重視されるのは無理からぬことである。しかし、全国津々浦々で人々がわざわざ木を植えて海岸林を造り、維持してきた本来の目的は、防風であり防砂であった（太田 2012）ことを忘れてはならない。海岸林が果たすべきこの本来の役割は震災を経ても変わることはなく、まずもって復元が図られるべきものである。防風、防砂機能を早期に復元しようとするれば、厳しい海浜環境下でも着実に活着、成長して防風、防砂性能を発揮する樹高に達し、前線部から密な葉群を保ち、冬も葉が落ちることのないクロマツの有用性は揺るがない（近田 2013）。

一方、今の日本で松林を維持管理していこうとすれば、松くい虫の問題は避けて通れない。松くい虫被害が蔓延する地域で広い面積のクロマツ林を維持するには大変な困難が強いられ、一旦激甚な被害が発生すれば防災林としての機能は一気に低下する。松くい虫以外の病虫害や気象害を考へても、単一樹種の単純林はリスクが大きい。海岸林への広葉樹の導入は病虫害や気象害に対するリスク分散という観点から有意義であり、特に海岸林の内陸側、住居地や農耕地に面する部分を広葉樹林化（非マツ林化）することができれば、農業使用に頼らざるを得ない松くい虫対策を効果的に進められるようになる。また、ケヤキ等の大木になる広葉樹が林内に配置されることで、漂流物の捕捉などの対津波性能も向上することが期待される。重要なことは、広葉樹をクロマツの代わりに使うのではなく、無理のない形で海岸林に導入し、利点を引き出すことである。植栽による導入ばかりでなく、松くい虫被害跡地などに自然に侵入してくる広葉樹を活かして海岸林を広葉樹林化する方法も模索されている（森林総合研究所 2014）。

なお、被災地で進められる海岸林植栽の現場では、松くい虫対策の観点から「抵抗性マツ」の利用が今後ますます進むものと予想される。抵抗性マツ

は、松くい虫被害をもたらす病原体のマツノザイセンチュウに抵抗性をもつクロマツ、アカマツ個体を一定の手順により選抜、品種化したもので、東日本大震災津波で被災した海岸林での植栽に向けて東北地方産品種の苗木の増産技術開発が進められている（星・高橋 2015）。ただし、抵抗性マツは「枯れにくいマツ」ではあっても「枯れないマツ」ではなく、抵抗性マツを植栽したからと言って松くい虫対策が不要になるわけではない。広い松林で松くい虫対策を効率的に実施しようとすれば、被害木探査と防除作業のための作業道が不可欠である。海岸林再生の計画に松くい虫対策を組み込むのであれば、何を植えるかだけでなく、どのように管理するかも考慮されることが望ましい。

クロマツ海岸林で以前よりも津波への対応能力を高めようとするのであれば、今回の津波被害で明らかとなった震災前の海岸松林の問題点に適切に対処することが求められる。一つは、地下水位の高い場所に植栽されていたことによる根の浅さであるが、これについてはすでに、盛土によって植栽面から地下水面までの距離をとる方法が推奨され（東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会 2012）、導入されている。ただし、これらの盛土の材料は、近隣の丘陵地から切り出されたいわゆる山砂であることが多く、粘土成分による滞水や堅密化など植栽木の生育に好ましくない状況が生じる場合がある（伊藤 2014）。また、盛土による植栽基盤造成は大規模な土地改変



写真6 防潮堤背後の広大な盛土造成地で進められる海岸林再生事業(宮城県仙台市、2014年11月)

をもたらし、でき上がる地盤は海岸林本来の砂地土壌とは異なったものとなることから、自然な生態系の復元を損なうものであるとの指摘がある（藤原 2013）。東日本大震災を契機に時間との闘いの中で策定、実施されることとなった山砂盛土による大規模な海岸林造成は、行政にとっても地域にとっても不慣れな取り組

みであり、試行錯誤の中で順応的に進めてゆくしか道はないであろう（写真6）。津波後に明らかとなったもう一つの問題点として、浸入した海水が停滞しやすい場所でクロマツ・アカマツの衰弱・枯死が発生したことがあった（木村 2012、中村ら 2012）。これについては、地形に応じて適切に水路を入れるなど排水を考慮すること、海水の浸入を受けやすいところには耐塩水性の低いアカマツを使わないことなどで対応できるであろう。多大な労力と時間をかけて育て上げる海岸林が一度の浸水で失われるようなことがないように、植栽の段階から手立てを整えておきたい。

より根源的に、津波に対する海岸林の防災機能を高めようとするなら、海岸線から内陸に向けた海岸林自体の幅（林帯幅）を広く取ることは効果的である（坂本 2011、東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会 2012）。広い林帯は水流への抵抗を増強し、漂流物が捕捉される可能性を高める。また、単純に林内に人が住まないことで人的な被害の発生が抑制され、人工の防護施設が少なくすむため自然環境保全にも資するものとなる。限られた海沿いの低地を高度に利用せざるを得ない日本の土地事情から実現には大きな困難が伴うが、森林による防災機能強化を考える上で一考の価値のある施策である。

