

【話 題】

東北地方太平洋沖地震によって被災した海岸防災林の復旧と課題

小澤 創^{*1}

はじめに

2011年3月11日14時46分、東北地方太平洋沖地震は発生した。マグニチュード9.0、最大震度7という地震の震源が太平洋の下(仙台市の東方70km)であったため、想定を超えた津波が発生した。観測機器の破損により、現在も津波の大きさについては正確に把握されておらず、気象庁の津波観測点の一つである釜石(岩手県)では最大の高さは11.8mとされている(林野庁 2012a)。この地震や津波をきっかけとして道路、家屋、鉄道などのインフラが被害を受け、多くの尊い人命が失われた。筆者は地震発生時、高速道路上を走行中であった。ハンドルが正常に保てない揺れに襲われながら路面にヒビが入り、陥没していく様子は死を覚悟したといっても過言ではなかった。

この想定を超えた地震や津波によって防災機能を担うインフラの一つである海岸クロマツ林も壊滅的な被害を受けた。今回、海岸クロマツ林の被災の状況と復旧の現状について話題を提供する機会を得たので、復旧・復興を種苗供給の側から支援する立場として、被災したクロマツ林の現状と種苗供給上の課題等について主に仙台湾以南を題材として述べたい。

被害の状況

東日本大震災によって被災した海岸防災林の面積については未だに正確に把握されていない。2011年6月の暫定値として、青森県、岩手県、宮城県、福島県の4県で3,294 haとされている(林野庁 2012a)。原発事故で被災状況が把握できない区域や、被災当時は林分が生きていたものの、津波が引いた後に衰弱・枯死木が発生する場所があることから(中村ら 2012)、現在の被災面積はさらに拡大していると予想される。被災は林帯および林帯



写真-1 海岸防災林(福島県南相馬市 釜舟戸地区)の状況(ケースA)。上、2011年1月;中、2011年3月;下、2013年5月。福島県相双農林事務所提供。



写真-2 海岸防災林(福島県いわき市 新舞子地区)の状況(ケースB)。2011年5月。

* E-mail: ozawa_hajime_01@pref.fukushima.lg.jp

¹ おざわ はじめ 福島県林業研究センター

の前に設置された防波堤などの施設の両方とも破壊されるケース A が最も多く、次いで施設は残り、林帯のみが被災するケース B であった (林野庁 2012a)。

被災の事例をいくつか挙げる。一つは福島県南相馬市釜舟戸地区である (写真-1)。ここでは 9m 程度の津波に襲われたと推定されている (林野庁 2012a)。そして、震災前の状況が記録されており、震災後の状況と比較することができた。地盤が低いところにクロマツを主体とする海岸防災林が設置されており、そこに津波が押しよせ内陸側に浸水した。津波の破壊力にほぼ直接さらされたクロマツ林は地上部、地下部を含め植栽基盤もろとも消失した。ここは先に挙げたケース A にあたる。一方、津波の高さが 1~3m 程度だった福島県南部のいわき市新舞子では海岸防災林の大規模な流失は発生せず林帯は残り (写真-2)、津波漂流物を捕捉することで防災機能を発揮していた (福島県土木部 2012)。しかしながら、他の地域で見られたように数か月後に潮の影響で衰弱し、枯死する個体が多くあったことから、結果的に被災面積は被災直後よりも拡大した。ここは先に挙げたケース B にあたる。

復旧の現状

これらの被害の現状を踏まえ、海岸防災林の整備方針が示された (林野庁 2012b)。例えば、植生基盤が失われ、地盤沈下や浸水によって地下水位が上昇した個所では汀線側に防潮堤を設置し、その後背地に高さ 3m 程度、幅 200m の盛土を行って人工的に植生基盤を作り、林帯幅 150~200m 程度の海岸防災林を設置することが示されている (図-1)。

