



森林

科学

[特集]

津波と海岸林

シリーズ

森めぐり

高野山スギ特別母樹林

イーハトーヴの森—岩手大学演習林—

うごく森

人工林におけるニホンジカの問題

現場の要請を受けての研究

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

No. **66**
October 2012



安価な LAI 観測が可能なプラントキャノピーアナライザー

CI-110

(シーアイ 110)

CID社製のCI-110は、森林内での上空を撮影する画角150度の魚眼レンズとCCDカメラ搭載の安価(従来製品の半値以下)なプラントキャノピーアナライザーです。本体を草木の下で持ちながら、接続した専用ターミナルでリアルタイムの高解像度魚眼イメージを撮影できます。

任意のタイミングで静止画をキャプチャし、そのまま画像の葉面積指数(LAI)や光量子(PAR)解析が可能です。

イメージをキャプチャした後、付属のソフトウェアで太陽光線の透過係数を、天頂角と方位角のグリッド数(設定可)により算出します。

専用タブレットPCはGPS内蔵で測定した位置情報も記録されます。



専用タブレットPC

スウェーデン製 成長錐 (インクリメントボア)



Haglof(ハグロフ)社のインクリメントボア(成長錐)は成長・年輪・樹齢を高精度で測定できます。70年以上の歴史を持つ世界中で使用されている信頼ある森林調査用器具です。



長さ	価格(税込)	長さ	価格(税込)
10cm	15,561 円	60cm	48,174 円
20cm	18,669 円	70cm	78,855 円
30cm	21,567 円	80cm	82,740 円
40cm	24,738 円	100cm	92,505 円
50cm	41,202 円		

コア径は 5.15mm と 4.3mm (長さ 60cm 以上は 5.15mm のみ) 極太タイプ (コア径 10mm・12mm) も取り扱っております。

特集 津波と海岸林

海岸林の津波被害と減災効果 林田 光祐	2
仙台平野の海岸林における根返り被害 田村 浩喜	3
津波被害を受けた海岸林における 樹木の衰弱・枯死 中村 克典・小谷 英司・小野 賢二	7
漂流物を止めて津波被害を軽減した海岸林 —海岸林の漂流物捕捉機能— 坂本 知己	13
海岸林が津波に耐え津波の勢いを弱めた事例 —海岸林の波力減殺機能— 佐藤 創・岡田 穰・野口 宏典	17
海岸林の再生に向けて 坂本 知己	21

森林科学 No.66

2012年10月1日発行

領 価 1,000円 (送料込み)

年間購読割引価格

2,500円 (送料込み)

編集人 森林科学編集委員会

発行人 一般社団法人 日本森林学会

102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

郵便振替口座：00190-5-50836

電話 / FAX 03-3261-2766

印刷所 創文印刷工業株式会社

東京都荒川区西尾久7-12-16

表紙写真:海岸林に止められた漂流船舶(宮城県亘理町) 特集「津波と海岸林」より(13ページ)

コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに

樹の下で揺られる 二階堂 太郎	25
解説 森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか? —その1 洪水緩和にかかわる二種の効果の区別— 谷 誠	26
シリーズ 森めぐり 高野山スギ特別母樹林 木村 恵	32
イーハトーヴの森 —岩手大学演習林— 佐々木 一也	34
シリーズ うごく森 人工林におけるニホンジカの問題 金森 弘樹	36

シリーズ 現場の要請を受けての研究

41 地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査 長坂 晶子・今 博計

シリーズ 森をはかる

47 レーザーで森林のメタンをはかる 高橋 けんし

記録

49 日本森林学会大会における男女共同参画関連企画 「ラウンドテーブル・ディスカッション：女性研究者の キャリアアップ」開催報告 宮本 基杖・大河内 勇・太田 祐子

51 Information

ボックス 北から南から 読者の声

海岸林の津波被害と減災効果

林田 光祐 (はやしだ みつひろ、山形大学農学部)

東日本大震災後の海岸林をめぐる動き

平成23年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生し、東北・関東地方の太平洋側の海岸は巨大な津波に襲われた。防潮堤を越えて押し寄せた津波が海岸のマツ林を通り抜けて住宅地や田畑を飲み込む映像に衝撃を受けた人は多いだろう。海岸林の多くがこれまでに例のない甚大な被害を受け、流木化した一部の樹木が住宅の被害を大きくしたとの指摘もあったが、一方でマツ林の減災効果を評価する声も多く聞かれた。

震災後まもなく、(独)森林総合研究所は林野庁の委託を受け、海岸林の被害実態の把握と減災効果の検証のための調査を日本海岸林学会員の協力を得て実施した。同時に、「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」が設置され、海岸防災林の被害状況の把握、防災効果の検証、復旧方法等を検討した結果が報告書としてとりまとめられた(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)。また、2011年6月に開催された日本海岸林学会主催の国際森林年記念シンポジウム(林田 2011)や10月の日本海岸林学会・石巻大会でのワークショップ(林田 2012)、さらに2012年3月の日本森林学会大会のテーマ別シンポジウム(林田・坂本 2012)でも多くの研究成果が発表され、海岸林の再生に向けて活発な議論がかわされた。

海岸林の被害の特徴と減災効果

海岸林の被害の形態は幹折れ、根返り、傾き、葉の褐変など多様であった。これは津波の規模や立地、海岸林の本数密度やサイズなどの条件が異なるからであるが、なかでも仙台平野で多くみられた根返り被害は内陸部への流木化をまねき、被害を大きくした面もあった。本特集では、この根返り被害の原因が、高い地下水位に影響を受けた浅い根系にあることを、田村が紹介する。

津波に耐えて生き残った海岸林の樹木も、その年の夏以降に葉が赤くなる被害がひろがっている。この残存木の衰弱・枯死の原因である塩害発生メカニズムについ

て、中村らが紹介する。

津波に傷つきながらも、海岸林は波力を減殺し漂流物を捕捉することで、津波被害を軽減する機能を果たしたことが各地で認められた。海岸林の漂流物捕捉機能を発揮した典型的な例を坂本が紹介する。

海岸林の有無だけが異なる条件の現地比較というのは困難であることから、現地調査結果に数値シミュレーションを加えて、海岸林の波力減殺効果を確認した事例を佐藤らが紹介する。

以上の報告をふまえて、減災機能を担う海岸林の特徴とその特徴をいかした海岸林の再生はどうあるべきなのかについて、最後に坂本がまとめと提言を行っている。

まだ残された課題は多いが、現時点での成果をまとめて紹介する機会をいただいた。被災地の復興の一助になれば幸いである。

なお、本特集の田村、坂本、佐藤らの研究は、林野庁から森林総研への委託事業「平成23年度震災復旧対策緊急調査」に、中村らの研究は、平成23年度の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「津波で被災した海岸林の赤枯れ現象の実態把握と原因解明」、および森林総合研究所交付金プロジェクト平成23年「東日本大震災緊急調査」にもとづいて、まとめられたものである。

引用文献

- 林田光祐(2011) 海岸林を考える～東日本大震災からの復旧・復興に向けて～. グリーン・ページ 452: 38-41.
- 林田光祐(2012) 被災地石巻で生まれた日本海岸林学会からの声明. グリーン・ページ 458: 28-31.
- 林田光祐・坂本知己(2012) 東日本大震災による海岸林の被害の実態と今後の再生に向けて. 森林技術 842: 28-29.
- 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) 今後における海岸防災林の再生について. 80pp. (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/120201.html>)

仙台平野の海岸林における根返り被害

田村 浩喜 (たむら ひろき、秋田県森林技術センター)

はじめに

東日本大震災による津波は、青森県から千葉県にいたる広い範囲の海岸林に大きな被害をおよぼした。樹木は傾斜、幹折れ、根返りといった被害を受けた。リアス式海岸では津波の浸水高が15mに達したところもあり、直径50cmを超えるような大きなマツでも幹が折れていた。一方平野部の被害で目立ったのは根返りであった。仙台平野では根返りしたマツが数百メートルも離れた水田に散乱している様子が航空写真から観察された。

仙台平野は南北50km、東西20kmにおよぶ海岸平野であり、標高は大部分が5m以下である。仙台平野には浜堤列(ひんていれつ)と呼ばれる地形が見られる。浜堤列は海岸線にほぼ並行に分布する幅0.5～2.0kmの列状をなす砂質微高地である(松本1984)。内陸側の浜堤列は集落や畑に利用されているが、最も海よりの浜堤列にはマツ林が造成され、林帯幅600mの海岸林が成立していた。同時期に形成された浜堤列には、旧八郎潟河口から秋田平野北部に分布しているものがあるが、標高は10mを超えている。どちらも潮風を防ぐためにマツが植えられてきたが、土壌の水分環境は大きく異なると考えられる。秋田平野北部のマツ林は乾燥した砂丘上に成立しているのに対し、仙台平野では湿地と隣り合わせの場所にマツ林が成立している。

私たちが調査対象とした地域は仙台市若林区荒浜から宮城野区岡田にかけての海岸林である。標高が低い海岸林における根返り被害について紹介する。

被災後のマツ林の状況

津波後に撮影された調査地の空中写真を図-1に示す。汀線から400mの位置に貞山堀(ていざんぼり)と呼ばれる

れる運河が見えるが、これより陸側には林分が列状に残存し、残存した列の間には滞水した場所が広がっていた。また残存したマツは貞山堀に沿った部分にも見られた。貞山堀より海側の林分では、滞水している場所は汀線から100mにある防潮堤の背後だけであり、林内には見られなかった。

標高分布

津波前の標高分布を図-2に示す。調査区の標高は0.0～6.3mだった。全体的に標高が低い地域であり、特に貞山堀より陸側の林分になると標高が0～1mしかないことがわかった。汀線から100mの位置には簡易な傾斜堤が築かれていて、天端の標高が6mを超えていた。また貞山堀の堤防も標高が3mを超える部分が多かった。列状に森林が残った場所と流失した場所については明確な標高差は確認できなかった。

津波の高さとマツの樹冠

荒浜海岸における津波の浸水高は9.4mである(日本



図-1 調査地の空中写真(国土地理院が公開した空中写真から作成)

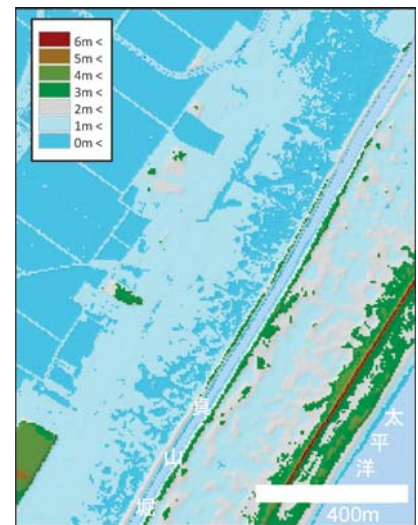


図-2 調査地の標高分布(国土地理院の数値地図5mメッシュ標高から作成)

気象協会 2011)。現地調査から、マツは陸側を向いて倒れており、押し波によって被害を受けたことがわかった（写真-1）。津波が押し寄せたときに、マツがどの程度の高さまで水に浸ったかについて、標高やマツの樹高、枝下高から次のように推測された。

汀線から 100～300m のマツ林は林齢が 58～78 年であり、平均樹高が 6～9m、枝下高が 3～5m と低かった。樹冠が水没したマツが多かったと考えられた。

汀線から 400m 離れた貞山堀の堤防周辺には、林齢が 115～193 年のマツ林があり、樹高は 9～17m と高かった（写真-2）。枝下高は 6～9m あり、マツは標高 3m 程度の堤防上に生育していたことから、樹冠は津波に浸らなかったと考えられた。

汀線から 400～800m 離れた貞山堀から陸側の林分では、マツ林の林齢は 49～128 年生であった。樹高

は 12～17m、枝下高は 8～12m あった。津波の水面より樹冠が高かったマツが多かったと推測された（写真-3、写真-4）。

以上をまとめると、貞山堀より海側の林分ではマツの樹高が低かったことから樹冠が津波に浸ったマツが多かった。これに対して貞山堀周辺より陸側ではマツの樹高が高かったことから、樹冠が津波の水面より上に出ていたマツが多かったと推測された。

被害形態と立木サイズ

調査プロットの被害形態と立木サイズについて図-3 に示す。プロットの被害形態は、そのプロットに最も多く見られた被害を示している。無傷が多いプロットは平均直径が 20cm を超え、平均枝下高が津波の水面より高かったプロットに見られた。平均直径が大きなプロッ



写真-1 前線部の幹折れ被害（仙台市若林区荒浜、2011年5月撮影）汀線から160m、標高2.7m



写真-3 貞山堀の陸側で根返りしたマツ（仙台市宮城野区岡田、2011年7月撮影）汀線から450m、標高1.1m



写真-2 貞山堀の堤防に沿って残存したマツ（仙台市宮城野区岡田2011年10月撮影）汀線から400m、標高3.3m



写真-4 貞山堀の陸側で根返りしたマツ（仙台市若林区荒浜、2011年7月撮影）汀線から770m、標高1.1m

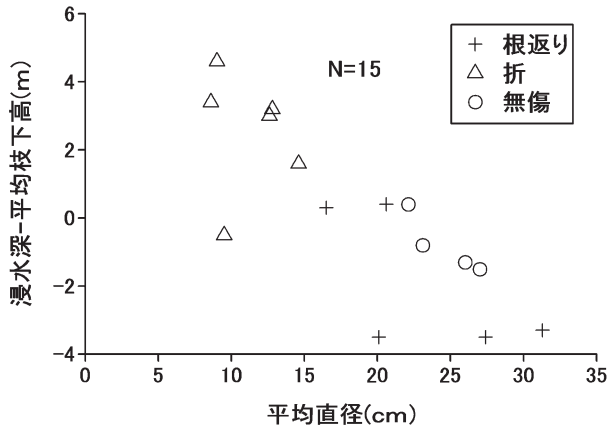


図-3 調査プロットの被害形態と立木の大きさ

トは平均樹高も高い。樹高に応じて枝下高も高いため、樹冠が水面よりも上にあった。このため津波の力を受けにくかったと考えられた。反対に折れは平均直径 20 cm 以下で、平均枝下高が津波より低いプロットに多く見られた。樹冠が津波に浸ったことから津波の大きな力を受け、幹が折れたと考えられた。

ところが根返りは、上述の傾向に照らすと無傷になるような条件にも多数発生していた。根返りは、平均直径が 20 cm を超え、平均枝下高が浸水深より 3 m も高いプロットにも多数見られた。幹しが浸っていないマツが被害を受けているということは、比較的小さい力によって根返りが起きた可能性を示唆する。

根返りしたマツの特徴

プロット内で根返りし、完全に根が露出していた 49 本のマツについて垂下根長を測定したところ、平均値は 0.8 m しかなかった (写真 -5)。根返りは、標高が 1 m 程の低いプロットに集中しており、このようなプロットは地下水位が高かった。調査地のマツ林は 100 年を超えるような林分も多かったが、樹高は高いものでも 17 m 程度であった。岩手県普代村では、海岸林においてもマツの樹高は 25 m を超えていることを考えると、仙台平野のマツは樹高が低い。生育条件がそれほどよくない状況であっても、荒浜のマツは加齢により地上部を 17 m 程度にまで成長させてきた。しかし高い地下水位によって下方への根の成長は妨げられてきた。大きなマツが根返りしたのは、樹高に対して垂下根が短すぎて、地上部とのバランスが悪かったことが原因と考えられた。



写真-5 根返りしたマツの垂下根 (仙台市宮城野区岡田、2011 年 10 月撮影) 汀線から 450 m、標高 1.1 m

根返りは、湿地や潟湖が分布する標高が低いマツ林に広く見られた。荒浜から 3 km 南に位置する井戸地区では、津波後に貞山堀の内陸側が湿地になっており、大径木が根返りしていた (山中ら 2012)。また荒浜から 6 km 南に位置する名取川河口の関上 (ゆりあげ) 地区においても広浦という潟湖に面したマツ林において根返りが発生していた (寺本ら 2012)。さらに荒浜から 16 km 南に位置し、阿武隈川河口に近い岩沼海岸では、根返りしたマツの垂下根長は 0.9 m と短く、土壌断面の観察から地下水位との関連が指摘されている (菊池ら 2011)。福島県相馬市松川浦では海と潟湖を隔てる砂州にマツが造成され、標高が低いことからマツに過湿害が見られていた。今回の津波で根返りしたマツの根系はやはり浅く、高い地下水位の影響を受けてきたと考えられた (佐藤ら 2011)。

海岸マツ林の過湿被害については以前から報告されている。九十九里浜では、地下水位が高い場所においてマツの根の成長が阻害されていた (小田 2001)。九十九里浜を広範囲に撮影した衛星画像の解析によっても、地下水位の高い場所が九十九里浜に広く分布しており、そのような場所に生育しているマツの生育が悪くなっていることが明らかにされている (工藤ら 2006)。

津波に強い森林を造成するには

津波に強い森林を造成するには、どのような条件が必要なのだろうか。荒浜から岡田にかけて残存した林分から条件を整理してみた。

一つ目は林分の標高である。標高が 3 m 以上ある林分には、残存したマツが多かった。地下水位の高さは標

高0mとほぼ同程度であったことから、3m程度の根張り空間が必要と考えられた。

二つ目はマツの大きさである。残存した林分の平均直径は20cmを超えており、平均樹高は10～17mだった。海岸マツ林では樹高成長は汀線からの距離に影響を受ける。調査地の林齢から判断すると、マツがこの大きさになるまでに、汀線から400m離れた貞山堀周辺で100年、汀線から600m離れた林帯後方では70年程度かかっていた。

三つ目は防潮堤などの施設である。この調査区には標高6mの傾斜堤と標高3mの貞山堀の堤防があった。調査区の南側に隣接する林分ではこの部分の標高が低く、林帯が壊滅的な被害を受けていた。傾斜堤は砂を盛土し、海側法面にブロックを貼り付けて天端を舗装したものであった。貞山堀の堤防は天端が舗装されていただけである。簡易な構造であっても、林帯の残存に効果が認められた。仮置きされた残土盛土がマツ林を保全した効果は関上地区においても確認されている（寺本2012）。

おわりに

今後発生が懸念されている東海地震では、太平洋沿岸の広い地域に津波被害が発生すると予測されている（気象庁2012）。標高が低い平野部の海岸林においては、根返り被害への対策が必要である。ハザードマップに、根返りしやすいマツ林を明示する、林帯の後方に盛土をした上で樹木を植栽して、流木が内陸に拡散することを防止するなどの対応が考えられる。貞山堀の堤防沿いに残ったマツ林（写真-3）は、先人が作ってくれたものである。海岸林の復興に際し、私たちも後世に役立つ海岸林を再生していきたい。

引用文献

気象庁（2012）東海地震の発生で予測される震度や津波

の高さ。http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_eq3.html（2012年5月29日参照）

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（2011）2011年東北地方太平洋沖地震による宮城県岩沼海岸林の津波被害と根系発達状況。日本海岸林学会石巻大会講演要旨集 11-12。

工藤勝輝・西川 肇・藤井壽生・近田文弘（2006）房総半島クロマツ海岸林の衛星リモートセンシングに関する研究。海岸林学会誌 5：7-14。

松本秀明（1984）海岸平野に見られる浜堤列と完新世後期の海水準微変動。地理学評論 57：720-738。

佐藤重貴夫・田中三郎・大野亮一・坂本知己・井口英道（2011）津波被害に対する海岸防災林の盛土効果—福島県松川浦の盛土造成地の事例—。日本海岸林学会石巻大会講演要旨集 13-16。

山中啓介・藤原道郎・林田光祐・後藤義明・鈴木 覚・宮前 崇・井上章二・坂本知己（2012）平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震で発生した津波が仙台市井土地区の海岸林に及ぼした影響—防潮堤と海岸クロマツ林の被害との関係—。海岸林学会誌 11：19-25。

寺本行芳・浅野敏之・林建二郎・多田 毅・今井健太郎・坂本知己（2012）2011年東北地方太平洋沖地震津波発生後の宮城県名取市関上浜における海岸林被害と残土盛土による海岸林の被害軽減効果。海岸林学会誌 11：11-18。

小田隆則（2001）海岸手砂丘低湿地における植栽木根系の耐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 3：1-78。

日本気象協会（2011）平成23年（2011）東北地方太平洋沖地震津波の概要（第3報告）。13pp。http://www.jwa.or.jp/static/topics/20110422/tsunamigaiyou3.Pdf（2011年7月1日参照）

津波被害を受けた海岸林における 樹木の衰弱・枯死

中村 克典・小谷 英司・小野 賢二

(なかむら かつのり・こだに えいじ・おの けんじ、森林総合研究所東北支所)

1. はじめに

東日本大震災津波は、東北地方の海岸林に空前の被害をもたらした。ただし、その被害の様相は、津波で樹木が流されてほとんど裸地化してしまったような激甚なものから、根返りや樹幹の屈曲により樹木が傾斜、倒伏したもの、さらには津波が林内を通過し見かけ上は森林の状態が保たれたものまで様々であった(中村 2011)。このような津波被害を受けた海岸林の主な構成樹種はクロマツであったが、東北地方では岩礁海岸を中心にアカマツが優占する場所も多い。以下、両種を区別しない場合、単に「マツ」と記す。

津波被災直後の時点では、残存立木のみならず、傾斜・倒伏木でもほとんどのものが緑葉を保っていた。そのことは GoogleEarth などの画像を見てもらえれば、簡単に確認できる。しかし、当然のことながら、これらの木には津波に伴う浸水、衝撃、海砂の堆積、土壌への塩類の付加などによる強いストレスがかかっており、時間の経過に伴い衰弱、枯死するものが現れるようになった。

これらの残存木が生き残るのか、それとも早晩に枯死する運命にあるのかを知ることは、早期の海岸林再生に向けた残存木の活用方針を決める上で重要である。また、岩手県南部以南のマツ材線虫病被害分布地域では、津波の影響で発生した莫大な量のマツ衰弱・枯死木で病原体マツノザイセンチュウやその媒介者マツノマダラカミキリが繁殖し、津波に耐えて残された海岸マツ林へのさらなる脅威となる懸念があった(中村 2011)。

ここでは、筆者らが取り組んできた、津波被害地の残存木における衰弱・枯死被害の実態把握とその原因解明、さらに衰弱・枯死木の材線虫病被害発生源としての危険度評価に関する研究について紹介する。

2. 津波被災海岸林での樹木の衰弱・枯死

津波の襲来を受けた海岸林におけるマツの衰弱・枯死発生経過を明らかにするため、被災当年(2011年)の5~6月より、青森県八戸市から宮城県山元町の樹種、林相、津波被害状況の異なるマツ林に固定調査区を設置



写真-1 津波により傾斜、倒伏した海岸前線クロマツ林 (宮城県亘理町、2011年5月)



写真-2 地盤沈下と堤防決壊により海水が侵入した海岸クロマツ林 (岩手県山田町、2011年10月)

してモニタリング調査を実施してきた。以下、マツ林のタイプ毎に特徴を挙げてみたい。

1) 海岸前線クロマツ林

宮城県亘理町吉田浜の調査区（写真-1）では、強烈な津波の勢いにより大半の木が傾斜、倒伏し、一部で幹の折損が見られた。地表には30-50cmの厚さで海砂が堆積していた。2011年5月には数本の残存立木を除いてほぼすべての針葉が赤褐変色していたが、枝の先端から新芽を出している木も少なからず認められた。しかし、そのような木も復活することはなく、残存立木を除き9月の調査時までですべて枯死した。これらのことから、3月の津波で傾斜・倒伏・折損などの顕著なダメージを被ったマツは、枝先が多少生き延びることはあっても、春以降早期に衰弱し、夏には枯死に至ったものと考えられる。

宮城県東松島市野蒜の若齢のクロマツ林に設置した調査区では、樹齢10年未満でまだ幹が柔軟なことなどから傾斜、倒伏の程度が緩く、衰弱・枯死の進行も上の調査区とは異なることが期待されたが、復旧工事で整理伐採されたため経過を追跡することができなかった。一方、青森県三沢市から八戸市にかけての海岸クロマツ林では、津波による傾斜や倒伏はほとんど生じていなかったような場所でも夏以降に針葉変色が進行して、前線部を中心に壊滅的な被害になっていた（次項参照）。

海水浴場に面してクロマツ大径木が林立していた岩手県山田町浦の浜の調査区（写真-2）では、傾斜、倒伏、幹折れの被害も見られたが、約7割の個体が立木として残存し、多くが6月の調査時には緑葉を保っていた。しかし、この林分では地盤沈下と堤防の破壊、あるいは堤防際の地面の洗掘により、マツの根元まで海水が侵入するようになった箇所があり、10月の調査時にはそのような場所で新たに衰弱・枯死木が発生していた。

2) 海岸後背地クロマツ林

前項の亘理町吉田浜の前線クロマツ林の内陸側に位置する調査区（写真-3）では、小径の被圧木を中心に約1/3の木が傾斜し、その多くで6月の調査時には針葉が赤褐変色していた。倒伏、折損も少数発生し、地表には20~40cmの堆砂があった。残存立木について見ると、小径の被圧木に針葉の変色したものが見られたが、大径の優勢木で6月の調査時に衰弱傾向を示していたものは少なく、そのような木は9月の調査でも外観上健全な状態を維持していた。つまり、この林分では、もとも



写真-3 津波が林内を通過した海岸後背地クロマツ林（一部にアカマツが混交；宮城県亘理町、2011年7月）



写真-4 針葉変色被害が進行する海岸後背地クロマツ林（青森県八戸市、2011年11月）



写真-5 針葉変色被害が進行する海岸後背地アカマツ林（宮城県東松島市、2011年9月）

と貧弱でストレスのかかっていた小径の被圧木は津波の影響で夏までに枯れたが、逆に夏まで生き残った木はその後も存続し、今後の海岸林再生に活用可能と考えられた。

ところが、同様な後背地クロマツ林でも、青森県八戸市市川の調査区(写真-4)ではまったく様相が異なった。この調査区における、全ての針葉が変色(～脱落)した木の割合は、2011年5月には1割程度に満たなかったものが10月には3割近くに達し、2012年7月の調査では9割を超えるまでになった。なお、この林分では堆砂が50cm程度とやや厚かった。近接した林内でクロマツの衰弱・枯死木が極端に少ない場所もあることから、調査区で見られた激しい針葉変色の進行には、何らかの局地的な立地環境要因が影響したものと推測している。

