ISSN 0917-1908

JAPANESE FOREST SOCIETY · 1914 ·

森林科学

［特 集］

広葉樹林への誘導の可能性

シリーズ

森めぐり（新連載）

マレーシアサラワク州ニア森林保護区
高知大学演習林（嶺北フィールド）

うごく森

北上するマツ材線虫病

現場の要請を受けての研究

サンブスギ間伐手遅れ林分管理指針の作成

No. 59
June 2010

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。

専用ターミナル

Reconyx（レコニクス）野生動物撮影カメラ

Reconyx（レコニクス）野生動物撮影カメラはパッシブ赤外線動作検知方式で生態調査や野生動物撮影、不法侵入、不法投棄監視に最適です。日中、夜間に関わらず自動撮影可能です。夜間は赤外線撮影（暗視撮影）となり動物や人に気づかれること無く撮影ができます。

モデル	RM45	RC55	RC60
トリガースピード	1/10 秒	1/5 秒	1/5 秒
ニアビデオ機能	2 フレーム / 秒	1 フレーム / 秒	1 フレーム / 秒
解像度	1.3M px/ モノクロ	日中 3.1M px/ カラー 夜間 3.1M px/ モノクロ	日中 3.1M px/ カラー 夜間 3.1M px/ モノクロ
赤外線照射距離	15m	18m	10.5m
サイズ	23 x 24 x 8 cm	23 x 24 x 8 cm	23 x 24 x 8 cm
重量（バッテリー無）	970g	970g	970g

GiSupply
http://www.gisup.com
株式会社ジーアイサプライ
〒071-1424 北海道上川郡東川町南町 3 丁目 8-15
TEL 0166（85）7668　FAX 0166（85）7669
info@gisup.com

フリーダイヤル カタログ請求・お問合せは
0800（600）4132

森林科学 59

contents 2010.6

特集 広葉樹林への誘導の可能性

人工林を広葉樹林にする
—誘導する意義とその可能性— 2
田内　裕之

広葉樹林化に科学的根拠はあるのか？
—温帯林の種多様性維持メカニズムに照らして— 3
清和　研二

広葉樹林化に適した森林を GIS で抽出する 9
小田　三保・三樹　陽一郎・平田　泰雅

暖温帯域における広葉樹林化の可能性 13
島田　博匡・野々田　稔郎

北海道における広葉樹林化の可能性 17
今　博計

広葉樹林化の目標林型と更新基準 22
田内　裕之

森林科学　No.59
2010 年 6 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　田中　浩
発行人　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：ブンバンで作られた敷物
イバン族に伝わる伝統的な模様が編みこまれている。（マレーシアサラワク州にて撮影）
森めぐり「マレーシアサラワク州ニア森林保護区」より（27 ページ）

（新連載）
シリーズ　森めぐり
マレーシアサラワク州ニア森林保護区 26
田中　憲蔵
高知大学演習林（嶺北フィールド） 28
塚本　次郎

コラム　森の休憩室Ⅱ　樹とともに
緑の匂い 30
二階堂　太郎

シリーズ　現場の要請を受けての研究
サンブスギ間伐手遅れ林分管理指針の作成 31
福島　成樹

シリーズ　うごく森
北上するマツ材線虫病 35
中村　克典

シリーズ　森をはかる
39 湿原の面積をはかる
—湿原と森林の境界線の移動の計測—
安田　正次
40 樹木のライフライン
樹体内の水の状態を調べる
矢崎　健一

記録
41 私たちの生活と京都議定書
—財団法人林学会シンポジウム—
鈴木　和夫

45 Information
ブックス
北から南から

広葉樹林への
誘導の可能性

人工林を広葉樹林にする

―誘導する意義とその可能性―

田内　裕之（たのうち　ひろゆき、森林総合研究所四国支所）

針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する「広葉樹林化」については、近年の森林に対する多面的機能の発揮という要請に応えるため、多様で健全な森林の整備の一つとしてその推進が図られている（H21 年度森林・林業白書など）。しかし、人工林を広葉樹林へ誘導する施業は、我々にとって殆んど経験がなく未確立の技術である。

また、広葉樹林と言ってもその内容は千差万別であり、どのような林型が理想であったり目標であるのかも、その考え方には多くの違いがあるはずである。ここでは、広葉樹林施業についての大まかな区分を行い、本特集で取り上げる「広葉樹林化」は、どこを意識しているのかを明確にして、誤解を避けるたようにしたい。

広葉樹林施業には、天然林施業として択伐や小面積皆伐によって更新を図り高木林を維持していく施業と、20 ～ 30 年の伐採周期で皆伐し萌芽更新等によって二次林を維持していく施業とがある。また、人工林施業として単一の広葉樹を植栽し一斉林を育成する施業や、針葉樹人工林の下木として広葉樹を植栽する複層林的な施業がある。また、広葉樹林施業とは言わないかもしれないが、人工林内に初期より定着した広葉樹を共存させ混交林仕立てにする施業なども存在する。近年の社会の要請は、人工林を省力的に混交林化もしくは広葉樹林化しようとするものであり、そこでは強度の抜き伐り（更新伐）を行い、天然更新（一部は植栽）によって後継木の定着を図ろうと言う意図がある。ここで取り上げる「広葉樹林化」はこのことを指し、今までの施業とは異なるものである（図）。

さて、この「広葉樹林化」については、木材生産機能（物質生産機能）よりも、公益的機能の発揮が求められている場合が多い。特に大きな期待が寄せられているのは生物多様性の保全機能であるが、広葉樹林およびその誘導がどれだけの意義を持っているのか、つまりその施業は自然科学的根拠に基づいた合理性を持っているのかが整理されないまま、推進されようとしている。また、施業技術については、広葉樹林への誘導の第一段階、つまり更新部分の技術開発が始まったばかりである。実際には、このような施業が行われて時間の経っている林分はそれほどは多くはなく、研究者らは上木成長を促すために間伐した林分等を使って更新状況等を調査・研究しているのが現状である。

この特集では、「広葉樹林化」に対して、先ず清和研二さんが自然科学的な根拠を知る上での知識やその意義を解りやすく説明している。次に、施業の導入を決定するツールとして、小田三保さんらは天然更新によって広葉樹林化の可能性がある地域を抽出する方法を、今博計さんや島田博匡さんらは林分単位で広葉樹が更新できる可能性を推定する方法を紹介している。また、国有林や都道府県で設定されている更新基準について、この施業に対して考慮すべき点を記述している。

「広葉樹林化」の全体技術開発まで、成すべき点は数多くあるが、現在の技術開発がどこまで達成されてきているのか、何が問題点なのかをこの特集によって知って頂ければ幸いである。

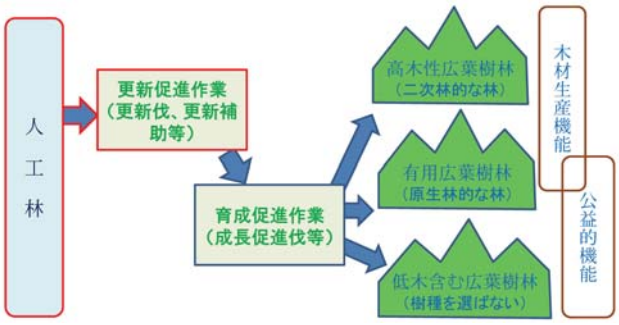


図　人工林を広葉樹林化する場合の作業プロセスと、期待する多面的機能別の目標林型。赤枠の部分が現在の技術開発の主体である。

広葉樹林化に科学的根拠はあるのか？

―温帯林の種多様性維持メカニズムに照らして―

清和　研二（せいわ けんじ、東北大学大学院農学研究科）

1. 広葉樹林化を行う前に知っておくべきこと

現在、針葉樹人工林を強度に抜き伐りして広葉樹を導入し、多様な種から構成される針広混交林を作ろうとする動きが具体化している。いわゆる「広葉樹林化」である。これは、「森林はもともと多様な生物種で構成されているので、本来の自然生態系に倣って針葉樹人工林を多様な種で構成される混交林にもどそう」とするもので、林業白書が 2006 年から森林のもつ機能の第一に挙げている「生物多様性の保全」を具体化したものと考えてよいだろう。さらに「生物多様性は、様々な生態系サービス（多面的な環境保全機能）の働きを活発にすることによって、地球環境の悪化を緩和し生態系を健全にする（Hooper *et al*., 2005）」といった期待も含まれている。さらに「生物多様性の回復が木材生産の持続性に通じるだろう」といったシナリオも、健全な林業経営を志す人たちの中には多いと考えられる（森林施業研究会 2007）。

しかし、このような期待やシナリオにはどのような科学的根拠があるのだろうか？ 種多様性の回復が持続的な森林管理や林業経営につながる科学的な根拠はどこにあるのか？これまでの針葉樹人工林施業については、今となってはその是非には色々な意見もあるだろうが、密度管理や収穫予測など自然科学的研究に基づく合理的な施業方法や管理指針が提唱されて、学問と施業が両輪となって実践されてきた。しかし、今、広葉樹林化といった新しい施業を展開するにあたり、どのような施業が自然科学に基づいた合理性なものなのか、その科学的論拠をきちんと整理する必要があるだろう。

広葉樹林化の技術的側面を議論する前に、自然科学、とくに森林生態学的な面で最低限知っておくべきことは 2 つあると考えられる（図 -1）。1 つは、種多様性はどんなメカニズムで維持されているのか？ということである。森林はほっておいたら多様な種構成になるのか？もしそうであれば、そのメカニズムをまず解明し、そのメカニズムに沿った多様性の復元（広葉樹林化）が可能になるだろう。それとも偶然に多様性が出来上がるのであれば、多様性の復元をあえてやる必要性は小さいだろう。いずれにしても、温帯林における種多様性維持メカニズムの最新の知見について知っておく必要はあるだろう。

2 つ目は森林の種多様性が人間にどんな福音をもたらすかを明らかにすることである。多様な種で構成されている森林は、果たして単純な人工林より、CO_2 固定・水源涵養・病虫獣害防止などの生態系サービスが勝るのだろうか？生態系サービスに関する研究は草地生態系を中心に進んでいる。より種が豊富な植物群集ほど、土壌栄養塩の利用効率が高く、したがって、バイオマス生産も高くなる。また病気に対する耐性も高く長期的に生産量は安定することなどが良く知られている（Hooper *et al*., 2005）。しかし、森林における種多様性と生態系サービスについては熱帯林などで検証が始まったばかりであり（Steffan-Dewenter *et al*., 2007）、実験的に種数を変えて検証した例はまだない。

そこで、本論では、落葉広葉樹林における種多様性維持メカニズムを紹介し、広葉樹林化に生態学的な根拠があるかどうかを検証してみたい。

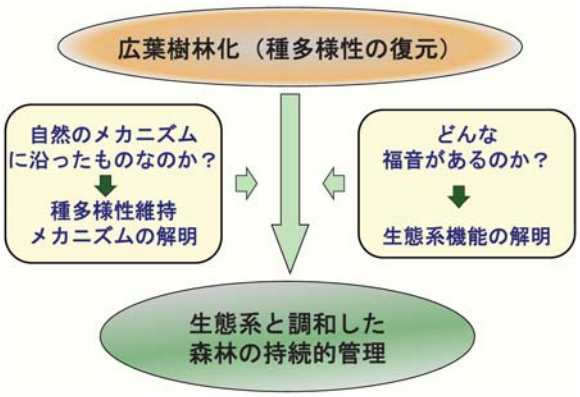


図 -1　広葉樹林化に必要な 2 つの科学的根拠

2. 非生物的な環境の違いが作り出す種の多様性

a）地形がつくる多様性

日本の森林は急峻で起伏に富んだ地形をしている。宮城県北部の老熟林（6ha）を 600 個の 10 × 10 m の方形区に分け、それらを尾根・斜面・谷の 3 つに地形区分した。それぞれの方形区の土壌の水分と CN 比（炭素と窒素の比率）を調べたところ、尾根では土壌中の水分・窒素量とも最も少なく痩せており、一方、谷では両者とも最も多くなり肥沃であることが分かった（寺原ほか 2004, Ueno *et al*., 未発表）。さらに、5 cm 以上の樹木の毎木調査をしたところ、出現した落葉広葉樹 60 種のうち、ミズナラ・クリ・アカシデなど 14 種は尾根に偏って分布し、一方、ブナ・トチノキなど 8 種は斜面や谷に偏って分布していた（図 –2）。つまり、地形に沿って土壌の資源量は大きく変化し、さらに、その資源量に応じて全体の約 3 分の 1 の樹種は生育場所が決定されていた。言い換えると、これら 2 つの樹種グループは生育に必要とする水分量や土壌養分量が異なると考えられ、地形による資源量のバラツキがあることによって、この森林での共存が可能になっている。

しかし、このように地形による資源量の勾配だけで樹木の分布が決まっているとすれば、湿潤で肥沃な斜面下部にスギを、乾燥して痩せている斜面上部にはヒノキやアカマツ林を植栽すれば良いことになる。また、広葉樹を植栽して、針広混交林を造成するといった場合でも、トチノキやヤチダモは斜面下部に、クリやアカシデは上部に植栽するといった、これまでの「適地適木」といった考え方を支持している。しかし、この考え方からは、地形別に大面積で同じ樹種を植えても良いことになり、単木的に広葉樹を混交させる必要性は導かれない。

b）中規模撹乱仮説

成熟した森林では、大型の台風、山火事、地滑りなどにより樹木が倒されたり焼かれたりして、稀に大きな明るい林冠の隙き間（ギャップ）が形成される。また、強風などでも小さなギャップが頻繁にできる。大面積のギャップには明るい所を好む成長の早い遷移初期種（先駆種）が優占し、一方、小さなギャップでは暗くても少しずつ大きくなる遷移後期種が主に更新することは良く知られた事実である。コンネルは 1978 年に、中規模な撹乱（ギャップ）が適当な頻度で起きれば、遷移初期種も後期種も混在し共存する種数は増加する、といった中規模撹乱仮説を提唱した。この仮説は熱帯林ですでに実証されている（Molino & Sabatier, 2001）。しかし温帯林ではまだ実証されていない。もし、温帯林でも種多様性が作り出される最適なギャップサイズがあるとすれば、針葉樹人工林においても最適な抜き伐り強度や群状皆伐面積があるだろう。また、広い人工林に様々なサイズのギャップを混在させることによって種多様性を維持する方法も考えられる。いずれにしても実際に大規模な操作実験を行い解明すべきだろう。

c）複数の非生物的な環境の組み合わせ

一つの森林内では、地形にともなう土壌環境（水分・養分）の勾配とギャップ形成による光環境の勾配の 2 軸を組み合わせると様々な微環境に区分することができ、より細かなニッチェ分化が可能になる。例えば、尾根筋の大きなギャップではヤマナラシやアカシデなどが更新し、比較的小さなギャップではアオダモなどが更新している。一方、谷筋では、撹乱後にはサワグルミなど