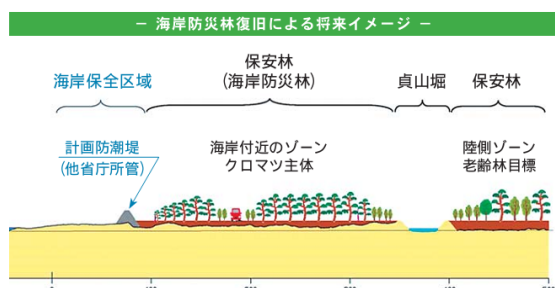


図-1 海岸防災林（仙台湾）の復旧のイメージ。東北森林管理局「みどりの東北」平成24年8月号より転載。

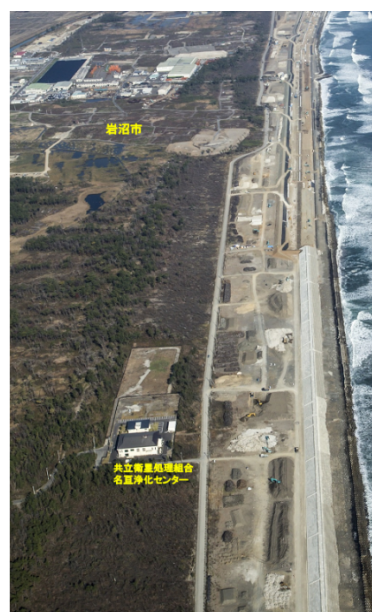


写真-3 宮城県岩沼市の海岸防災林の復旧状況。2013年11月。仙台湾河川国道事務所HPより転載。



写真-4 植生基盤が完成し、クロマツ苗の植栽を待つ復旧現場。表面にはチップが散布されている。2013年10月。宮城県仙台市若林区。

この方針のもとに復旧がなされているものの、遅々としている感じが否めない。植生基盤の造成が緒に就いたところが多いのが実情である (写真-3)。植生基盤の造成が遅れている要因の一つが盛土材の確保である。盛土材は海岸防災林のみならず、農地、市街地、港湾などの地盤沈下したインフラの復旧にも必要とされているので、盛土材の不足は深刻といわざるを得ない。福島県相双農林事務所の試算では管轄内の海岸防災林の植生基盤として必要とされる盛土が約 1,740 万 m^3 であるのに対し、不足量は約 1,400 万 m^3 である。不足を補うために海岸防災林の植生基盤に使用される盛土材は根系の発達により良質なものが用いられるとは限らない。山砂の他に災

害廃棄物、津波堆積土等を使用する計画である（林野庁 2012b；福島県土木部 2012 など）。仙台湾では災害がれきを中詰め材として用い、その上に覆土して植生基盤を確保している。しかしながら、仙台湾の海岸防災林造成地では盛土資材に山砂を用いているものの、吸水性が悪く、雨が降ってから数日間以上水たまりが消えない場所もある（写真-4）。

種苗供給が抱える課題と対策

植生基盤の造成が完了すると、クロマツ苗の植栽がなされ、当面の海岸防災林復旧が終了する。しかしながら、現在の種苗供給体制はこの未曾有の災害に対応できているとは言い難く、多くの課題を抱えている。その一つは供給できるマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ苗の少なさである。復旧に必要なクロマツ苗の本数は（独）森林総合研究所林木育種センター東北育種場の試算では平成32年（2020年）までに500万本とされている。これほどの大量の抵抗性クロマツ苗を安定的に生産するには採種園産種子を利用するのが最も効率が良い。しかしながら、東北地方で太平洋側の海岸部に供給できる抵抗性クロマツ採種園を持っているのは宮城県と福島県のみである。福島県の抵抗性クロマツ採種園は面積0.29haであり、2013年の種子生産量は2.1kg、苗木生産本数66,150本と試算されている（小澤 2013）。宮城県の抵抗性クロマツ採種園は面積0.39haであり、2013年の種子生産量は405千粒、苗木生産本数167,000本と試算されている（宮城県森林整備課 2013）。現在の採種園の能力は目標の500万本の約5%しか達成できていない計算になる（福島県1% $[6.6/500 \times 100 \div 1.3\%]$ 、宮城県3% $[16.7/500 \times 100 \div 3.3\%]$ ）。2020年までに累計で500万本に達成することは困難である。