3) 海岸後背地アカマツ林

アカマツはクロマツと違って、砂丘海岸で最前線に分布することはなく、後背地や集落付近で林分をなしていた。津波はそのような林分を通過し、あるいは一定期間滞水したと思われるが、前線のクロマツ林で見られたような傾斜・倒伏・折損などの顕著なダメージをもたらしたわけではなかった。にも関わらず、アカマツはクロマツに比べ、概して激しい針葉変色被害に見舞われた。

宮城県東松島市浜市のアカマツ林に設置した調査区(写真-5)では、2011年6月までにほぼ全ての木で針葉の全てが変色、あるいはそのような木が新芽を吹いているような状態になっていた。これらの木の多くは秋までに枯死したが、一部に緑葉が増えて回復してきている木も見られた。つまり、アカマツはクロマツのように津波被災後の5～6月では生死が確定しておらず、より緩慢に衰弱が進行(まれに回復)するようであった。とは言え、アカマツの最終的な枯死率は近隣に生育するクロマツに比べて明らかに高く、同じ条件であればアカマツがクロマツより海水の侵入に弱いことは間違いない。

4) マツ林以外での例

ここまでに紹介したモニタリング調査地外で、特徴的な津波被害の見られた森林等について述べておきたい。

スギは仙台平野では屋敷林などに広く植栽されており、またリアス式海岸で海と山が接した三陸地方では海岸近くまで植林地が広がっている。このようなスギ林に津波が到達し、5月以降に広汎な針葉変色被害が生じた(小野・平井 2012)(写真-6)。スギが海水に浸水した



写真-6 津波の侵入したスギ林で見られた激しい針葉変色被害(宮城県東松島市、2011年5月)

際の針葉変色の反応は敏感で、しばしば津波到達ラインが健全木ー変色木の明瞭な境界をなしていた。

岩手県の沿岸地域では、河口付近の河川敷にオニグルミが群生していることがあり、津波の侵入を受けた範囲で激しい落葉被害が生じた。永幡(2012)によれば、津波で浸水したオニグルミで春に一旦展開した葉は萎れて枯れ、6月には2回目の展葉が見られたが、10月には枯れていたという。津波の影響に抗し、2度の新葉展開を余儀なくされたオニグルミは相当に衰弱しているはずであり、実際、被災後1年を経過して一部で枯死が見られるようになっている。

河川敷等にみられるタケ・ササ類は津波浸水後一斉に葉を変色させたが、その後回復したものが多い。

3. 津波による海岸林被害の広域分布

広域的に生じた海岸林被害の全体像を把握し、また森林衰退に及ぼす地形条件などの効果を巨視的な観点から解析するには、リモートセンシングが非常に有効である。今回の震災に際しては、近年の情報インフラの整備やインターネットの普及を反映し、発災直後の段階から被災地の航空写真や衛星画像、あるいは津波浸水域などの情報が積極的に公開されていた。これらを活用することで、広域にわたる海岸林被害の分析を効率的に進めることができた。

震災前の画像からもともとの海岸マツ林の分布を特定し、同じ地域を対象とした震災後の航空写真や衛星画像を時系列的に解析することで、海岸林被害の発生時期や場所、被害面積の推移を明らかにできる。このような方

法を適用することで、例えば仙台平野の仙台港～阿武隈川河口までのエリアでは、震災前 710.5 ha あった海岸林のうち 635.4 ha (92%) が津波で壊滅し、残った 57.1 ha (8%) のうち 2012 年 1 月の時点で針葉変色被害が見られない林分は 15.5 ha (元の海岸林面積の 2.2%) に過ぎなかったと推定できた。

また、青森県八戸市北部～おいらせ町の海岸林 141 ha を対象とした画像分析では、被災直後には大きな海岸林被害が見られないとされていたこの地域で（林野庁 2011）、その後クロマツの針葉変色被害が拡大し、針葉全てが赤褐変する激しい被害だけでも全体の面積の 25%、半分の葉が被害を受ける中程度のものを含めると 53% という広い範囲で被害が生じていることが明らかとなった。被害地域の空間分布を見ると、海岸前線に近いほど激しい針葉変色被害が生じていたが、近接した地域で特異的に被害程度が軽微な箇所があり、そのような場所には水路や道路などが配置されていた。水路や道路などの人工構造物のため、侵入した海水の排水が促されてマツの衰弱・枯死の進行が抑制されたものと考えられる。このことは、排水を考慮した構造物の配置で津波浸水時のマツの被害を回避できる可能性を示している。

4. 津波による海岸林塩害発生メカニズム

高潮や潮風害によって農地に生じる塩害については米田 (1958a, b) などの研究の蓄積がある。ここでは、これらの研究からの類推と現地地で得られたデータから、津波によって生じた津波被災海岸林の衰弱・枯死発生メカニズムを考えてみたい (図-1)。

津波被害地では、程度の差こそあれ、例外なく海水の侵入、停滞が発生し、また場所によっては数十 cm におよぶ海砂の堆積が見られた。海水由来の塩類により、土壌の pH や電気伝導度 (EC) は上昇し、また土壌中の交換性ナトリウム濃度が著しく増加した。土壌への過剰なナトリウムの付加は、植物体内への過剰な塩分吸収・集積、植物の生育に必要な養分の吸収阻害、体内浸透圧上昇による水分吸収阻害 (米田 1958a, b)、あるいは交換性カルシウムの溶脱による土壌のイオンバランスの悪化 (小野・平井 2012) などを通じ、生育する樹木に悪影響をもたらしたと考えられる (図-1 左側)。

海岸林の砂地は透水性が高く、排水条件が良好であれば土壌表層の塩類は降雨により比較的速やかに除去される。しかし、我々の調べたところでは、堆積した海砂の

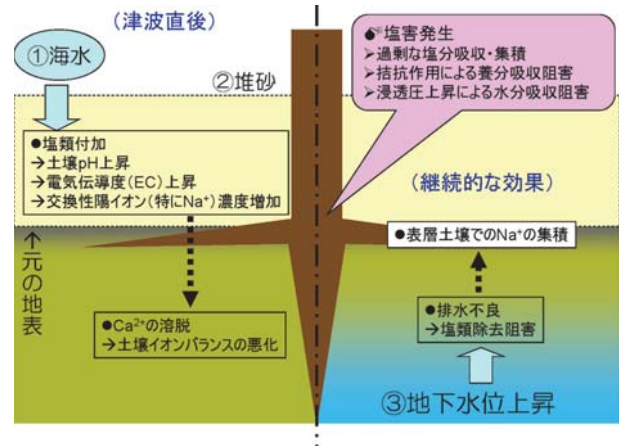


図-1 海岸林における塩害発生メカニズム

津波により、①海水の侵入、②堆砂が発生し、海水由来の塩類による交換性ナトリウム濃度増加などの土壌の変化が生じる。ナトリウムは腐植に富む元の表層土壌に捕捉、集積され、③地下水位の上昇による排水不良のため除去されにくい状態で維持されて、樹木に悪影響を及ぼし続ける。

下に埋もれた元の表層土壌では、津波浸水後半年以上経過しても、高濃度の海水由来ナトリウムの集積が認められた。腐植に富む表層土壌が海水由来のナトリウムを捕捉、集積したためと考えられる。さらに、地盤沈下によって生じた相対的な地下水位の上昇のため (図-1 右側；堆砂により地表面は上がっているが、地盤沈下により元の地表面は地下水面に近づくことになる)、降雨に伴う自然排水による除塩プロセスが阻害されている可能性も考えられる。表層土壌は樹木の根系が発達し、樹木の養分吸収を助ける根圏微生物が生育する活動層である。このような根圏域において、ナトリウムの集積や排水不良の効果が長期間維持されたことで、津波被災海岸林のマツやスギに広汎かつ漸進的な針葉変色被害が生じたものと我々は考えている。

5. 津波被災木の材線虫病感染源としての危険性

津波被災海岸林に発生したマツの流出木、折損木、衰弱・枯死木、あるいは折損根株や集積された各種被害木がマツ材線虫病の発生源となる危険性は早くから指摘されていた (中村 2011)。というのは、マツノザイセンチュウの媒介者であるマツノマダラカミキリは衰弱木あるいは枯死直後の木の発する揮発成分に誘引され、そこに産卵し増殖することが知られているからである。しかしな

がら、3月に発生した津波の影響で抜けたり、折れたり、弱ったりしたマツが、東北地方でのマツノマダラカミキリ成虫の発生時期である6～7月までカミキリを誘引できる「新鮮な」状態で維持されたとは限らない。また、これらのマツはそもそも材線虫病に感染して枯れたものではない。マツノザイセンチュウがマツに感染する経路としては、媒介昆虫の成虫がマツの生枝の樹皮を摂食する際にできる傷口（いわゆる後食痕）を介したものと、メス成虫の産卵に伴ったものが知られている（Linit, 1988）。したがって、津波被災木の枯れていない枝を成虫が摂食すればマツノザイセンチュウが侵入する可能性はあるが、そのような木に成虫がたどり着いて摂食する頻度が高かったとは考えがたい。また、津波被災木にマツノマダラカミキリが産卵すればマツノザイセンチュウに感染する可能性があるが、産卵痕は後食痕に比べて格段に小さく、関与するのはメス成虫のみであることから、後食痕に比べると線虫の侵入は起こりにくそうである。これらのことから、本来材線虫病にかかって枯れたわけではない津波被災木がマツノザイセンチュウに感染する機会が多かったとは考えにくい。マツノザイセンチュウに感染していない津波被災木であれば、たとえそこからマツノマダラカミキリが発生したとしても材線虫病の感染源にはならない。よって、津波被災木には材線虫病感染源とはならないものも多く含まれると考えられる。その一方で、津波被害地に発生するマツ衰弱・枯死木の中には、津波被災以前にマツノザイセンチュウに感染し、津波後の春～夏に発症（年越し枯れ）してマツノマダラカミキリに産卵されたものが含まれる可能性がある。このような木が材線虫病の感染源となることは言うまでもない。

実際に津波被害を受けた衰弱・枯死木にマツノザイセ

ンチュウやマツノマダラカミキリがどの程度生息しているのかについて、2011年の秋～冬に、材線虫病被害分布地域である宮城県内の衰弱・枯死モニタリング調査地を中心に調べてみた。仙台平野南部の亘理町や山元町の海岸林のクロマツのうち、早期に枯死した海岸前線の傾斜・倒伏木や小径被圧木ではマツノマダラカミキリの生息は確認されず、マツノザイセンチュウも検出されなかった。後背林分のクロマツ残存立木や混在するアカマツの枯死木にはマツノマダラカミキリの産卵を受けたものが少数認められたが、マツノザイセンチュウが検出されることは非常にまれであった。

対照的に、東松島市の海岸後背地のアカマツでは、調査木の多くでマツノマダラカミキリが見つかり、一部でマツノザイセンチュウも検出された。東松島の調査地では、近傍に津波の被害を免れた材線虫病被害木が散在していた。これらの木から発生したマツノマダラカミキリ成虫が津波で衰弱したアカマツに飛来して産卵し、その際一部の木でマツノザイセンチュウの感染が起こったのであろう。この地に設定したクロマツ海岸林の調査区では被災木の多くが伐採、整理されてしまったため、典型的な津波被災木での調査ができなかったが、調査時点で針葉変色が見られたクロマツではマツノザイセンチュウの検出率が高く、一部の木でカミキリの生息が確認された。媒介者であるマツノマダラカミキリが生息しない木でもマツノザイセンチュウが検出されたことから、これらの木は前年以前にマツノザイセンチュウに感染した年越し枯れ木の可能性が高い。

これらの調査結果から、津波被災木の材線虫病感染源としての危険度を表-1のようにまとめることができる。海岸前線の傾斜・倒伏木など、早期に枯死したクロマツはマツノマダラカミキリを誘引することがなく、感染源

表-1 津波被災海岸林に発生したマツ衰弱・枯死木のマツノマダラカミキリ、マツノザイセンチュウ生息状況、および調査結果に基づく材線虫病感染源としての危険度の評価

樹種	枯死時期	近傍の材線虫病被害	マツノマダラカミキリ	マツノザイセンチュウ	材線虫病感染源としての危険度
クロマツ	夏まで	有/無	×	×	低い
クロマツ	夏以降	有	○	◎	高い
アカマツ	夏以降	有	◎	△	あまり高くない
アカマツ	夏以降	無	△	×	低い

としての危険度は低い。津波による流出木や折損木、あるいは被災後早期に伐採・整理された集積丸太などは、これと同列に扱うことができるだろう。つまり、津波で大量に発生したマツ被災木がそのまま材線虫病被害の爆発的拡大につながることはないと考えられる。しかし、もともと材線虫病被害分布地域であり、近傍に津波を免れた材線虫病被害木が残存するような場所では、昨年夏に衰弱していたアカマツや津波被害木に紛れた年越し枯れ木から、今年夏にマツノサイセンチュウをもったマツノマダラカミキリが発生した可能性があり、材線虫病被害の拡大に注意が必要である。

6. おわりに

強烈な津波の勢いでなぎ倒された海岸前線のクロマツの多くが被災後速やかに枯死し、立木として残存したクロマツ、アカマツ、あるいはスギなどの樹木にはその後、塩害による針葉変色被害が拡大した。日本の海岸林の主要な構成樹種であるクロマツであっても津波に強いとは言いがたい（アカマツについてはむしろ脆弱である）ことは、もはや明らかである。この状況を受けて、広葉樹での代替を望む声が聞かれるようになっている。実際、津波被災後の海岸林を見て回ると、クロマツが枯れたような場所でも生き残り、成長している広葉樹は存在する。しかしながら、そのような広葉樹を海岸前線に植栽して早期に海岸林を復旧させたような事例は、筆者らの知る限り存在しない。海岸林再生におけるクロマツと広葉樹の活用は二者択一の選択肢ではなく、適材適所で利点を生かした使い道を考えるのが妥当であろう。

海岸後背地のクロマツ残存立木は津波被災当年夏以降、外観上健全に維持されている場合が多く、このまま海岸林再生に活用されていくものと思われる。ただし、これらの木にしても津波による強いストレスを受けた（あるいは、塩害等の影響を受け続けている）ことに変

わりはなく、当面は経過観察が必要である。マツ材線虫病との関係で言えば、気象害や害虫によりストレスを受けたマツ林で被害拡大が著しいことが経験的に知られている。「弱り目にたたり目」にならないよう、津波被災海岸林への材線虫病の侵入・拡大に備えなければならない。

津波被害地では今後、海岸林再生に向けた植栽が活発になると予想されるが、津波で浸水した海岸林土壌には高濃度のナトリウムが残存している可能性がある。新規植栽木の活着調査等を通じ、塩害発生の有無やその回避方法などについて検討して行かなければならないと考えている。

引用文献

- Linit (1988) Nematode-vector relationship in the pine wilt disease system. *J. Nematol.* 20 : 227-235.
- 永幡義之 (2012) 巨大津波は生態系をどう変えたか：生き物たちの東日本大震災. 講談社 212pp.
- 中村克典 (2011) 東日本太平洋沖地震津波による被災マツ林で必要とされるマツ材線虫病対策. *森林技術* 835 : 18-22.
- 小野賢二・平井敬三 (2012) 東日本太平洋沖地震大津波が三陸沿岸地域におけるスギ林針葉の赤褐変化に及ぼした影響. *森林総合研究所研究報告* 11 (2) : 33-42.
- 林野庁 (2011) 海岸防災林の被災状況. 林野庁 <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/2siryu1.pdf>
- 米田茂男 (1958a) 塩害と土壌 (1). *農業及園芸* 33 : 1028-2032.
- 米田茂男 (1958b) 塩害と土壌 (2). *農業及園芸* 33 : 1077-2080.

漂流物を止めて津波被害を軽減した海岸林

—海岸林の漂流物捕捉機能—

坂本 知己 (さかもと ともき、森林総合研究所)

1. はじめに

海岸林の漂流物捕捉機能とは、文字通り、津波による漂流物の移動を海岸林が止める機能である。船舶や瓦礫などの漂流物が家屋などの保全対象に衝突し被害が拡大することを防ぐ機能と、漂流物となった家屋などが引き波で海に流出することを防ぐ機能である。

この機能は、樹木の間を漂流物が通過することもあるため不確実な面はあるが、林帯が倒伏したり流失したりしない限り期待できる。幅の広い海岸林ほど漂流物が通り抜けにくく、また、樹木が残りやすいので効果的であるが、並木程度であっても機能することはあるので、樹木があるかないかの違いは大きい (Sakamoto *et al.*, 2008)。

今回の津波では、船舶が海岸林で止められていた事例 (写真-1、写真-2) や、津波で破壊された防潮堤のコンクリート塊などが海岸林をなぎ倒しながらも林内に止

められた事例が見られた (写真-3)。また、流木化した樹木が、生残木に捕捉されている事例もあった (写真-4)。

本稿では、海岸林が漂流物捕捉機能を発揮した典型的な例として、青森県八戸市市川町のクロマツ海岸林を紹介したい (坂本ほか 投稿中)。

2. 対象地の概要

青森県八戸市市川町には、奥入瀬川の南側に五戸川を挟んで延長約3kmの海岸林がある (図-1)。林帯幅は、広いところで、五戸川の左岸側 (北側) が100m、右岸側 (南側) が350m程度である。これらの海岸林は、昭和8年 (1933年) の津波の際に海岸林の津波被害軽減効果が認識されたことから、国の補助事業として潮害防備林が造成されたところとされている (若江 1961)。今回の対象箇所は、五戸川の右岸側の市川町で市川船溜の内陸側に位置する。

海岸林の海側の地形は一様ではなく、北側部分には汀線に平行な道路を挟んでT.P.+ (標高) 8.0mの防潮堤が北へ伸びており、対象地の海側正面から南側にかけては、道路を挟んで岸沖方向で190m~300mの埋め立て地が造成されていた (図-2)。埋め立て地の海側端は



写真-1 樹林に止められた船舶 (宮城県亘理町)



写真-2 樹林に止められた船舶 (青森県八戸市)



写真-3 林内に散乱するコンクリートブロック (宮城県名取市)



写真-4 生存した海岸林で捕捉された流木 (宮城県岩沼市)

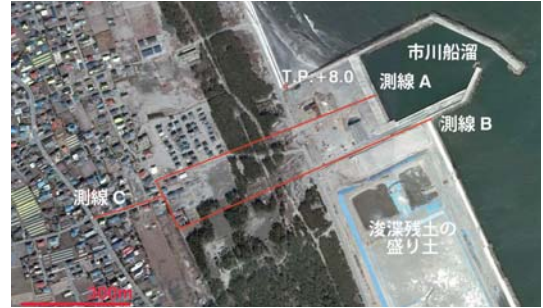


図-2 調査対象地概況 (写真：国土地理院 2011年4月5日撮影、坂本ほか (投稿中))

T.P.+3.8mの防潮堤となっていた。300mの埋め立て地部分には、八戸港の浸漬土が二段(下段天端:T.P.+9.5m*¹、上段天端:T.P.+12.4m)で仮置きされていた。すなわち、T.P.+8.0mの防潮堤と300mの埋め立て地との間の約200mが、その両側と比べて低くなっており、津波はこの部分に集中して入り込んだと考えられた。

対象箇所の林帯幅は150m(図-2:測線A)~300m(図-2:測線B)であったが、林帯幅が300mと広い部分では一部が公園となっており、実際の林帯部分は215m程度であった。

3. 津波の概要

八戸港の津波の高さは、6.2m*²であった。対象地付近では、浸水高T.P.+8.0m以上が3箇所(最大8.3m)で記録されている*³。また、対象地での聞き取り情報や痕跡調査から、対象海岸林に到達した津波の浸水高は、T.P.+7~8m程度(地上4m程度)であったと推定された。

海岸林内では津波浸水痕跡高を特定することはできなかったが、津波によって運ばれたと考えられるビニールシートの切れ端などのゴミがひっかかっていた高さや、測線B付近の公園に残された痕跡、公園内のトイレの中に残った痕跡、海岸林を横断する道路脇の電柱に残った浸水痕跡から、林帯部分での浸水高を、T.P.+7.0m程度(地上3~4m)と推定した。この高さは、海岸林の海側部分では枝下高を超えるが、中間部や内陸側では、林縁部を含めて枝下高より明らかに低い。

海岸林の内陸側での浸水痕跡は、地上3.3m(T.P.+6.9m)であった(写真-5)。林帯後方277mまでの建物に残された津波浸水痕跡は、T.P.+6.9~7.0mで、ほぼ一定であった(写真-6)。津波は、林帯後方348m地点にある道路(T.P.+6.3m)まで遡上した。これは、2007年2月に作成された「浜市川駐在所津波避難マップ」に掲載された1960年5月のチリ津波の際の浸水範囲を160~170mを超えるもので、標高で2m以上高い位置まで到達したことになる*⁴。



図-1 調査地 (青森県八戸市市川町、写真：国土地理院 2011年4月5日撮影、坂本ほか (投稿中))

*¹ 聞き取り調査では9.5mで造成したとのことであったが、測量では9.7mであった。

*² 気象庁報道発表資料(平成23年4月5日) <http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/05a/tsunami20110405.pdf>

*³ 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (<http://www.coastal.jp/ttjt/>) の速報値(20120425版)

*⁴ 聞き取り調査でも、昭和35年のチリ津波の津波到達範囲を避けてより陸側に住居を移した方が、過去の経験から避難せずにいたところ、今回の津波では床上浸水の被害を受けた例があった。なお、ここまで到達した津波は第2波であり、走って逃げられる程度の速度であったらしい。



写真-5 海岸林背後の住宅（青森県農林水産部提供）



写真-7 なぎ倒された海岸林（八戸市森林組合提供）



写真-6 建物等に残った津波痕跡

4. 海岸林被害の概要

対象海岸林の津波被害の特徴は、市川船溜の付近で集中的に海岸林がなぎ倒されたことである*⁵（写真-7）。海岸林は、海側の林縁から放射状に広がるように根元から幹が折れたり、根返りを起こしたりしていた。ただし、海岸林がなぎ倒された部分は陸側まで抜けるにはいならず、海岸林の陸側部分には樹木が倒れたり傾いたりせずに残った。

被害範囲は、均等に広がっていたわけではなく、大きく3～4区域に分かれていた。倒された距離は、汀線に直交する方向で、測線Aでは約50m、最も長い範囲が倒れた測線Bでは約160mであった。倒れた方向に沿った距離では、長いところで170mに達した。倒れた幅は、広いところで汀線に平行に100m、樹木が倒れた方向に直交する幅では80～90mであった。

5. 漂流物の捕捉

津波によって海岸林には、埋め立て地にあった鋼管や建物の瓦礫などの他に、複数の船舶が入り込んだ。青森県の調べでは、海岸林に入り込んだ船舶は、3トン級の漁船が10隻、ボート（船外機を付けるタイプ）が10隻、作業船が2隻であった。

すなわち、船舶等の大型の漂流物は、内陸側の住宅地には入らず、林帯内に止まった。

特徴的なのは、海岸林がなぎ倒された先端に、例外なく船舶が入り込んでいたことである。これは、Google Earthの画像（画像取得日：2011年4月5日）で確認できた（図-3、写真は国土地理院撮影）。

このことは、海岸林のとくに弱い部分が津波でなぎ倒されてそこに船舶が入り込んだというよりも、入り込んだ船舶によって海岸林がなぎ倒されたことを示していると考えられる。そのことを確認するために、なぎ倒された箇所と残った箇所の林相を比較した。

6. 林相の比較

海岸林の残存部分に設けた調査区での立木本数密度は、海側調査区で7,400本/ha、中間部分で2,300本/ha、陸側調査区で2,400本/haであった。林冠高（ここでは樹高上位20%の平均値）は、同様に6.2m、16.8m、18.2mであった。平均胸高直径は、同様に8.1cm、16.2cm、15.2cmであった。

林帯がなぎ倒された区域で、被害木が処理されていない箇所と設けた調査区での立木本数密度は、海側調査区から中間部分に相当する箇所で、3,200～7,200本/ha、中間部分から陸側調査区に相当する箇所で3,600～4,000本/haであった。上層木の平均樹高は、同じく10.5m～11.8m、11.9～15.1m、上層木の平均胸高直径は、同じく14.3～14.6cm、16.1～20.9cmであった。

このように、なぎ倒された範囲の樹木は、残存箇所と比べて、とくに細いわけでも、立木本数密度が低いわけではなかったから、やはり、津波に対する樹木の耐性が残存箇所と比べて低かったために選択的になぎ倒されて

*⁵ 毎日新聞(<http://mainichi.jp/area/aomori/news/20110611ddlk02040228000c.html>)によれば、約5haのうち2.9ha分が被害を受けた。

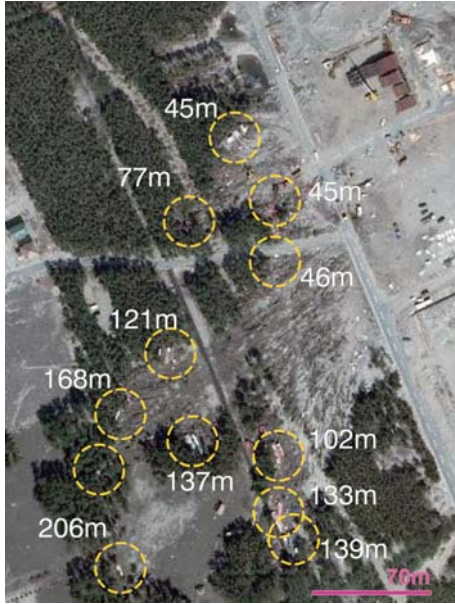


図-3 漂流船舶の捕捉位置 (写真：国土地理院 2011 年 4 月 5 日撮影、坂本ほか (投稿中))

そこに船舶が入り込んだというわけではなく、船舶が入り込んだためになぎ倒されたと考えられた。

7. おわりに

漁船が海岸林に入り込んだ写真-2を最初に目にしたのは、津波の5日後であった。そのときは、今回の津波の規模から考えて、ここに限らず多くの船舶が津波で陸地に運ばれ海岸林に止められており、このような例はその後、数多く確認されると予想した。実際に、その後の調査では各地でポートやタンク、自動車、各種の瓦礫などいろいろな漂流物が樹木で止められている場面が見られた。

しかしながら、八戸市市川町のように、住宅地へ船舶が流入するのを完全に止めた典型的な例を他には知らない。一つには、今回の津波の規模が樹木の耐性に比べて圧倒的に大きく、多くの場所で樹木が倒伏したり折れたりしてしまったことがあると考えられるが、それだけではなく、船舶が漂流物となる危険性が高い港の背後では高度な土地利用が進み、海岸林という緩衝空間がな

かったことが大きいと考えている。その意味で、今回の例は、海岸林を配置することの意義を示す貴重なものである。

ただし、今回の例でも十分な林帯幅があったかという点、必ずしもそうではない。というのは、海岸林がなぎ倒された距離が最大で170mあったのに対して、最も海側の住宅地の前では、林帯幅は150mしかなかったからである。流入方向次第では、船舶が住宅地に入り込んでもおかしくはなかった。十分な林帯幅があったというより、幸運であったことを認めたい。

被災地の復興計画の中では、居住地の配置など土地利用のあり方も見直されている。そのとき、津波に対する緩衝帯としても機能する海岸林のための空間を少しでも多く確保することができればと考える。

現地調査にあたっては、青森県、(株)森林テクニクス、青森県産業研究センター林業研究所、(独)森林総合研究所東北支所など多くの方々からご協力いただいた。また、八戸市森林組合の工藤さん、北栄興産株式会社の木村会長、そのお知り合いの木村さん、市川漁業協同組合の木下さん、畑中建設工業株式会社の上村さんをはじめとするの方々には、貴重な情報をいただいた。心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Sakamoto T, Inoue S, Okada M, Yanagihara A, Harada K, Hayashida M, Nakashima Y (2008) The collision mitigation function of coconut palm trees against marine debris transported by tsunami - A case study of Tangalla on the southern Sri Lanka coast -. J. Japanese Soc. Coastal Forest. 7(2) : 1-6.
- 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 (投稿中) 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
- 若江則忠 (1961) 日本の海岸林. 地球出版, pp. 1-192.