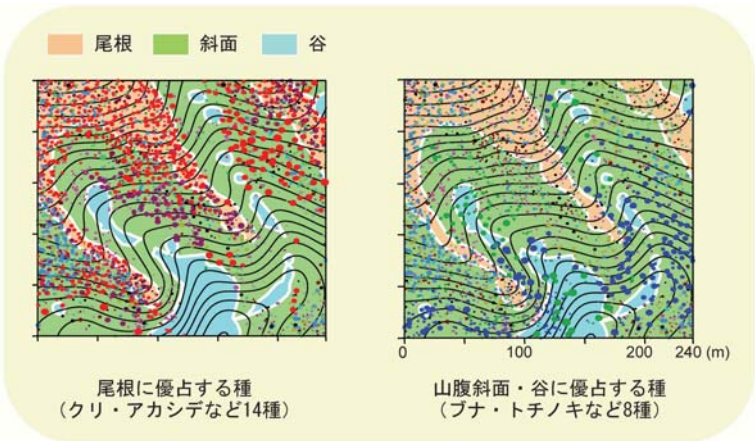


図 –2　地形と樹木の分布パターン（寺原ら 2004 から作図）

が、小さなギャップではトチノキやイタヤカエデなどが更新している。このように資源環境が多様であれば、環境要求性の異なる多くの樹種が共存できる（Tilman, 1988）。これは、似たような環境要求性をもつ幾つかの樹種グループ（ギルド）ごとの群状混交の論拠にはなるだろう。しかし、ここからも多様な広葉樹を単木的に混交させる必然性は導かれ得ない。

3. 菌類や植食者などとの生物間の相互作用が創る種多様性

樹木にとっての環境は、土壌養分や光など「非生物的な」ものだけではない。花粉や種子を運ぶ昆虫･鳥･げっ歯類、さらには共生菌・病原菌などの様々な分類群の動物や微生物たちもまた、「生物的な」環境である。これら生物的な環境によって、より狭いスケールでの混交が促進され、種多様性が創り上げられていることが温帯林でも明らかになってきている。

a）ジャンゼン - コンネル仮説

この仮説は熱帯林の高い種多様性を説明するものとして発表されて以来（Janzen, 1970）、熱帯を中心に多くの実証例が報告されている。この仮説は図 –3 のような簡単なグラフで説明される。樹木の種子や実生は、親木に近い場所ほど密度が高く、遠くに散布されると密度は低くなる。このまま、親木に近い所でも遠い所でも同じ確率で子個体（種子・実生や稚樹）が生き延びれば、同種の個体が同心円状に広がり、どんどん増えていき優占していく。しかし、親木の近くに散布された種子や実生は、その種だけを選んで攻撃する種特異的な病原菌や植食者などによってほぼ全滅してしまう。すると、親木から離れた場所で発芽した個体だけが生き残り、その結果、更新できる稚樹は親木から、十数メートルから数十メートル離れたところに見られるようになる（図 –3）。これは、親個体と子個体の間に他種の稚樹が更新できるスペースができることを意味する。このような現象が、1 つの森林で、しかも多くの樹種で見られるならば多様な種が共存できるというものである。

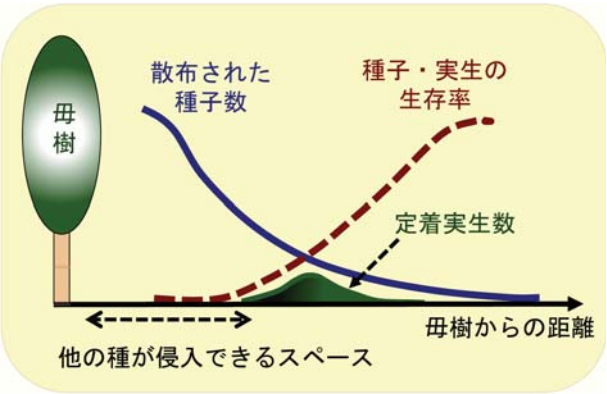


図 –3　ジャンゼン - コンネル 仮説

温帯林でこの仮説が初めて検証されたのは 2000 年で、熱帯林でこの仮説が発表されてから 30 年も経っていた。しかし、近年、この仮説の実証例は増えつつある。ここではウワミズザクラを例に見てみよう（Seiwa *et al*., 2008）。ウワミズザクラの当年生実生の密度は親木に近いほど高く、親木から離れるほど低くなったが、逆に、実生の死亡率は親木に近いほど高くなった（図 –4a）。特に親木の近くでは実生は土壌中に生息する立ち枯れ病菌や葉の病気であるウワミズザクラ角斑病で死亡した（図 –4a）。ウワミズザクラ角斑病は親木の罹病葉が落下することによって子個体に感染するため、親木の近くの稚樹に感染しやすく、それも毎年感染を繰り返すため、親木の下では稚樹は最大でも 10 cm に満たず、

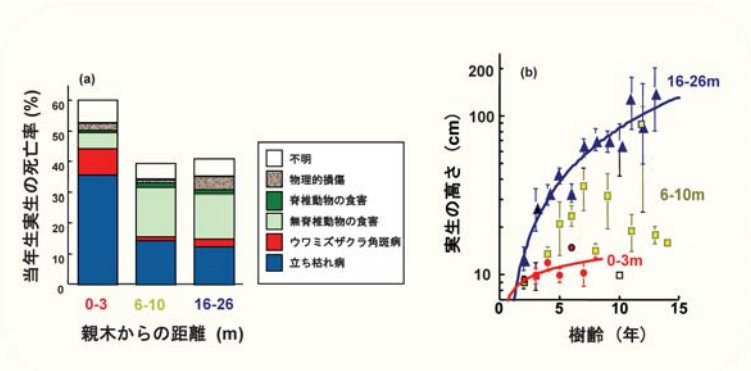


図 –4　ウワミズザクラの親木からの距離別の当年生実生の死亡率（a）と実生の伸長パターン（b）。（Seiwa *et al*., 2008 を改変）。

10 年ほどですべて死亡した（図 -4b）。一方、親木から 16 m 以上離れた場所では、罹病葉の散布も見られず稚樹は 1.5 m 程度までに大きくなり 15 年生まで順調に育った。林内は暗いのでこれ以上は大きくならず、稚樹はそのまま長い間待機し、ギャップが出来たら林冠木になっていく。したがって、ウワミズザクラの成木が互いに離れて分布しているのは、このようなプロセスの結果だと考えられる。

また、ウワミズザクラ角斑病を単離培養し、3 種の実生に接種したところ、アオダモやミズキに比べて、ウワミズザクラへの感染率が最も高くなった（Seiwa *et al*., 2008）。これは、ウワミズザクラの下ではウワミズザクラの実生は母樹由来の病気に感染して死ぬが、他の種は生き残ることができることを意味している。このようにある種の病原菌が特定の種をより強く攻撃することを種特異性と呼んでいる。このような種特異性は、多くの樹種の当年生実生の立ち枯れ病を引き起こす土壌菌でも見つかっている（Yamazaki *et al*., 2009）。つまり、ある種の親木の近くでは、いろいろな樹種の実生が生育しているが、その中でもとりわけ同種の実生が立ち枯れ病によって死んでしまうのである。多分、成木の下では種子が大量に落下し実生の密度が高く、菌類にとってはエサが豊富にあるので、そこで世代交代を繰り返しているうちに、その親木の子供（同種の実生）をより強く加害するように短期間に進化（分化）したためだと考えられている。このような種特異性は、親木の下で同種の実生は死ぬが他種は定着できるというメカニズムを説明する上で極めて重要で、ジャンゼン - コンネル仮説の根幹をなすものである。このように微生物と樹木のフィードバックが森林の種多様性に大きく関与しているのである。

ジャンゼン - コンネルメカニズムが 1 種で見られても森林の種多様性は説明できない。1 つの森林で共存する複数種で見られなければこの仮説は有効ではない。そこで、冷温帯林の主要 8 種での播種実験を行ったところ、ウワミズザクラの他にもミズキ、アオダモ、ホオノキ、ブナ、クリの 6 種で親木の近くの実生群の死亡率が親木から離れた所よりも高いという結果が得られた（Yamazaki *et al*., 2009）。これは、ジャンゼン - コンネル仮説は温帯林を構成する多く樹種で成立することを示唆している。鳥やネズミに種子を遠くに運んでもらったものが生き残り、親木の下に落ちたものは菌類や植食者などの加害によって死亡することによって種多様性が創り上げられているのだろう。すなわち、森林の種多様性は生態系を構成する多くの分類群の生物の相互作用の結果であり、長い間の生物間の相互作用の進化の帰結として出来上がったものと考えられる。それも、数メートルから 10 数メートル程度のかなり狭い範囲での樹種の混交を促している。これらの事実は、針葉樹単純林から種が豊富な針広混交林への復元、それも単木的に混交させることが、自然のメカニズムに沿ったものであることを示唆している。

b）優占種の寡占を抑えるメカニズム（負の密度依存性モデル）

ジャンゼン - コンネル仮説は、成木が離散的に分布（点在）しているようなサクラ類・ミズキ・ホオノキなどの非優占種では一般的に成立すると考えられる。しかし、ブナなどの優占種では、もともと親木がまとまった集団（パッチ）で分布しているので、この仮説を単純に当てはめるわけにはいかない。しかし、優占種の集団がどんどん周囲に広がるようであれば、一つの森林で寡占が起こり多様性は減少する。種多様性が維持されるためには、優占種の集団サイズを抑えるメカニズムが働く必要がある。近年、ボルネオの熱帯林で優占するフタバガキ科樹木の 1 種で、集団の密度が高ければその増加率を押さえるメカニズム（負の密度依存性）が働くことが報告されている（Blundell & Peart, 2004）。この種の成木が高密度でみられる集団（パッチ）では、同種の実生だけが激しく食害され、他種しか更新できなかった。一方、成木が低密度に分布する場所では食害も少なく実生は大きく成長し上層林冠を目指して成長していた。このように集団（パッチ）の密度が高いほどその部分の個体群の成長率が低くなるといった負の密度依存性は、優占種の寡占を制限することとなり種多様性が維持されることにつながる。これと同じようなメカニズムが働いていることが宮城県北部の落葉広葉樹林で優占するブナにおいても報告されている（Tomita *et al*., 2002, 清和 2005）。温帯林では優占種がパッチ状に優占するのはよく見られることであるが、そこでは次世代は必ずしも更新しない場合が多いと考えられる。むしろ、他種が優占している場所で良く更新するといった置き換わり、ともいえる寡占を妨げるメカニズムがあると考えられる。このようなメカニズムは、まだ十分に解明されてはいないが、優占度の高い樹種が共存している温帯林の動態や種多様性の

説明にも有効だろう。したがって、優占種となる広葉樹を人工林に導入する際には第一世代はある程度広い面積で優占させても良いだろうが、次世代以降の更新は注意する必要があると考えられる。

4. 非生物的環境と生物的環境の両者が関わって多様性を創る

森林の種多様性を創る要因として、本論では非生物的な環境の不均一性、あるいは生物間の相互作用、といった２つを別々に挙げて論じてきた。しかし、近年、両者は相互に関連しており、互いに影響し合いながら多様性が出来上がるのではないかと考えられている（Nakashizuka, 2000; Chesson & Kuang, 2007）。その中で、近年特に注目されているのが、成長と生存のトレードオフ モデルである。北海道の落葉広葉樹林での検証例（Seiwa, 2007）を紹介する（図 –5）。ミズナラやイタヤカエデなどいわゆる耐陰性の高い遷移後期種はシラカンバやケヤマハンノキなど先駆種に比べ、暗い林内での生存率は高いがギャップでの成長率は低い。もし、林内でも生存率が高くギャップでも早く成長する種があれば、その種の寡占が始まるだろう。しかし、そうはならないで先駆種と遷移後期種の間で成長と生存の間にトレードオフ関係が成立すると、それぞれがギャップと林内で更新できる確率は同じとなり、これらの種は一つの森林内で共存できる。

このトレードオフ関係は光環境の違いだけで説明できるものではなく、その背後に病原菌や植食者に対する樹木の防御戦略があることが分かってきた（Imaji & Seiwa, 2010）。これまで、実生が暗い林内で死亡するのは、光合成がうまくできず炭素収支が悪化するためだと考えられてきたが、林内で死んだ実生をよく見ると図 –4 に示してあるように病気やネズミなどの食害などで死ぬものがほとんどである。そこで、暗い林内で生き続けるため、ミズナラなど遷移後期種はフェノール類やタンニンなど２次代謝産物を特に葉に多く投資し、植食者や菌類の攻撃を防御しているのである（Imaji & Seiwa, 2010）。さらに地上部を食害されても萌芽できるようにデンプンや糖類などを根に大量に貯蔵することによって林内での生存率を上げているのである（Imaji & Seiwa, 2010）。しかし、防御や貯蔵に大きな投資をすると、逆に成長への分配は大きく減ってしまい、このような樹種はギャップでの成長率は低くなってしまう。一方、ギャップに依存して更新する先駆種は、隣接する他の植物との光りを巡る競争に打ち勝つため、被食防衛や貯蔵には投資せず、成長に優先的に投資しギャップでの定着を確実にしているのである（Imaji & Seiwa, 2010）。このようにギャップ形成による光環境の不均一性といった非生物的な環境と植食者や菌類といった生物的環境の両者への応答が多様性を創り上げているといった考え方が今では支配的になっている。