抵抗性クロマツ苗木の供給量不足という課題に対する基本的な対策は2つである。一つは採種園の拡充であり、もう一つは東北以外の地域からの種苗の導入である。採種園の規模の拡充は、福島県、宮城県とも計画的に行っているものの、短期間での採種量の増加は見込めない。そのため、緊急避難的な対策の柱になる対策は種苗配布区域内の西日本や九州から種苗を移入することであろう。種苗配布区域とは林業種苗法において設定された種苗の移動がその樹木の生育上問題ないとされる区域である。クロマツの種苗を移動してよい範囲は日本海側を除く岩手県から鹿児島県までである（農林水産省 HP http://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/kokuji/k0000559.html）。し

たがって、クロマツの種苗生産が盛んな九州地方を中心として（遠藤・小倉 2005）、他地域から種苗を移入することになる可能性が高い。

他地域からクロマツ苗を導入する場合、クロマツの生態的な特性が海岸防災林植栽やその後の維持管理にどれくらいの影響を与えるかを評価することが必要になる。過去の研究から、クロマツは温暖な地域が分布域の中心だと考えられる。クロマツは分子系統学上、アカマツとは異なる群に分類される場合が多く、リュウキュウマツやタイワンアカマツと同じ群に分類される（Wang et al. 1999；Eckert and Hall 2006）。耐寒性がアカマツよりも劣り（大畠ら 1981）、東北地方のクロマツ天然林は標高の低いところ（海岸部）に限られるとされている（林 1952）。そのため、西日本産や九州産のクロマツを用いて分布域の北限に近い場所で海岸防災林を復旧した場合、東北産のクロマツと同等に成林（活着・成長）するのかという漠然とした不安を多くの種苗生産者は持っている。

分布域北限地域でのクロマツの成長特性に関する基礎的な情報がないことから、平成25年度から開始された農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「東北地方海岸林再生に向けたマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ種苗生産の飛躍的向上」（農食研事業）において、西日本産や九州産のクロマツ苗と東北産のクロマツ苗の産地別植栽試験を行っている。この課題は著者が担当していることから、その結果の一部を報告する。この課題の中では植生基盤を造成した場合としない場合の福島産抵抗性クロマツ裸苗の活着率の比較を行っている（図-2）。盛土を行った場所に植栽すると、植生基盤を造成しなかった場所に比べて有意に活着率が高いことが明らかになった（盛土ありの活着率93%に対し、盛土なしの場合は46%）。塩水が浸水したものの盛土を行わず、生育環境が厳しいと想定される条件下では活着率は低いことが示唆される。また、植生基盤を造成しない場合、福島県産クロマツ苗の活着率は西日本産（西日本・九州産）のクロマツ苗の活着率よりも有意に高いことが明らかになった（図-3）。活着率は福島県産が46%に対し、西日本産は34%であった。産地間差が検出される可能性が示唆されている。さらに継続して調査を行うことで、クロマツの分布域の北限地域での成長特性が明らかになることが期待される。

今後、生産される種苗は東北産であれ、他地域から導入される種苗であれ、それらのほとんどは採種園産の種子が用いられる。採種園には種苗を生産する上で必要とされる条件がある（Wheeler and Jech 1992）。しかしながら、Wheeler and Jech（1992）が示した条件を林木の採種園はクリアできておらず、解決すべき課題として抱えてい