海岸林が津波に耐え津波の勢いを弱めた事例

—海岸林の波力減殺機能—

佐藤 創 (さとう はじめ、北海道立総合研究機構林業試験場道南支場)

岡田 穰 (おかだ みのる、専修大学北海道短期大学)

野口 宏典 (のぐち ひろのり、森林総合研究所)

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、東北地方太平洋岸に成立する海岸林は大きな被害を受けた。同時に海岸林は漂流物を捕捉したり、津波の力を弱めるなど、人々に対する被害を軽減させたことも確認された。ここでは後者の「波力減殺機能」に注目して、関連する報告(野口ら2012; 岡田ら2012; 佐藤ら2012)をまとめて報告するものである。

海岸林の波力減殺機能を評価する方法としては、津波氾濫流が林帯を抜ける様子を数値シミュレーションにより再現し、林帯がない場合の氾濫流の様子と比較した。これは、現地の地形、海岸林などの条件がまちまちで、海岸林の有無による浸水状況の違いを、現地で正確に比較することが困難だったからである。

また、海岸林が波力減殺機能を発揮するには、樹木が倒伏や流出せずに、立っていることが重要である。そこで、どのようなメカニズムで倒伏や残存が決まったかについても現地調査結果に基づいたシミュレーションを行った。調査地は青森県三沢市織笠と宮城県石巻市長浜のクロマツ海岸林に設けた。以下、数値シミュレーションの方法を紹介した後に、調査地毎に結果を示す。

2. 数値シミュレーションの方法

まずは海底の地形を単純なものと仮定して、沖から一定の波を発生させた。その際、現地の津波痕跡の高さに合わせて、波の高さを決めた。津波氾濫流は流体力学の公式である浅水方程式を用いて表現した。これにより、現地測量による地表断面を、時々刻々と遡上する津波の断面を表現することが出来る。現地調査により得た樹木個体の樹高、胸高直径、枝下高、さらに別途測定したクロマツの部位ごとの抗力係数などを用いて、林帯がある

場合の津波氾濫流を表現した。また、林帯がない場合の津波氾濫流を表現し、両者を比較した。なお、クロマツは被害を受けた個体も含めて、立っている状態を仮定してシミュレーションを行った。以上のシミュレーションの詳細は野口ら(2012)を参照されたい。



図-1 調査地の位置

3. 青森県三沢市織笠の例

青森県の六ヶ所村から八戸市にかけての太平洋沿岸

は、クロマツ海岸林が続いており、津波によってほとんどの場所では前線よりのクロマツが倒伏し、葉の褐変が見られた。一方、内陸よりのクロマツには倒伏は見られなかった。この海岸林のほぼ中心に



写真-1 三沢市織笠のクロマツ海岸林での被害の様子



写真-2 被害部分と無被害部分の境界付近(三沢市織笠)

位置する三沢市織笠で調査を行った（図-1）。汀線と直交する方向に内陸側林縁まで带状区を設定した。汀線から110m地点が海側林縁となっており、そこから200m地点まではほとんどのクロマツで倒伏が見られ（写真-1）、さらに内陸側林縁の370m地点までは無被害であった（図-2、写真-2）。津波はその背後にある住宅地の440m地点まで遡上した。地盤高（調査時の汀線を基準とした高さ）は汀線から内陸にかけて徐々に増加し、内陸側林縁では5.9m、津波最奥到達地点では8mに達した。津波の浸水深（調査時の汀線を基準とした高さ）は、樹木や住宅の痕跡から平均7.4mであり、クロマツの浸水深（津波の地表面からの高さ）は、汀線から

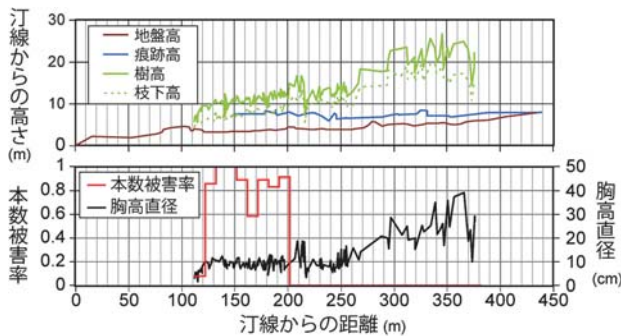


図-2 三沢市織笠の带状区での地盤高、痕跡高、樹高、枝下高（上段）および本数被害率、胸高直径（下段）

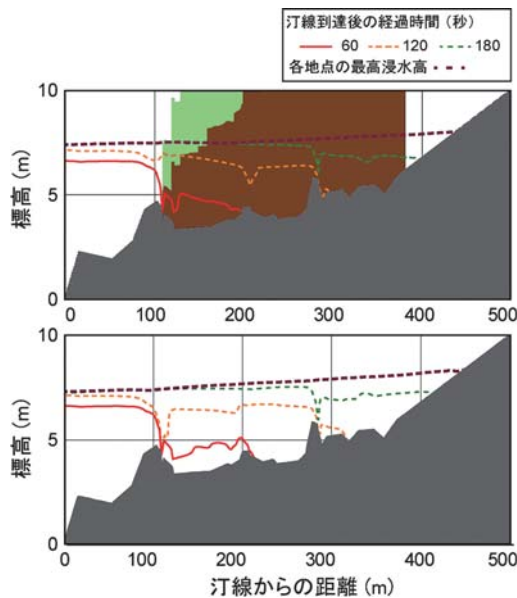


図-3 三沢市織笠の時間に伴う浸水深の変化
上段は林帯あり（緑色は葉、茶色は幹を示す）、下段は林帯なし

150m地点で4.2m、内陸側林縁で1.8mと推定された。クロマツの樹高は海側林縁付近では2m前後で、内陸に向かって増加し、最大20mに達した。また、胸高直径は海側林縁付近では5cm前後で、内陸に向かって増加し、最大40cmに達した。带状区全体としては、平均樹高9.0m、平均胸高直径11cm、平均枝下高5.9m、立木密度3,140本/haであった。

数値シミュレーションにより、林帯がある場合とない場合を比較すると、林帯がある場合には津波氾濫流の遡上が遅れることが示された（図-3）。内陸側林縁での浸水深、線流量（幅1mの流量）および流速の最大値は、いずれも林帯がある場合の方が、ない場合に比べてやや低下した（表-1）。また、流体力の指標として計算した値（流速の二乗×水深）の最大値は林帯がある場合に1.1m³/sで、ない場合に1.7m³/sとなった。すなわち、家屋などにかかる流体力は林帯がある場合には、林帯がない場合の65%程度になることを意味しており、林帯による津波氾濫流の減殺機能が十分にあることが明らかとなった。

表-1 林帯がある場合とない場合での内陸側林縁での津波の強さ（三沢市織笠）

林帯	浸水深 m	線流量 m ² /s	流速 m/s	流体力 m ³ /s
ある場合	1.8	1.1	1.4	1.1
ない場合	2.0	1.6	1.9	1.7

また、数値シミュレーションにより、倒伏被害が前線側に集中していたことを裏付けることが可能である。数値シミュレーションから各樹木個体の位置での津波氾濫流の高さと流速が得られ、各樹木の胸高直径、樹高、枝下高を用いると、樹木にかかる曲げモーメントが求めら

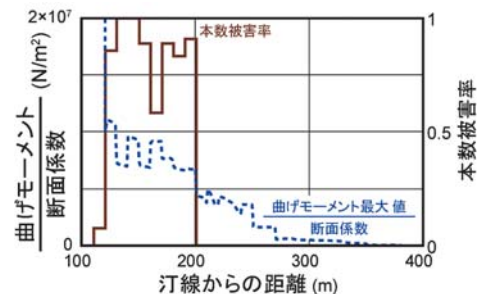


図-4 三沢市織笠での（曲げモーメント）/（断面係数）と本数被害率

れる。同じ曲げモーメントがかかっても幹の直径が大きければ折れにくいはずである。そこで、直径の効果も考慮して、(曲げモーメント) / (断面係数) を樹木の被害の受けやすさの指標とした。(曲げモーメント) / (断面係数) は汀線側から内陸に向かうにしたがって減少し、被害が汀線側に集中することを裏付けていた (図-4)。すなわち、胸高直径や枝下高が内陸に向かって増加し、氾濫流の流量が内陸に向かって減少したなどの要因により倒伏しにくくなったと解釈される。

4. 宮城県石巻市長浜の例

石巻市長浜は石巻湾の東側に位置し (図-1)、海岸線が東西方向に延びる砂浜があり、砂浜の背後には防潮堤、さらに背後の汀線から30mの地点に東西方向が約1.3km、林帯幅が100~200mのアカマツ・クロマツを主体とした海岸林がある (写真-3)。なお、写真-3の奥が北、左が西、右が東となっている。林内の多くの樹木は津波後も残存した (写真-4)。この林帯の東側は防潮堤の背後から住宅地となっており、林帯の背後の住宅地と比較することにより、海岸林の有無による家屋被害の違いを検証できる例と考えられたため、調査地に選定した。



写真-3 石巻市長浜の海岸林周辺 (2011年3月12日、朝日航洋株式会社提供)

この林帯の代表的な地点での方形区では平均樹高17.3m、平均胸高直径28cm、平均枝下高12.9m、立木密度900本/haであった。幹の痕跡から津波の浸水深は5m未満で、林帯背後の渡波中学校では浸水深が3.9mであることから、津波はほぼ幹部分のみを通過したものと考えられる (写真-4)。



写真-4 石巻市長浜の海岸林内部

写真-3に示した林帯およびその背後の住宅地を含む区域とその東

(写真-3右下)の林帯のない住宅地に調査区を設定し(それぞれ有林区、無林区)、家屋の被害状況を比較した。家屋流失の有無や瓦礫の溜まり状況については、被害前後の空中写真の比較により行い、8段階の家屋の被害区分 (図-5) については、現地調査により明らかにした。

無林区では、海岸線に近い部分で流失した家屋が多く、防潮堤から200mの範囲内では75%以上の家屋が流失した。防潮堤から200~300mの範囲内で比較すると、有林区の流失家屋の割合は1/4で無林区1/2の半分程度であったが、同じく300~400mの範囲内で比較すると、両区とも1/10未満で差は見られなかった。流失家屋や瓦礫の集積はいずれも無林区の方で多かった。家屋の被害区分で比較すると、両区は全壊の割合は同程度だったのに対し、1階の窓破損までで済んだ家屋は有林区で多く、有林区の被害程度は軽微であったと言える (図-5)。しかし、津波の浸水深は海岸林の背後に相当する距離でいずれも3.4~4.4mで、有林区と無林区で大きな差は見られなかった。

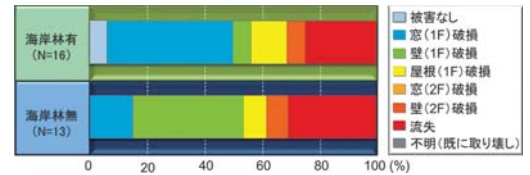


図-5 石巻市長浜での家屋被害程度の割合

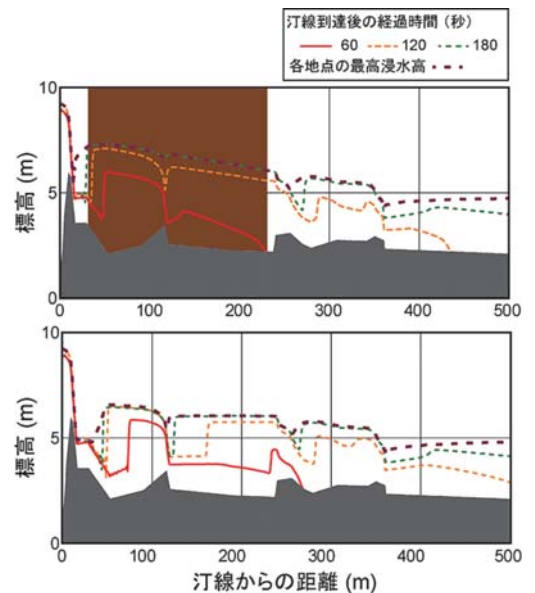


図-6 石巻市長浜の時間に伴う浸水深の変化。上段は林帯あり (茶色は幹を示す)、下段は林帯なし

表-2 林帯がある場合とない場合での内陸側林縁での津波の強さ (石巻市長浜)

林帯	浸水深 m	線流量 m ² /s	流速 m/s	流体力 m ³ /s
ある場合	3.9	10.4	6.1	27.9
ない場合	3.9	10.3	7.9	27.5

数値シミュレーションの結果では、林帯がある場合にはない場合に比べて、津波氾濫流の遡上は遅くなった(図-6)。これに対し内陸側林縁での浸水深、線流量の最大値は、林帯がある場合とない場合でほとんど変わらなかった。一方、流速の最大値は林帯がある場合(6.1m/s)の方が、ない場合(7.9m/s)よりも低下した。また、流体力の指標となる値(流速の二乗×水深)の最大値は林帯の有無にかかわらず、大きく変わらなかった(表-2)。ここで流速の最大値に差があるのに流体力には差がないのは、流体力、流速、水深が最大値になる時刻が必ずしも一致しないためである。なお、林帯内では、海岸林がある場合の方が、ない場合に比べて線流量が低下している場所も見られた。

5. 波力減殺効果の高い林分とは？

2箇所の調査地でのシミュレーション結果を比較すると、三沢市では海岸林の波力減殺効果が石巻市に比べて大きかった。また、林帯がない場合の波力の比較から、石巻市では内陸側林縁での津波の波力が三沢市に比べて大きかったと言える。

東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによると、浸水深(津波到達時の潮位に対する津波の高さ)は三沢市織笠では5.6m、石巻市長浜町では5.9mであり、津波の規模としてはほぼ同様であったと推察される。しかし、両者の地盤高を比べてみると、三沢では林帯での地盤高が内陸にかけて4mから6mへと上昇しているのに対し、石巻では3mから2mへと下降しており、内陸側林縁の地盤高で4mの差があった(図-3、6)。このことが、両者の林帯のない場合の波力の違いに影響したものと推察される。

林帯の波力減殺効果が異なったのは、石巻では枝下高が高く、津波が幹部分を通過したが、三沢では汀線から200m付近までは樹冠の一部が浸水したこと(図-2)が原因の1つとして考えられる。また、林帯幅が三沢では260mであったのに対し、石巻では200m程度であったことも原因であると考えられる。林分構造を比較

すると、石巻の方が平均個体サイズが大きく、本数密度が低いと推察される。収量比数は、北海道のクロマツ海岸林の基準(佐藤 2003)では、いずれの林帯も1をやや越えていたため、最多密度に近い状態にあると推察される。したがって、樹木個体が被害を受けにくくするには、林齢が経過し、個体サイズが大きくなることが重要であるが、個体が立った状態を仮定したシミュレーション上の波力減殺の面からは、林齢が若く、サイズの小さい個体が高密度に存在する方が良い可能性がある。しかし実際には、三沢の例に見られるようにサイズの小さい個体は被害を受け、効果を発揮しないことが考えられる。そこで、例えば前線側にはサイズの小さい個体を高密度で配置し、内陸側にはサイズの大きい個体を低密度で配置することにより、前線側の個体で波力を減殺し、万が一前線側の個体が流木化した場合でも内陸側の個体で捕捉するという方法が有効かも知れない。

今回の現地調査と数値シミュレーションから海岸林の津波減殺効果が確認された。被災した海岸林の再生のみならず、今後津波が予想される他地域においても海岸林の適切な整備を期待したい。

引用文献

- 野口宏典・佐藤 創・鳥田宏行・真坂一彦・阿部友幸・木村公樹・坂本知己(2012) 2011年東北地方太平洋沖地震津波によるクロマツ海岸林被害の数値シミュレーションを用いた検討ー青森県三沢市の例ー。海岸林学会誌(投稿中)。
- 岡田 稔・野口宏典・岡野通明・坂本知己(2012) 平成23年度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ー宮城県石巻市長浜の事例ー。海岸林学会誌(投稿中)。
- 佐藤 創・鳥田宏行・真坂一彦・阿部友幸・木村公樹・坂本知己(2012) 東北太平洋沖地震津波によるクロマツ海岸林被害に及ぼす林分構造の影響ー青森県三沢市の例ー。海岸林学会誌(投稿中)。
- 佐藤 創(2003) クロマツ海岸林の密度管理方法。光珠内季報。129:11-14。

海岸林の再生に向けて

坂本 知己 (さかもと ともき、森林総合研究所)

1. はじめに

経験的に海岸林が津波被害を軽減することは知られており、それを目的に海岸林(防潮林)も造成されてきたが、平成20年2月に出された中央防災会議(2008)の防災基本計画には、山地災害の発生防止や雪崩による災害の防止のために森林造成を図ることが記されているが、津波対策の中に海岸林は入っていなかった。土地利用が進んでいるわが国の場合、津波の流入・通過を前提とした海岸林を、防潮堤と同じ防災施設としては位置づけられなかったためと考えられる。

しかしながら、東北地方太平洋沖地震による巨大な津波を経験したことによって、今後起こり得る規模の津波に対して防潮堤だけに頼ることは、費用の面や生活環境、景観に与える影響等の副作用の面から現実的ではないと考えられるようになった。国の東日本大震災復興対策本部の「東日本大震災からの復興の基本方針」(<http://www.reconstruction.go.jp/topics/110811kaitei.pdf>)では、復興施策の中で災害に強い地域づくりにおいて「沿岸部の復興に当たり防災林も活用する」ことを記している。また、「防災」というこれまでの表現に対して、一定程度の被害は受け入れることをはっきりさせた「減災」という表現が使われるようになった。この一連の流れの中で、海岸林は、今後、津波に対する減災を担う防災施設として明確に位置づけられるようになった。

ここでは、津波に対する防災施設としての海岸林の特徴を整理し、海岸林再生に向けての考え方を述べたい。

2. 海岸林の特徴

津波に対する防災施設としての海岸林は、防潮堤とはその働きが大きく異なる。ここでは、防潮堤と対比しながら、防災施設としての海岸林の特徴を整理する。

2.1 想定規模

今回、海岸林が甚大な被害を受けたのは、樹木の耐性に比べて津波の規模が大きかったからに他ならない。しかしながら、海岸林の場合、津波の規模が想定を超えた

という話にはならない。海岸林は、津波の規模を想定して造成されてきたわけではないからである。

海岸林の樹高は随意に高くできるわけではない。また、津波に強く、かつ津波が通り抜けにくいためには大径木からなる高密度林がよいわけであるが、樹高、立木本数密度、胸高直径、枝下高は相互に関係するので、そのような海岸林を仕立てることはできない。生育できる樹種も立地に左右されるので、海岸林を造成する場所が決まれば海岸林の姿はある程度限定される。

つまり、人間に都合よく海岸林の姿を変えることは現実的ではなく、海岸林は、津波の規模に応じたはたらきをすると捉える方が無理がない。

2.2 津波の通過と波力減殺

防潮堤は、津波が防潮堤を越えなければ海水の侵入を完全に抑えるが、津波が防潮堤を越えるとその働きは激減する。今回の津波では、津波が防潮堤を越えただけではなく、多くの防潮堤が破壊された(写真-1)。

一方、海岸林は津波の流入を止めないので、海岸林に背後地の浸水を防ぐ機能はない。しかしながら、海岸林は流れ込む水に対する抵抗として働き、その波力を減らし、到達時刻を遅らせる。これは、波力が樹木の耐性を上回って、海岸林が倒されるまでの間、期待できる。海岸林が倒れた後にはその効果は低下するが、それでもなお流水に対して抵抗として働きつづける。津波の規模が



写真-1 破壊された防潮堤と背後の洗堀
防潮堤が破壊され海が見える。帯状の水面は越流した津波によって洗掘された凹地。林内には損壊した防潮堤の構成材料が入り込んだ。

大きくなれば、相対的にその働きは目立たないものとなるが、流木化しない限り波力減殺機能は果たす。

2. 3 不確かさ

漂流物阻止機能や、よじ登り・すがりつき・ソフトランディングといった避難場所としての機能については、少なくない実例があるが、どこまで期待できるかとなると、不確かな部分が多い。前者については、津波の規模が同じであっても、漂流物の大きさ・形状によっては漂流物が樹木の間をすり抜けたり、漂流物の衝撃で樹木が折れたり倒されたりするからである。後者、すなわち、樹木を避難場所とできるかどうかは、個人の資質に負う部分が多く、また運次第の部分も大きい。

2. 4 息の長い取り組み

海岸林は、すぐに出来上がるわけではない。今回の被災海岸林の再生にあたって、林野庁は、5年で植栽のための基盤整備を終え、10年で植栽を終えることを予定している。その後、生育条件にもよるが、ある程度の機能が期待できる大きさに育つまでに、植栽後、20年程度はみておきたい。また、植栽後は多くを自然に委ねるが、本数調整やマツ材線虫病対策等の管理が必要である。息の長い取り組みが必要である。

逆に、老朽化が避けられない防潮堤と比べて、海岸林には長い寿命を期待できる。海岸林は、時間の経過とともにより充実し、防潮堤が耐用年数を迎えるころ、海岸林はできあがるといってよいかもしれない。ただし、老齢化すれば幹内部に腐れが入って強度が低下することが多くなるので、林帯の更新は必要である。

2. 5 通常時の評価と土地利用の制限

海岸林の津波被害軽減機能には、防潮堤に比べて不完全で不確かな部分があり、造成にも時間がかかる。しか

しながら、海岸林は、海域と陸域を分断しないことと、日常の多面的な有用性の点で優れている。例えば、飛砂害軽減機能や防風機能、潮害軽減機能、散策の場の提供、白砂青松に代表される景観の提供である。木々の間から砂浜に続く海と空の広がりが見える景色は捨てがたい。津波に対する防災施設として機能する機会より遥かに長い期間、有用な空間として機能することを積極的に評価してよいだろう。

また、海に近い危険地帯を海岸林にすることで、土地利用を制限し、津波被害を未然に防いでいることを評価したい。海岸林は土地利用を排除しているだけで、津波に対してとくに作用するわけではないため、これまでほとんど取り上げられることはなかったが、防災効果は確実に高く、今後は積極的に評価する必要があると考える。例えば、今回、防潮堤のコンクリート塊が海岸林内に散乱したが、そこに建物が建っていたらこれらのコンクリート塊はそれらの建物を直撃したことになる。単に海岸林が漂流物を捕捉したこと以上に、そのような危険箇所の土地利用を制限していたことを評価したい。

他にも、海岸林があったことで宅地開発が抑えられ、海岸林がなければ津波被害にあったであろう家屋の建築を未然に防いだことに加えて、それら流失家屋が瓦礫となって内陸側に漂流して被害が拡大することを未然に防いだことが評価されている(図-1:岡田ほか、投稿中)。

防潮堤がその背後の土地利用を積極的に促す危険性を孕んでいることと比べれば、海岸林が土地利用を制限することの意義は大きい。

3. 再生に向けて

再生させる海岸林の姿は、総合的な復興計画における

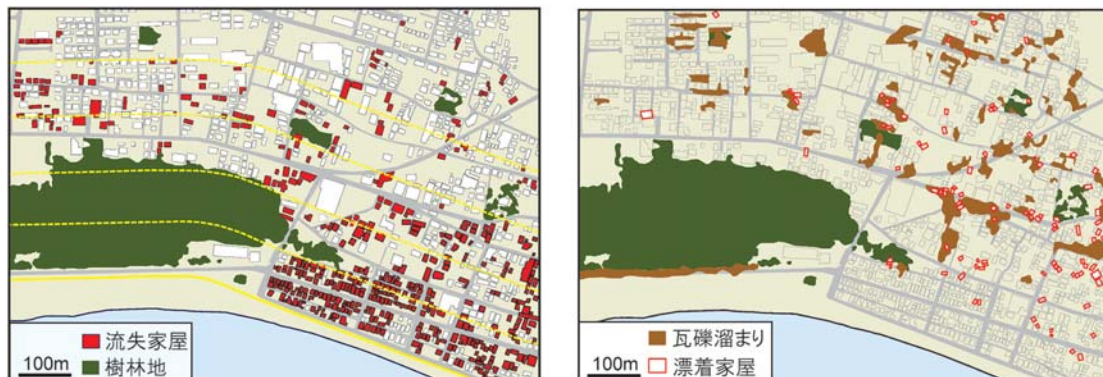


図-1 流失家屋の位置と流失家屋の停止位置、瓦礫溜まり (原図:岡田穰)

土地利用計画の影響を受けて変わる。ここではいくつかの段階に分けて、再生・復興する海岸林の姿を描くこととする。

3. 1 原状の海岸林の復元

最低でも、元の海岸林を取り戻すことは必須である。地域の復興にあたって、海岸林の日常的な飛砂防備機能、防風機能等は不可欠である。再生する海岸林は、過度に機能向上を期待した特殊な樹林にする必要はなく、健全な樹木で構成されていればよい。