5. 結論　―多様性を創る非生物的・生物的要因の重層性―

これまで見て来たように、森林群集における種多様性は、多くの要因が重層的に関わって創り出されていると考えられる（図 –6）。東北地方の落葉広葉樹林帯を例に挙げると、一つの森林では、緯度や経度の勾配によって決まる太陽の放射エネルギー量や温度・降水量および地史的な要因によってある程度種数は決定されており、そ

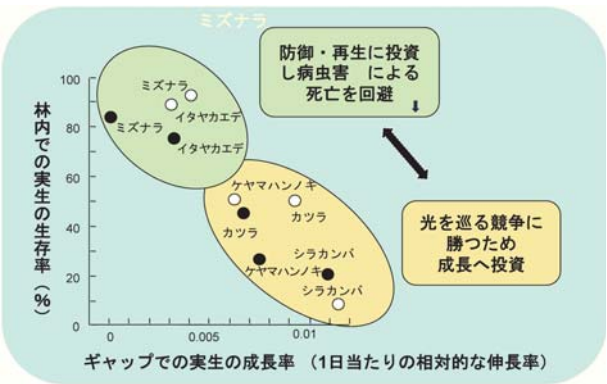


図 –5　成長と生存のトレードオフ
●○ はそれぞれ林床における落葉層の有無を示す。(Seiwa, 2007 を改変)。

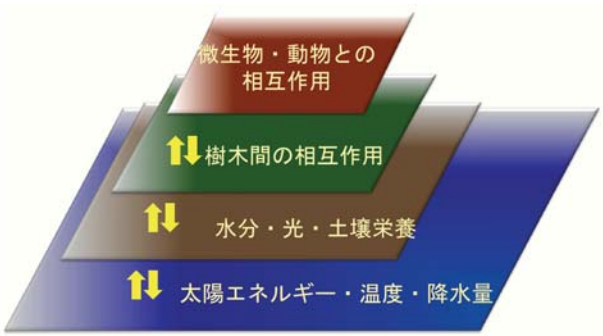


図 –6　種多様性を決定する非生物・生物要因の重層的な階層構造
矢印は互いに作用し合う階層間の関係を示す。

れ以上は増えようがない。しかし、地形の複雑さとそれに伴う土壌環境の勾配、さらにはギャップ形成による光量の勾配などが非生物的な環境の資源量の大きなバラツキを作り出し、環境要求性の異なる樹木種のニッチェを提供することによって、多くの種の共存を作り出している。さらに、鳥類・げっ歯類などによる種子散布、植食者や病原菌などの攻撃、菌根菌など共生菌による養分補給など他の分類群の動物や微生物たちと相互作用によって、より狭いスケールでの森林の種多様性が創り上げられている。これら、非生物的・生物的な環境はそれぞれ独立して作用しているのではなく相互に影響し合いながら、多様性を創り維持しているのであろう。

このように見てくると、単一樹種の大面積造林は、日本の天然林が本来持つ種多様性維持メカニズムとは異なった論理で人工的に作り上げられたものだと言える。日本の森林は様々な要因が複雑に絡み合い、放っておいたら多様な樹種が自然に混交するようになり、種多様性の高い森林になると考えられる。したがって、各種の針葉樹人工林に広葉樹を導入し、種多様性を復元することには、生態学的に根拠があることだと考えられる。それも、比較的狭い範囲に複数の広葉樹を単木的に混交させていくことが、生態系として安定的な森林を作りあげることに繋がるだろう。

参　考　文　献

Blundell AG, Peart DR (2004) Density-dependent population dynamics of a dominant rain forest canopy tree. Ecology 85: 704–715.

Chesson P, Kuang J. (2007) The interaction between predation and competition. Nature 456: 236–238.

Hooper DU *et al*. (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecol. Monogr. 75: 3–35.

Imaji A, Seiwa K. (2010) Carbon allocation to defense, storage, and growth in seedlings of two temperate broad-leaved tree species. Oecologia 162: 273–281.

Janzen DH. (1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests. Am. Nat. 104: 501–528.

Molino JF, Sabatier D. (2001) Tree diversity in tropical rain forest: a validation of the intermediate disturbance hypothesis. Science 294: 1702–1704.

Nakashizuka T. (2000) Species coexistence in temperate, mixed deciduous forest. Trends in Ecology and Evolution 16: 205–210.

清和研二 (2005) 森林の遷移、中村太・小池孝良編、森林の科学 . 朝倉書店 . 54–59.

Seiwa K. (2007) Trade-offs between seedling growth and survival indeciduous broad-leaved trees in a temperate forest. Ann. Bot. 99: 537–544.

Seiwa K, Miwa Y, Sahashi N, Kanno, H, Tomita M, Ueno N, Ymazaki M. (2008) Pathogen attack and spatial patterns of juvenile mortality and growth in a temperate tree, *Prunus grayana*. Can. J. For. Res. 38: 2445–2454.

森林施業研究会 (編) (2007) 主張する森林施業論 . 日本林業調査会.

Steffan-Dewenter *et al*. (2007) Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. PNAS 104: 4973–4978.

寺原幹生･山崎実希･加納研一･陶山佳久･清和研二 (2004) 冷温帯落葉広葉樹林における地形と樹木種の分布パターンとの関係. 複合生態フィールド教育研究センター報告 20：23–28.

Tilman D. (1988) Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities. Princeton Univ. Press, Princeton.

Tomita M, Hirabuki Y, Seiwa K. (2002) Post-dispersal changes in the spatial distribution of *Fagus crenata* seeds. Ecology 83:1560–1565.

Yamazaki M, Iwamoto S, Seiwa K. (2009) Distance- and density- dependent seedling mortality caused by several fungal diseases for eight tree species. Plant Ecology 201:181–196.

広葉樹林化に適した森林を GIS で抽出する

小田　三保・三樹　陽一郎（おだ　みほ・みつぎ　よういちろう、宮崎県林業技術センター）
平田　泰雅（ひらた　やすまさ、森林総合研究所）

はじめに

スギ、ヒノキ等を中心とした針葉樹人工林は、拡大造林政策の推進により全国各地で造成され、現在の充実した森林資源を構成している。しかし、木材価格の低迷や林業就業者の高齢化等により、間伐などの施業が適正に行われていない森林や伐採後再造林されないケースが見受けられるようになってきた。このような森林では、健全な森林と比べて土砂流出防止等の公益的機能が低下することが懸念されている。また、近年の国民の森林に対する期待は、これまでの木材生産や水土保全機能だけでなく、地球温暖化防止への貢献や癒し効果、生物多様性の保全など多様化している。このため、間伐等の施業促進による人工林の健全化とともに、多様化する森林への期待を踏まえた森林管理が求められている。その一つに、管理されていない人工林において抜き伐りにより広葉樹の侵入･定着を促し、自然の力を利用して針広混交林化、広葉樹林化を行う方法が考えられている。

これまでの研究から、針葉樹人工林内に広葉樹を侵入･定着させるには、周囲に種子の供給源となる広葉樹林があるかどうか、またその土地がこれまでどのように利用されてきたのかが大きく影響すると考えられている。このため、効率的に広葉樹林化を行うためには、これらの要因を考慮して広葉樹林化に適している場所かどうかを事前に把握することが必要であり、近年普及が進んでいる地理情報システム（以下、GIS）の利用は広域での把握方法として有効であると考えられる。

GIS は、パソコンの普及とともに様々な分野で利用されており、林業の分野でも広大な森林の管理に適していることから、近年自治体等を中心に導入が進んでいる。そこで、宮崎県を対象として GIS を用いて種子供給源となる広葉樹林の分布や過去の土地利用形態といったデータを作成・解析し、広葉樹林化に適したあるいは適していない場所を把握することを試みた事例を紹介する。

種子供給源となる広葉樹林を探す

人工林内に広葉樹を誘導し広葉樹林化するには、土壌中に蓄えられた埋土種子や下層植生として既に侵入している前生稚樹、新たに供給される種子由来の稚樹を利用して行うことが考えられるが、いずれもその種子を供給する広葉樹林がどこにあるのかを把握することが重要である。

また、種子供給源となる広葉樹林からどの程度離れているかということも重要になる。広葉樹の種子が散布される方法は、風による散布、鳥の披食による鳥散布、重力や動物の貯食による貯食散布等がある。たとえば、鳥散布の場合は、頻繁に散布される種子のほとんどが 100 m 以内に生育している母樹からのものであり、ノネズミによる貯食散布の場合はほとんどが 30 m 以内、また風散布であるアカマツの場合も母樹から遠くなるにつれて種子数が急激に減少するといわれている（中西弘樹 1994）。また、最近の研究から、スギ人工林の下層植生に対する隣接照葉樹林の林縁効果は、林縁から 20 ～ 30 m 程度まで認められ、重力散布型の樹種については、個体数は少なく林縁から近い範囲に集中していた（山川ら 2007）と報告されている。種子供給源となる広葉樹林からの距離が近いほど種子が供給される確率が高くなり、埋土種子や前生稚樹の存在、新たな実生の発生が期待できることから、広葉樹林化の対象となる人工林と種子供給源となる広葉樹林の位置関係は非常に重要であると考えられる。

これらの状況を GIS で取り扱うに当たり、既に整備されている森林 GIS データを使用して種子供給源となる広葉樹林を抽出し、GIS のバッファリング機能を用いて林縁からの距離データを作成することとした（図–1）。ここでは、種子散布様式を考慮し、林縁から 30 m 以内、30 ～ 100 m 以内、100 m 超の三つに区分してデータ作成を行った。このような処理は、GIS の解析機能を使うことで非常に早く正確に行うことができる。

過去の土地利用形態を調べる

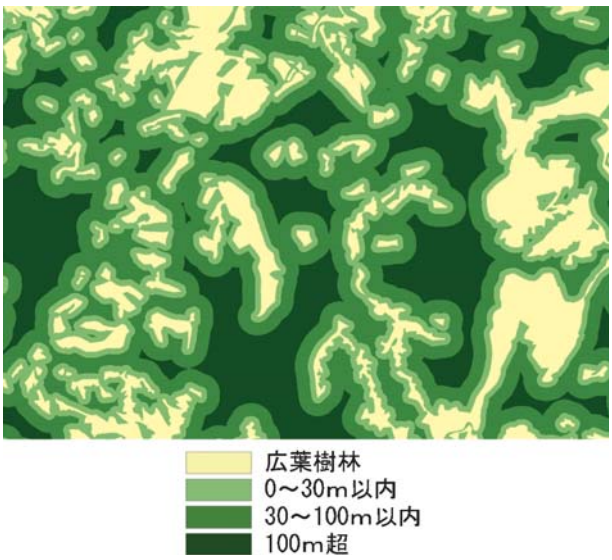
同じ人工林でも、過去に採草地として利用されていた場所は、伐採後の森林の回復が遅い（山川 2005）ことが示されている。これは、繰り返し利用（採草）されてきたことにより、森林の再生材料となる広葉樹等の木本種が消失していったためと考えられる。宮崎県林業史によると、明治時代の森林の状況は、藩政期から造林が行われていた県南部の飫肥林業地域を除いて造林の習慣は乏しく、特に山間部では食糧確保のため雑木・雑草を焼き、そばや稗などを育てる焼畑農業が広く行われたことが、森林荒廃の大きな原因となっていたとある（宮崎県 1997）。また、南郷村史（現在の美郷町南郷区）では、緑肥や馬草切り、野焼き等が行われる共有原野が多く存在し、家の屋根を葺くための茅場など樹木のない原野が多く存在していたとある（南郷村史編纂委員会 1996）。当時の生活様式を考えると、県内各地の森林の状況も同様の状態であったと推測される。その後、森林法の整備や生活様式の変化、人工造林の推進により、原野においても造林が行われたが、このような場所では前生稚樹や埋土種子があまり期待できない。これとは反対に、もともと広葉樹林や針広混交林であった場所では、多くの種子や前生稚樹の存在が期待できる。このように、その土地が過去どのように利用されていたのかが早期の広葉樹林化に影響すると考えられる。

過去の土地利用形態を把握するため、明治時代に作成された国土地理院の５万分の１地形図（以下、旧版地図）の地図記号から当時の状態を読み取りGISデータを作成した（図－2）。その結果、県内では、広葉樹林や針広混交林であった場所が大半を占めているが、茅場や採草地であったと考えられる場所（地図記号で荒地の部分）が、県内各地に存在していたことがわかった。

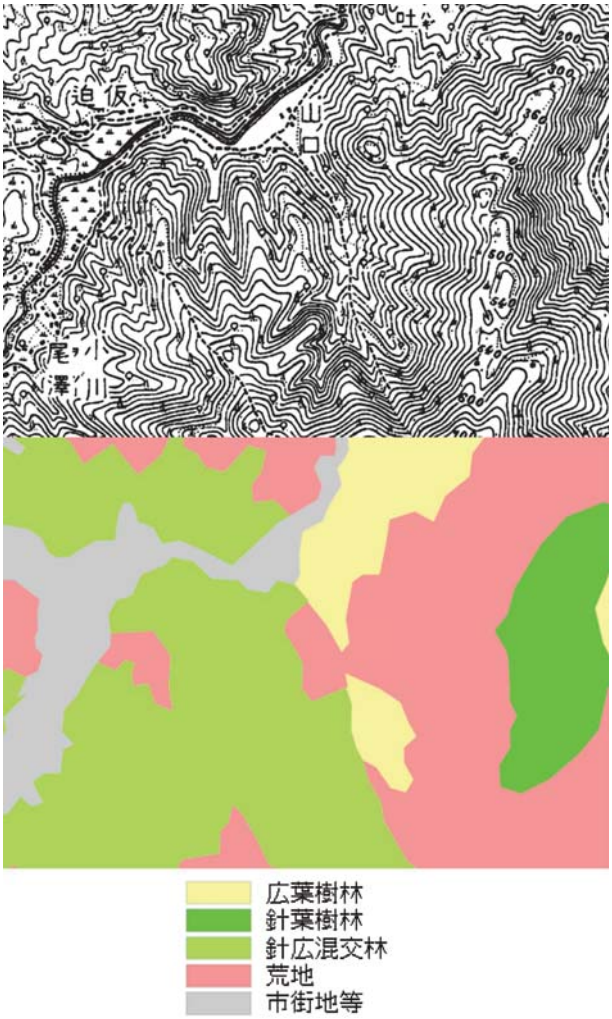
旧版地図は、当時の作成方法や縮尺から不正確な部分があると考えられるが、広範囲の過去の土地利用形態を把握できる資料として非常に貴重なものである。