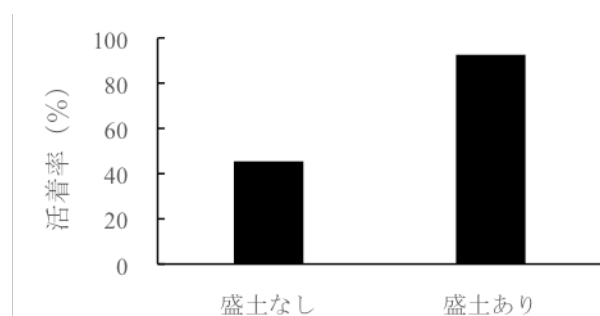


図-2 盛土（植生基盤の造成）を行った箇所と盛土をしていない箇所での抵抗性クロマツ苗の活着率。2013年3~4月植栽、2013年12月調査。福島県産の裸苗15系統188本を用いた結果。両者には有意差が認められた（カイ二乗検定、 $P < 0.05$ ）。

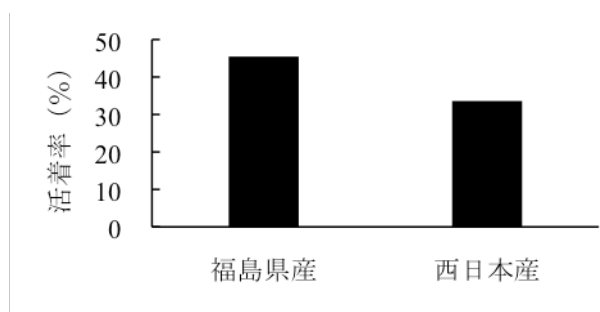


図-3 盛土を行っていない箇所での産地別の抵抗性クロマツ苗の活着率。2013年3~4月植栽、2013年12月調査。福島県産の裸苗15系統308本、西日本・九州産の裸苗15系統363本を用いた場合の結果。両者の生存率には有意差が認められた（カイ二乗検定、 $P < 0.05$ ）。

る（森口ら 2005）。そのうちの一つは抵抗性マツを生産する上でどうしても解決しなければならない課題である。それは園外から飛来する花粉が種子の品質に悪影響を与えることである。言い換えれば、抵抗性クロマツ採種園に遺伝的特性が不明確な一般花粉が混入することで、採種園内の父親が持つマツノザイセンチュウに対する抵抗性が子に伝わりにくくなり、採種園産種子の抵抗性が低くなることである（後藤ら 2002）。園外花粉の採種園内への混入割合はあるクロマツ採種園で 2.2%（Goto et al. 2002）、あるアカマツ採種園で 82%（Ozawa et al. 2009）という報告がある。

森口ら（2005）は園外花粉の影響を低減させる対策の一つとして人工的に花粉を雌花に散布させる Supplemental Mass Pollination (SMP) を提案している。SMP は過去にマツ属の採種園で多くの研究が行われてきており、園外花粉を抑制させる効果が認められている（Stoehr

et al. 2006 など）。しかしながら、散布時期、散布回数、散布方法によって散布花粉の親としての貢献度が 4~84% と差が大きいことも明らかになっている。これらの知見から、処理回数よりも処理時期が重要であること（Eriksson et al. 1995）、受粉期に 1 回で十分効果があるが、周囲の花粉飛散の影響が大きいと、花粉飛散のピークの前が最も効果があることが指摘されている（Bridgewater 1993）。先の農食研事業の中でクロマツ採種園における効果的な SMP 手法の開発が行われている。種子採取事業として適切な散布時期・散布回数を見極め、実用的な散布手法が開発されることが期待される。

この他にも抵抗性クロマツ採種園には解決すべき課題は多く残っている。例えば、マツはスギやヒノキのように植物ホルモンの着花量をコントロールすることが困難であり、採種園内の親が子に均等に寄与しないことや、採種園内交配がなされたとしても種子が持つマツノザイセンチュウに対する抵抗性をそれほど高くできないこと等である。採種園が抱える技術的な課題は農食研事業「東北地方海岸林再生に向けたマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ種苗生産の飛躍的向上」である程度答えが出るであろう。