3. 1. 1 健全な海岸林

わざわざ「健全な樹木で」と記すのは、わが国の海岸林が必ずしも健全な状態にないからである。わが国の多くの海岸林は、クロマツから構成され、マツ材線虫病（松くい虫）対策が不可欠であるが、対応が不十分で壊滅的に衰退した海岸林も少なくない。また、一般に、海岸林は、10,000本/haの密植を行うので、植栽木の成長に応じた適切な本数管理が必要であるが、多くの海岸林では本数調整が遅れ、過密化して樹高のわりに直径が細く枝下高が高くなっている。そういう意味で、健全な樹木で構成される海岸林が再生できるだけで、幹折れや根返りを起こしにくくなるので、被災前と比べて津波に対する耐性を高めることができる。

なお、地下水位が高い場所に林帯を造成しなければならない場合は、盛土を行って、根返りしにくいように垂下根が発達する空間を確保する必要がある（写真-2）。盛土は全面に施すより、排水路として機能する部分を残す方が、津波後の塩害による衰弱を多少なりとも避けられ、津波後も生残する樹木を増やすことができると期待できる。

3. 1. 2 樹種

わが国の海岸林を造成するにあたってクロマツが使われてきたのは、潮風に曝される貧栄養な海岸砂地に強かったからである。多くの樹種が試された中で唯一残った樹種と考えてよい。加えて、海風条件が緩和される林帯後方においては高木になり得るという利点もある。従って、早期に確実に樹林地を復元することが求められる被災海岸林の再生にあたっては、マツ材線虫病という問題は抱えているが、まずはクロマツを用いることになると考える。

ただし、マツ材線虫病については、予め十分な対策を用意しておくことが条件になる。例えば、薬剤の空中散布ができない場所においては、地上散布のため、あるいは

は被害木の処理のために作業道を充実させておく必要がある。具体的な数字として、例えば40m間隔での作業道の設置が提示されている（吉田 2012）。逆に言えば、薬剤散布ができないことが考えられる場所においては、植栽木がマツ材線虫病に罹るだけでなく、その感染源となるので、マツを使用すべきではない。

3. 2 津波被害軽減効果の向上

健全な海岸林を再生し、津波に対する耐性を高めることができれば、従来に比べて津波被害軽減効果は高くなると考えられるが、その上でさらに効果を高めることを求めるのであれば、次のようなことが考えられる。

適切な本数調整を行ったとしても、樹高が高くなると、ある程度の枝の枯れ上がりは避けられないので、波力減殺効果を考えると、林帯下層の抵抗性を高めたい。具体的な方法としては、下層に（常緑）広葉樹を導入することや、林内に低木樹林帯を配置することが考えられる。

波力減殺効果を抜本的に高めるのであれば、林帯幅を広げる必要がある。林帯幅を広げるほど、より規模の大きな津波に対して波力減殺効果を期待できる。このことで内陸側の樹木に対する波力も減殺されるので生残木が多くなり、林帯としての耐性も高め、漂流物捕捉効果も高めることができる。

漂流物捕捉効果を高めるためには、他に、漂流物の衝突に耐えられるように大径木に仕立てることが考えられる。保全対象に近い陸側部分だけでも枝下高を高めにした大径木仕立てにすることは有効と考えられる。

3. 3 流木対策

海岸林が、流木の発生源となることは避けたい。津波被害を拡大するおそれがあるからである。理想的には、



写真-2 流木の薄い根系
流木の多くは、根系が浅く（薄く）、発達した垂下根は見られなかった

津波に耐えられなくなった樹木は、幹折れしても根株と分かれずに、あるいは、根返りしても根が抜けたり切れたりせずにその場に倒伏することが望ましい。そうすることで津波から受ける力が大きく低下し、その場に留まりやすくなるからである。しかしながら、そのためにどのように樹木を仕立てれば良いかという知見は不十分である。また、引き波が激しい場合や何度も津波が襲った場合には、根返りした樹木や折れた幹がその場に止まることは難しくなる。

流木対策としてより確実なのは、流木が発生した場合に、林帯内で捕捉できるように、林帯幅を確保することである。十分な林帯幅が確保できない場合には、保全対象の手前に、流木を止めるための別の新たな林帯や並木を設置することが有効である。昭和35年のチリ地震津波の際にも、庭木、生け垣、屋敷林が被害を軽減した事例が報告されている(和泉ほか1961)。住宅地の家屋に屋敷林を配置することは敷地面積の関係で現実的ではないので、海岸に平行に走る幹線道路に、根をしっかりと張った並木を仕立てることや、公園などの公共空間に積極的に樹木を配置することを考えたい。

3. 4 理想的な姿

多くのものが失われた被災地の復興にあたっては、単に元に戻すのではなく、より災害に強く暮らしやすい街を夢見たいと思うが、土地利用の見直しが絡むので簡単ではない。再生・復興する海岸林の姿も、とくに防潮堤や保全対象との位置関係は、他の土地利用と競合するために白紙から検討できるものではないが、海岸林側からの好ましい姿を描いてみたい。

海岸林の津波被害軽減効果を大幅に上げるのであれば、先述のように林帯幅を広げることや、盛り土をして地盤高を高くした上で林帯を造成することが必要になる。盛り土を防潮堤なみに高くすることができれば、別に海岸浸食対策を講じることで防潮堤は不要となる。

盛り土を高くすることで防潮堤の機能を代替できれば、波打ち際から樹林までの間を自然海岸に近づけることが可能となる。また、林帯幅を広げることができれば、内陸側の地下水位が高い箇所の一部を湿地として残すことも可能となる。それは自然景観、自然環境、海浜や湿地の生態系の保全の点でも意義がある。その上で、防潮堤を設置するのであれば、岩手県の普代浜のように、海岸林の内部か、あるいは海岸林より内陸側に設置することを検討したい。その場合、防潮堤は道路を兼ねたものに

することも考えられる。

4. おわりに

わが国の海岸林造成技術は一通り体系化されているが、今回の震災から復興に向けては、次のような課題がある。例えば、津波に襲われたときにより生存できる広葉樹の選択である。マツ材線虫病対策というだけでなく、より多様な樹林地を造成するために、今後は広葉樹の利用も必要になるからである。また、植栽本数の見直しも、苗木不足に対応し植栽後の維持管理(本数調整)を軽減するために検討したい。他にも、植栽木の活着と初期成長の向上、植栽時期の拡大を目指したコンテナ苗の活用や、津波に対する耐性が高く波力減殺効果の高い林型の設定やそれへの誘導法の開発が求められる。これらの課題については、すでいくつかの研究プロジェクトが立ち上がっている。

林野庁は、海岸防災林の再生に向けた技術的知見の収集等のために、東日本大震災後、速やかに「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」を設置した。ここでは、海岸防災林の被害状況の把握、防災効果の検証、復旧方法等について検討され、報告書がとりまとめられた(<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/120201.html>)。今回の特集記事の多くは、この検討会のための調査結果に基づいている。

海岸林に向かう車は、レンズを向けられない光景の中を通った。津波で犠牲となった方々のご冥福を祈った。いち早く瓦礫を片付けて道を通した方々、捜索活動をされていた方々には頭が下がった。現地では多くの方にご協力いただいた。これまでの調査やこれからの調査の結果を海岸林の再生に活かさなければと思う。

引用文献

- 和泉 健・安部倫次・山内 尚・土井 恭(1961)チリ地震津波における防潮林の効果に関する考察. 宮城県立農業試験場臨時報告 5: 41pp
- 岡田 穰・野口宏典・岡野通明・坂本知己(投稿中)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
- 吉田成章(2012)マツ材線虫病防除の現状と戦略. グリーン・エイジ 462: 4-7.

樹の下で揺られる

二階堂 太郎

(にかいどう たろう、国立科学博物館 筑波実験植物園)



葉っぱの緑がまぶしい5月～10月、私は小さい息子達とキャンプによく出かけます。キャンプ場に到着して最初にやらなければならないことは、一般的にはテントサイト選びだと思いますが、私の場合は大きな樹々の間を測って丁度良い2本を探ることから始めます。その目的は、キャンプをよりキャンプっぽくさせるアイテムの代表で、子供も大人も一度は遊んでみたいアレをもっともベストな場所に吊るすためです。そう、ハンモックです。

設置自体は簡単でほとんどの樹に取り付けられるのですが、大人が十分に体を伸ばすのに理想的な間隔で立っている、直径30cm以上の2本の樹を私は求めています。まず、距離が短ければ体が折れ曲がり、当然窮屈極まりない。距離が長ければ、ロープを足して固定することになるのですが、これが極めて不安定。どっしりとした大きい樹に丁度良い長さで結び付けてこそ、心地よいユラユラが生まれ、かつ、時間帯に関係なく緑陰に包まれるのです。そしてそのような樹に取り付けられたハンモックに寝そべった事がある人は、きっと一度は体験したことがあると思います。仰向けの眼前に現れた景色に、思いもよらず感動したことが。おそらく、空に広がり尽くす枝葉の様子に、じわじわと驚きが湧いてきたのではないのでしょうか。気がつけば、無数の隙間からこぼれる青空の輝きに目を奪われていたと思います。自分の体重にまったく動じない樹木には、深く張られた根の存在を想像したことでしょう。そしてたぶん、今まで以上に樹の生命力を強く感じ、その巨体を支えながら空を覆うことの目的を考えをめぐらしたり、知らないうちに樹木や自然に深く浸っていたはず。立って仰ぎ見るとでは間違いなく違うものが、仰向けで見るその世界にはあるのです。私にとってハンモックは、身近にある林や森を劇的に癒しの空間にかえてくれる魔法のアイテムであり、それなしでキャンプは成り立たないのです。

息子達にとって、ハンモックは時に秘密基地となり、時にジャングルジムとなります。大きく揺らしてあげるとそこは大シケを進む海賊船となり、「帆をあげろー！」の絶叫がキャンプ場に響きます。気がつけば知らない子

供たちも一緒に乗っており、初めて体験する縄で編まれたベットに夢中になっています。私が夕食の準備を終え、あちらこちらから焚き火の炎が上がる頃には静かになり、ふとハンモックに目をやると息子兄弟だけが揺られながら無言で上を眺めています。その先にあるのは、黒い姿に変わり始めた林冠と、夜へあと一歩の夕暮れ空。邪魔をしないように私は立ったまま森を仰ぎ、彼らが今感じているものを想像します。もう何回も体験しているだろうに、新しい何かを得ているのでしょうか。普段あまり見ることのない物思いの表情がいつもそこにあります。

私が一人でハンモックに揺られる事ができるのは、息子達が花火を終え、ランタンの明かりにつられてテントに入ってからです。たいていその時分はお酒の飲みすぎで、しばしば半回転して落ちたりするのですが、なんとか水平を保ちつつ静寂を見つめます。町が近いからなのか、空は藍色で枝葉がはっきりと見え、空間を複雑に占有しあっている様子がよく分かります。そして、それらが織りなす重厚さに圧倒されつつ、次第に自分と自然界とに隔たりを感じ始めます。森に広がる静かな闇は夜の生き物たちの世界であり、私は部外者であることをこのユラユラが気づかせてくれるのです。もしここが人里離れた山奥くだったら、はたしてこんな暗闇に一人でハンモックに乗っていられるだろうかと恐怖心も生まれます。そんな心持ちでも黙々と酒は進み、ダラダラと時は過ぎ、酩酊と揺れの相乗効果で色々な事が頭に浮かびます。稀に瞑想し、よいアイデアに恵まれたりもします。しかし、翌日になってその時の冴えた思考をほとんど思い出せないのも、再度ハンモックに揺られるべく次のキャンプ計画を立てるのです。

.....
著者プロフィール

二階堂太郎：1970年生まれ。山形大学農学部林学科修士課程修了。新潟市のらう造景(旧後藤造園)に入社、後藤雄行氏に師事する。現在は筑波実験植物園の技能補佐員。屋外エリアの管理と教育普及に携わる。樹木医、森林インストラクター。

森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか？

—その1 洪水緩和にかかわる二種の効果の区別—

谷 誠

(たに まこと、京都大学農学研究科)

はじめに

森林の保水力は、「緑のダム」という言葉があるように、洪水緩和策として期待される一方、論争が絶えないテーマともなっています（例えば、蔵治・保屋野 2004）。たとえば、国土交通省は、「緑のダムには限界があるので（コンクリートの）ダムが必要だ」という見方をしています（国土交通省ホームページ 2007）。また、洪水緩和を含む森林の環境保全機能に関して、日本学術会議は 2001 年に、「地球環境・人間生活にかかわる農業および森林の多面的な機能の評価について」という答申（日本学術会議 2001）を出しています。そこには、「治水問題となる大雨のときには、洪水のピークを迎える以前に流域は流出に関して飽和状態となり、降った雨のほとんどが河川に流出するような状況となることから、降雨量が大きくなると、低減する効果は大きくは期待できない。このように、森林は中小洪水においては洪水緩和機能を発揮するが、大洪水においては顕著な効果は期待できない。」と書かれています。森林の保水力の限界を強調している表現であり、国交省の見方に近いようです。欧米の水文学研究者でも洪水低減効果に関しては限定的評価が多く（Calder 1999）、神話と言う表現さえ見られます（チャペル 2005）。森林の保水力に関して科学者は限定的に捉える傾向が一般的だと言えます。

森林の保水力は本当に限定的なものと解釈するべきなのでしょう。筆者は、これまでの水文学の研究成果をふまれば、小論の表題にあるように、「大規模な豪雨時にも保水力は発揮される」と言うべきだと考えています。とりわけ急峻な地形を持つ日本では、森林の保水力の軽視は、林業や流域管理のあり方をゆがめる原因になりかねないとさえ思います。たしかに、森林を伐採しても洪水増加は小さかったというような試験結果を根拠に、科学者は森林の効果を小さく見積もりがちです。し

かし、この結果は、森林の保水力に関する情報の一部に過ぎないことに注意すべきだと思います。樹木の成長には数十年の時間を要します。この長い時間スケールで森林管理を捉え、その観点から推定も加えて研究成果を解釈し直すことが、災害・環境問題が深刻な今こそ、ぜひ必要だと考えます。

研究成果そのものと、その解釈次第で得られる結論とのずれは、健康食品を例にとるとわかりやすいのではないかと思います。2012 年 2 月に、「トマトから肥満に伴う脂質代謝異常の改善に有効な成分が発見された」と言う基礎研究結果がマスコミで報じられたところ、「トマトでメタボが改善される」と解釈されてスーパーの店頭からトマトが消えたという珍事がありました（佐藤 2012）。この研究成果は、短期間に大量のトマトを食べることの効果を示すものではありません。したがって、これをきちんと解釈すれば、多くの人が争ってトマトを買いに走る結果にはならないはずで、森林の保水力は、健康食品と同じように、専門外の方々には過大な期待が持たれやすいテーマだと言えます。しかしトマトの例とは違って、専門家であっても立場次第では解釈が異なってしまうことがあるようです。そこで小論では、森林管理のあり方を考える立場から、水文学の基礎的研究結果をふまえた森林の保水力の解釈について、2 回に分けて書いてみたいと思います。専門的な内容もかなり含まれますが、おつきあいいただければ幸いです。

日本学術会議における「森林の保水力」検討のきっかけ

まず、森林の保水力をどう評価するかが論点となった利根川の事例を紹介します。2011 年、利根川の治水の基準になる基本高水の評価に関して、日本学術会議内で議論が行われました。そのきっかけは、「国土交通省の設定する基本高水が高すぎるのではないか」という疑問

が提起されたことにあります。そこで2011年1月、国土交通省河川局長（現在は、水管理・国土保全局長）が、基本高水の設定手法に関する検証を日本学術会議に依頼しました。ここでは、森林の成長にともなう保水力の変化も検討課題のひとつとなりました。利根川で観測史上一番大きかった洪水は、1947年9月のカスリーン台風によるものなのですが、八ツ場ダム建設に反対する方によって、「戦争直後森林が荒廃していた1947年当時に比べて最近では森林が成長している。従って森林の保水力は増加しており、仮にカスリーン台風と同じ程度の豪雨があっても、洪水は当時より低下するはずだ。この変化を無視した基本高水設定は過大であって妥当ではない。」との見解が主張されたのです。この主張は、関良基氏の論考（関 2011）にまとめられています。しかし、カスリーン台風による降雨はまさしく「治水上問題となる大雨」ですから、10年前の日本学術会議の答申にしたがえば、森林の効果はあまり期待できないことになります。どちらが妥当なのでしょう。それとも、どちらとも判断がつかないのでしょうか。

筆者は、この議論の対象となる流域において、「森林の保水力が50年間で増加したかどうか」は、基本高水設定の妥当性や八ツ場ダムの必要性とは別に、きちんと検討すべき課題だと考えます。とはいえ、そこには次のような複数のテーマが絡み合っていて、順序よくほぐしていく必要があります。すなわち、一般論として、

A) 治水上問題となる大規模な豪雨で森林の保水力が発揮されるのか、B) 森林成長によって保水力が増加するのか、また、個別具体的な問題として、C) 利根川治水の基準地点である八斗島の上流流域を対象としてカスリーン台風規模の大雨が今後発生した場合、森林成長のおかげで洪水が1947年に比べて小さくなるのか、という3つのテーマが含まれます。それぞれのテーマへの正当な理解がなければ、基本高水やダムを含む治水計画の議論と全くかみ合わないと言ふべきなのです。筆者は、2011年の日本学術会議の委員会に、森林水文学の立場から委員として加わり、森林の保水力にかかわる回答に主にたずさわりました。委員会では、基本高水にかかわる多様な問題が検討されましたが、森林の保水力についての議論では、上の3項目の分離を意識してきたつもりです。しかし、委員の合意を経て作成された回答の中にある短い表現はともすると誤解を生じやすいようで、最近の科学研究をふまえて森林の保水力の重要性を強調

した評価結果が、むしろ逆に受け止められてきた（関 2011）のではないかと感じました。そこで、小論は、森林の保水力評価を詳細に解説してゆくことによって、上のAからCのテーマへの見解を示すことにしたいと思ひます。今回は、まずAのテーマから考えていきます。また、BとCのテーマは次回に考察したいと思ひます。

大雨における森林の保水力についての相反する評価

2011年の学術会議回答を読む前に、森林の保水力に関する一般的な見方を復習しておきたいと思ひます。「森林では、根から吸い上げた水が光合成にともなって葉の気孔から蒸発する量（蒸散量と呼ぶ）が大きく、かつ、雨の一部が樹木や落葉層などに捉えられて地面に届かない（遮断量と呼ぶ）ため、降雨量が同じでも洪水流量は小さくなる。また、大きな隙間を多く含む落葉層や表面付近の森林土壌が水をゆっくり流すので洪水時のピーク流量が小さくなる。しかし、たとえば密に植えられて間伐されていないようなヒノキ人工林では、地表面に下草がなく落葉層が乏しくなることがある。そうなると地表面を水が速く流れやすく、洪水ピーク流量が大きくなる。」これは常識的であり、かつ専門家も共有できる科学的にまっとうな見解だと思ひられます。しかし、Aのテーマとして掲げたように、「大規模な豪雨」の場合を対象とした場合には、森林の保水力に対する見解は分かれてきます。「長く雨が続く大雨では土壌が飽和して雨水は土壌に浸み込まなくなつてあふれ、地表面を水がどんどん流れてしまう。そういう地表面流が主体となつてしまった場合には、森林土壌の洪水緩和効果はなくなる。」2001年の学術会議答申や国交省はこうした考えを持っているようです。他方、「大雨であっても、地表面流が落葉層やその下の森林土壌を流れるのと、落葉層のない裸地面を流れるのとでは流れる速さが異なり、遅く流れる前者の洪水ピークが後者よりも小さい。」という考えもあつて、森林の保水力に期待を寄せる方にはこちらの見解が支持されそうです。

大雨に対する森林の保水力の評価は、このように複数の見方があり得ます。これを確認したうえで、日本学術会議が2011年9月1日付けで国交省水管理・国土保全局長にあてた回答「利根川水系の河川流出モデル・基本高水の評価と検討」（日本学術会議 2011）の記述を見てみましょう。

学術会議の森林の保水力に関する新しい見解

学術会議の回答は、森林の変化が河川への流出に与える影響について、「小流域における観測研究から下記の知見が得られている」としたうえで次のように書かれています。

「森林の保水力は、岩盤上の土壌層全体における雨水の貯留変動によるものであり、降雨がすべて洪水になるような規模の大きい出水であっても、流出波形を緩やかにする機能は維持され、保水力として評価できる。土壌が樹木の根によって斜面上に保持されており、健全な森林がその保持のために必要だからである。花崗岩のはげ山のように植生がない場合は土壌も存在できず、洪水流出量が非常に大きくなる。」

この回答は、上に述べたテーマ A の「治水上問題となる大規模な豪雨で森林の保水力が発揮されるのか」に対して肯定的な表現になっていて、2001 年答申の限定的な見方とは違っています。ただし、保水力の源を「**土壌層全体**」と捉えており、前節に示した地表面流の流れ方に保水力の根拠を求める説明とも異なっています。この点についての説明が 2 回にわたる小論の中心になるのですが、今回は、まず、「そもそも、降雨に際して洪水が緩和されるとはどういうことなのか」を考えてみます。

降雨の洪水への配分抑制効果とその限界

ここでは、岡山県にある竜ノ口山森林理水試験地の北谷流域の観測データに基づき、洪水の緩和について、規模の大きな豪雨を視野に入れて検討します。竜ノ口山森林理水試験地は、森林総合研究所関西支所が 1937 年以来、75 年計測を続けているところです。保水力の解釈に対し、このようによく整理された精度の高い長期観測の価値はきわめて高く、日本の森林科学が世界に誇れる財産です。気候温暖化などの地球環境変動やその災害・水資源への影響が危惧される今、積み重ねられてきたデータのかけがえのなさ、今後も観測を継続することの必要性を十分ご理解いただきたいと思います。筆者は旧林業試験場関西支場の研究員として、同試験地の観測やデータ解析にかかりました。以下では、そのときに研究に利用したデータを基に説明を進めていきます。

さて、この流域のデータから、ひと雨における総降雨量と総洪水流量の関係を図-1 にプロットしました（谷 2011）。総洪水流量は 17.3 ha の流域面積で割ってあります（流出高とも呼ばれます：壁谷 2012 も参照）ので、45° の勾配（すなわち、1:1）の直線上にプロットが並

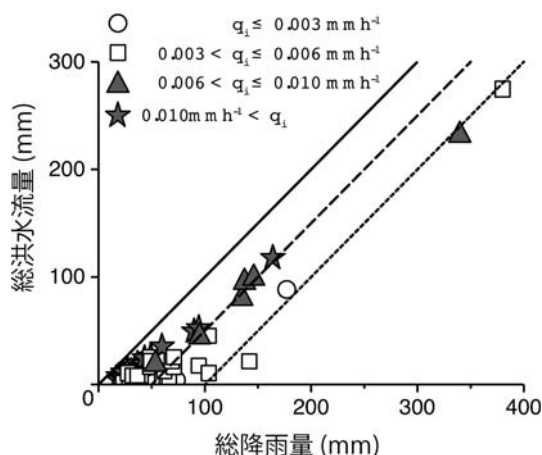


図-1 竜ノ口山北谷におけるひと雨の総降雨量と総洪水流量の関係

q_i は降雨前の流量で、乾湿条件を表す。また、実線、破線、点線は、総洪水流量が総降雨量に等しい関係、より 50 mm 少ない関係、より 100 mm 少ない関係を示す。

ぶ場合は、降雨の洪水への配分率が 100% ということになり、降った雨量はすべて洪水流量になるということの意味しています。プロットはずいぶんばらついており、総降雨量が同じでも、総洪水流量が大きい場合も小さい場合も見られます。しかし、プロットを、雨が降る前の流量 q_i の範囲によって記号分けしてみるとばらつきがよく説明され、総洪水流量が総降雨量とともに大きくなる傾向が見えてきます。すなわち、 q_i が大きい範囲のものでは、総降雨量が小さくとも総洪水流量が大きいです。が、 q_i が小さい範囲のものでは、総降雨量が 100 mm くらいまでは、総洪水流量は小さい値になっています。総降雨量が 100 mm を超えるようになると、プロットは記号毎に、おおむね 45° の勾配の直線に乗ってきます。降雨の洪水への配分率は 100% に近づき、降った雨がほぼ全て洪水に配分されるようになってくるわけです。なお、記号で区分した q_i は、雨が降る前の安定した流量、すなわち基底流量ですが、これは、流域地下の土層や基盤岩の風化した部分に貯まっている水量（流域貯留量という）の大小、つまり、流域の湿潤・乾燥状態の指標になります。したがって、図-1 によって、降雨の洪水への配分に対して、流域の降雨前の乾湿状態が大きな影響を与えることもわかります。

2001 年の学術会議答申は、降雨の洪水への配分率が 100% に近づくという図-1 のような性質を基に、「降っ

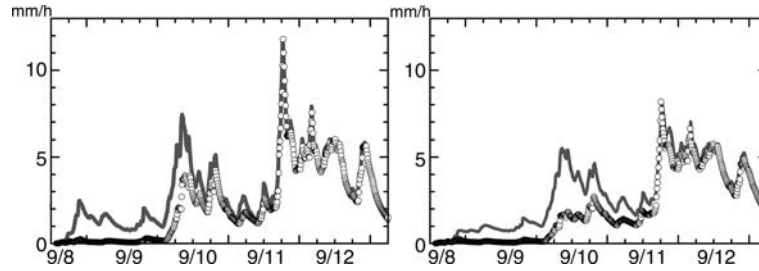


図-2 1976年台風第17号の降雨による竜ノ口山試験地の南谷（左図）と北谷（右図）の流量の観測値（○）と流出モデルによる計算値（実線）の比較

た雨のほとんどが河川に流出するような状況となることから、降雨量が大きくなると、低減する効果は大きくは期待できない。」と結論しているのだと考えられます。結局、森林の保水力ないし緑のダムの効果は、降雨のうち洪水に配分されず流域に貯留された水量、すなわち「損失雨量」で評価できるということになります。そのため、降雨の洪水への配分率が100%になって損失雨量がなくなったことにより、その限界に到達したことになるわけです。興味深いことに、こうした損失雨量を森林の保水力や緑のダムとみなす考え方は、その限定性を強調する立場（實 2004）だけではなく、森林の水源涵養機能を尊重する立場（藤枝 2007）でも同じように採用されてきました。この見方は、自然流域が貯水池と似て、満杯になるとあふれるタンクとみなすことを意味しており、水文学で広く認められていると考えて良いでしょう。そこで、この見方、すなわち降雨のうち洪水に配分される割合が100%よりも小さい場合に洪水を小さくする効果を、**降雨の洪水への配分抑制効果**と呼ぶことにします。ただし、この効果は降雨がすべて洪水に配分される時点で限界に達します。しかも、流域によっては図-1に見られるように、頻繁に発生する中小規模の降雨でもその限界に達することがわかりました。