広葉樹林化に適した場所の判定

広葉樹林化に影響を与える、種子供給源となる広葉樹



図－1　種子供給源となる広葉樹林からの距離区分図
（作成したGISデータの一部を拡大）



図－2　過去の土地利用形態区分図
国土地理院発行の明治時代の５万分の１地形図（上図）から、地図記号により区分したGISデータ（下図）
（地図およびデータの一部を拡大）

林からの距離と過去の土地利用形態という二つの要因から、広葉樹林化適地判定を試みた。要因の組み合わせにより、広葉樹林化へのポテンシャルを推測する方法で行うが、この組み合わせは様々なパターンが考えられる。今回は、広葉樹林化しにくいと考えられる組み合わせの順に判定１～５の５段階とした（表–1）。例えば、最も広葉樹林化しにくいと考えられる条件の組み合わせ（広葉樹林からの距離：100 m 超、過去の土地利用形態：荒地）が判定 1、最も広葉樹林化しやすい条件の揃った組み合わせ（広葉樹林からの距離：0 ～ 30 m、過去の土地利用形態：広葉樹林・針広混交林）が判定 5 となる。さらに、判定 1 を、広葉樹林化が困難な場所、判定 3 ～ 5 を広葉樹林化適地、判定 2 はその中間とし、広葉樹林化適地判定マップを作成した（図 –3）。

表 –1　広葉樹林化適地判定表

判定	過去の土地利用形態	広葉樹からの距離
1	荒地	100 m 超
2	荒地	30 ～ 100 m 以下
	針葉樹林　等	100 m 超
3	荒地	0 ～ 30 m 以下
	針葉樹林　等	30 ～ 100 m 以下
	広葉樹林・針広混交林	100 m 超
4	針葉樹林　等	0 ～ 30 m 以下
	広葉樹林・針広混交林	30 ～ 100 m 以下
5	広葉樹林・針広混交林	0 ～ 30 m 以下

広葉樹林化適地判定の検証

作成した適地判定マップの精度を検証するため、実際に針葉樹人工林内にどの程度広葉樹が侵入しているか、下層植生の調査を行った。調査流域は気候帯では暖温帯にあたり、常緑広葉樹が優占する地域である。下層植生として存在する広葉樹は、前生稚樹として早期の広葉樹林化に非常に有効な材料であり、更新の成否の鍵となる（本特集記事○○を参照）。

検証方法は、森林資源モニタリング調査結果と現地調査により取得したデータを用いて行った。人工林内で実施された森林資源モニタリング調査箇所 125 点と現地調査箇所 17 点の計 142 点を検証ポイントとして設定し、プロット（半径 5.64 m、面積 0.01 ha の円形プロット）内の胸高直径 1 cm 以上の立木の樹種名及び本数に

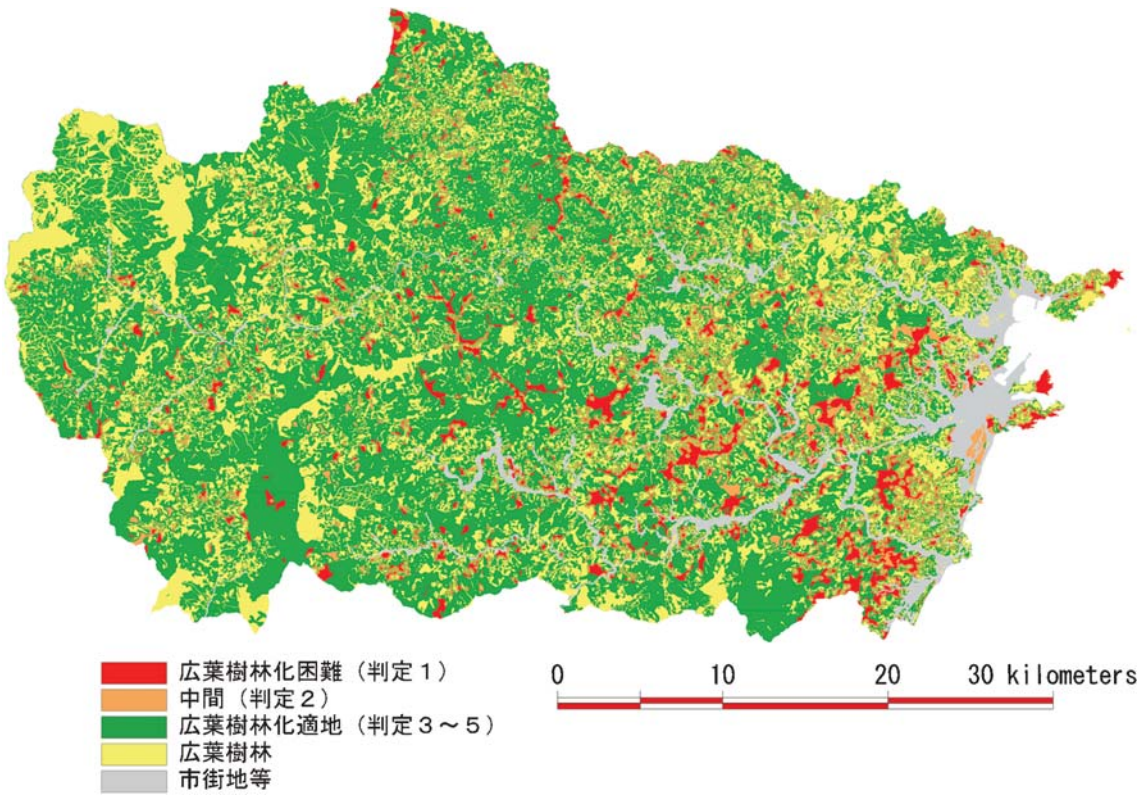


図 –3　広葉樹林化適地判定マップ（宮崎県耳川流域）

ついて集計した。これを、検証ポイント毎の適地判定結果と比較した結果、判定１から判定５になるほど広葉樹本数が増加する傾向は見られたが、判定５でも広葉樹が無いかあるいは少ない箇所も見られた（図 -4）。これは、間伐などの際に広葉樹が潔癖に伐採された等、人工林造成後の施業の違いが一つの原因になっていると考えられた。

おわりに

この技術開発では、種子供給源となる広葉樹の把握に既存の GIS データを使用したが、小面積や造林後に形成された広葉樹林は反映されていない可能性がある。近年は、比較的分解能が高い人工衛星データが利用しやすくなったことから、これを用いてより正確な広葉樹の位置を把握することで適地判定の精度向上が期待できる。

今回の広葉樹林化適地判定マップは、針葉樹人工林に広葉樹を侵入・定着するための施業を行う際、施業の効果が現れやすい地域を事前に絞り込むことや、困難な場所を除外する際に利用することで、それによって効率的な計画の立案や事業の実施が可能になる。しかし、実際の広葉樹林化には今回使用した二つの要因以外にも様々な要因が影響するため、最終的な事業実施には、マップで絞り込んだ地域の現状を林分単位で確認し、判断していく必要がある。

また、広葉樹林化の適地と判定されても、人工林率や路網密度が高い地域、地位的に優れた場所など、広葉樹林化よりも積極的に林業経営する方法を検討したほうがよい場合も考えられる。このため、広葉樹林化を含め、どのような森林を育成・配置していきたいのか、ランドスケープレベルで森林をデザインする際の材料の一つとして利用できるものと期待する。

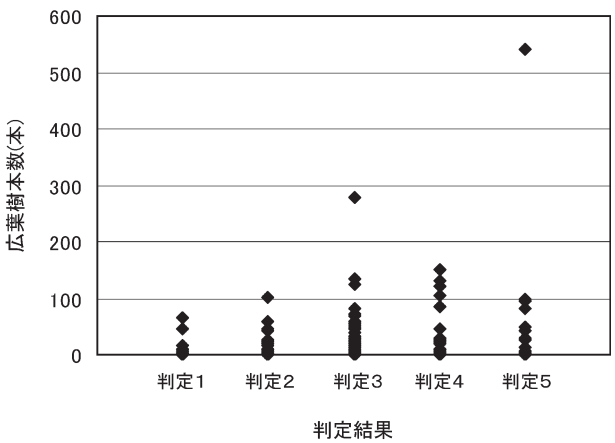


図 -4　適地判定結果の検証
（判定５になるほど広葉樹本数の幅が大きい）

参　考　文　献

宮崎県（1997）宮崎県林業史，宮崎県，1235pp.

中西弘樹（1994）種子はひろがる　種子散布の生態学．255pp．平凡社．

南郷村史編纂委員会（1996）南郷村史，南郷村，1173pp.

山川博美（2005）再造林放棄地の森林再生に関する研究，宮崎大学修士論文，24pp.

山川博美・伊藤哲・中尾登志雄（2007）Edge effects from a natural evergreen broadleaved forest patch on advanced regeneration and natural forest recovery after clear-cutting of a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation．森林立地 49 (2)，111-122.

暖温帯域における広葉樹林化の可能性

島田　博匡・野々田　稔郎（しまだ　ひろまさ・ののだ　としろう、三重県林業研究所）

1. はじめに

森林が持つ多面的機能の高度発揮を目指して多様な森林整備が推進されるなか、人工林を広葉樹林へと誘導する取り組みが行われるようになっている。その多くは、主林木であるスギやヒノキを強度に抜き伐り、光環境を改善することで抜き伐り前から林床に生育していた広葉樹（前生稚樹）の成長、新たな広葉樹の侵入・成長を促し、広葉樹林まで誘導しようとするものある。

このような取り組みは広葉樹の天然更新プロセスを利用したものであるが、広葉樹の侵入には光環境のみならず多くの要因が関係している。また、それぞれの樹種が持つ種子の散布形態や寿命、稚樹の耐陰性などの樹種特性も大きく関わっている。そのため、人工林における広葉樹の更新に影響する要因と、そこに分布する樹種の特性を踏まえたうえで、天然更新プロセスに沿った無理のない広葉樹林化対策を考える必要があるだろう。

三重県林業研究所では、人工林を広葉樹林に誘導する技術を確立するために、スギ・ヒノキ人工林への広葉樹の侵入プロセスの解明や侵入に影響する要因の解明に取り組んできた。本稿ではこれまでの成果を概説したい。

2. 更新目標樹種と光環境改善後の広葉樹更新プロセス

広葉樹林化に必要な侵入樹種は、どのような広葉樹でも良いわけではない。将来にわたり持続的に林冠を構成できるように、林冠層まで到達できる高木種であり、且つ寿命が長い必要がある。したがって、更新目標樹種として先駆種は対象とならず、遷移後期種や二次林種の高木性広葉樹が多数侵入することが望ましいと考えられる。

三重県など西日本では、人工林の多くが暖温帯域にあり、広葉樹林ではシイ、カシ類などブナ科やタブノキ、シロダモなどクスノキ科の常緑の遷移後期種が優占している。コナラ、ヤマザクラ、アオハダなど落葉の二次林種を交えることも多く、やや冷涼な地域ではこれらが優占する場合もある。当面の目標としてはこのような樹種の侵入を目指すことになるが、これらはどのように人工林へと侵入するだろうか？　侵入パターン（更新材料）には次の３タイプがある。抜き伐りなどの施業前からすでに林床に生育している「前生稚樹」、抜き伐り前は土壌中に休眠状態で存在し、抜き伐りによる光条件の向上や温度の上昇などに刺激されて発芽する「埋土種子」、抜き伐り後に新たに散布されて発芽する「散布種子」に分けられる（Yamagawa *et al*., 2010）。それぞれの更新への貢献度は林分の条件によって異なると考えられる。ここでは、暖温帯域での更新を考えてみたい。

暖温帯で優占する常緑の遷移後期種のほとんどは埋土種子にならず、散布後速やかに発芽する。そして、それらは耐陰性が比較的高いため、ひとたび定着した広葉樹は暗い人工林の林床でも生存し、「前生稚樹」群を形成することが多い。一方、コナラ、ヤマザクラなど落葉の二次林種では耐陰性が低く、適度な光強度がないと生存できず枯死してしまうことから、「前生稚樹」を形成することは少ない。そのため、これらの更新は「埋土種子」あるいは「散布種子」に頼ることになる。

図 –1 には、三重県が 2007 年に作成した「三重県における天然更新完了基準」の主要高木性広葉樹リストに掲載された樹種（91 種）を、主に暖温帯に分布する樹種と冷温帯に分布する樹種に分けたときの種子散布型別種数割合を示す。暖温帯の場合、主に動物によって林床を移動・貯留される貯食散布種や鳥に披食されて散布される鳥散布種の割合が高かった。これらの散布は、種子の豊凶や散布者の行動に左右されることから不確実性が高いうえ、多くは母樹から近距離に散布され、遠くまで運ばれる種子の量は少ない（Yamagawa *et al*., 2010）。そのため、広葉樹林に近接する林分以外では、抜き伐り後に「散布種子」による多量の広葉樹の侵入は期待できない場合が多い。また、暖温帯で「埋土種子」を調査した結果では、アカメガシワやカラスザンショウなど先駆種や低木種が多い（Sakai *et al*., 2005；Yamagawa and Ito, 2006）。以上のことから、暖温帯の多くの人工林では、常緑樹の

「前生稚樹」の相対的な貢献度が大きいと考えられる。

次に、実際に強度の抜き伐りを行った場所での伐採前後の稚樹数の変化をみてみたい。ここでは、広葉樹の侵入が種子散布に制限されない場合、各樹種がどのように侵入するのかということ示すために、広葉樹林が隣接する試験地での事例を紹介する。

三重県津市の36年生ヒノキ人工林において、ひとつの小流域全体を囲むように0.47haの試験地を設定した。この試験地の周囲にはコナラやヤマザクラなど落葉広葉樹を主体とする広葉樹林が隣接し、アラカシやシイ、タブノキなども点在している。広葉樹林の林縁から試験地の中心までの距離は30m程度であることから、種子供給面では比較的恵まれたヒノキ人工林だといえる。