5. おわりに

東日本大震災津波に対し、クロマツを主体とする海岸林は脆弱^{ぜいじゃく}で、期待されたほどの防潮効果を発揮することがなかった。しかしそれは、松林ないし海岸林の防潮効果への過剰な期待を抱いていた我々が、千年に一度という巨大災害に遭遇したために直面した事態であり、「マツだからダメだった」と言うような単純な結論で終わる話ではない。まして、ここで「役に立たなかったマツに代えて広葉樹を」というのでは、問題の本質はまったく変わらない。後背地を海からの潮風や飛砂から守るという海岸林の本来の機能を早期に立て直そうとすれば、歴史的、経験的に海浜植栽での優位性が証明されているクロマツを活用しない手はない。ただし、海岸林に求められる役割は時代とともに変化し、多様化している。今回の津波被害を教訓とした対津波性能の強化は図られてしかるべきであるし、松くい虫をはじめとする病虫害

や気象害によるリスクへの対応も考慮されなければならない。ここで必要とされるのは、「マツか、広葉樹か」の二者択一的な議論ではなく、クロマツの利点を活かし、欠点を補いつつ、以前より多様で高機能な海岸林を創り出すための適材適所な樹種活用の考え方であろう。この新しい取り組みに出来合いの指針や手順がそのまま通用するとは思えない。現場ベースでの挑戦と試行錯誤こそが海岸林の新たな形を切り拓く原動力となるだろう。

〔引用文献〕

- 青森県林政課（2014）海岸防災林再生計画書. http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/rinsei/files/kaiganbosairin_saiseikeikaku.pdf
- 藤原道郎（2013）海岸植生の保全と再生に向けて必要な配慮. 平成24年度植生学会・日本自然保護協会シンポジウム 岩手の海岸の自然再生に向けて：東日本大震災後の海岸植生の自律的再生と共存のために 要旨集 9-10
- 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会（2012）<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/pdf/120201-01.pdf>
- 堀江保夫（1968）植物の耐塩水性（2）防潮林構成植物選定のための実験. 林業試験場研究報告 186: 113-133
- 星比呂志・高橋誠（2015）マツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発：森林総合研究所林木育種センターの取り組み. 林業と薬剤 213: 7-12
- 飯塚康雄（2012）津波による倒伏被害に強い海岸林のマツ再生. 新都市 66(7): 1-5
- 石川政幸（1992）防潮. 日本の海岸林：多面的な環境機能とその活用（村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 編, ソフトサイエンス社）pp. 284-300
- 伊藤智弥（2014）盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順. 第54回治山研究発表会（要旨集）: 32-33
- 苅住昇（1978）新装版樹木根系図説. 誠文堂新光社. 1121p.
- 菊池俊一・渡部公一・佐藤恒治・須藤泰典・上野満・齊藤正一・堀米英明・海老名寛・坂本知己（2012）東北地方太平洋沖地震津波による海岸林被害と根系発達状況の関係. 第123回日本森林学会講演要旨集 D10
- 木村公樹（2012）東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波により被災した青森県太平洋沿岸の海岸林の被害状況. 平成24年度青森県林業研究所報告 1-15
- 近田文弘（2013）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(2): 23-28
- 中村克典（2015）東日本大震災津波で被害を受けた海岸マツ林について考え直す. 国立公園 731: 15-18
- 中村克典・小谷英司・小野賢二（2012）津波被害を受けた海岸林における樹木の衰弱・枯死. 森林科学 66: 7-12
- 野口正二・新山馨・田村浩喜・田中三郎・久保田多余子・安田幸生（2014）宮城県宮城野区海岸林に

- おける地下水位の変動. 日本森林学会誌 96(3): 150-154
- 小田隆則 (2001) 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の滞水反応と樹林帯造成法に関する研究. 千葉県森林研究センター特別研究報告 3. 78p.
- 岡田穰・野口宏典・岡野通明・坂本知己 (2012) 平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波における家屋破損程度からみた海岸林の評価: 宮城県石巻市長浜の事例. 海岸林学会誌 11(2): 59-65
- 太田猛彦 (2012) 森林飽和: 国土の変貌を考える. NHK 出版. 254pp.
- 坂本知己・新山馨・中村克典・小谷英司・平井敬三・齋藤武史・木村公樹・今純一 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の漂流物捕捉効果: 青森県八戸市市川町の事例. 海岸林学会誌 11(2): 65-70
- 坂本知己 (2011) 津波減災機能. 海岸林との共生 (中島勇喜・岡田穰 編, 山形大学出版会) pp. 49-54
- 森林総合研究所 (2014) クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用法: 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. 45p.
- 高橋啓二・堀江保夫 (1965) 植物の耐塩水性 (1) 防潮林構成植物選定のための実験. 林業試験場研究報告 183: 31-152
- 渡部公一・海老名寛・古川和史・堀米英明・大築和彦・上野満・宮下智弘・坂本知己 (2014) 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度及び立木サイズとの関係. 海岸林学会誌 13(1): 7-14
- 八木智義・佐々木智恵 (2015) 海岸防災林再生のための津波被災木の適切な処理に関する調査. 宮城県林業技術総合センター成果報告 24: 16-21.



中村 克典 (なかむら・かつのり)

国立研究開発法人森林総合研究所東北支所生物被害研究グループ長。広島大学大学院生物圏科学研究科博士課程後期中退、博士(学術)。松くい虫(マツ材線虫病)に関する研究が専門だが、東日本大震災以降は海岸林津波被害に関する現場ベースでの調査にも取り組む。1964年生まれ。