洪水の遅れ効果と貯留の関係

このように、降雨の洪水への配分の抑制には限界があるのですが、洪水の総量が同じでも、一気に流れてピークが大きくとがる場合もあれば、ゆっくり流れてピークがなだらかになる場合もあると、誰でも考えるのではないのでしょうか。これは、流出に時間遅れを与えて流量変化の形を均す（ならす）ということなので、**洪水の遅れ効果**と呼ぶことにします。引き続き、竜ノ口山森林理水試験地のデータにより、この効果について調べていきま

しょう。

図-2は、1976年9月に竜ノ口山森林理水試験地で得られた、台風による豪雨のときの10分単位での流量時間変化を示しています（谷 2012）。なお、流域面積で割って、降雨と同じ流出高の単位で流量を表しています。図-1では北谷の総雨量と総洪水流量の関係を図示しましたが、試験地では北谷に隣接する南谷流域（22.6ha）でも観測していますので、図-2では比較のために両方の結果を示しています。この豪雨における総雨量は375mmであり、総洪水流量は、北谷が270mm、南谷が238mmでした。これに先立つ8月はほとんど雨がなく、土層が乾ききっていましたので、総雨量のうち、洪水として出てこない水の多くは、土層を湿らせるのに使われたと考えられます。この分は、降雨の洪水への配分抑制効果によって、洪水が緩和されたこととなります。

さて、図-2には、簡単な流出モデルによるシミュレーション結果が合わせて示されています。やや専門的になりますが、配分抑制効果と遅れ効果の両方を区別して理解するために、モデルの適用に関して詳しく説明します。シミュレーションでは、底に孔の開いたタンクから水が流出していくようなタンクモデルを使用し、降雨をそのままタンクに入れて計算した流量を図に示しています。タンクモデルを理解するため、タンクの代わりに浴槽を考え、水道管から注水すると仮定します。ここでは、実際の浴槽への注水と違い、底の排水孔は排水管につながれておらず、栓もせずに自由に水が出て行く状態で水を入れていると考えてください。孔からの排水量は浴槽の水位が高いほど大きくなるので、水道からの注水量が一定だとすると、水位は、排水量が注水量とちょうど同じになる高さまで上昇し、変化しなくなります。この定常状態における浴槽の水位 H と排水量 f の関係は、水理

学によれば、トリチェリの定理により次のように表されます。

$$f=cA\sqrt{2gH} \quad (1)$$

A は排水孔の断面積、 c は流量係数で約 0.6、 g は重力加速度です。(1) 式は次のように変形されます。

$$H=Bf^2 \quad (2)$$

B は定数で $1/(2gc^2A^2)$ となるので、排水孔の断面積が大きいほど小さくなります。したがって、水道からの注水量と排水量が釣り合うときの水位は排水孔の断面積が小さいほど高くなります。また、同じ水位であれば、その断面積が小さいほど排水量が小さくなります。

この浴槽のたとえは、考え方として流域の洪水流量を計算するタンクモデルにも応用できます。同じ降雨があっても、流量の出方は、浴槽の排水孔の断面積に相当するタンクモデルの底に開けられた流出孔の大きさで変化するわけです。ただし、タンクモデルは浴槽と異なり、貯留量（水位）が流量（排水量）の二乗に比例するのではなく、経験的に、1 よりも小さいべき乗に比例することがわかっています。けれども、(2) 式と類似の関数関係は流域でも保たれ、タンクは、流量を q 、貯留量を S として次式で表されます。

$$S=Kq^P \quad (3)$$

定数 K は底の孔の排水能力に関係し、値が大きいことは浴槽で言えば排水孔の断面積 A が小さく定数 B が大きいことに相当し、排水されにくいことを表します。すでに述べたようにパラメータ P は 1 よりも小さくなります。もし、水が川を流れるような場合には、水理学のマニング則が適用されて P は 0.6 になるのですが、斜面では流れが空間的な不均質さを強く反映するため、あらかじめ、ある値になるはずだ、と決めることは無理だと考えられます。なお、降雨から洪水流出を計算する流出モデルは国内国外に多数存在しますが、(3) 式を基礎として用いるタンクモデル型が多く、これにより洪水観測流量を良く再現することがわかっています。国土交通省が洪水に対する河川計画で広く用いてきた木村の貯留関数モデル（木村 1961）では、(3) 式はまさにその

まま基本式として使われています。

さて、図-2 のシミュレーションも、すでに述べたように、降雨がどれだけ洪水流に配分されるかを考慮せず、そのまま貯留タンクに入れ、(3) 式を用いて計算しています。しかし、実際の流域では、雨が土層を湿らせるのに使われて洪水に配分されない効果が当然現れます。そのため、この豪雨の前半では明らかに計算値が過大になっているわけです。一方、豪雨の後半になると、この配分抑制効果が限界になってきて、降雨が 100% 洪水に配分されるとみなせるようになります。そこで、図-2 では、後半の北谷と南谷の観測流量に合うように (3) 式のパラメータ、 P と K を決めていきます。 P はいずれも 0.3、 K は北谷、南谷でそれぞれ、25、40 mm^{0.7}h^{-0.3} となりました。図から、豪雨の後半では、北谷も南谷も降雨がすべて洪水に配分されていること、値の異なる複数のピークが再現できていることがわかります。また、南谷が北谷よりも流出のピークが小さい傾向は、南谷で決められる K の値が北谷よりも大きくなることと対応しています。このことから、降雨がすべて洪水になる条件では、流域の洪水の遅れ効果の違いが明瞭に現れ、この効果は、竜ノ口山森林理水試験地では北谷より南谷で大きいことが、よく理解できると思います。降雨の洪水への配分抑制効果が限界に達して降雨がすべて洪水になる条件で保水力がなくなるのではなく、むしろ、洪水の遅れ効果に関する流域毎の個性がよりあらわになることが明らかになりました。

飽和雨量の意味

ここで、木村の貯留関数モデルで用いられる「飽和雨量」についても説明しておきましょう。飽和雨量の値によって森林の保水力が表現されるとみなされる場合があります（関 2011）、その定義を確認しておくのが良いと思うのです。もう一度図-2 を見てください。降雨をすべて洪水として与えた貯留関数の計算流量は、すでに述べたように、豪雨の前半では、観測流量を過大評価しています。実際の流域では、図-1 でも説明したとおり、降雨前の流域の乾燥状態によって、降雨の洪水への配分が 100% にはならないからです。図-2 の例では、9 月 9 日の 15 時から観測流量は大きくなり始めますが、それでも観測流量は計算流量よりも小さいままです。この期間で、観測流量に合うように計算するには、雨が降り始めてしばらくの間は、降雨のうち一部分しか洪水に

ならないと考えなければなりません。また、9月11日の18時頃からは、観測流量に計算流量がよく合っています。ある時点から降雨がすべて洪水に配分されたからです。飽和雨量とは、降り始めからこの時点までの降雨総量を言うわけです。9月10日20時頃のピークを北谷と南谷で比べると、北谷では計算流量が観測流量にかなり近くなっているのに、南谷では計算流量の過大評価の程度が大きいです。したがって、北谷の方が飽和雨量が小さい傾向があると思われます。先にこの台風時の総洪水流量は北谷が南谷より大きいことを示しましたが、飽和雨量の差が現れているとみられます。つまり、降雨の洪水への配分にかかわるパラメータである飽和雨量も、洪水の遅れ効果に対応する貯留関数モデルの K の値と同じく、流域の個性（植生・土層の厚さ・地形の傾斜など）によって異なることが分かります。また、図-1において説明したように、同じ流域でも降雨前の乾燥状態によって変化するため、いつも同じ値ということにはなりません。同じ流域で豪雨毎に飽和雨量の値が変わっても、それがただちに流域の保水力が変わったことを意味しないことに、ご注意いただきたいと思います。

まとめ

山地森林流域での洪水を考えるには、①**降雨の洪水への配分抑制効果**、②**洪水の遅れ効果**のふたつのプロセスを分けて考える必要があります。そして、①は降雨がすべて洪水に配分される場合に限界に達します。そのため、国交省や日本学術会議の2001年答申では、降雨の一部しか洪水流に配分されないような中小規模の雨では森林の効果があるが、大雨には効果が期待されないと考えています。しかし、竜ノ口山森林理水試験地の隣り合う小流域の比較から、降雨が続き①が限界になって飽和雨量に達しても、②の効果が残ることが明らかになりました。また、その①、②のどちらの効果も、流域の個性によって異なることがわかりました。しかしながら、こうした効果は、森林の取り扱いとどのように関係するのでしょうか。今回はこの点に重点を置いて考えていきたいと思います。

引用文献

Calder I (1999) The Blue Revolution, Land Use and Integrated Water Resources Management.

Earthscan Pubns Ltd 192pp. ISBN: 978-1853836497.

チャペル、ニック A (2005) 湿潤地帯の森における水の流出：神話 vs 観測結果. 水利科学 281 : 32-46.

藤枝基久 (2007) 森林流域の保水容量と流域貯留量. 森林総研報 403 : 101-110.

壁谷直記 (2012) 森から流れ出る水の量をはかる. 森林科学 65 : 64-65.

木村俊晃 (1961) 貯留関数法による洪水追跡法. 建設省土木研究所.

国土交通省ホームページ (2007) 「緑のダム」が整備されればダムは不要か. http://www.mlit.go.jp/river/dam/main/opinion/midori_dam/midori_dam_index.html (2012年6月8日参照).

蔵治光一郎・保屋野初子 (2004) 緑のダム 森林・河川・水循環・防災. 築地書館, 260pp. ISBN: 978-4806713005.

日本学術会議 (2001) 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について (答申). <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf> (2012年6月8日参照).

日本学術会議 (2011) 河川流出モデル・基本高水の検証に関する学術的な評価 (回答). <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-k133-1-2.pdf> (2012年6月8日参照).

佐藤央明 (2012) 記者の眼トマトは食べれば食べるほど太る? 京大の新発見と国別統計に横たわる矛盾. 日経ビジネス Digital, <http://business.nikkeibp.co.jp/article/NBD/20120302/229382/?ST=pc>

関 良基 (2011) 基本高水がなぜ過大なのか. 国交省の作為と日本学術会議の「検証」を問う. 世界 822 : 296-306.

實 馨 (2004) 流域全体から「緑のダム」の治水効果を見る. (緑のダム 森林・河川・水循環・防災. 蔵治光一郎・保屋野初子, 築地書館). 78-103.

谷 誠 (2011) 山地流域における自然貯留の洪水緩和機能に関する方法論的考察. 水利科学 318: 151-173.

谷 誠 (2012) 水循環をつうじた無機的自然・森林・人間の相互作用系. (地球圏・生命圏の潜在力ー熱帯地域社会の生存基盤ー. 柳澤雅之・河野泰之・甲山 治・神崎 護 編, 京大出版). 69-105. ISBN: 978-4876982035.

高野山スギ特別母樹林

木村 恵

(きむら めぐみ、森林総合研究所)

特別母樹林とは

今回は和歌山県高野町に存在するスギ特別母樹林を紹介したい。特別母樹林とは、形質や生育が優良な種子や穂木の採取源として、また優良形質を有する遺伝子資源として日本各地に設定された林分である。対象樹種は主要な林業樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツなどであり、林業的に優れた形質を保持する個体が75%を超えるような林分に設定されている。優良母樹と指定された本数が50本を超えるような天然林は全国で69林分、約1,040haに設定されており、その多くは樹齢100年を超える高齢級の林分である。

和歌山県高野山には5haのスギ特別母樹林が設定されている。約1,200年前に弘法大師（空海）が山上修行道場として開いた高野山は、2004年に「紀伊山地の霊場と参詣道」として世界文化遺産に登録されたことで有名だが、高野龍神国定公園としても指定されており、高野山の周囲には「高野六木（こうやりくぼく）」として保護されてきたスギ、コウヤマキ、アカマツ、ヒノキ、

モミ、ツガの原生林が残されている。特別母樹林は高野山の象徴的な景観のひとつである奥之院に設定されている。一ノ橋から御廟までの参道に沿って、おびただしい数の五輪塔と呼ばれる石塔が祀られており、その中にスギの大径木が林立している（写真-1）。特別母樹林の所有者は高野山真言宗総本山金剛峯寺で、1971年に参道沿いに生育する768本が指定木として設定され、台風などの被害を受け伐採された35本を除く733本が現在でも生育している。

林分の概況

特別母樹林は山あいの平坦地にあるため、土壌は比較的安定して攪乱は少ないと考えられる。林分に優占するのは胸高直径100cmを超えるスギであり、母樹林設定時の基本情報によれば、これらのスギの推定樹齢は約200～600年と高齢である（写真-2）。林床には石塔が存在し、その間をよく管理された参道が通っているため、スギの後継樹や下層植生はあまりみられない（写真-1）。



写真-1 特別母樹林の概況（撮影、齋藤智之氏）
ほぼスギの純林であり、林床にはおびただしい数の石塔が存在する。



写真-2 特別母樹に指定された個体（撮影、津村義彦氏）胸高直径が100cmを超える巨木が立ち並ぶ。

特別母樹林の特徴を調べるために、50m × 50m の調査枠を作成し、調査枠内に生育する樹木の樹種と胸高直径、樹高を記録した。調査枠内の胸高直径4cm以上の樹木は54本で、ミズキ、ヒノキの2本を除く残り52本全てがスギであった。これらのスギは平均胸高直径が115.1cm、平均樹高が41.7mという大径木である。近隣には国内の最大樹高に匹敵する60mに達する個体もみられており、他の天然林と比べても特に樹高が高い印象を受ける。高野山のスギの樹高が高い一因には、強風を回避できるような地形条件があげられるだろう。

林分の特徴に加えて、さらに高野山のスギの遺伝的な特徴についても評価した。中立で多型性が高く、情報量の多い核DNAのマイクロサテライトマーカーを用いて全国の天然林と比較したところ、高野山スギ特別母樹林の遺伝的多様性は他の天然林と遜色のない値を示していた。その一方で、和歌山県新宮のような近隣の天然林と比べても遺伝子の組成が異なることがわかった。また遺伝子頻度から、集団を構成する個体数が過去に減少した可能性が示唆されたことから、高野山の林分は限られた数の個体を植林したことによって成立した可能性が示された。そこで、高野山のスギ32個体について日本全国のどの天然林に由来するのかを遺伝子頻度から推定した。その結果、近隣の天然林（和歌山新宮）に由来すると推定された個体はわずか2個体で、島根、広島付近

の天然林に由来すると考えられるものが15個体と最も多く、関東、東北、四国と様々な天然林に由来すると推定された。石塔建立時に故郷の苗木を植林したという逸話も伝えられており、遺伝解析からも矛盾しない結果が得られた。

おわりに

奥之院は24時間いつでも参拝が可能である。夜間には参道沿いの石灯籠に明かりが灯り、スギの梢をムササビが飛び交う。一般的なスギの天然林とは趣を異にする林分だが、高樹高の大径木が立ち並ぶ様子は圧巻である。これほどの林分が現在もお残存する背景には、寺院建設再興に伴う周囲の山の荒廃を懸念し、「留木」として高野六木を設定した総本山金剛峯寺の保護理念や、何より弘法大師のお膝元であるという信仰の影響が少なくないだろう。2015年には高野山は開創1,200年を迎える。弘法大師の森に一度足を運んでみてはいかがだろうか。

謝辞

調査は高野山真言宗総本山金剛峯寺の協力と情報提供を得て行った。この場を借りてお礼申しあげる。

なお、これらの調査は林野庁補助事業「生物多様性の観点から評価の高い高齢級針葉樹林についての保護・管理手法の開発」の助成を受けた。

イーハトーヴの森 —岩手大学演習林—

佐々木 一也

(ささき かずや、岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター)

はじめに

本稿では、岩手大学の演習林の横顔を紹介します。はじめに演習林の概要を紹介し、その上で近年の取組みの中から、高密度路網整備と森林整備の推進、ふるさと文化財の森の設定及び地域（社会）貢献活動について報告します。

1. 岩手大学演習林の概要

岩手大学には、御明神演習林（雫石町：1,040 ha）と滝沢演習林（滝沢村：281 ha）の2つの演習林があります。

前者は、明治38年に盛岡高等農林学校附属演習林として設置され、100年余の歴史を刻んできました。盛岡市内にある大学キャンパスから西に約23 kmと、比較的近距离に位置しています。植物相は日本海側の地域の要素が多くみられ、上流域にはスギ、ヒバ、ミズナラ、ブナ、ホオノキ、イタヤカエデ、サワグルミ、トチノキ等の針広混交林がみられます。比較的自然度の高い天然林が残されており、特にスギ・ヒノキアスナロ林は県内でもこの一帯のほかにはあまりみられず、学術的な価値が高いものとなっています。

一方後者は、大正2年の設置で、こちらも100周年を迎えようとしています。大学キャンパスから北に約

10 kmと、非常に近距离に位置し、里山の雰囲気漂わせる森林です。植物相は太平洋側の地域の要素を含み、原生的な森林はみられず、アカマツ、コナラ、クリ等が優先する二次林が広がっています。中には樹齢160年を超えるアカマツ林があり、南部アカマツを代表する美林といえます



写真-1 南部アカマツ

(写真-1)。

2. 高密度路網整備と森林整備の推進（御明神演習林を中心に）

岩手大学演習林では、10年間を期間とする森林管理計画を作成し、これに基づいて森林の管理運営を行っています。

御明神演習林では、重点的路網整備の取組みを平成18年度に開始し、平成19年度には、林野庁が開始した「低コスト作業システム構築事業」においてモデル林の指定を受け、中～急傾斜地の山岳林で超高密度路網を基盤として、間伐作業で10 m³ / 人日の伐出労働生産性を目指す作業システムの開発に取り組んできています。そこでは、演習林の技術系専門職員が自ら作業道開設等の作業を行っています。フィールドスキルを磨き、平成23年度末までに演習林を会場として20回以上開催された対外的な研修会等で職員が講師を務めるなど、社会貢献にも一役買っています。

また、ここ数年で基幹作業道の整備と間伐が著しく進みました。これは国の補助事業（森林整備加速化・林業再生事業）の導入によるものです。平成21年度から23年度における事業実績（請負）は、基幹作業道の開設約4,500 m、間伐の実施約87 haとなっています。この実績は、大学単独ではとても実現できなかった規模です。特に間伐の方は、平成21年度当初で人工林のうち間伐を必要とした林分（4～9 齢級の林分）の約64%の間伐を行ったことになり、演習林の維持管理上、とても大きなエポックになったといえます（写真-2）。



写真-2 基幹作業道整備と間伐の推進

3. ふるさと文化財の森の設定

文化庁は、平成19年に「ふるさと文化財の森」の設定を始めました。これは、文化財建造物修復のための資材確保を目的としているものです。平成23年度末までに全国で45カ所の設定がなされています。

このふるさと文化財の森に、滝沢演習林の樹齢約170年のアカマツ林（南部アカマツ：約8ha）と御明神演習林の樹齢約200年のスギ・ヒバ林（約85ha）（写真-3）が設定されています。これらは、「生態系保護研究林」に位置づけ自然度の高い状態で保護することとしている林分ですが、今後、文化財修復のための資材提供の要請があれば、森林施業上支障のないよう留意しながら、我が国文化財の保存・保護のために対応することと



写真-3 樹齢約200年のスギ・ヒバ林

4. 地域（社会）貢献活動

法人化以降の大学は、地域貢献に関する取組みの拡充が求められ、さまざまな取組みを行うようになりましたが、岩手大学ではそれ以前から、地域とともに歩むことを大切に考え、演習林においても多くの活動を展開してきました。

10年以上前から滝沢演習林を中心に実施してきたフィールドセミナー（演習林セミナー）——「植物観察シリーズ」「森林学習」「親子で楽しむシリーズ」「かんじきをはいて冬の山を歩こう」等——は、平成23年度までに100回の開催を達成しました（写真-4）。

また、岩手大学と東北森林管理局は相互友好協力協定を締結しており、その精神を実りあるものとする観点から、官・学連携による森林環境教育実務技術向上のための研修を、（公社）国土緑化推進機構の協賛を得て、平成16年度から実



写真-4 森林学習



写真-5 森林環境教育実務技術研修

施してきています。対象者は自治体の技術系職員、林野庁の森林官、森林関係機関の技術者等であり、毎年を受講者数10名強、5日間のプログラムとなっています。これまでに98名が受講し、森林環境教育に関する小さなネットワークが巷で広がりを見せています（写真-5）。

さらに昨年（平成23年）は、未曾有の震災がありましたが、地震発生の翌4月、仮設住宅の建設が始まる頃から、基礎用杭丸太等の建築用資材が不足し始めたとの情報に触れ、不足解消の一助とすべく演習林の間伐作業から産出された丸太（96m³）を建築用資材として提供しました。ごくごくささいな対応ではありますが、演習林としても広い意味で地域に、そして社会に貢献したいとの思いから取り組んだものです。

おわりに

岩手大学農学部は、もとの前身が盛岡高等農林学校です。その卒業生の中に、宮沢賢治もいます。御明神演習林のある地元雫石町は、賢治と雫石町の関係を次のように紹介しています*。

《高等農林御明神演習林と経済農場の存在》

雫石の御明神には、盛岡高等農林附属の演習林と経済農場があり、果樹や畜産、林業の実習教育が行われていた。高等農林に進んだ賢治も、実習のためたびたび通うこととなる。

当時、現地までの交通はすべて徒歩。好奇心旺盛な賢治のこと、途中森や川に分け入り、植物や鉱石を見つけては道草をしていたに違いない。賢治は道々で山や里の景色をながめ、文学的な環境をいっそう募らせていく。賢治の詩や歌に、雫石の地名が多く登場するのも、そのためであろう。

実学の精神に基づき林学・森林科学の技術者を世に送る貴重なフィールドとして、また一人でも多くの人たちに森林への理解を深めてもらう親しみある場として、演習林のもつ魅力を十全に発揮し、これからも役割を果たしていきたいと思います。

* 雫石町「賢治、その生涯と雫石」(<http://www.town.shizukuishi.iwate.jp/kankou2/bunka/index.html>, 2005. 3. 10)

人工林におけるニホンジカの問題

金森 弘樹

(かなもり ひろき、島根県中山間地域研究センター)

シリーズ
うごく森 19

はじめに

現在、ニホンジカ（以下、「シカ」と略記）によるスギ、ヒノキ等の人工林への被害発生は、林業における獣害の中で最も深刻な問題となっている。森林・林業統計要覧（林野庁 2011）によると、2009 年度のシカによる全国の森林への被害面積は 4,100 ha であるが、このほとんどは人工林における被害発生であると考えられる。1982 年度以降、この人工林での被害発生は大きく増加したが、1996 年度の 5,700 ha をピークにやや減少し、2006 年度を境として再び増加傾向にある（図-1）。これは、1990 年代までは大半を占めていた幼齢木への採食害の発生が新植造林地の減少に伴って減ってきたものの、2000 年代に入るとシカの増加によって若・壮齢木への樹皮剥皮害が増えてきたことを反映していると考えられる（小泉 2009）。

鳥獣関係統計によると、1982 年度に 21,000 頭であった全国のシカの捕獲数は、2009 年度には約 15 倍の 310,000 頭にも達している（図-1）。また、シカの生息分布域は 1978 年当時に比べて 2004 年には 1.7 倍に

も拡大して、国土の約 40 % に生息している（環境省自然環境局生物多様性センター 2004）。平成 22 年度自然環境保全基礎調査（環境省自然環境局生物多様性センター 2011）によると、現在の全国におけるシカの生息数は 2 つの推定法の中央値で 1,340,000 頭または 1,680,000 頭と推定されている。シカによる林業への被害発生量は、おおむねシカの生息密度に比例する（三浦 1999）ことから、近年の被害の増加はシカの生息分布域の拡大と生息数の増加によるものと考えられる。

明治時代に人の乱獲によって絶滅に瀕した我が国のシカは、近年では様々な「増えすぎたことによるシカ問題」を引き起こしている。今回の「うごく森」では、シカという「うごく」物によって、大きく動いている人工林の被害実態をみてみたい。

被害の形態

シカによる人工林への被害は、大きく分けて「枝葉採食害」と「樹皮剥皮害」がある。「枝葉採食害」は、おもに幼齢木の梢端部や側枝部を食害される。一方、「樹

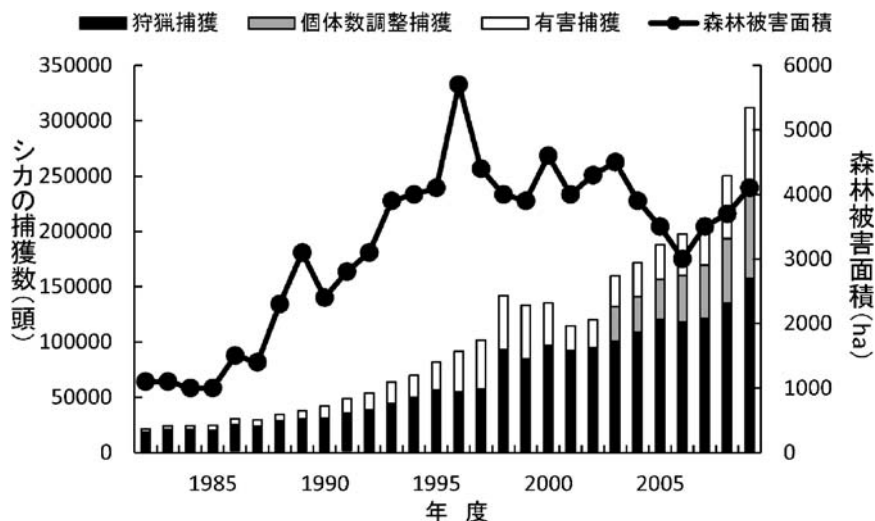


図-1 全国におけるシカの捕獲数と森林被害面積の推移



写真-1 盆栽状になったスギの幼齢木

皮剥被害は、さらに「樹皮採食害」と「角こすり害」に区分される。このうち、「樹皮採食害」は5年生程度の若齢木から50年生以上の老齢木にまで発生するが、おもに地際部から100cm程度の高さまでの樹幹の外樹皮や内樹皮を採食される。また、「角こすり害」は5年生以下の幼齢木や50年生以上の老齢木にも発生することはあるものの、おもに10～30年生程度の若・壮齢木の樹幹の地上40～100cm程度の樹皮をオスジカの角によって剥皮される被害である。なお、人工林へのシカによるこれらの被害は、地域によって主要な被害形態や発生時期が異なる。