この試験地では本数率62%、材積率51%の強度な抜き伐りが行われた。過去に間伐が行われた記録が無く、抜き伐り前の相対散乱光強度は平均2.7%（最小－最大：0.6-10.6%）とかなり低かったが、施業直後には平均26.7%（6.6-43.3%）まで上昇した。その後は年々低下していく傾向がみられ、3成長期経過後では平均15.0%（3.0-27.1%）まで低下した。林床植被率については、多くの木本種や草本種が抜き伐り後に侵入し、それらが成長することで徐々に高くなる傾向がみられた（図-2）。

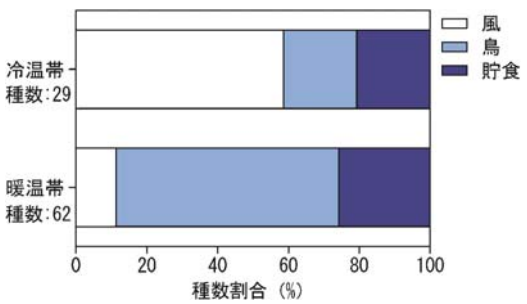


図-1　三重県における高木性広葉樹の種子散布型別種数割合

抜き伐り前後に侵入した全ての高木性広葉樹個体の樹種と樹高を調査した。表-1には主な高木性広葉樹の稚樹数について、伐採前から伐採後2成長期経過後までの変化を示す。高木性広葉樹の抜き伐りに対する反応には3つのパターンがみられた。常緑の遷移後期種であるアラカシ、タブノキ、シイは抜き伐り前から多数の前生稚樹がみられたが、抜き伐り後には徐々に増加する傾向を示した。落葉の二次林種であるカナクギノキ、キハダ、クマノミズキ、ヤマザクラは抜き伐り前にはほとんどみられなかったが、抜き伐り後に急激に増加した。なお、先駆種のアカメガシワとカラスザンショウも同様の傾向を示していた。これらの多くは埋土種子由来である可能性が高い。また、コナラ、クリ、アオハダは、抜き伐り前からわずかにみられたが、抜き伐り後は隣接広葉樹林における種子の豊凶に左右されながら増加する傾向がみられた。

このように樹種特性に応じた侵入パターンがみられ、抜き伐りに対する反応も異なっていた。なお、今回の調査地は前述したように種子供給に恵まれている。西日本では大面積人工林地帯が広がり、多くの人工林では、本試験地のように広葉樹林が近接しておらず、種子供給が制限されている場合が多い。そのため、強度の抜き伐りを行っ

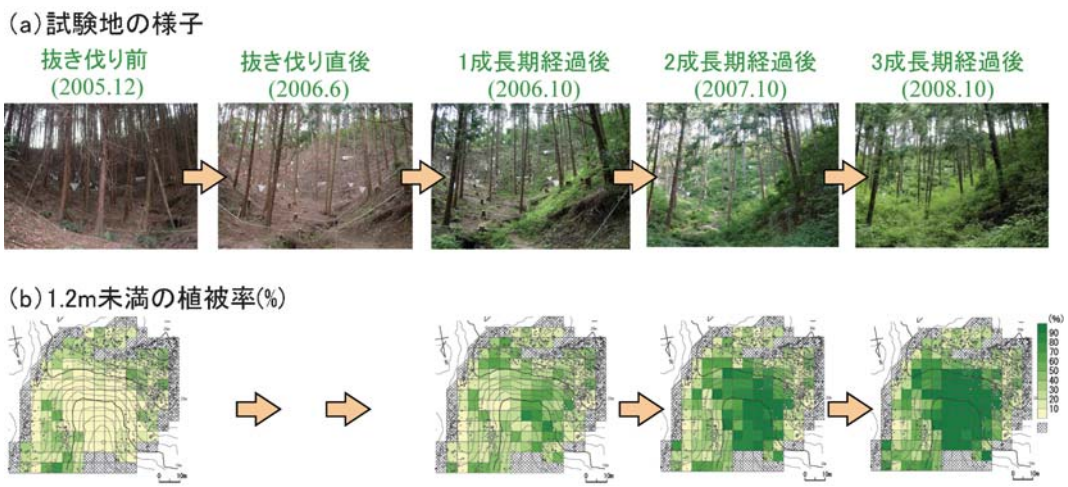


図-2　抜き伐り前後の試験地の様子と林床植被率（高さ1.2m未満）の経時変化
図中に多数みられる小さい○印は樹高1.2m以上3m未満の広葉樹の位置を示す。

表 -1　抜き伐り前後の高木性広葉樹稚樹数の変化

樹　種	常落別	種子散布型	稚樹数（本 /ha）		
			抜き伐り前	抜き伐り後	
			2005	2006	2007
アラカシ	常緑	貯食	1661	1548	1765
タブノキ	常緑	鳥	568	571	681
シイ	常緑	貯食	174	212	220
カナクギノキ	落葉	鳥	67	1664	2365
キハダ	落葉	鳥	0	913	1101
クマノミズキ	落葉	鳥	0	180	241
ヤマザクラ	落葉	鳥	9	443	588
クリ	落葉	貯食	84	87	122
コナラ	落葉	貯食	130	174	922
アオハダ	落葉	鳥	67	157	1330
その他			26	203	406
合計			2786	6151	9742

ても散布種子由来と考えられる稚樹はほとんど侵入せず、埋土種子由来と考えられる先駆種しか侵入しない事例も数多く報告されている（Sakai *et al*., 2005；島田 2006）。このような状況から、暖温帯の多くの人工林では前生稚樹を長年かけて蓄積しておくことが重要だと考えられる。

なお、この試験地では広葉樹の侵入や枯死、成長量の経年変化、それらの空間分布と微地形の関係などについても解析を行っており、興味深い成果が得られている。

3. 高木性広葉樹の侵入に影響する要因

三重県全域のスギ・ヒノキ人工林から様々な条件下にある林齢 25 ～ 67 年生の 207 林分を選定し、高木性広葉樹の侵入実態を調査したところ、樹高 10 cm 以上の稚樹密度は 0 本 /ha から 8,800 本 /ha まで様々であった。ただし、1,000 本 /ha に満たない林分が 68% を占めており、広葉樹の侵入が困難な林分が多いことが予想された。

このような広葉樹の侵入数の違いには、どのような要因が影響しているだろうか？　これまで述べてきたように、広葉樹の侵入には、種子の散布に関わる要因、光や林地の状態など定着場所に関わる要因が関係する。また、過去の施業履歴や現存の人工林以前の植生の状況などが前生稚樹量に影響することも指摘されている（Ito *et al*., 2004；野口ほか 2009）。そのため、立地条件や気象条件、林分条件、過去の施業履歴などが多様に異なった人工林における高木性広葉樹密度と各種要因との関係を解析することで、高木性広葉樹の侵入に影響する要因が解明できると考えた。

図 -3　高木性広葉樹の侵入に影響する主要因

そこで、176 林分のデータを用いて樹高 10 cm 以上の高木性広葉樹密度と環境及び施業要因、過去の土地利用などとの関係を多変量解析手法によって解析し、侵入に影響する要因を抽出するとともに、稚樹数を予測するモデル式を作成した。なお、52 種の高木性広葉樹が確認されたが、解析では遷移後期種を多く含む「常緑樹」、二次林種と先駆種を含む「落葉樹」の 2 つに樹種を分けて解析を行った。

解析の結果、常緑樹、落葉樹ともに 8 つの影響要因によって密度が決まることがわかり、そのうち 7 要因は両者に共通していた。主な要因についてみると（図 -3）、常緑樹、落葉樹ともに種子供給源となる「広葉樹林からの距離」が近いほど稚樹数が多くなる傾向がみられた。常緑樹は「標高」が低いほど多くなった。「光」や「間伐後経過年数」も影響要因として抽出されたものの効果は弱く、間伐後の年数が経過するほど稚樹数が多くなる傾向がみられたことから、光環境を改善しても急激な侵入は望めず、徐々に前生稚樹として増加することが示されていた。落葉樹については「標高」が高いほど多くなる傾向がみられた。「光」の影響は大きく、「間伐後経過年数」が増すほど稚樹数は減少する傾向がみられたことから、間伐を契機に増加し、樹冠の閉鎖に伴い減少することがこのモデルからも明らかになった。

なお、他にも「主林木の樹種」、「林齢」、「降水量」、「傾斜」、「日当たり」が影響要因として抽出されている。

以上のように、作成されたモデル式は先に述べた常緑樹、落葉樹の侵入特性を比較的よく反映していた。このモデル式を利用することで、各施業地における広葉樹の侵入を妨げる要因が診断でき、改善項目やそのための対

策を明確にできると考えられる。

4. 広葉樹林化を目指した施業

暖温帯の人工林を広葉樹林に誘導するには、前生稚樹を蓄えることが重要であると考えられた。そのためには、一度の強い抜き伐りよりも長期間の抜き伐りの繰り返しにより、適度に光環境を保つことが望ましいと考えられる。その際には林内清掃などで、侵入広葉樹を除去せずに極力残すことが必要である。また、前述の予測モデルにより、広葉樹の侵入が困難と判断された林分で広葉樹林化を進める場合には、植栽や種子散布の誘導などの補助作業が必要となるであろう。

強度の抜き伐りの効果については、隣接広葉樹からの距離が近い林分では、散布種子や埋土種子からの二次林種の侵入が期待できることから効果が期待できる。また、十分に前生稚樹が蓄積した後、これらの生育を促すために強度な抜き伐りを行うことも必要であろう。どのタイプの広葉樹も更新可能にするには、相対光強度 20％以上が必要とされている(小池・中静 2004)が、この数値を抜き伐りによって確保するにはどれくらいの強度で抜き伐りを行う必要があるだろうか？　三重県内の過密林分の間伐地で調査した結果を図 –4 に示す。間伐前の立木本数の影響も大きいため一概には言えないが、過密林分で相対光強度 20％以上を確保するには、材積率で 35％より高い割合で抜き伐りを行う必要があると考えられる。本数率では下層間伐に準じる場合 55％以上は必要であろう。つまり、相当な本数を抜き伐る必要がある。また、侵入した広葉樹を育成していくには常に良好な光環境を維持する必要があり、侵入広葉樹に配慮しながら抜き伐りを何度も繰り返すことも求められる。そのため、広葉樹林化を目指した施業は、これまでの施業の延長ではなく、全く異なる施業として考える必要があるだろう。

5. おわりに

これまでに明らかになった広葉樹の侵入特性、広葉樹の侵入に影響する要因を考慮することで、施業地に応じた適切な対策の実施が可能であると考えられる。しかし、広葉樹林にまで誘導するには、どの程度の稚樹数を侵入させる必要があるのか？　侵入した広葉樹を林冠層まで育成するにはどのように施業を進めていけばよいのか？などの解決すべき課題が残されている。これらを解決するために、引き続き固定試験地での追跡調査や各地での事例収集を進め、さらに研究を進展させていく必要がある。

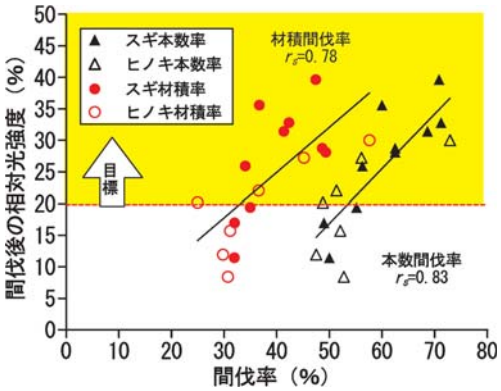


図 –4　間伐率と間伐後の相対光強度の関係

参　考　文　献

Ito S., Nakayama R., Buckley G.P.（2004）Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan. For. Ecol. Manage.196: 213–225.

小池孝良・中静　透（2004）樹冠樹の共存機構.（樹木生理生態学．小池孝良編，朝倉書店）．29–36.

野口麻穂子・酒井　敦・奥田史郎・稲垣善之・深田英久（2009）四国地方のヒノキ人工林における間伐後 6 年間の林床植生変化．森林立地 51：127–136.

Sakai A., Sato S., Sakai T., Kuramoto S., Tabuchi R.（2005）A soil seed bank in a mature conifer plantation and establishment of seedlings after clear-cutting in southwest Japan. J. For. Res. 10: 295–304.

島田博匡（2006）ヒノキ人工林の林床における強度間伐後 2 年間の木本種動態．三重林研研報 18：1–12.

Yamagawa H. and Ito S. (2006) The role of different sources of tree regeneration in the initial stages of natural forest recovery after logging of conifer plantation in a warm-temperate region. J. For. Res. 11: 455–460.

Yamagawa H., Ito S., Nakao T. (2010) Restoration of semi-natural forest after clearcutting of conifer plantations in Japan. Landscape Ecol. Eng. 6: 109–117.