以上述べてきたように、海岸防災林の復旧は植生基盤に関する課題や種苗生産上の課題を抱えている。これらは多くの課題の一部であり、氷山の一角である。今回紹介できなかった課題の中には技術開発で解決できるものもあれば、新しい技術開発よりは従来の技術を利用して林分を適切に管理することで解決できるものもある。我々が取り組んでいる海岸防災林の復旧は植生基盤さえ破壊された広大な被災地に防災機能が高い林帯をゼロから作ることであり、多くの知恵と技術、そして何より支援を必要としている。

引用文献

- Bridgewater FE, Blush TD, Wheeler NC (1993) Supplemental mass pollination. In: Bramlett DL, Askew GR, Blush TD, Bridgewater FE, Jett JB (eds) Advances in pollen management. Agricultural Handbook 698, USDA Forest Service, Washington, DC, pp 69-77
- Eckert AJ, Hall BD (2006) Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (Pinaceae): Phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. Molecular Phylogenetics and Evolution 40: 166-182
- 遠藤良太・小倉満 (2005) 抵抗性マツ育種に関する都道

- 府県の取り組み. 林木の育種「特別号」2005: 4-6
- 林弥栄 (1952) 日本産重要樹種の天然分布 針葉樹 第2報. 林業試験場研究報告 55: 1-251
- Eriksson U, Jansson G, Yazdani R, Wilhelmsson L (1995) Effects of supplemental mass pollination (SMP) in a young and a mature seed orchard of *Pinus sylvestris*. Tree Physiology 15: 519-526
- 福島県土木部 (2012) 福島県防災緑地計画ガイドライン (平成 24 年 11 月). <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/41046.pdf>
- 後藤晋・宮原文彦・井出雄二 (2002) クロマツ種苗のマツ材線虫病抵抗性に対する花粉親の寄与. 日本林学会誌 84: 45-49
- Goto S, Miyahara F, Ide Y (2002) Monitoring male reproductive success in a Japanese black pine clonal seed orchard with RAPD markers. Canadian Journal of Forest Research 32: 983-988
- 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
- 森口喜成・後藤晋・高橋誠 (2005) 分子マーカー情報に基づく採種園の遺伝的管理. 日本森林学会誌 87: 161-169
- Ozawa H, Watanabe J, Chen H, Isoda K, Watanabe A (2009) The impact of phenological and artificial factors on seed quality in a nematode-resistant *Pinus densiflora* seed orchard. Silvae Genetica 58: 145-152
- 小澤創 (2013) 林木育種の研究成果 福島県の新たな種苗生産に向けた体制. 林業福島 591: 5-6
- 宮城県森林整備課 (2013) 海岸防災林に適した植栽樹種に関する調査報告書 (平成 24 年 3 月). <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/113397.pdf>
- 大畠誠一・長谷川洋三・酒井昭 (1981) マツ属の耐凍性と分布 I. 耐凍性の季節変化. 日本生態学会誌 31: 79-89
- 林野庁 (2012a) 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会会議資料. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/kentou.html>
- 林野庁 (2012b) 今後における海岸防災林の再生について (平成 24 年 2 月). 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会編
- Stoeckl M, Mehl H, Nicholson G, Pieper G, Newton C (2006) Evaluating supplemental mass pollination efficacy in a lodgepole pine orchard in British Columbia using chloroplast DNA marker. New Forests 31: 83-90
- Wang X-R, Tsumura Y, Yoshimaru H, Nagasaka K, Szmidt AE (1999) Phylogenetic relationships of Eurasian pines (*Pinus*, Pinaceae) based on chloroplast *rbcL*, *matK*, *rpl20-rps18* spacer, and *trnV* intron sequences. American Journal of Botany 86: 1742-1753
- Wheeler NC, Jech KS (1992) The use of electrophoretic markers in seed orchard research. New Forests 6: 311-328