「枝葉採食害」

全国的に発生しているが、前述したように新植造林面積の減少に伴って、被害発生量は減っている。幼齢木を採食されて、樹高生長を著しく阻害される。また、毎年繰り返して枝葉の伸長部を採食されるために幼齢木が盆栽状になることも多い(写真-1)。激害の場合は幼齢木が枯死することもある。ヒノキは、スギ、マツ類に比べて激害になりやすい。また、ケヤキ、ヤマザクラ、クスノキなどの広葉樹の植栽木に発生することもある(金森1993)。このため、伐採後に植栽するというこれまで当たり前であったことが非常に難しくなっており、高密度なシカの生息が持続的な林業を行う上での大きな障害となっている。この被害の発生時期は、地域によって異なっており、岩手県(大井1999)や栃木県(Ueda *et al.* 2002)ではおもにシカの餌量が不足する冬期に発生するが、兵庫県(尾崎・塩見1999)では春～秋期に、また島根県(金森ら2000)や九州(池田ら2001)ではほぼ年中発生する。九州では、スギ、ヒノキを選択的に採食していると考えられている。なお、福岡県(池田

2005)では10%の植栽木に被害が発生する生息密度を2.7頭/km²、ほとんどの植栽木に激害が発生する生息密度を15.7頭/km²と推定している。

「樹皮採食害」

この被害は、岩手県(大井1999)、栃木県(Ueda *et al.* 2002)、三重県(佐野2009)、兵庫県(尾崎2004)などで主要な被害形態になっている。被害の発生時期は、岩手県と栃木県では冬期に集中しているが、三重県ではおもに春～夏期、兵庫県と福岡県(池田・桑野2008)ではおもに夏期に発生している。樹幹の全周を剥皮されて枯死することもある。この被害は、発生時期が冬期の場合は餌不足が誘因(Ueda *et al.* 2002)となっているが、春～夏期の場合は明らかになっていない。兵庫県(尾崎2004)では、1990年頃から30～



写真-2 生長期のスギの樹皮採食害(佐野氏撮影)



写真-3 生長休止期のヒノキの樹皮採食害(佐野氏撮影)

90年生のスギ、ヒノキ林でこの被害が発生し始めた。おもに谷側の根張り部分から剥皮しており、全周を剥皮されたものを約10%認めている。また、被害木は無被害木に比べて胸高直径が大きく、太い木を選択的に剥皮している。

佐野(2009)は、これまでの通説であった樹幹の剥皮部に歯痕を認めるものを「樹皮採食害」、認めないものを「角こすり害」とする判断は誤りであるとした。樹皮採食害は、樹木の生長期に発生した場合には、外樹皮は被害木の周辺に落とされて、肥厚した内樹皮を採食されている。この場合は剥皮部にはほとんど歯痕は認められない(写真-2)。一方、樹木の生長休止期に発生した場合は、辺材部に張り付いた内樹皮を削り取るように多数の歯痕が残る(写真-3)。このように、樹木生長期と休止期に樹皮を採食された剥皮部にはそれぞれ特徴があって、明確に区別できることを明らかにした。



写真-4 オスジカ



写真-5 スギの木部露出型の角こすり害

「角こすり害」

この被害は、島根県、山口県(金森 1993)、福岡県(池田ら 2009)などで主要な被害形態となっている。オスジカ(写真-4)のマーキング行動によって引き起こされる(池田ら 2009)。袋角が骨化する8月下旬から4月上旬まで発生するが、9~11月の繁殖期に80%が集中して発生する(金森 1993)。スギ林よりもヒノキ林で被害が激しいが、マツ類では少ない。大きく剥皮される「木部露出型」(写真-5)と角の先端で傷つけられる「点・筋状傷跡型」(写真-6)の2タイプを認めるが、剥皮部にはシカの体毛が付着していることが多い。樹幹の全周を剥皮されることは少ないが、複数年に渡って2~3回剥皮される場合もある。加害方向は、傾斜地では斜面の上方からの場合が多い。

池田ら(2009)は、福岡県において角こすり害とシカの生息密度には高い相関関係があることを明らかにした。すなわち、角こすり害はシカの生息密度に依存的に発生し、生息数を低減することは「枝葉採食害」と共に「角こすり害」の軽減にも有効とした。さらに、角こすり害は、オス成獣の利用頻度が高く、メスに対するオス成獣の割合が高い林分で多発することを明らかにした。また、陶山ら(2005)は角こすり害を受けたスギ材への影響を調べて、とくに木部露出型の剥皮部では辺材に変色が拡大し、腐朽が生じる場合も多くて、経済的な損失が大きいことを明らかにした。



写真-6 ヒノキの点・筋状傷跡型の角こすり害

被害防除法

1) 枝葉採食害

シカに採食される枝葉などに忌避剤を散布または塗布する。現在、農薬登録されている忌避剤は、ジラム水和剤（商品名コニファー）、チウラム塗布剤（商品名ヤマレント）およびイソプロチオラン水和剤（商品名ツリーセーブ）がある。これらの薬剤を被害に遭う前に幼齢木に処理しておくが、そのためには被害の発生時期を把握しておく必要がある。冬期にこの被害が発生する栃木県では、ヒノキにジラム水和剤またはチウラム塗布剤を11月下旬～12月上旬に施用して高い被害回避効果を認めた（松本 1993）。ただし、幼齢木の生長期に被害が発生する地域では、薬剤の付いていない枝葉の伸長部を採食されるので効果は低い（池田ら 2000）。つぎに、造林地の周囲を防護柵によって囲う方法がある。防護柵の下部からシカの潜り込みによって侵入される場合もあるので、設置後の定期的なメンテナンスが不可欠である。また、単木的な防除法として、ツリーシェルター（商品名ヘキサチューブなど）がある（写真-7）。温室効果によって、幼齢木の樹高生長の促進効果（金森ら 2000）を認めるが、高価なために使用できる場所は限られる。また、強風に弱い欠点がある。

この被害を回避するには、林木の樹高をシカが梢端部を採食できない高さである約150cmを早期に達成できるように樹高120～140cmの大苗を植栽する方法もある。ただし、通常苗の植栽に比べてコストが増大する可能性が高い。また、下刈りを省力化し、植栽木を雑草木で被覆することによって被害を軽減する方法もある。平岡ら（2009）は、この方法を目指すのに適したスギ精英樹の選抜を行って、初期生長が早く、耐陰性が高く、健全な年輪構造を形成するクローン・系統があることを



写真-7 ツリーシェルターを設置したスギの幼齢木

明らかにした。

2) 樹皮剥皮害

島根県では、角こすり害の回避のために樹幹に荒縄、白色ビニール被覆針金、ポリプロピレン帯（プリン容器の抜き打ち後の廃材）、ポリプロピレン製格子ネット（商品名パークガード）および枝条巻き付け（写真-8）の試験を行って、いずれも高い被害回避の効果を認めた。ただし、既に被害を受けた林木や間伐の予定木を角こすり害の対象木として残しておくことが効果を高めるには必要であった。九州（池田ら 2001）でも同様のものに加えて、ポリエチレン製土木シート（商品名ネトロンシート）、ビニールテープおよび間伐テープを試験して、高い被害回避効果を認めた。また、三重県（佐野・金田 2009）では生分解性テープ（商品名リンロンテープ）を試験したが、樹幹部の被害は回避できたものの、テープを巻けなかった根張り部分の樹皮採食害は防ぐことができなかった。

なお、各種の被害防除法の選択には、効果やコストだけでなく、防護資材の耐久性や環境汚染なども考慮に入れる必要がある。

おわりに

全国的なシカの生息分布域の拡大と生息数の増加は、今後も成熟してきたスギ、ヒノキの人工林に多大な「樹皮剥皮害」を与えていく可能性が高い。また、これらの人工林の伐採後の再生林の際には、既に「枝葉採食害」の発生が問題となっているが、今後も主伐の増加による



写真-8 枝条を巻き付けたスギ

植栽木への甚大な被害発生や再造林放棄地の増加が予想される。これらの解決のためには、増えすぎたシカを減少させて、適正な生息密度に保つための広域的なシカの個体数管理システムの構築が必要であろう。

引用文献

- 平岡裕一郎・藤澤義武・松永孝治・下村治雄（2009）ニホンジカ被害地における森林造成技術の確立—下刈り省力施業による被害軽減とそれに適したスギ品種の開発—. 森林防疫 58：229-238.
- 池田浩一・小泉透・矢部恒昌・宮島淳二・讚井孝義・吉岡信一・吉本喜久雄・住吉博和・田實秀信（2001）九州におけるニホンジカの生態と被害防除. 森林防疫 50：167-184.
- 池田浩一・桑野泰光（2008）福岡県古処山地におけるシカによる造林木剥皮害の発生時期. 九州森林研究 61：101-104.
- 池田浩一（2005）福岡県におけるニホンジカの保護管理に関する研究. 福岡県森林研報 6：1-93.
- 池田浩一・小泉透・桑野泰光（2009）スギ、ヒノキ人工林におけるシカによる角こすり害の発生要因. 森林防疫 58：206-211.
- 金森弘樹（1993）増えるニホンジカの林業被害. 現代林業 327：6-11.
- 金森弘樹・錦織誠・大国隆二（2000）ツリーシェルターと忌避剤を用いたスギ幼齢木のニホンジカによる摂食害回避試験. 島根林技研報 51：39-46.
- 環境省自然環境局生物多様性センター（2004）第6回自然環境保全基礎調査 種の多様性調査 哺乳類分布調査報告書. 213pp.
- 環境省自然環境局生物多様性センター（2011）平成22年度自然環境保全基礎調査 特定哺乳類生息状況調査及び調査体制構築検討業務報告書. 269pp.
- 小泉透（2009）拡大する「沈黙の被害」：ニホンジカによる剥皮害. 森林防疫 58：204-205.
- 松本勇（1993）安価で作業が簡単な忌避剤. 現代林業 327：14-15.
- 三浦慎悟（1999）野生動物の生態と農林業被害. 全国林業改良普及協会 174pp.
- 大井徹（1999）ニホンジカによる林業被害防除のための生態学的研究. 東北森林科学会誌 4（2）：25-28.
- 尾崎真也・塩見晋一（1999）兵庫県におけるニホンジカによる幼齢造林木枝葉摂食害の発生時期について. 兵庫森林技研報 47：52-55.
- 尾崎真也（2004）兵庫県におけるニホンジカによるスギ壮齢木の樹皮摂食害の実態. 森林応用研究 13：69-73.
- 林野庁（2011）森林・林業統計要覧 2011. pp59.
- 佐野明（2009）ニホンジカによるスギ、ヒノキ若・壮齢木の剥皮害の発生時期と被害痕の特徴. 哺乳類科学 49（2）：237-243.
- 佐野明・金田英明（2009）ニホンジカによるスギ剥皮害に対するテープ巻きの防除効果. 森林防疫 58：11-13.
- 陶山大志・周藤成次・金森弘樹（2005）ニホンジカの角こすり剥皮に伴うスギ材の変色と腐朽. 島根中山間セ研報 1：33-44.
- Ueda H, Takatsuki S, Takahashi Y (2002) Bark stripping of hinoki cypress by sika deer in relation to snow cover and food availability on Mt Takahara, central Japan. Ecol. Res. 17：545-551.

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

長坂 晶子・今 博計

(ながさか あきこ・こん ひろかず、地方独立行政法人北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場)

1. 北海道渡島半島域におけるヒグマと人間生活のあつれき

ブナの北限域として知られる北海道南部の渡島半島域は、ブナ・ミズナラなどの落葉広葉樹を主体とした豊かな森林資源を背景として、ヒグマの生息密度が高い地域となっています。筆者ら北海道立総合研究機構（以下、道総研）の林業試験場と環境科学研究センターとの共同研究グループでは、平成20年以降、渡島半島域におけるヒグマと人間生活のあつれきについて研究を進めてきました。その結果、近年の「あつれき」の主体は農作物被害であり（釣賀・間野2008）、ヒグマが農作物の味を覚えた結果、収穫期に農地に出没し食害するケースが増え、晩夏（8～9月）のヒグマ捕獲頭数の急増に反映されていることがわかってきました。一方、秋（10～11月）の捕獲頭数の推移には著しい年変動があり、これはブナ・ミズナラの豊凶の年変動とよく対応していました（今・間野2011）。つまり、通常の年の被害が8～9月にピークとなるのに対し、ブナ・ミズナラ堅果の凶作年には10月以降も里への出没が続き、収穫後の残滓や生ゴミをあさるなどして被害が長引くことが示されたのです。

本州では、平成16年頃からツキノワグマによる人身事故が頻繁に報告されるようになり、自治体によっては具体的なツキノワグマ保護管理指針も検討されるようになりました（富山県2005；兵庫県2007）。現段階では、本州・北海道ともに管理指針の主体は防除（捕殺）に焦点が当てられています。しかし、ヒグマの解析を進めてきた経緯から、筆者らの研究グループは、捕殺に頼るだけでは対症療法にしかならないのではないかと、根本治療には、問題グマをつくらないための「予防策（＝農地に入れない・農作物の味を覚えさせない）」と、堅果類の凶作年の「予測」による秋以降の注意喚起（＝予防策の継続）が必要になると考えています。前者の予防策につ

いて、渡島半島域では、農地周辺の刈り払いや電気柵の設置が試行され、一定の効果が認められています（北海道環境科学研究センター2004）。しかし、後者の豊凶予測をヒグマの出没注意報に活用する取り組みはまだ緒に着いたばかりです。

堅果類の豊凶予測を精度良く実施するためには、予測手法の確立や洗練のほか、調査を長期間にわたって実施できる体制が不可欠になります。現在、北海道環境生活部では9月をヒグマ出没注意月間と位置づけ、筆者ら道総研のほか、道内の大学演習林からその時期の木の実の実り（ミズナラ、コクワ、ヤマブドウなど）を情報収集し、注意喚起の判断をしたうえでプレスリリースしていますが、広い北海道をカバーするには調査地点が少なく偏りがあることや、各機関の調査手法がまちまちで、豊凶の判断基準が統一されていないことなど、改善しなければならぬ点も多いと感じてきました。

こうした背景から、筆者らは地域の環境保全活動に取り組みするNPO団体や博物館などを調査者として取り込めないだろうか、と考えました。つまり、研究機関に限られてきた調査の担い手を地域住民に広げることによって調査地点を確保するとともに、長期間の調査体制を保証できるのではないかと考えたのです。近年、全国的な傾向として自然環境調査におけるNPO団体や一般市民の役割に期待が寄せられていますが、具体的事例となるとまだ数は少なく、協働のあり方について検討を重ねていく必要があります。そこで筆者らは、道総研重点研究「ヒグマとのあつれき回避に関する研究」（平成20～22年度実施）のなかで、地域住民との協働による堅果類の豊凶モニタリング調査を試行することにしたのです。なお、この取り組みは筆者らのほか、道総研環境科学研究センター道南地区野生生物室の釣賀一二三、石田千晶（現所属は北海道渡島総合振興局自然環境課）、道総研林業試験場道南支場の阿部友幸（現所属は道総研林業試験場）、

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

南野一博によって行いました。

2. 「協働」による豊凶調査を軌道に乗せるまで

試行にあたり、筆者らは調査を実行できる体制や意欲のありそうな団体に絞り込み、当初3団体に参画を依頼しました。3カ年の試行の後、最終的に2団体と調査体制を構築することができました。一つは渡島総合振興局管内函館市に事務局を置き、河畔林再生プロジェクト等で活動している「NPO 法人北の森と川・環境ネットワーク（以降、GRNet）」（北の森と川・環境ネットワーク2012）、もう一つは後志総合振興局管内黒松内町の「黒松内ブナセンター」（黒松内ブナセンター2012）です。

結実豊凶の把握には、目視による方法（たとえば水井1991；正木・阿部2008）とシートトラップ法（図-1）のいずれかが考えられましたが、各団体との話し合いの結果、ブナ・ミズナラ双方についてシートトラップ法とし、得られた試料の集計についても林業試験場で行っている方法に統一することで合意しました。

GRNetは、函館市と七飯町の境界を流れる蒜沢（にんにくざわ）川の河畔林再生事業の一環として、タネ取りから育苗・植栽まで、地元産の苗木にこだわって活動を実施しているため、毎年様々な樹種のタネの豊凶を独自に観察していました。ブナの苗木も蒜沢川水系庄司山（しょうじやま）のブナ林から採った種で育成すること

を目標としていますが、活動を始めた2003年の前年（2002年）以降、函館市周辺で豊作年が訪れていないこともあり、豊凶調査への強い意欲を持っていました。そこで彼らの活動拠点である庄司山のミズナラ林、ブナ林のなかに調査地を設定することとし、研究者も同行して林分を決定しました。

黒松内ブナセンターでは、自然観察会や学校教育とのタイアップによる環境教育などのほか、2007年から同町で始まった「黒松内岳ブナ林再生プロジェクト」（黒松内岳ブナ林再生プロジェクト実行委員会2012）の中でも中心的な役割を果たすなど多岐にわたる活動を行っています。センターでは、これまでも活動の一環として、センターに隣接する歌オブナ林で毎年ブナの結実量を観測してきましたが、黒松内岳ブナ林再生プロジェクトの開始に伴い、育苗の要請もあることから、豊凶調査は今後も継続して実施していくことになっています。またミズナラの豊凶調査はこれまで実施していませんでしたが、ブナ同様、歌オブナ林の中にミズナラの調査木も設定し、調査を開始することになりました。

表-1はGRNetの3年間の調査・活動状況をまとめたものです。この他にNPO事務局が自発的にトラップの見回りなどを行っているので、実際にはもう少し回数が多い可能性があります。調査は各年3回（春・秋・冬）計画し、協働により実施しました。活動としては野外作業と室内作業の2種類があり、それぞれ少し性格が異

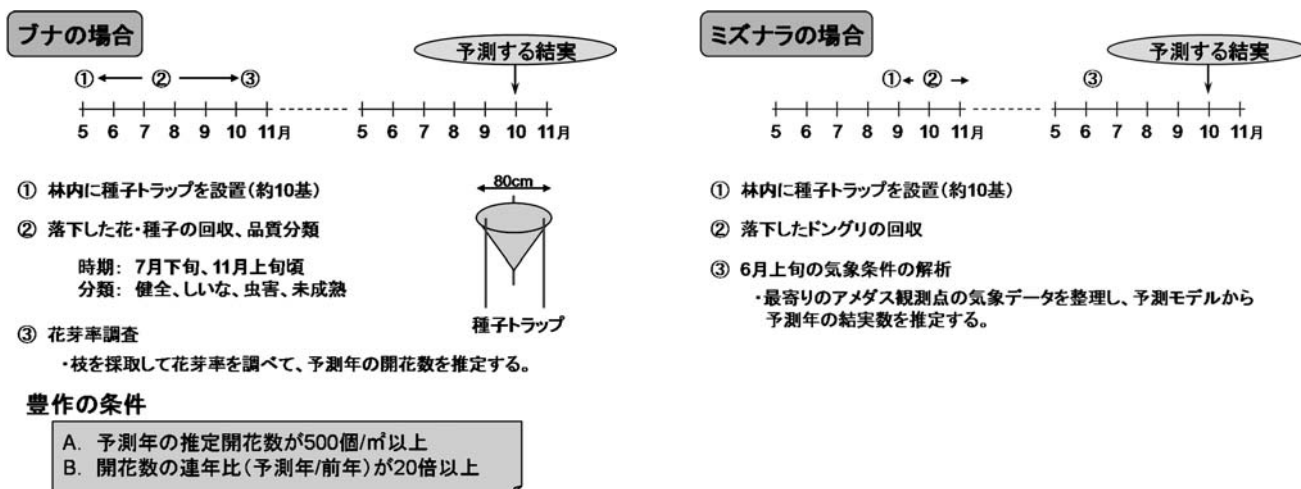


図-1 ブナ・ミズナラの豊凶予測作業のながれ

ブナについては、道総研林業試験場は1990年から渡島半島6箇所豊凶モニタリング調査を継続しており、豊凶予測を行っている（北海道立総合研究機構林業試験場2012）。ミズナラについては、予測手法が未確立だったため、まだ実施していない。また、新たなデータ解析により、予測作業の流れが修正される可能性もある。

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

表-1 NPO 法人 北の森と川・環境ネットワークによる調査・観察会の経過

年度	月日	内容	場所 (野外/室内)	単/共催	参加者	参加人数
H20 年度	5月3日	調査地の下見	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	5月10日	調査地の設定・観察会	庄司山 (野外)	共	NPO、研究機関、一般市民	25名
	9月6日	シードトラップ設置・観察会	庄司山 (野外)	共	NPO、研究機関、一般市民	40名
	11月29日	シードトラップ試料回収	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	10名
	12月13日	試料整理・技術研修	林業試験場 道南支場 (室内)	共	NPO、研究機関	10名
H21 年度	5月2日	シードトラップ補修・観察会	庄司山 (野外)	共	NPO、研究機関、一般市民	29名
	7月3日	シードトラップ試料回収 (ブナ雌花)	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	8月24日	シードトラップ試料回収 (ブナ雌花)	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	9月11日	試料整理・技術研修	林業試験場 道南支場 (室内)	共	NPO、研究機関	15名
	10～11月	シードトラップ試料回収 (ブナ・ミズナラ)	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	11月28日	試料整理・技術研修および情報交流	黒松内ブナセンター (室内)	共	NPO、研究機関、黒松内ブナセンター	14名
H22 年度	4月26日	シードトラップ補修	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	6月5日	開花状況調査・観察会	庄司山 (野外)	共	NPO、研究機関、一般市民	51名
	10月9日	シードトラップ試料回収・観察会	庄司山 (野外)	共	NPO、研究機関、一般市民	20名
	10～11月	シードトラップ試料回収 (ブナ・ミズナラ)	庄司山 (野外)	単	NPO 主体	6名
	12月18日	試料整理・研修および学習会	七飯町文化センター (室内)	共	NPO、研究機関、黒松内ブナセンター	21名

なります。野外作業は主に、トラップの設置や試料の回収（写真-1、3）などそれほど専門的な技術を必要としません。一方、室内作業での回収試料の仕分け作業には結実豊凶メカニズムに対する知識と「慣れ」が必要となります。特にブナの場合、結実予測を行うためには早期落下した雌花も採取、分類する必要があるからです。そのため室内作業では、参加者を NPO の事務局とボランティア会員のみに関わり、参加者も 20 人未満に抑えて確実に技術を習得するようにしました（写真-2）。

「協働」を試行する本来の目的は、堅果類の豊凶とヒグマなど野生動物との関わりについて理解を深め、ヒグマとのあつれき回避に活用することにあります。そこで、野外活動では単に作業をするだけでなく、研究者から森林生態系に関する様々なレクチャーを行うなど、一般市民も参加しやすい観察会方式として実施しました。今回、観察会ごとに簡単なアンケートを実施していましたが、その回答から、野外調査・観察会の参加者すべてが必ずしも活動趣旨を理解して参加しているわけではないことが分かりました（山野草や花が見たい、登山がしたい等）。このため、試行最終年度の 12 月には、試料処理のほか、最新の研究成果（たとえば今ほか 2011 など）に触れ、豊凶調査の意義について参加者に再認識してもらう機会

を設けました（写真-4）。室内学習会の参加者は本来のテーマに興味を持って参加した人が多く、意欲の高い人が多いことが特徴でした。

3. 協働の可能性と今後の課題

・ 自立的な調査体制の構築は可能

GRNet は、試行 3 年間の間にシードトラップの設置、補修、さらには試料回収など自立的に調査できるようになった好事例となりました。黒松内ブナセンターも同様に調査を継続しています。今後さらにデータを蓄積することで、豊凶予測の精度が向上するようになります。このように自立的な調査を可能としたのは、これまでの各自の活動の中で、シードトラップによる採種や豊凶調査の実施経験があったことが大きな要因といえます。さらに、調査林分を活動拠点の中に設定できれば、それぞれの年間活動のなかに無理なく豊凶調査を組み込むため、そうした「自前のフィールド」を持っているかどうかポイントと考えられました。

一方、試料の処理や計測については、NPO 事務局と研究者の間で定期的に研修を行うなどして、技術の継承や手法の確認を継続していく必要性が感じられました。メンバーの交代や新規参加者などが生じる可能性がある

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

ためです。モニタリング活動の意義を理解してくれる参加者が増えることは、野外調査研究のすそ野を広げるきっかけとなるので、今後の展開が期待されます。このように、人材の育成や確保は今回だけの活動で完成形というわけではないことを念頭に置く必要があると思われました。これは豊凶予測の手法自体を固定的なもの、これで確立され尽くしたものとせず、予測手法に活用で

きるような新知見が明らかになるごとに、手法を改善・洗練させていく必要があることにも通じるといえます。以上、自立的な調査体制の構築は可能であることが確認され、地域住民との協働の基礎をつくることができたと考えています。

・ 今後はネットワーク構築を目指す

図-2は、結実調査からヒグマ出没注意報までの流れに



写真-1 1年目、函館市近郊のブナ林にシードトラップを設置
ブナのサイズを計測（樹高、胸高直径）するなど林分調査も行った。



写真-2 2年目、室内作業中（黒松内ブナセンターにて）
ブナ雌花の虫害の見分け方や集計の仕方を皆で確認しながら習熟した。



写真-3 3年目、ようやくミズナラの堅果が試料として採取
函館市近郊のミズナラ林に設置したミズナラ堅果の調査林分では、1、2年目は不作だった。このあと研究者がミズナラのドングリを食べる動物の講話を現地で実施、参加者にも好評だった。



写真-4 3年目、室内作業と勉強会（七飯町文化センターにて）
ヒグマの糞の実物を見ているところ。手前のトレイに、森林の中で採取した木の実入りの糞が、奥のトレイにデントコーン100%の糞が入っており、豊凶調査継続の目的のひとつであるヒグマとの関わり、ヒグマと人間生活のあつれきについても学び、活動の意義について再確認した。