北海道における広葉樹林化の可能性

今　博計（こん　ひろかず、北海道立総合研究機構 林業試験場）

2001 年の森林・林業基本計画の策定以降、生物多様性の保全や公益的機能の発揮を目的に、針葉樹人工林の針広混交林化・広葉樹林化が推進されている。混交林への誘導方法としては、抜き伐りにより更新木の生育に必要な空間を確保し、そこに広葉樹を更新（天然下種、植栽）させて育成し、混交林、広葉樹林へと導くというシナリオが描かれている。しかし、混交林へ誘導するための技術は必ずしも十分ではなく、それぞれの現場で担当者が悩みながら対象地や誘導方法を検討している状況にある。

針葉樹人工林内で天然更新する広葉樹の種構成や個体数は、多い場合から少ない場合まで様々であり（長池 2000）、林冠疎開の程度（小谷・高田 1999）、種子供給源となる周辺広葉樹林からの距離（Kodani, 2006；Utsugi *et al*., 2006）、林分の地形（Ito *et al*., 2003）、過去の土地利用（Ito *et al*., 2004）などの様々な要因に影響を受ける。そのため、広葉樹の天然更新が期待できる林分の判定は難しく、広葉樹林化が進まない理由のひとつになっている。また、具体的な施業方法として強度の抜き伐りが提唱されているが、これらの誘導伐の実例が少ないことも思い切った伐採に踏み込めない原因である。

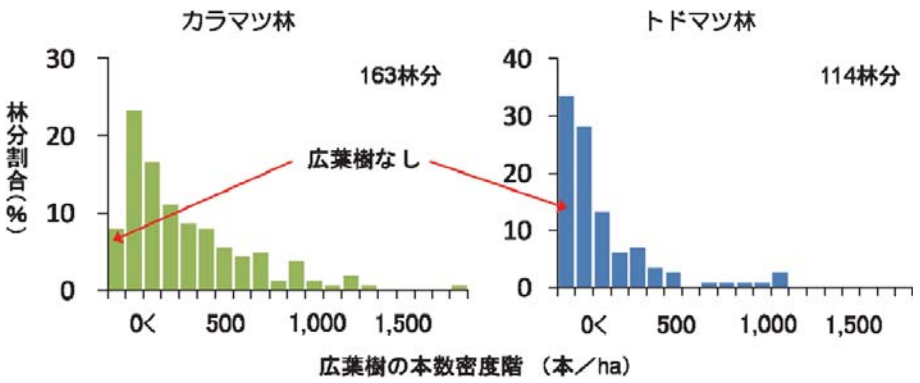
ここでは、北海道のカラマツ人工林とトドマツ人工林における広葉樹の侵入実態の解析結果から種構成や更新の影響要因について紹介し、広葉樹林化の可能性を検討するとともに、誘導伐を実施したトドマツ人工林の実例を紹介し、具体的な施業方法についても検討したい。

広葉樹の侵入実態と影響要因

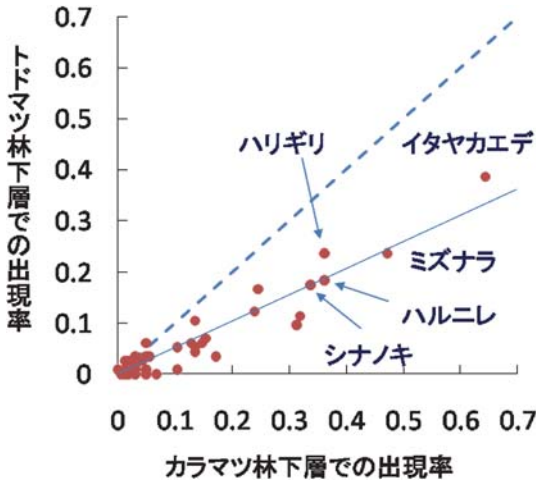
現場の担当者にとっては、対象林分が広葉樹の天然更新が期待できるのか、できないのか判別することが大事である。広葉樹林化を目指して抜き伐りをしたのに、広葉樹がさっぱり更新してこなかったら、あるいは更新しても目標樹種でなかったら、顔が青ざめてしまう。かといって、私自身が担当者の方にここが必ず更新できるのかと問われれば答えに窮し、「多分……」としか言えないだろう。なぜなら更新には、前述したように種子供給源からの距離など様々な要因が影響しているからである。それでも答えを求める場合、多くの方は、対象林分の中に生えている広葉樹を探し、周辺の広葉樹林を確認し、似たような林分を見て回るだろう。今後、成果をまとめた技術的指針が作られたとしても、最終的には現地調査での判断が最も重要であることを確認しつつ、以下の結果を見てもらいたい。

カラマツ人工林とトドマツ人工林では、広葉樹の侵入実態は大きく異なっている。落葉性のカラマツは常緑性のトドマツに比べ林内が明るくなるため、相対的に多くの広葉樹が侵入しているのである。ここでは、林齢 60 年生以上の林分における胸高直径 3 cm 以上の高木性と亜高木性の広葉樹を対象に解析した結果を示している。カラマツ林（163 林分）では下層に広葉樹のない林分は全体の 8％であるのに対して、トドマツ林（114 林分）では 33％に達している（図 -1）。胸高直径 3 cm 未満も含めればもう少し割合は小さくなると思われるが、いずれにせよ林種による違いは明確である。また、興味深いのは今回扱った林分が、木材生産を目的に施業してきた民有林であることだ。すでにカラマツ林では混交林の予備軍となっている林分が多くあり、誘導伐などの施業を考えずとも十分な可能性がある。したがって、カラマツ林では従来の木材生産体系から大きく逸脱することなく広葉樹林化へ誘導できるのかもしれない。一方、トドマツ林では従来の施業では天然更新を利用した広葉樹林化は難しいと思われる。このことは広葉樹林化のシナリオを描く際に、林種ごとに分けて考える必要があることを示している。

更新樹種の種構成も、広葉樹林化を検討する際の重要な要素である。設定する目標林型に応じて求められる種の特性は異なるが、多くの場合、自然植生に近い広葉樹が更新してくることを期待している、と思っている。低木種よりは高木種、先駆種よりは遷移後期種、さらには



図−1　人工林の下層に侵入した広葉樹の本数密度別の林分割合
林齢 60 年生以上の林分での胸高直径 3 cm 以上、樹高 14 m 未満の高木性と亜高木性樹種を対象としている。左端の棒は広葉樹がない林分の割合を示す。



図−2　カラマツ林下層とトドマツ林下層での広葉樹の樹種別出現率

有用樹が望まれている。では実際、人工林の下層ではどのような樹種が更新しているのだろうか？　カラマツ林（163 林分）とトドマツ林（114 林分）での結果を図−2 に示す。更新樹種は、カラマツ林とトドマツ林では出現率に差はあるものの共通していて、出現順位も両林分で同じ傾向が見られる。特徴としては、ミズナラ、イタヤカエデ、ハルニレ、ハリギリ、シナノキなど天然林の林冠を構成する高木性樹種の出現率が高く、好ましい樹種が更新していると考えられる。これは北日本の担当者にとっては朗報である。

また、広葉樹更新の成立要因として何が強く影響しているのだろうか？　研究プロジェクトの中では、林齢、地形など様々な要因を組み込んだ予測モデルの開発を行っているが、詳しい結果については論文への掲載まで待っていただくことにして、ここでは林分面積と胸高断面積合計に焦点を絞って紹介する。なお林分面積は広葉樹林からの距離の代替変数として、胸高断面積合計は林内の光環境の代替変数として用いており、前者は正の関係が後者は負の関係があると仮定している。広葉樹の本数密度への影響は、カラマツ林とトドマツ林では効き方が異なっている。図−3 と図−4 が示すように、カラマツ林では広葉樹林からの距離が、トドマツ林では林内の光環境が広葉樹の更新にとって影響力の強い要因であることが見てとれる。2 要因とも広葉樹の更新にとって影響するのは間違いないが、林内が明るいカラマツ林では種子供給が更新の制限要因になるのに対して、林内が暗くなりやすいトドマツ林では光環境が制限要因になっているのだろう。また、それぞれの要因の影響は、広葉樹林からの距離では種子散布型ごとに異なり、鳥に被食される鳥散布型や動物に移動・貯食される貯食散布型よりも風散布型の樹種でより強いことが解った。母樹の近くに落ちる種子の割合が風散布型の樹種ほど多いことが影響していると思われる。そして、光環境では強い光を要求する先駆種と二次林種でギャップに依存して更新する樹種（ギャップ種）や耐陰性の高い遷移後期種など、更新特性ごとに影響が異なっており、比較的明るい林内であっても先駆種は更新しにくいようだ。したがって、更新の可能性を検討する際には、樹種特性ごとに類型化して、影響要因との関係を検討する必要があるだろう。

以上の結果から、現場では周辺の広葉樹林における母

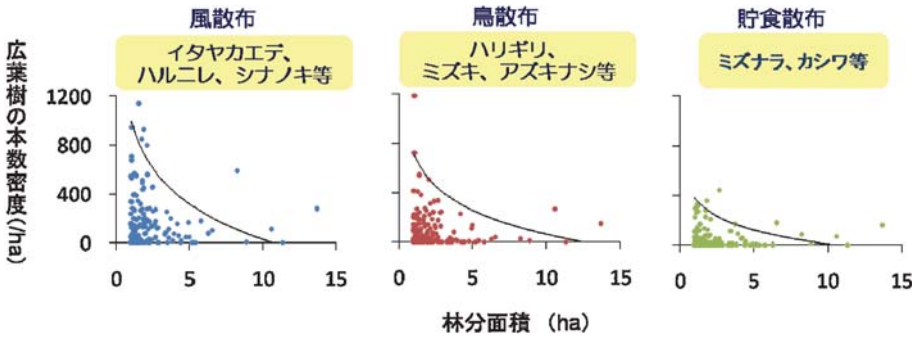


図 –3　カラマツ林における林分面積と広葉樹下層木との関係
広葉樹は種子散布型ごとに区分した。実線は傾向を示す線。

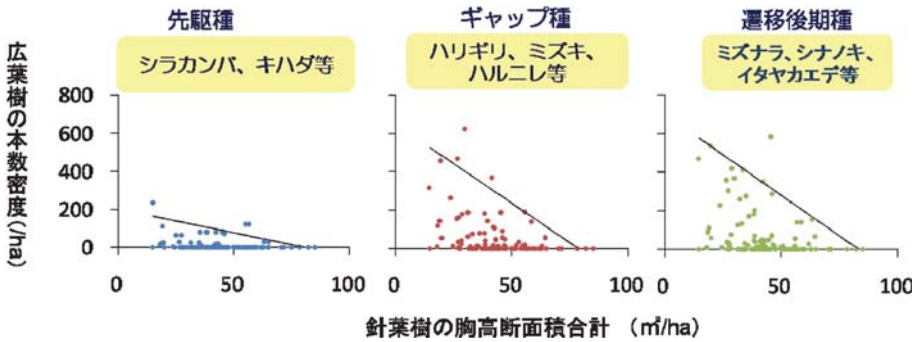


図 –4　トドマツ林における植栽木の胸高断面積合計と広葉樹下層木との関係
広葉樹は更新特性タイプごとに区分した。実線は傾向を示す線。

樹の有無や母樹から対象地までの距離が判断の材料になる。もちろん多くの樹種では種子生産に豊凶性があること、また種子が動物に散布される樹種では散布者の存在や行動も関わるため、単純に判定基準を設けることが難しいが、少なくとも一定の条件に合致しない現地は施業対象地からはずれることになる。今後、現場で使いやすい技術的指針をどのような形でまとめていくのか、担当者の方々と一緒に考えてゆきたい。

トドマツ人工林での誘導伐

トドマツ林では従来の木材生産を目的とした施業では、天然更新を利用した広葉樹林化が難しいこと、そしてその原因には林内が暗すぎることが示された。ではトドマツ林では光環境を改善することで広葉樹の天然更新を促進できるのだろうか？　間伐率 30％を越えるような強度の伐採に誘導伐の効果があるのか、情報が不足している。ここでは一例であるが、北海道中央部の道有林で実施した列状伐採試験の結果を概説する。なお、詳細については筆者らの論文（今ら 2007）を参照いただきたい。

トドマツ林では間伐など適正な保育がされない場合、30 ～ 40 年生の若齢林では下層植生の現存量や多様性が著しく低くなることが多い。試験地はそうした典型的な林分である。試験地では 3 段階の異なる強度の列状伐採（1 伐 4 残、2 伐 3 残、3 伐 2 残）を行い、伐採後 8 ～ 11 年後の広葉樹の更新状況を調べ、無間伐林分の結果と比較している（写真 –1、写真 –2）。

列状伐採には広葉樹の天然更新を促進させる効果があった（図 –5）。伐採前には相対光強度（光合成有効光量子束密度）で 3％程度であった林内の光環境が、伐採により最大で 20％ほどまで改善した。こうした光環境の改善により、種子の発芽が促され、定着に必要な光条件が確保されたと考えられる。スギ人工林（Utsugi *et al.*, 2006）、ヒノキ人工林（鈴木ら 2005）、カラマツ人工林（花田ら 2006）で報告されているように、人工林では間伐など林冠部の疎開を契機に広葉樹が更新して

写真 –1　トドマツ林列状伐採試験地
手前が無間伐区、奥の林床植生が発達している区が 1 伐 4 残区。

写真 –2　トドマツ林列状伐採試験地
手前が 2 伐 3 残区、奥の明るい区が 3 伐 2 残区。

いるのだろう。

伐採強度と誘導効果との関係を見ると、広葉樹の種数や個体数は強度にともなって増加していないことがわかる。何となく、明るい程多くの樹種が更新できるだろうと考えていたが、そのような傾向はなかった。ある一定の明るさが確保されれば、林内で更新可能な樹種の多くが出揃っているようだ。試験地では伐採区で 16 ～ 18 種の高木・亜高木種が更新していて、これはこの地域の天然林の構成種の 7 割程度はカバーしていると考えている。したがって、多様な樹種の更新を確保するという面からは、20 ～ 60％の伐採強度で十分と思われる。

しかし、施業的に考えると 20％の強度よりは 40％、60％の強度の方がより望ましい。なぜなら、1 伐 4 残区では更新木のサイズが小さく、伐採後 11 年経過した時点でも樹高が 1 m を越えた個体はほとんど無かったのに対して、2 伐 3 残、3 伐 2 残では間伐 8 年後の時点で、樹高 1 m 以上の広葉樹が 11 種、個体数は 2,500 ～ 3,750 本 /ha に達していたことによる。いずれの伐採区でも稚樹の成長に必要な明るさを確保するために、将来さらなる上木の伐採が必要となるが、施業コストを十分かけられない現状では、1 回の施業でより効果が得られる 2 伐 3 残や 3 伐 2 残の伐採が望ましくなる。上木の木材生産も行いながら、いかに広葉樹林へと誘導を図ってゆくのか、それぞれの現場で試行錯誤しながら、現実的な施業案を練ることが今後の課題である。

以上、トドマツ人工林での伐採試験により、強度の伐採を行うことで多様な広葉樹が更新できることを示したが、これは更新初期段階の結果であることに注意を払う必要がある。これまでにも多くの更新現場では、施業後数年の時点で実生や稚樹が発生したことで更新が成功したと判断してきたが、追跡した研究によると、必ずしも更新が成功していないことが報告されている（杉田ら 2006）。私たちは広葉樹林化がこれまで経験したことのない施業であることをきちんと認識し、そして施業地においてはデータをきちんと管理し引き継ぐような体制をとることが、広葉樹林化にとって必要になるだろう。

今年度から北海道の道有林では、広葉樹林化を実証するモデル林の造成を計画している。モデル林では更新木の継続的な調査を通じて、林業関係者を対象とした技術普及を行い、技術力を研鑽していきたいと考えている。

参　考　文　献

花田尚子・渋谷正人・斎藤秀之・高橋邦秀．2006．カラマツ人工林における広葉樹の更新過程．日本森林学会誌 88：1–7.

Ito, S., Nakagawa, M., Buckley, G.P., and Nogami, K. 2003. Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) plantations in southeastern Kyushu, Japan: the effects of stand type and age on understory trees and shrubs. Journal of Forest Research 8: 49–57.

Ito, S., Nakayama, R., and Buckley, G.P. 2004. Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests

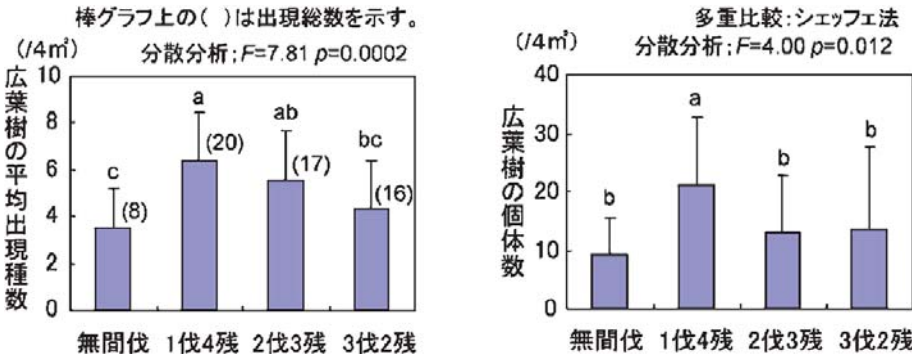


図-5　トドマツ林における間伐方法別の広葉樹の平均出現種数と平均個体数（今ら，2007 を改変）
縦棒は標準偏差を示している。英小文字が異なる場合は、それぞれの伐採処理区間に統計上有意な差があることを示している。

in a warm-temperate region in southeastern Kyusyu, Japan. Forest Ecology and Management 196: 213–225.

Kodani, J. 2006. Species diversity of broad-leaved trees in *Cryptomeria japonica* plantations in relation to the distance from adjacent broad-leaved forests. Journal of Forest Research 11: 267–274.

小谷二郎・高田兼太．1999．スギ人工林の林床での広葉樹の侵入および優占様式．石川県林業試験場研究報告 30：1–10.

今　博計・渡辺一郎・八坂通泰．2007．トドマツ人工林における間伐が広葉樹の天然下種更新に及ぼす影響．日本森林学会誌 89：395–400.

長池卓男．2000．人工林生態系における植物種多様性．日本林学科誌 82：407–416.

杉田久志・金指達郎・正木　隆．2006．ブナ皆伐母樹保残法施業試験地における 33 年後，54 年後の更新状況―東北地方の落葉低木型林床ブナ林における事例―．日本森林学会誌 88：456–464.

鈴木和次郎・須崎智応・奥村忠充・池田　伸．2005．高齢級化に伴うヒノキ人工林の発達様式．日本森林学会誌 87：27–35.

Utsugi, E., Kanno, H., Ueno, N., Tomita, M., Saitoh, T., Kimura M., Kanou, K., and Seiwa, K. 2006. Hardwood recruitment into conifer plantations in Japan: effects of thinning and distance from neighboring hardwood forests. Forest Ecology and Management 237: 15–28.

広葉樹林化の目標林型と更新基準

田内　裕之（たのうち ひろゆき、森林総合研究所四国支所）

1. はじめに

ここで話題にしている「広葉樹林化」とは、本特集の冒頭に記したように、成林した人工林を更新伐の繰り返しによって広葉樹林へと誘導するものである。よってその施業には、一斉林の抜き伐り（更新伐）、更新稚樹の発生・成長促進、混交林化、残存木の整理（主伐）、広葉樹林化という作業プロセスが存在する。

天然更新によって次代の森林を育成する場合、どれくらいの芽生えや稚樹が存在すれば成林可能であるかを判断する必要がある。国有林では既に天然林施業の中で更新完了基準が作成されており、民有林においても都道府県（以下県と言う）によってその基準作りが行われている。更新対象となる樹種（針葉樹種を含む）は全国でおよそ 300 樹種に及び、対象種や種数は県によって様々である。対象種が次代の森林の優占種となるという考えに基づけば、育成したい森林の内容（目標林型）に応じた樹種が更新しなければならない。ここでは、目標林型を木材生産や表土保全などの機能を発揮させるための森林とした場合、どのような樹種群を更新させるべきかを検討してみた。また、判断基準（稚樹の大きさや密度など）やその方法についても検討を行い、将来、期待する森林へと育成するためには、どのような更新が成功したものと判断し、その後どのように施業していくべきかを考え、更新基準の「広葉樹林化」への適応と改善すべき点等を考えてみた。

2. 現在の更新基準

ここで言う更新およびその方法とは、上木を抜き伐りした状態の林床に更新を図る、いわゆる非皆伐更新である。この施業のみを対象とした更新基準というものは無い。そこで、従来の天然林施業における更新完了基準を比較分析しながら、基準の特徴を探ってみた。

国有林では各森林管理局が 1990 年頃までに基準の作成を完了している。元々、冷温帯および温帯域の国有林では天然林施業が積極的に行われたため、皆伐及び択伐後の更新基準が早期より作成されている。また、その後は育成複層林漸伐施業、皆伐ぼう芽更新施業等、多様な施業が発達し、目的樹種や目標林型を絞った更新基準も作成されている。これらを取り纏めてみると、図 –1 のようになる。対象とする樹種は、元来の施業が木材生産を目的としているので、いわゆる有用広葉樹を主体とした、二次林種や遷移後期種である高木種が殆どである。その基準は、稚樹密度では 2000–10000 本 / ha、稚樹の高さは 30–60 cm 以上の範囲である。また、特徴として更新指数を使う場合が多く、これは稚樹のサイズ別に更新度合いの重み付けを変えて計算した指数で、値が 1.0 以上となれば更新完了と判定するものである。また、更新判定の時期は、上木伐採後 2–6 年目に行うとしたものが多い。

一方、民有林では基準作りが遅れていたが、各県で 2011 年までには作成が行われることとなっている。2009 年度末には 43 県で作成が完了（予定含む）している。入手できた 39 県の資料を基に、それぞれの更新基準を比較すると、次のような特徴があることが解った。稚樹密度については、図 –2 のとおり、多くの場合 2000–5000 本 / ha 以上であったが、国有林と比較するとその密度は低めで、2000 本 / ha 未満で可とする県もあった（3 県）。また、更新指数を設定している県は少なく（2 県）、一方で密度に頼らない（設定なし）

図 –1　国有林における更新完了基準
更新指数の計算式は一例である。

とした県が7県あった。この、設定無しというのは、更新基準に目視による被度（植被率）判定という項目を取り入れている県である。稚樹高を設定している県は27県あり、その多くが30cm以上であり、100cm以上が6県あったが、これらの県では密度の代わりに被度を設定していた。被度は稚樹の分布のばらつきを補完する尺度として有効であるが、密度と共に設定しているのは15県に留まり、上述のように7県では密度の代わりとして使用していた。

更新完了を判定する時期については、時期を設定している33県中29県で伐採後5年以内としていた（図-3）。しかし、一度きりの判定による県が80%（26県）を占め、適宜および設定無し（情報無し）とした県もあり、複数回によってチェックをする県は6県に留まった。

これらを判定するための手順を示した、いわゆる判定マニュアルについては、その野帳等含め整備しているのは22県と60%にも満たなかったが、今後整備が進むと見込まれる。

3. 更新対象樹種と目指す林型

ここでは、上に述べなかった民有林における更新対象樹種について考えてみたい。国有林が対象樹種を木材生産のための有用広葉樹を主体に選定しているのに対して、民有林の対象樹種は千差万別である。どのような樹種が選定されているかを分析してみた所、39県が対象とした樹種は295種にのぼり、対象種が200種近くと多い県から10種程度の県まで幅が非常に広かった。なお、樹種名を具体的に記述していない県もあった（例えば、マツ類とか県内に自生する高木種とか）。この場合は、文献により分布等を確認して種名を計上し集計を行った。また、以下に記述した樹種区分は、複数の樹木図鑑を利用して決定した。

対象樹種をその生態的特徴からグループ分けすると（図-4）、原生林を構成する遷移後期種が41%を占めた。これらには有用広葉樹とされるミズナラ、カツラ、イチイガシ等の樹種が多く含まれる。二次林で優占するコナラ、ツブラジイなど二次林種は45%を占め、パイオニアとも呼ばれる初期成長が速いアカメガシワやヌルデ等先駆種は9%を占め、残り5%が外来種であった。成木のサイズ別に分類すると、高木林の林冠を構成する高木種が70%、亜高木性の小高木種が24%、それより小さい低木種が6%を占めた。

一方、県別に生育気候帯別の更新対象樹種数を分類してみると（図-5）、次のような傾向が見られた。全般的

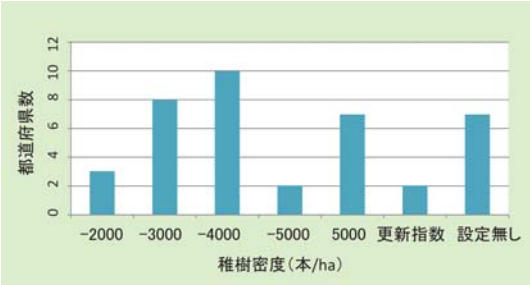


図-2　民有林における更新完了基準（稚樹密度）

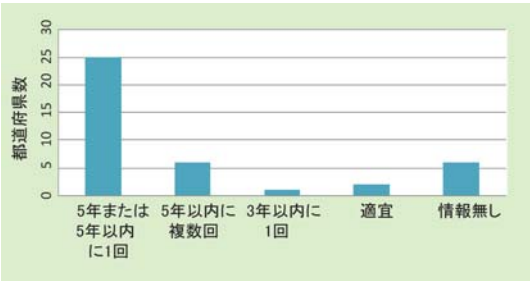


図-3　民有林における更新完了基準（判定時期と回数）

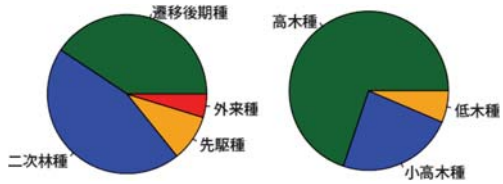


図-4　民有林における更新対象樹種（遷移系列別およびサイズ別）
「外来種」とは外国から持ち込まれ国内で自生している樹種。

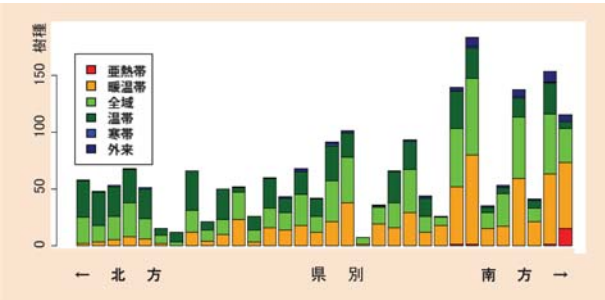


図-5　民有林における更新対象樹種（生育気候帯別）
更新樹種が明記されている都道府県についておよそ北から南へと並べたもの）。「全域」とは国内のほぼ全ての地域に自生している樹種。

に見て、対象種数は北から南に行くほど種数が多くなったが、これは樹種の分布数が暖温帯や亜熱帯地域で多くなることによるものと考えられた。また、南方に行くほど、標高差が大きい県では県内に多くの気候帯を含むため対象種数が多くなる傾向が見られた。一方で、類似した気候帯や似たような地形配分を持つ県の間で対象種数に大きな違いが生じている場合もあるが、これはどのような種群を対象種と採用したかによるため（人為的な差）と考えられる。

さて、更新対象種は目標林型と密接な関係がある。つまり、目標林型があってこそ更新させる / 更新させたい樹種が決まるのである。一般に、成熟した天然林を伐採した場合は、林内に眠っていた埋土種子や侵入する風散布種子由来の芽生えに前生稚樹が加わって、多様な稚樹群が森林群落としての更新を担う。常緑の針葉樹人工林では、林冠が閉鎖し林内が暗い場合には、前生稚樹が少ない。埋土種子はスギやヒノキのような人工林でも多数存在することが解っているが、その種群には偏りがあり、暖温帯地域ではアカメガシワやカラスザンショウ等先駆種が多くを占め、これらが伐採後に発芽する（Yamagawa *et al.*, 2006 など）。先駆種は初期成長が速く、更新から樹冠を発達させるまでの期間が短いため、階層が単純化した一斉林を素早く混交化させ、林内の植被率を高め、構造を複雑化する。そのため、表土の流出防止や景観の向上など、公益的機能の発揮の中で、いくつかの目的には沿う樹種群である。しかし、先駆種は光要求性が強く、強度の抜き伐りや伐採頻度を高くするなどの上木管理が必要である。また、一般に寿命が短く、先駆種によって森林を維持することは難しいと考えられる。そのため、先駆種は特定の機能の発揮という目標達成のためには一時的に効果的かもしれないが、更新対象として限定的なものと考えるべきである。低木種も林内植生を発達させ、このような機能の向上には貢献するであろうが、次代の広葉樹林の林冠構成種に取って代わる種群ではない。

一方で、木材生産を目的とする場合は、市場価値の高いいわゆる有用樹の多くが更新対象種となる。それらは成熟した天然林の林冠を構成する高木種であり遷移後期種に属することが多い。ただ、この樹種群は埋土種子としてではなく稚樹バンク（前生稚樹群）として林内に生育する種が多く、母樹のある天然林でも林冠がうっ閉した場所では密度が低い（Tanouchi *et al.*, 1994 ほか）。