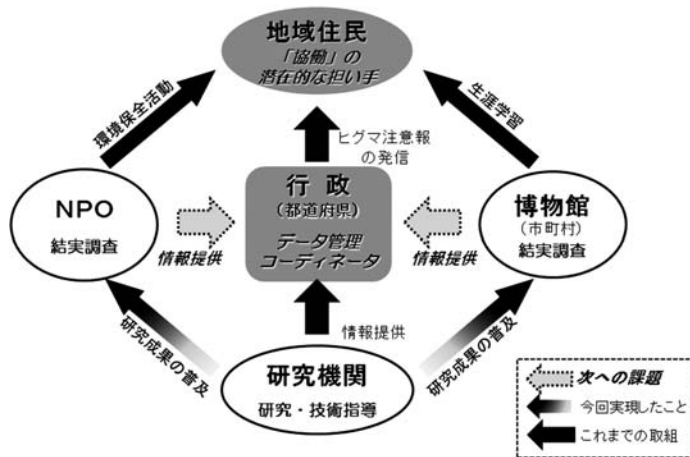


図-2 堅果類の結実調査ならびに豊凶情報の提供とヒグマ出没注意報の発信に至るプロセス模式図
矢印の塗りつぶしの違いは、ネットワーク構築に向けた進捗状況の違いを表している。黒はこれまで既に実施してきた取り組みや活動を、黒のグラデーションが今回実現できた取り組みを、点線で囲んだ灰色の矢印が次回に向けた課題を表す。

ついて、これまで既に取り組んできたこと、今回実現できたこと、そして試行するなかで見てきた次への課題を模式図として示したものです。今回は2団体との取り組みとなりましたが、調査団体が増える可能性もあります。その際にはデータ共有を図る、あるいは情報発信を一元化する必要が生じると考えられ、豊凶調査という共通の活動で個々の団体を結ぶ「ネットワーク構築」が次の目標になると考えています。

これまででは、結実状況の情報提供は研究機関のみからなされ、そこから北海道が独自に出没注意報としてプレスリリースしていました。今回、研究機関とNPOや博物館をつなぐことができ、データの多点化に道筋をつけることができました。次はヒグマ保護対策の実施主体である北海道(行政)が、蓄積されるデータの管理者として、ネットワークのコーディネータとしての役割を担うことが期待されます。北海道は既に渡島半島地域ヒグマ保護管理計画のなかで、道自身の役割として「(対策)実施体制の構築、関係機関の調整、情報の共有」を挙げています(北海道2010)。図-2に示したように、NPOや博物館の調査結果も行政が集約し、ヒグマ注意報に反映させる流れを実現できれば、北海道が本来掲げてきた役割を果たすことと合致することになるのです。また、もともと地域住民で構成されているNPOや、地域の生涯学習の担い手とも言える博物館などが調査者となる意義とは、地域から将来の新たな活動の担い手生み出すことにもあります。地域住民がヒグマ対策の一翼を担うことは、対策や情報発信の一方通行、また逆に情報過疎などを防ぐことにもつながるのではないかと期待しています。

今回の報告は研究成果をいかに地域住民に還元し、また研究機関の「応援団」をいかに増やすかという事例とも言えます。冒頭で述べたように、堅果類の豊凶調査はヒグマ出没注意報に寄与するものです。北海道ではヒグマの人里への出没は続いており、対策実施は喫緊の課題となっています。筆者らは現在も取り組みを継続しており、何年か後にまたネットワーク構築の進捗報告ができればと思っています。

引用文献

北海道(2010) 渡島半島地域ヒグマ保護管理計画(第2期). 15+12p.
 北海道環境科学研究センター(2004) 渡島半島地域ヒグマ対策推進事業調査研究報告書(1999~2003年度). 北海道環境科学研究センター. 77+16p.
 北海道立総合研究機構林業試験場(2012) 北海道南部のブナ豊凶予報: <http://www.fri.hro.or.jp/03donan/buna/bunayoho.htm> (2012年9月6日参照).
 兵庫県(2007) 兵庫県ツキノワグマ保護管理暫定指針
 今 博計・間野 勉(2011) 渡島半島地域のブナ科種子の豊凶がヒグマの行動に与える影響. 平成20~22年度重点研究報告書(「ヒグマとのあつれき回避のための研究」-ヒグマ出没ハザードマップ作成に関する研究-). 13-22.
 今 博計・長坂晶子・小野寺賢介・阿部友幸・南野一博(2011) ブナ科種子の豊凶メカニズムの解析. 平成20~22年度重点研究報告書(「ヒグマとのあつれき回避のための研究」-ヒグマ出没ハザードマップ作

地域住民と協働で行うブナ科堅果の豊凶調査

- 成に関する研究一). 78-92.
- 黒松内ブナセンター (2012) 黒松内ブナセンター HP : <http://www.host.or.jp/user/bunacent/index.html> (2012年9月6日参照).
- 黒松内岳ブナ林再生プロジェクト実行委員会 (2012) 黒松内岳ブナ林再生プロジェクト実行委員会の HP : <http://www.host.or.jp/user/bunacent/kuropro.html> (2012年9月6日参照).
- 正木 隆・阿部 真 (2008) 双眼鏡を用いたミズナラの結実状況の評価. 日林誌 90 : 241-246.
- 水井憲雄 (1991) 種子重-種子数関係を用いた落葉広葉樹の種子の結実豊凶区分. 日林誌 73 : 258-263.
- 北の森と川・環境ネットワーク (2012) NPO 法人北の森と川・環境ネットワーク HP : <http://www12.plala.or.jp/grnet/> (2012年9月6日参照).
- 富山県 (2005) 富山県ツキノワグマ保護管理暫定指針 (ガイドライン)
- 釣賀一二三・間野 勉 (2008) 北海道渡島半島におけるヒグマ保護管理計画とモニタリング (特集『クマ類の特定鳥獣保護管理計画の実施状況と課題』). 哺乳類科学 48 : 91-100.

レーザーで森林のメタンをはかる

高橋 けんし (たかはし けんし、京都大学生存圏研究所)

はじめに

大気中のメタン (CH₄) は強い放射強制力を持ちながら、その濃度変動の原因が十分に理解されていない分子です。ソース・シンクの収支はIPCC (気候変動に関する政府間パネル) レポートにまとめられていますが、その値は極めて不確かです。不確か性を生み出す理由は様々ですが、大きく捉えれば、本質的にCH₄のソースとシンクの分布と強度が不均質であること、そして、それを観測する手法とネットワークの不足が挙げられるでしょう。

森林をはじめとして野外でCH₄を測定するには、採取したサンプルを実験室に持ち帰り、ガスクロマトグラフ-水素炎イオン化分析を行う方法が一般的でした。しかし、採取や分析の際の人為ミスが懸念されるほか、採取と分析に掛かる手間のせいで、測定データ数が限られていました。しかし近年、先端的な微量気体計測法の一つである半導体レーザー分光法を用いて、森林環境におけるCH₄動態を精細に描く研究が盛んになりつつあります。半導体レーザー分光法を用いた測定装置は、オンサイト・リアルタイム計測が可能であるため、装置の性能を活かすための適切な工夫と努力とによって、無人連続測定が可能となります。まだまだ観測サイトの数は多くありませんが、例えば、京都大学桐生水文試験地ヒノキ林タワーサイトでは、簡易渦集積法の装置とレーザー装置を組み合わせたシステムを開発し、生態系スケールでのCH₄フラックス (単位時間・単位面積当たりの交換量) を計測しています。同サイトではフラックスを連続計測することに成功し、その日変化から季節性までを明らかにしている¹⁾ ほか、自動開閉の閉鎖循環式チャンバー法を用いた葉群・幹・土壌各コンパートメントにおけるフラックスの連測観測も行われています²⁾。これ以外にも、アラスカ大学フェアバンクス校内クロトウヒ林タワーサイト、国立環境研究所富士北麓タワーサイト、農業環境技術研究所真瀬水田タワーサイト等で、レーザー装置が運用されています。本稿では、今後益々重要になってくると考えられるレーザー分光法を用いた微量気体 (主にCH₄) の計測技術について紹介します。なお誌面の都合上、詳説は最近のレビュー³⁾ に譲ることにします。

微量気体を測定する技術

森林環境下で測定されてきた微量気体として、二酸化炭素 (CO₂) が挙げられます。CO₂ フラックスを直接測定する研究は、非分散赤外分光 (NDIR) 計の登場により可能となりました。NDIR の測定原理は、分子の光吸収に関する Beer-Lambert の法則

$$I/I_0 = \exp(-\sigma Cl) \quad (1)$$

に基づいています。光路長 l を持つ光学セルに大気を連続的に導入し、赤外光を照射して、入射強度 I_0 と出射強度 I の差分を計測することにより気体分子の濃度 C が得られます (σ は吸収断面積です)。しかし、CH₄ は大気中の濃度が CO₂ の約 1/200 なので、式 (1) の $\sigma \times C$ は非常に小さくなります。そのため I/I_0 の値が光源強度のドリフト (不安定性) と競合するようになります。したがって、式 (1) の測定原理をそのまま CH₄ 測定に適用することは困難で、精度・検出限界において、より高い性能を有する技術が必要になります。

一般に、吸収分光法を用いて分子の濃度を定量するには、いかにして実効光路長を長くできるか? が工夫の為所です。古くは、二つの凹面鏡を使って実効光路長を数十 m 程度まで延ばせる White セルや Herriott セル等の多重反射光学セルが用いられてきました。最近、多重反射セルを用いた CH₄ 計測器が LiCor 社から販売されています。この機器は、光路が大気中にさらされている、いわゆるオープンパス型です。測定原理は基本的に Beer-Lambert の法則に従いますが、CH₄ 分子による微弱な吸収を高精度で計測するためにレーザー波長変調分光法 (WMS) が用いられています。この方法では、半導体レーザーの注入電流を変調させて波長を周期的に変化させ、変調周波数 f を参照信号として光検出器出力をロックイン検波します。ただし、大気圧での計測なので、スペクトル線の圧力広がりのため、次に述べるような減圧した光学セルを用いる方法よりも感度が劣ります。

1988年、O' Keefe らは、古典的な多重反射セルを用いず、実効光路長を驚異的に長くする超高感度吸収分光法として、レーザーキャビティーリングダウン分光法 (CRDS) と呼ばれる新技術を提案しました⁴⁾。この方法は Picarro 社や Tiger Optics 社等から販売されているメタン計等の装置でも採用されています。CRDS では光共振器 (光学キャビティー) 内にレーザーパルスを閉じ込め、何千回も光パルスが共振鏡を往復することを利用してしています。図 1 にその概念図を示します。光学キャビティーのフロントミラーからパルス光が導入されます。距離 $L = 1\text{m}$ のキャビティーであれば、キャビティー内を 5000 回反射するとき、実効光路長は 10 km になります。仮に反射率 $R = 99.99\%$ のミラーを 2 枚使ったとすれば、0.01% が透過するため、光がミラーで反射される毎にキャビティーの外へ漏れ出します。このとき、リアミラーから漏れ出してくる光の強度 $I(t)$ は、反射回数 (つまり光の伝播時間 t) に対して、以下のように指数関数的に減衰します。

$$I(t) = I(0) \exp(-t/\tau_{\text{CRD}}) \quad (2)$$

$I(0)$ は $t = 0$ における漏れ出し光の強度です。減衰の時定数 τ_{CRD} は、キャビティー内に光損失を起こす気体分子が存在すれば小さくなります。これを利用して、分子濃度が測定できます。この方法は、レーザー光強度の差分を直接測定しない「時間分解測定」であるため、レーザー光源のドリフトが測定精度に影響を与えません。CRDS 装置は、キャビティー内のガス圧を減圧して測定するものの、 CO_2 の NDIR 計との対応で考えればクローズドパス型の分析機に分類できます。

現在市販されている CRDS 装置は、フィールドでの運用が容易になるように、光通信用の半導体レーザーを用いた物が多いです。光通信用の半導体レーザーは素子寿命が極めて長く、小型で、低消費電力である等の特長を有しています。ただし、半導体レーザーは、連続発振 (CW) するため、時間依存型の信号 (式 (2)) を検出するためには、パルス化して用いる必要があります。また、半導体レーザーは波数分解能が非常に高い (約 0.001 cm^{-1}) ため、光学キャビティーに光を入れてもそのままでは光が往復しません (定在波が立たない)。そこで、キャビティーミラーを圧電素子を用いて強制的に振動させ、 L をレーザー光の波長分ほど伸縮させます。これにより、ミラー間の距離が光の半波長の整数倍になり、キャビティー内に光が蓄積できます。このように半導体レーザーを使う CRDS 装置は、システムが複雑です。また、原理上、周辺環境からの機械的振動に対して注意が必要です。

他方、CW レーザーをパルス化しないシンプルな装置も作られています。その一つが off-axis Integrated Cavity Output Spectroscopy (OA-ICOS) 法⁵⁾ を用いた装置です。これを採用する装置は Los Gatos Research 社から販売されています (この会社の初代社長は CRDS と OA-ICOS の開発者 O'Keefe です)。CRDS の“親戚筋”にあたるこの手法では、CRDS のように漏れ光の時定数から吸光度を見積もるのではなく、通常の吸収分光法と同じく、物質による透過光強度の変化を用いて吸光度を決定します。OA-ICOS では、吸収媒体の有無による漏れ光強度の差異が

$$(I_0 - I) / I = GA / (1 + GA) \quad (3)$$

と表されます⁵⁾。 $G = R / (1 - R)$ 、 $A = 1 - e^{-a}$ (a (v) は波数 v における光学的厚さ) です。微弱な吸収 ($GA \ll 1$) の条件では、漏れ光強度の差が GA に対して直線的で、吸収媒体の濃度は、 v を掃引して得られる吸収スペクトルを積分して得られます。OA-ICOS は光の時間減衰ではなく絶対強度を測定しているため、光源強度が安定していることが重要になります。

新しい技術の適用について—まとめにかえて—

CRDS では、パルス光がキャビティー内に蓄積されてから減衰する過程で、減衰の時定数の一つ決まります。蓄積される頻度 (十分な強度の定在波が発生する頻度) が有限であるため、パルス光の測定毎に“待ち時間”ができてしまいます。

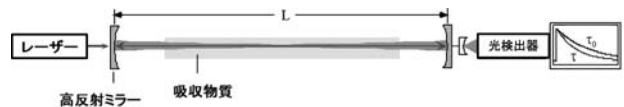


図-1 CRDS の概念図

一方 OA-ICOS では常にシグナルの測定を行っているため、渦相関法 (例えば⁶⁾) のように 0.1 秒程度の間隔で繰り返しの測定を行うときに有利であると考えられます。渦相関法への適用性を議論する際、キャビティー容量が小さい製品のほうが有利であるという議論を耳にしたことがありますが、上記のような計測原理上の差異に立ち戻って議論すべきであり、キャビティー容量だけで判断することは必ずしも正しくないでしょう。

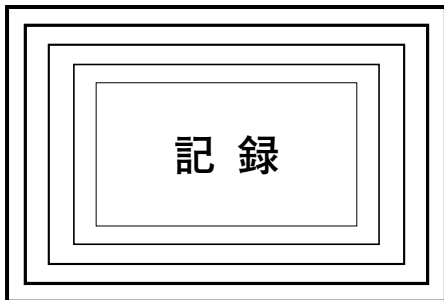
CRDS にしても OA-ICOS にしても、超高感度な計測が可能であり、キャビティー内の一光路あたりの吸光度は 10^{-8} 程度までの検出が可能です。このような微細な吸光度の測定は NDIR では困難です。最近では、WMS と OA-ICOS を組み合わせた新しい分光法も開発が進められていて、レーザー分光法による微量気体計測は、まだまだ成長の余地があります。測定対象も、 CH_4 に限らず CO_2 の安定同位体や N_2O など、より微量な分子種の検出へと応用され始めています。

また最近では、量子カスケードレーザーや、非線形光学結晶を用いた差周波発生法によって、中赤外光を得ることができるようになり、より高感度・高精度な微量気体計測機器の開発が進められています。それらは、近赤外域の σ よりも中赤外域の σ の方が大きいことに着目しています。

とはいえ、新しい技術の信頼性を鵜呑みにすることは危険です。そもそもこれらのレーザー製品は、高温や多湿、エアロゾル、場合によっては昆虫の存在など、フィールドでの多様な環境条件に対して十分に対応するという趣旨で設計されているとは言えません。カタログの“Field applicable”という謳い文句は、「フィールドでも電源さえあれば、ボタンポンで動きます」という意味であって、「ユーザーが求めるクオリティーのデータを容易に取得できる」という意味ではありません。ユーザー側でも計測原理やシステム、測定対象を理解し、機器の性能を最大限に活かす使い方を見出す努力が必要だと言えるでしょう。

引用文献

- 1) Sakabe *et al.* (2012) *Theor. Appl. Climatol.* 109 : 39-49.
- 2) Takahashi *et al.* (2012) *Atmos. Environ.* 51 : 329-332.
- 3) Shemshad *et al.* (2012) *Sens. Actuators, B* 171-172 : 77-92.
- 4) O'Keefe *et al.* (1988) *Rev. Sci. Instrum.* 59 : 2544-2551.
- 5) Baer *et al.* (2002) *Appl. Phys. B* 75 : 261-265.
- 6) 安田 (2005) *森林科学* 45 : 71.



日本森林学会大会における男女共同参画関連企画 「ラウンドテーブル・ディスカッション： 女性研究者のキャリアアップ」開催報告

宮本 基杖 (みやもと もとえ、前日本森林学会男女共同参画担当主事)
大河内 勇 (おおこうち いさむ、前日本森林学会男女共同参画担当理事)
太田 祐子 (おおた ゆうこ、前森林総合研究所男女共同参画室長)

1. はじめに

第123回日本森林学会大会(会場：宇都宮大学)において男女共同参画関連企画として「ラウンドテーブル・ディスカッション：女性研究者のキャリアアップ」(主催：日本森林学会男女共同参画担当、共催：森林総合研究所男女共同参画室)を2012年3月28日(15:30-17:00)に開催した。大学院生、ポスドク、大学教員、研究所職員など19名が参加して、活発なディスカッションが行われた。

日本の女性研究者支援策は2006年から科学技術振興調整費によるプログラムを中心に実施され、男女共同参画室の設置、子育て支援の充実、女性研究者の積極的採用など様々な取り組みが広がっている。とはいえ、まだまだ少数派の女性研究者は、就職や昇進、育児と研究の両立など仕事の上で厳しい状況にあるのも事実である。そこで、今年の学会大会において「女性研究者のキャリアアップ」を重点テーマとしてラウンドテーブル・ディスカッションを行った。

ラウンドテーブル・ディスカッションとは、「自分の抱える問題を他の人とのコミュニケーションを通じてその解決策を探す」ものであり、ラウンドテーブル・ディスカッションを通じて「人的ネットワークをはかり、新たな出会いや新たな発見を行う」チャンスが生まれる。

最初に主催者側から企画の目的について話をした後、全員が発言できるように6名程度の小グループに分かれて、ざっくばらんにフリートークをしながら、参加者が今抱える問題を話し合った。最後の15分で各グループの話を担当スタッフが報告し、話し合った内容を皆で共有した。

アドバイザーとして、下記の3名の方に参加していただいた。

増田美砂氏(筑波大学生命環境科学研究科持続環境学専攻教授)

丸田恵美子氏(東邦大学理学部生物学科教授)

金指あや子氏(森林総合研究所森林遺伝研究領域主任研究員)

2. 企画の報告

開会の挨拶

最初に企画の目的と趣旨について、大河内日本森林学会男女共同参画理事(当時)から下記のような挨拶がなされた(写真-1)。

・このラウンドテーブル・ディスカッションは昨年の大会で計画していたが、東日本大震災で中止になり、今年再度計画したものである。

・会員の意見を受けて学会が活動するためには、実際に会員が直面している問題を話し合える場が欠かせない。

・今後、学会において継続的に男女共同参画を進めていくために必要なネットワークの基礎ともなる。

・このディスカッションを通じて、悩んでいた問題についての答えが見つかることが期待される。学会で解決できない問

題については、多数の学会が参加する男女共同参画学協会連絡会を通じて政府にあげることができる。

・本学会から提言したポスドクの研修については学協会を通じて内閣府男女共同参画主催ポジティブアクション小委員会で説明していただいた。このように、大学や研究機関だけではできないことでも日本森林学会を通じて行うことができる。

・本日のラウンドテーブル・ディスカッションが、これらの活動の第一歩となることを期待している。

ラウンドテーブル・ディスカッション

ディスカッションでは、大学院生、ポスドク、大学教員、研究所職員など様々な立場の参加者が小グループに分かれて1時間ほど話し合った。最も多い話題は出産育児の問題であった。とくに「子供を産むタイミングに悩む」、「人生設計を立てづらい」という発言があり、子供を産み育てながら研究をする環境が整っていないことが浮き彫りになった。

育児について幾つか発言をとりあげると、「就職するとすぐに子どもを産むのではないかとされている気がする」と



写真-1 開会の挨拶：大河内理事(当時)



写真-2 各グループからディスカッションの報告

いう発言に対して、「今はそのように考えられることはほとんどない。むしろ、社会的な状況として、女性の教員・研究員を増やしていこうということで、実力の評価が同等なら女性を優先して採用すると明記している場合すらある。」とのアドバイスが出された。また、「育児休業を取ったら代替職員等を採用できる制度があるが、この制度が実際に使えるのか不安。使えても復帰後に学生指導などうまく引き継ぐことができるか不安。代替の利く存在であることに対して不安。」という発言に対して、「代替職員として採用される側としては、短期間でも大学教育のキャリアになるので有効な制度だと思う。ただし、雇用期間が短い場合や、中途半端な時期に解雇される場合は問題がある。知り合いの事例では、半年程度の任期だったが、それでは仕事ができないということで雇用期間を1年に延長してもらったという話を聞いた。」という情報提供があった。

また、大学教員の状況について、「子供ができて育児休業をとらず仕事をしている人がほとんどのため、育児休業や育児期の支援が必要だとあまり認識されていない。」「授業や学位論文の審査など通年で拘束され、かつ替えが難しいため、身近な例を見る限り育児休業をとる人は少ない。しかし一方で、出産を機に仕事を辞めた例も聞いたことがない。」との情報が提供された。

また、ポストドクの状況について、「ポストドクの期限内に育児休業をとることが実質できるか不安。ポストドクは育児休業をとることができるが、その期間を延長できない。また仕事に空白期間ができ、今後の就職などに不利になるのではないかと思う。」「ポストドクの間論文を出さなくてはいけない。子供を持ちたいが、育児と投稿論文・仕事の両立ができるか不安。」「ポストドクはパーマネントの就職ではないので、とくに出産時期について人生設計が立てづらい。」との発言があった。

一方、すでに子供がいる場合でも、「子育てが自分一人であるため、出張・残業が出来ない。そのため、研究上の人脈作りが十分にできない」という発言もあった。保育園の待機児童問題も指摘さ

れたが、それに対して、「大学によっては保育園があり、学生も利用資格がある。大学病院があるところは、看護師さんのニーズがあるため、保育園のある可能性が高い。児童教育の研究をかねて、保育園を持っている大学もある」等、大学教員や大学院生の育児について、自治体だけでなく大学の保育園情報も併せて検討する必要性が指摘された。

育児以外にも、「家族の同居を維持するため遠距離通勤をしている」、「夫婦どちらかの転勤で別居を余儀なくされる」などの問題が挙げられた。大学の中には、女性研究者支援事業の取り組みの一環として単身赴任手当の制度に相当する「両住まい手当」という制度が整備され、事業終了後も自主財源で継続される見通しなどの情報が寄せられた。

それ以外にも、「小規模で男性ばかりの職場では、自分が指導的立場であっても、若手、女性という事で、はっきりした意見を言いにくい。なかなか聞いてもらえないので、我慢することが多い。」という悩みもあった。

科研費についてのアドバイスとして、「研究職に就くためには、まず学振の特別研究員をとったほうがいい。学振の特別研究員をとっているとその後の科研費をとりやすい。学振の特別研究員に限らず、独立行政法人研究所のポストドクもキャリアとして重要である。」「科研費を持っていれば次のポジションも得やすい。」などの情報が提供された。

また、「パートナーが就職をしている場合、『女性はずっとポストドクでいい』とか『働かなくてもいいから』と言われたことがある」など、男女共同参画意識の低さも指摘された。

ディスカッション全体を通しての指摘をまとめると、下記ようになる。

- ①働き盛りに出産時期が重なり、出産・育児をどこで行うか人生設計が立てづらい。
- ②若い世代(20代、30代)の職がパーマネントでない不安定さ。
- ③院生やポストドクに対して、研究と育児の両立をサポートする仕組みが不備。
- ④パーマネント職の場合、転勤等により夫婦で同居することの難しさ。

- ⑤社会における男女共同参画意識の低さ。
- ⑥相談相手の少なさ、関連情報の共有化、ネットワーク構築の重要性。

閉会の挨拶

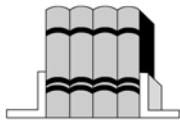
最後に、太田森林総合研究所男女共同参画室長(当時)が下記のような趣旨の挨拶で企画を閉会した。

- ・このような堅苦しくない会を定期的に開催することで、機関や専門を越えた緩やかなネットワークを作りたい。
- ・聞きたいことがあれば相談して、わかる人や乗り越えてきた人がアドバイスできるような場を提供したい。
- ・学会やその上のレベルで取り組むべき問題や課題についての意見を吸い上げ、学協会を通じて各省庁や政府に働きかけたい。
- ・学協会や他学会の動きや、取り組みの進んでいる研究教育機関の情報の提供もしていきたい。

3. 今回の企画を通して

日本森林学会の男女共同参画企画として初めてラウンドテーブル・ディスカッションを行ったが、予想以上に積極的な語らいが進み時間が足りないほどだった。小グループのため各自が抱える問題を率直に話せたことや、経験を積んだ年長の研究者からアドバイスが適宜出されたことが成功のカギであったと考える。参加者の中には「希望が見えてきた」と語る院生もいた。その場で解決のヒントを得た人や、直接の回答を得られなくても悩みを話すことや、同じ悩みを持つ人がいることを知り、互いに顔見知りになることで、希望が持て励みになった人もいたようである。

この企画は、アメリカのある学会で女性会員のラウンドテーブル・ディスカッションを学会大会時に毎回開催していることを、男女共同参画学協会連絡会で聞いたことが発端である。そこでは長年開催して参加者も多くなり、現在は育児、就職、論文作成、研究費などトピック毎にテーブルを分けて行っているそうである。日頃孤立して相談相手のいない女性研究者が話し合える場、アドバイスを受けられる場を提供することがいかに重要であるかを、今回の企画を通して強く実感した。



ブックス

エビデンスからみた森林浴のストレス低減効果と今後の展開 —心身健康科学の視点から—

筒井末春監修、高山範理著、新興医学出版社、2012年7月、97ページ、3,675円（税込）、ISBN 978-4-880-02736-9

「森林浴」という言葉が造られたのは、1982年（昭和57年）のことである。「森林でみどりのシャワーを浴び、心身をリフレッシュしませんか？」というキャッチフレーズであった。その後、「〇〇療法」「〇〇セラピー」という言葉も生まれてきた。とかく「科学」がキーワードとなり、宣伝の道具立て、舞台仕掛けともなる今日、森林浴についてもまた「科学的検証」という言い回しを目にするようになった。

本書の著者である高山範理氏は、かねてより森林散策、森林風致の心身にもたらす作用について調査研究を重ねてきた研究者である。

本書において高山氏は、まずこれまでの国内外における森林浴に関するエビデンス・ベースの研究成果を振り返り、それらの結果から「心身健康医学：人間のこころとからだの有機的な関連性を科学的に解明しようとする学問領域」の視点に立ち、特に心理的効果についての考察を深めている。研究手法を心理的効果に重点を置いた理由としては、実際の森林浴に関わるプログラムや森林の環境整備には、心理的な知見が解釈容易であり、計画に反映しやすく、現場レベルで有用であることと、個人特性を考慮した分類では、生理的な差異の測定や抽出が非常に困難であることが考慮されている。

高山氏の実験の手法は、森林環境と都市環境の二対比較において、これまでの課題であった被験者の森林に対する印象、森林に対する知識や経験、性格、価値観、自己効力感などの「個人差」の側面から森林浴の低減効果を考察していることに特徴がある。その研究成果をふま

え、高山氏はさらに現代の日本において急増している気分障害、不安障害などの精神疾患の予備軍となる神経症傾向にも着目し、その傾向を持つ被験者を対象にして、森林浴が気分変化などにどのような作用をもたらすかを調べ、神経症傾向の高い人々こそ、森林浴がより心理的に効果的な場合がある可能性を示している。

これらの分析結果をふまえ、本書の最後では、個人差に配慮したプログラムのあり方、森林環境の整備方策についても言及され、「心身相関：こころとからだの有機的相関性」をキーコンセプトにした、森林浴による心理的な健康状態の維持、増進、回復を目指されている。

今後の課題としては、天候をはじめ、森林の植生、樹木密度、林内照度などとの関連性といった森林ハードの問題と、より「効果的な」プログラムのあり方といったソフト面の課題があげられている。

森林浴の与える効果を簡単な紋切型で片づけてしまうのではなく、関連する要素を一つ一つ検証してエビデンスを構築していく高山氏の姿勢と手法には学ぶことが多い。森林浴の可能性と魅力をさらにひろげていく好著である。

上原 巖（東京農業大学）

虫・コレ—自然がつくりだした色とデザイン

海野和男著、丸善出版株式会社、2011年6月、104ページ、1,890円（税込）、ISBN978-4-621-08370-3

パリ・コレならぬ、「虫・コレ」。昆虫写真家として有名な著者が、昆虫の美しい色や不思議な模様をテーマに集めた「宝石箱」のような写真集である。標本を超クローズアップに写した写真を、B5判のページいっぱい配置した贅沢な構成になっており、ばらばらとめくるだけでもその美しさに惚れ惚れしてしまう。

「蝶々たちのカラフルコーディネート」では、チョウのカラフルな翅の色を表現するため、鱗粉一つ一つがはっきりわか

るほど接写した写真が集められている。「虫のデザインにクローズアップ！」では、コガネムシやタマムシなどを接写し、色や模様はもちろん、超クローズアップにしなければわからない体表の点刻や毛、質感などを表現した写真が集められている。「虫のいろいろ仲間たち」では、苔に擬態したキリギリスやメタリックに輝く甲虫、不思議な形のクワガタムシなどの写真を集め、「個性派の虫は模様でアピール」では、翅の模様をテーマに、ガやハゴロモなどの翅にある目玉模様や網目模様などが紹介されている。「蝶の翅はキラキラ構造色」では、見る角度によって色が変わるモルフォチョウなどの翅の写真が並べられている。この色の変化は鱗粉の色素によるものではなく、鱗粉表面の微細構造により、特定の波長の光が反射する構造色によるものである。著者が試行錯誤しながら撮影したところでもある。巻末の「解説とデータ」には、各ページの写真一覧がカラーの解説付きで掲載されている。この巻末からめくり始め、興味をもった写真の元ページに飛び、大きな写真でその魅力を堪能するという楽しみ方もできる。超クローズアップにした写真が目飛び込んできて、さながら実体顕微鏡を覗いたときのような感動を味わえるだろう。

本書は、このように標本を超クローズアップに撮影したものを集めた写真集であり、昆虫の生態写真からなる図鑑や作品集のように、彼らの生き様を直接表現したものではない。しかし、「昆虫の色や形はその昆虫が生きていくために必要なものであろう。決して愛好者のためにあるのではなく、昆虫そのものために存在しているのだ」と著者も述べているように、昆虫の色や形から見えてくる彼らの生き様というものもある。著者は、これまで昆虫の擬態をテーマにした写真集や昆虫の顔面ばかりを集めた図鑑なども多数出版してきているが、昆虫の細部の構造や色そのものをテーマにした著作は今回が初めてとなる。本書も、多くの人に昆虫の魅力や生き様を伝え、昆虫の世界に興味を持ってもらいたいという、著者の想いが伝わってくる一冊である。

中川雅允（日本自然科学写真協会）

便利な世の中

白旗 学 (しらはた まなぶ、岩手大学農学部共生環境課程)

先日、ちょっとしたものを探すために、机の引き出しの奥をかき回した。そこには久しぶりに見る箱があり、中にはロットリングの製図ペンをはじめとする文房具類が入っていた。ご存じの方も多いことと思うが、レーザープリンターが普及する以前は、グラフなどそのほとんどを手書きで作成していた。下書きを作り、その上にトレーシングペーパーを重ね、0.1mm単位で異なる太さのペンを数種類用意し、テンプレート定規などを使って清書していくのである。この作業を「墨入れ」と称して、ロットリングの製図ペンは、その時の定番アイテムであった。しかしこのペンは、結構高価で使い方にコツがあったこともあり、学生の頃は安い使い捨てペンを使っていた。給料をもらうようになって、ロットリングの製図ペンをまとめ買い（といっても3種類の太さしか買わなかったが）した時の妙な嬉しさは今でも覚えている。しかし、パソコンとプリンターの進化が一気に進み、数年とたたないうちにレーザープリンターの出現となった。それと同時に有用なグラフソフトが使用できるようになり、あっという間にせっかく買ったロットリングのペンはお蔵入りになってしまった訳である。

墨入れは手間のかかる作業であったが、ひとつひとつ完成形を意識しながら軸の太さやレイアウトを決めて図を作っていくのは、ある面とても楽しい作業ではあった。グラフソフトは確かに便利ではあるが、その反面、デフォルトの設定のまま使用すると同じようなグラフになりがちで、特に表計算ソフトのグラフ機能を使ったものは今ひとつの感が強く、学生さんにはよく注意をしたものだった。便利になったとはいっても、気づかない内に逆にソフトに使われるはめに陥

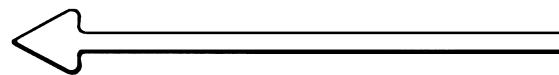
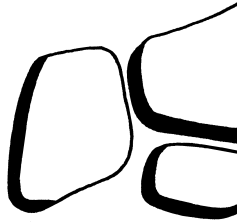
る例のような気がした次第である。

便利になったと言えば、インターネットの普及によって、いながらにして様々な情報を手にすることができるようになったことは大きな進歩であろう。以前は文献ひとつのために図書館に行き、無ければ複写依頼などをして取り寄せてもらう必要があった。電子ジャーナルが利用できるようになり、文献データベースのWeb of Scienceが導入され、一気に駕籠から新幹線にかわったような気分がしたものである（岩手大学では今年からSciVerse Scopusに変更された）。また、ちょっとした調べ事は、Web検索でほとんど用が足りてしまう。本当に便利な世の中になったものである。

さて、私が所属する岩手大学の森林科学コースでは、目標にフォレスターの養成を掲げであり、技術者養成プログラムとしてJABEEから認定されている。PDCAサイクルという言葉は、現在様々な分野ですっかり市民権を得た感があるが、我々教員グループもこの手法に従ってカリキュラム改善の議論を定期的におこなってきた。その席で最近特に話題にしているのは、いかにしてそれぞれの科目を総合化を学生に意識させていくか、ということである。森林を取り扱う科学は間口が広く、一見まったく別分野の講義を勉強しなければいけない。それぞれについてそれなりにわかっているだけにとどまる百科事典的な状態を一步進め、それらが森林科学のどの側面をあらわしており、さらにどの部分でつながっているか、ということ、卒業までにしっかりと意識してもらうためにどうすればよいかを話しあっている。試みとして、後期のとある授業で教員全員を数グループに分け、交代で総合化を意識した内容の演習をおこなうことにした。個人的には、

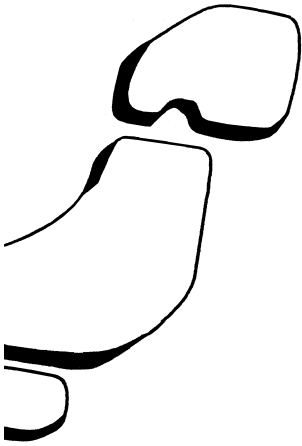
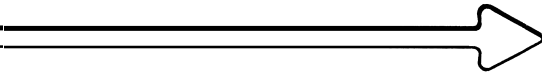
見る方向で問題のとらえ方が変わった、ひとつの問題には複数の講義内容が関係してくるなどを感じてもらえれば良いし、その中で、私たちが作ったカリキュラムの意味に思いを馳せてもらえれば成功だろうと思っている。単純作業

北から



今年も薪能に行った。大きく松を描いた羽目板を背にして三間四方の能舞台には大道具のようなものは無く、開演直前にせいぜい二人がかりで軽々と運ばれ

や情報収集の面では便利な世の中になったが、その多くはツールであり、重要なのはそれらを何のためにどうやって使うのかである。エラそうに言うおきながら、これは私自身に対してもあてはまる言葉だと思ふ毎日である。



南から

日本森林学会支部だより

われることが多い。一本の細竹を手にするだけで登場人物は船人となり、馬上の人ともなる。竹は単に扱い易い素材としてだけでなく、イメージを自在に変化させる可塑性を持ち、同時にその質感ゆえか、舞台を引き締める緊張感も生み出しているように感じる。

日本の文化と切っても切れない繋がりがある竹。その竹が今日の脅威となった原因はどこにあるのか。湯浅浩史氏は高度成長期からタケが利用されなくなったことが一因と述べている（「植物からの警告」ちくま新書）。なるほど竹カンムリの文字を並べてみただけでもそれは納得できる。ざる 笊、まきお 竿、つつ 筒、くだ 管、かご 籠、べろ 簍、すだれ 簾、ふるい 篩、たが 籬、まがき 籬。竹の形状や材質をうまく利用して発達したこれらの品々が、昨今、竹製品として見られることは少ない。

文字にこだわらず見れば、定規はプラスチック製が当たり前となり、小学生のランドセルから頭を出していた竹の物差しは激減した。こんなものまでも、というものに衣文懸けがあった。家にある古い方は竹の両端をうまく曲げて表面を仕上げたシンプルなもの。その後新しく買った方は朱塗りの高級品に似せたプラスチック製。とはいえ、どう見ても高級には見えない。

竹で済むものが、どうしてこう執拗なまでにプラスチックへと置き換えられてきたのか。竹林がこうまであふれかえっているのに、財布と国際情勢を心配しながらプラスチックの原料は輸入され続けている。資源枯渇のためではないことは明白だ。では、プラスチックより精密性に欠けるためだろうか？ 物置から出てきたのは竹製の計算機。加減乗除、平方根、立方根はもとより、三角関数でも対数でも計算できる優れものだ。若い人は知らないかもしれない、これは計算尺というもの。竹に精密な目盛を振り、スラ

イド式に組み合わせて計算結果が出るようになっている機器だ。位置によっては0.5mmよりも細かく目盛が振ってある。わずかでもくるつたら使いものにならない。竹が加工の仕方によっては極めて精密な機器となりうることを証明している。それではやはり製造コストの問題か？ ここに団扇が二つ。竹の骨とプラスチックの骨。今となってはプラスチック製品を竹製に戻すには確かに大きなコストが想像される。しかし、材料転換が始まった高度成長の頃も、そうであったろうか。ふと思い出したのは、当時よく目にしたビニール被覆の竿竹だ。竹の竿に、ビニールをかぶせて、いかにも新素材のように見えて、じつは中身は変わらぬ唐竹の竿。余計なコストをかけてまで自然の風合いを退け、見た目の新しさを求めた時代だったのだ。そして日本人の生活と縁を切られた竹林は、衰退するどころか、見捨てられた者の妄執のように膨張していった。

能舞台の右手には数本の若竹が描かれている。正面の老松がこの芸能の円熟を思わせるのに対して、若竹は常に注ぎ込まれる清冽な力を暗示しているかのようである。能见物の最中、この竹に目が行き、里山竹林で見た若竹と重なった。放置竹林でも場所によっては、折り重なった枯れ竹の中から、はっとするような見事な若竹がすくと伸びていたりする。この身近な再生可能資源である竹が秘めている千変万化の力を引き出す技が消えてしまうとしたら大変惜しいことだ。日本文化はすばらしいと声高に論じられながら、物差しも衣文懸けも涼しささえも輸入品の、どこかしまりのない毎日。一方では拡大を続ける放置竹林。とはいえ竹を有効利用する新しい技術も次々と実用化されている。竹林の将来は私たちの発想力次第なのだと思ふ。

竹に思う

大宮 徹（おおみや とおる、富山県農林水産総合技術センター・森林研究所）

てくる作り物と呼ばれる舞台装置があるにとどまる。その多くは割竹などを骨格として、家や車や塚までも極限まで単純化して表現している。小道具にも竹が使

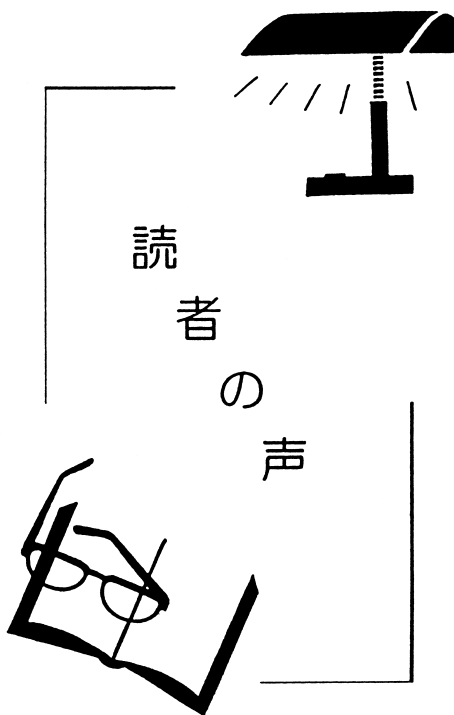
森林ボランティアの活動で 得られたもの

篠原 慶規
(九州大学農学研究院)

私は、学部生の頃から月に1回から2回、週末は「森を育てる会」という森林ボランティアに参加しています。森を育てる会は、1995年に設立された団体で、小さい子供から高齢の方まで約50の方が入会されています。活動場所は、福岡市近郊の油山自然観察の森です。ここでは、市民の方々が気軽に自然と触れ合える公園となっています。森を育てる会では、油山自然観察の森の中の「カブトムシの森」と「アカマツ林」の2ヶ所で主に活動を行っています。カブトムシの森は、甲虫が集まる明るい森を目指してクヌギ・コナラが植栽された林で、間伐や草刈りなどの活動を主にしています。アカマツ林の活動場所は、マツ枯れの影響で福岡県では貴重になったアカマツ群落の中にあり、シダ刈りや落ち葉かき、広葉樹の除伐などを行っています。このような活動の他にも、植生や甲虫などの調査、講師の方を招いての勉強会も積極的に行っています。

私は会に入会して8年になりますが、始めのうちは、活動の意義について自問自答する日々でした。私がボランティアを始めたきっかけは、間伐などの森林整備を行って、森林を少しでも良くしたいという思いからでした。一方で、私たちはチェーンソーを使うこともないので、1回の活動でできる範囲や量は限られています。また、草刈りや甲虫調査など、(私が思っていた)森林を良くするということと関係の薄そうな活動も数多くあります。

しかし悩みながらもボランティア活動を続けたことで、他では学べない数多くのことを学べたのではないかと考えています。ボランティアに参加している方々の動機は人それぞれです。ともかく体を動かすのが好きだという人もいますし、活動中も常に図鑑を片手に昆虫を探している昆虫好きの人、伐り出した木で工作



するのを楽しみにしている人たちもいます。このような方々から、それぞれの得意分野のことを教えてもらえるのは楽しいですし、様々な視点からの森の見方を学べることは良い勉強になります。

その中でも特に良かったと思うことは、私たちの世代では感じることの少ない、普段の生活と森林との関わりについて触れられることのように思います。例えば、それぞれの木の利用法や遊び方などを、会員の皆さんの経験に基づいて色々教えてもらいました。このようなことは、(大学教員の私が言うのもなんですが、)学校ではあまり教えてくれませんが、また、人間の生活や文化は刻々と変化していきますし、今ここでしか学べないことも多いのではないかと考えています。

もう1つは、森林に対して、一般の方々が興味を持っていることや、考えていることを聞けることです。このような話を聞けることは、大学で森林の教育や研究を生業とするものとして、とても貴重なことではないかと考えています。私自身、

大学院入学から数えてまだ6~7年ほどしか研究を行っていませんが、研究を始める前に考えていたことを少しずつ忘れていくような気がします。しかし、会員の皆さんと話をすることで、私が研究を始める前に思っていた感覚を少しでも思い出させてくれるような気がしています。また同時に、研究で科学的に明らかにされていることと、一般の方々の感覚は違うなということを感じることが出来ます。ボランティアを通して、市民の方々のざっくばらんな本音を聞けることは、これからの私自身の研究の道筋を考える上でも、とても有意義なことではないかと思っています。

このように、今は活動に非常に満足しているのですが、それに加えてここ最近、活動の意義も私なりに見いだせるようになってきました。それは、森を育てる会は、市民の方々が、森林に興味を持ってもらう入り口としての役割が担えているのではないかとことです。森林がかかえる問題を解決していくためには、まず、多くの方々に森林について関心を持ってもらうことが重要なことだと思えます。森を育てる会の活動は、アクティブに活動したい人には少し物足りないかもしれませんが、特殊な技能や技術を持っていなくても参加できる活動ばかりです。そのため、家族や子供連れで参加されている方々も多くいらっしゃいます。このように、森林に関心を持ってくれる人たちの裾野を広げていけるような活動ができれば、会の活動はとても意義深いものになるのではないかと考えています。

一般的に研究者は、知識はあるけれど、現場のことを知らないと言われることが多くあります。私も、会の活動などに参加して、知らないことだらけだなぁと痛感させられます。せっかくの週末の朝に、眠い目をこすって家を出るのには大きな葛藤がありますが、活動を終え、帰ってみると気持ちの良いものです。皆さんも新たな発見を求めて、週末のひと時を森林で過ごしてみたいはいかがでしょうか。

【お詫び】森林科学 65号・レイアウトの不備について

この度、森林科学 65号の編集過程におきましてレイアウトミスが生じ、記事の判読が一部困難となつてしまいました。読者の皆様、並びに関係者の皆様に多大なご迷惑をおかけしましたことを深くお詫びすると共に、今後このようなミスが生じないよう、万全を期したいと存じます。 (森林科学編集部)

該当記事：森林科学 65号・第二特集「福島原発事故の森林生態系への放射能汚染影響を考える」：41
ページ

修正内容：図 12 が本文上に配置され、下記 48 文字が判読不能となっています。

『き必要があると思います。

吉田：今の恩田先生の考え方は全くその通りだと思います。今後何か対策を取っ』

森林科学 67

予告

特集

ブナ林の衰退—丹沢山地の事例から— (仮)

森めぐり

無名の戦士—胴杉— (仮)

森林科学 67 は 2013 年 2 月発行予定です。ご期待ください。

お知らせ

- ・「森林科学」では読者の皆様からの「森林科学誌に関する」ご意見やご質問をお受けし、双方方向情報交換を実践したいと考えております。手紙、fax、e-mail で編集主事までお寄せ下さい。
- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、創刊号からの目次がご覧いただけます。また、バックナンバー（完売の号あり）の購入申し込みもできます。
- ・56号以降については、森林学会会員の方は別途お送りするパスワードでオンライン版をご利用になれます。パスワードに関するお問い合わせは編集主事へどうぞ。

森林科学編集委員会

委員長	田中 浩 (森林総研)
委員	壁谷 大介* (造林/森林総研)
	宮本 麻子* (経営/森林総研)
	藤田 曜 (動物/自然環境研究セ)
	清水 貴範 (防災/森林総研)
	谷脇 徹 (保護/神奈川県自然環境保全セ)
	笹川 裕史 (経営/日本林業技術協会)
	橋本 昌司 (土壌/森林総研)
	都築 伸行 (林政/森林総研)
	磯田 圭哉 (育種/森林総研林育セ)
	橘 隆一 (防災/東京農大)
	吉岡 拓如 (利用/日本大)
	田中 憲蔵 (造林/森林総研)
	宮本 敏澄 (北海道支部/北海道大)
	白旗 学 (東北支部/岩手大)
	逢沢 峰昭 (関東支部/宇都宮大)
	相浦 英春 (中部支部/富山県森林研)
	芳賀 弘和 (関西支部/鳥取大)
	津山 孝人 (九州支部/九州大)

(*は主事兼務)

編集後記

今号の特集は「津波と海岸林」です。東日本大震災を引き起こしたあの地震は、比較的震源から離れている茨城南部に住む私にも、強烈な記憶として残っています。あれから長く苦しい1日を重ねてきた方に心を寄せつつ、一方で1年半という月日の「短さ」も感じます。この期間、さまざまな葛藤を抱えながら調査を行い、この速報性の高い内容を記事として寄せていただいた執筆者の皆様には、この場を借りて深く感謝申し上げます。

ところで私、森林科学の編集を担当するまでは、この雑誌はナナメ読みするのがせいぜいで、記事の構成なども気にしたことはありませんでした。近頃はさすがに掲載されている内容に気を配るようになりましたが、それでも未だ、全部を通して読んだことはないという、まあ（良くない意味で）いい加減な編集者です。

ところが今号では、特集記事に加えて、森林の保水力に関する解説記事と、今年度から毎号担当している“森をはかる”の編集をさせていただきました。特集記事は勿論、携わった原稿はどれも気合に漲っており、不良編集者にはとすると手に余りそうな状況を、必死に食らいついて…

ようやく編集後記を書くに至っています。おかげさまで、読者の皆さまに先んじて大半の記事を熟読することができ、「森林科学」を改めて見直しているところです（すみません）。

そこで、言葉足らずでいささか恥ずかしいのですが、今号について、いまま少しのコメントを：特集記事、および今回担当させていただいた記事に通底しているのは、「森林による環境インパクトの変性作用」を取り上げていることだと思います。この括りにピンときそうな方や、「もっと上手いこと言えんのか」という方には、今号を是非とも読んでいただきたいと思います。とはいえ、この編集後記まで読んでおられる素敵な方は、既に記事は読了されているものと思います。そこで、もし宜しければ、今号の記事にいささかなりとも関わりありそうな方に「今回の森林科学、読んだ？」とお勧め頂ければ、当方無上の喜びです。また、私もこれを機会に、今後はもう少し良い読者になろうと思います。

(編集委員 清水 貴範)



7 年 先 の 確 かな 未 来 を

確かな効果

豊富なデータが裏付ける確かな効果で

皆様の信頼に応えてきた

グリーンガード・NEOは

7年間の薬効期間という

新たな時代の夜明けを

迎えました。



松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

Greenguard® NEO

農林水産省登録：第22028号

グリーンガードホームページ

www.greenguard.jp/



「ぽんっ」と叩いて即座に診断。 — 打撃音樹内腐朽簡易診断装置 —

ぽん太



- 今まで樹木医などの専門家では判断できなかった打診音を客観的な数値で評価できます。
- 多くの大学や協会からも推薦をいただいています。

樹種を選び、周長を計測・入力、あとは「ぽんっ」と5回叩けばOK。

① 機種種の選択

測定する樹種を選択します。樹種ごとに値が異なりますので、正しい樹種を選んで下さい。

※下記の14樹種に対応しております。H23.10現在

- ・アオギリ
- ・イチヨウ
- ・クス
- ・ケヤキ
- ・サクラ
- ・フラタナス
- ・トウカエデ
- ・モミジバウフ
- ・ユリノキ
- ・ヒノキ
- ・クロマツ
- ・アカマツ
- ・スギ
- ・ホウソウ

今後、随時樹種を追加します。
追加した場合は、無料でアップデートいたします。



② 直径の入力

メジャーで直径を測ります。



測った直径を入力します。
数値の入力は指でできます。

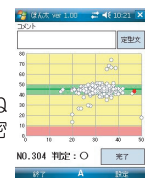
③ 打診音の計測

胸高の位置を、専用のハンマーでリズムカルに手首を使って5回打撃します。



④ 判定結果

今まで測定したデータとともに、今回測定した結果が表示されます。緑の範囲にはいっていただければおおむね健全です。黄色、赤の範囲では精密診断を要します。



片手で持てるコンパクトさ。
優れたコストパフォーマンス。



ぽん太

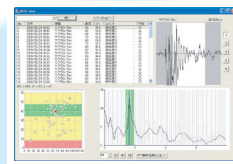
価格：189,000円
重量：306.5kg
外形寸法：
縦 144.2mm
横 82.2mm
重量 306.5g

専用打診ハンマー

価格：1,680円



最適な打撃音を出します。



データ分析・帳票用印刷プログラム

(Windows用)

価格：48,300円

開発・製造・販売

詳しくはコチラ...



株式会社ワールド測量設計

〒693-0013 島根県出雲市萩町274-2

TEL: 0853-24-8133 URL: <http://www.world-ss.co.jp/>

FAX: 0853-25-0299 メール: ponta@world-ss.co.jp

ワールド測量設計

検索

街路樹

公園樹等の正確

迅速な腐朽診断を実現!