伐採当初は遷移後期種の前生稚樹が少なくとも、まずは先駆性樹種を主体に更新させ、その後遷移後期種が侵入定着するのを期待するという、遷移系列に則った考え方は間違いではないが、人工林の場合そのスピードは極めて遅く、遷移後期種による成林（林冠うっ閉）までは 100 年という単位で考える必要があるだろう。それ故、前生稚樹を主体とした天然更新が難しいと判断したなら、補植を含む更新促進作業もしくは施業そのものの取りやめを考えるべきである。

外来種については、その取り扱いに再考の余地がある。外来種の一部には、萌芽や種子生産力が強く更新地で寡占状態となる種がある。更新対象種は、天然更新による天然生の森林を育成するための樹種という考えであれば、対象外とすべきであるし、公益的機能の一つである生物多様性の保全・維持という観点からも望ましくないと考える。

4. 更新基準や判定方法の改善

さて、現在の更新完了基準は、殆どが伐採後数年の間（多くが 5 年以内）に発生・定着した稚樹数によって判断するもので、多くが一度だけの判定によるものである。更新完了基準が正しいものであったかどうかは、その後対象樹種によって成林したかどうかで確認できるが、このような確認作業が確実になされている例は極めて少ない。天然林における択伐や皆伐による天然更新施業において、伐採当初は稚樹がたくさんあった（更新完了と判断した）のに、その後ササが繁茂して未だ成林していないとか当初あった稚樹とは違う樹種の林になっていたという事例は知られていた（図 –6）。

図 –6　更新完了と判定された林分のその後の例
注：伐採跡地とその後の写真とは同じ場所ではない

最近、長期間森林の動態をモニタリングする体制が整ってきたこと等により、伐採直後と 10 年以上経過した時点での状況とを検討する事によって、当初目標としていた林型に誘導できたかどうかを検証した調査例が発表されている。その一つ、ブナ林の天然更新試験地での例（杉田ら 2006）を紹介する（図 -7）。ここは母樹保残施業を行い、後更も期待した試験地であった。試験は二つの林分で行われており、伐採後更新促進のために刈払いが行われている。刈払いを行った 2 つの林分では、伐採後それぞれ 5 年目、11 年目にはブナ稚樹が当時の更新基準（10000 本 /ha）を超え、更新完了と判断された場所である。その後、それぞれ伐採後 54 年目と 33 年目に再調査が行われたが、ブナが優占する森林として再生した場所は片方のみで、片方はブナの優占率が 9％しかない林分となった。また、刈払い（更新促進）を行わなかった林分では、ブナ稚樹数が更新基準に満たないまま、他種が優占する林分へと変化した。このように、更新基準をクリアしたとしても、その後更新樹種（個体）が林冠を構成するとは断言できないし、場合によってはササやシダ類等が繁茂する草地へと退行してしまうこともある。

更新基準やその判定時期については、以前より改善すべきとの指摘があり、もっと大きい稚樹サイズ（現行は多くが 30 cm）や最近の伸長量等に基づいて決定（谷本 1990）したり、複数回の判定を行ったりする方法が提案されている。また、サイズと密度に重み付けをした更新指数の考え方もより精度の高い手法であると思われる。ただ、施業現場での判断調査となると、煩雑な方法は適用が難しくなるため、更に簡便かつ精度の高い手法の開発が必要と考えている。

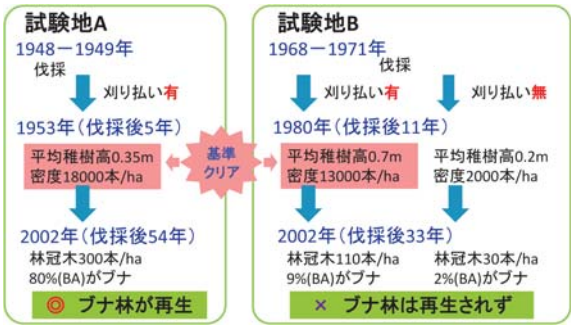


図 -7　過去の更新完了地をモニタリングし検証した例（杉田ら 2006 より作成）
BA：胸高断面積

更に、「広葉樹林化」の場合には、残存木の成長を考慮して更新を促進させる必要がある。これは、択伐林施業と通じるものがあるが、母樹源がその林分内に存在しないという決定的な違いがある。多様な施業が行われるようになった現在では、施業タイプや目標林分に対応したきめ細かな基準設定や柔軟に変更が出来るような基準作りが求められている。

5. おわりに

更新完了基準については、民有林では作成が始まったばかりであり、その現場適応もこれからである。国有林については、目標林型（施業目的）別に更新完了基準の分化が進もうとしている。今後、これらの基準は一層精度が高くなるよう改善されていくであろうが、それが実施地における検証・結果のフィードバックによって改善されていくような体制や制度作りが重要である。

なお、本原稿の作成にあたり、更新基準にする資料を、国有林については各森林管理局より、民有林については林野庁計画課より提供して頂いた。ここに御礼申し上げます。

参　考　文　献

杉田久志・金指達郎・正木　隆（2006）ブナ皆伐母樹保残法施業試験地における 33 年後、54 年後の更新状況　―東北地方の落葉低木型林床ブナ林における事例―．日林誌 88：456–464.

谷本丈夫（1990）広葉樹林の生態学．245pp．創文 東京

Tanouchi, H., Sato T., and Takeshita, K. (1994) Comparative studies on acorn and seedling dynamics of four *Quercus* species in an evergreen broad-leaved forest. J. of Plant Res. 107:153–159.

Yamagawa, H. and Ito, S. (2006) The role of different sources of tree regeneration in the initial stages of natural forest recovery after logging of conifer plantation in a warm-temperate region. J. For. Res.11:455–460.

シリーズ
森めぐり ❶

マレーシアサラワク州 ニア森林保護区

田中　憲蔵
（たなか　けんぞう、森林総合研究所）

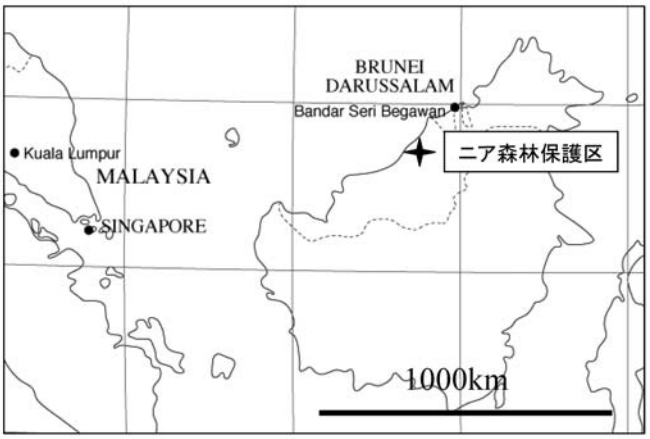
今回ご紹介するニア森林保護区（3° 39'N, 113° 42'E）は、ボルネオ島の北西、マレーシアサラワク州にあります（図–1）。この地域は、明確な雨季乾季の無い熱帯湿潤気候に属し、月降水量が100mmを切ることはありません。年降水量は2800mm、平均気温は27℃です。こう聞くとずいぶん蒸し暑い印象を受けるかもしれませんが実際は湿度がそれほど高くなく、日陰に入れば意外と過ごしやすい所です。

この地域には、約4万年前から人が住んでおり、その痕跡がニア洞窟で見つかっています。その後、狩猟採集民が主に暮らしていたようですが、20世紀初頭に焼畑農業を営むイバン族が移住し、天然林の開発がおこなわれてきました。ニア森林保護区も、元はフタバガキ科樹木が優占し、樹高が50～60mに達する低地熱帯雨林でしたが、1970年代から数度の択伐を受け、木材価値の高い樹木が減少した択伐残存林に劣化しています。さらに、地域住民による焼畑も行われ、耕作放棄後の草原や、オオバギ属（*Macaranga*）の優占する二次林がパッチ状に分布する森林へと姿を変えています。狩猟圧も高く、大型の哺乳類はあまり見られませんが、ヒゲイノシシやカニクイザル、ルサと呼ばれる大型のシカが生息しています。サラワク州ではこのような人の影響を強く受けた熱帯雨林が低地に広く分布し、ニアの森もその典型と言えるかもしれません。

イバン族による森の利用

ニアの森の周辺に住むイバン族は、ロングハウスと呼ばれる高床式の長屋がいくつか集まった集落で、稲作や洞窟に住むツバメの巣の採取、町への出稼ぎなどによって生計を立てています。森の利用でよく目立つのは焼畑でしょう。毎年、雨のやや少なくなる8月ごろ、約10～20年生の二次林を伐採後火入れし、陸稲を育てます（図–2）。火を入れることで、樹体内の養分を土壌に還元し、雑草や病害虫も防ぐことができます。粘土含有量の高いニアの土壌では、灰に含まれる窒素などの養分がそれほど雨水で流出しないことも分かっています。稲は翌年2月ごろ熟し収穫します。焼畑は1、2年作付けすると収量が悪くなるので休閑されます。焼畑跡は草本にすばやく覆われ、10年も経つと樹高15m以上の先駆樹種の二次林になり、再び焼畑が行われます（図–3）。二次林内は明るく下草も少ないため天然林に比べ快適に過ごせる森です。

焼畑以外にも籐細工の原料となるロタンや食用になる



図–1　ニア森林保護区の位置

図–2　収穫直前の陸稲

図 –3　代表的な植生である焼畑放棄二次林

図 –4　ブンバン（*bemban*）で作られた敷物

シダの芽、最近価格が上昇したため復活した天然ゴムの採取などニアの森からの産物は様々です。ブンバンと呼ばれる草本（クズウコン科）の茎を割いて作られる敷物や籠は日用品としてよく使われています（図 –4）。このように、ニアの森は周辺に住むイバンの人々の暮らしに様々な恩恵をもたらしています。

日本サラワク友好の森

ニアの森では 1980 年代から、サラワク森林局が主体となってアカシアなどの外来種植林や、住民参加型のアグロフォレストリーなど様々な試験が行われてきました。2000 年からは、択伐林や焼畑放棄地での郷土樹種の植林試験も始まりました。ニアの森は択伐や焼畑で劣化したため、経済価値の高い樹木の母樹がほとんど無く、次世代の更新が難しくなっています。特に焼畑後の二次林にはこれらの樹木の稚樹は全くありません。そこで植林試験では、フタバガキなど郷土樹種 20 種を約 26000 本植栽しました。木材利用樹種以外にも、ドリアンや種子がチョコレートの油脂原料となるエンカバン（*Shorea macrophylla*）など有用樹種が多数含まれ、植栽後 10 年経過した現在では、樹高 10m 以上に成長した個体もあります（図 –5）。植林には、愛媛大学や高知大学が協力し、植栽技術の開発のために、苗の成長特性の解明や菌根菌との関係などの研究が続けられています。そのため植林地はサラワク州と日本の友好の意をこめて「日本サラワク友好の森」と名付けられ、サラワク森林局の手で管理されています。やがてこれらの苗が母樹となり、天然更新する日が来るかもしれません。

しかし、ニアの森の周辺では政府が奨励するアブラヤシ農園の開発が急速に進んでいます（図 –6）。農園を作る際には、森を完全に伐採し重機で整地するため、動植物の多くが姿を消すことになるでしょう。今後、森の姿や人との関わりがどう変化するのか、友好の森に育つ木々は成木まで生き残れるのか、何十年後かに訪れてみたいものです。

図 –5　植栽されたフタバガキ科樹木（エンカバン）

図 –6　ニアの森で行われるアブラヤシ農園開発

シリーズ
森めぐり ②

高知大学演習林（嶺北フィールド）

塚本　次郎
（つかもと　じろう、高知大学農学部暖地フィールドサイエンス教育研究センター）

嶺北フィールドは四国山脈の南側を東西に走る前山の稜線部から南斜面上部を占め、モミ・ツガ帯に属している（標高 660 ～ 1045 m）。東西に長い高知県の中央部よりやや東寄りに位置する。かつて民有林時代には薪炭林利用が盛んで広葉樹二次林が高い割合を占めたが、県有林を経て高知大学が譲り受けた昭和 29 年以降、大学が進めた拡大造林により、スギ、ヒノキの造林地が 6 割を占めるに至っている。残りの多くはモミ、ツガを交えた常緑広葉樹二次林と途中相の落葉広葉樹二次林からなり、一部にモミの老齢林が残っている。国立大学演習林の中では最小規模（面積 127 ha）の森林を、利用目的の異なる 5 つのブロック（体験の森、技術の森、研究の森、観察の森、ものづくりの森）に区分し、学内外の広範な階層からの森林需要に応えるべく、多様な森林整備を進めている。ここではその一端を紹介させていただこうと思う。

体験の森

高知大学農学部の森林科学コースと国際支援学コースでは、地拵え―植栽―下刈り―除伐―間伐と搬出―枝打ちからなる人工林の育林作業を一通り体験する実習を必修科目に取り入れている。毎年、新植地を用意する必要があるため、このブロックを 0.15 ～ 0.20 ha の 60 の小区画に区分し、伐採と植栽が 60 年で回帰するように整備を進めている。これによって小、中学生や他学科、他学部の学生にも需要の多い除伐、間伐体験に必要な林分が自動的に整備されていく。また、目的外使用であるが、整備した作業道や作業路に周回コースを設定して学内外に参加者を募り、トレイルランニングレースの大会を始めた。3 回目となる今年は初参加の若手教員チームが密かにトレーニングに励んでいると聞く。

観察の森

ここでは二次遷移の実物観察ができる植生区画を整備中である。人工林を毎年一辺約 30 m の方形に伐採、放置することを繰り返し、現時点では、伐採直後、1 ～ 2 年生草本植生、ススキ草原、ススキ草原から先駆樹林への移行植生、先駆樹林を巡回観察できる。これに既存の約 100 年生のモミ林と約 60 年生の常緑高葉樹二次林、落葉広葉樹二次林を加えて観察コースとし、これまでに

写真 –1　技術の森 (帯状更新地の下刈り省力と植栽木の成長展示林)

写真 –2　研究の森（隣接する落葉広葉樹林、常緑広葉樹林と林冠観察用タワー）

高大連携授業、市民講座、教育学部野外体験実習、愛媛大―高知大連携授業等に活用してきた。今後は、中四国地区国公立大学間連携フィールド演習や全国大学演習林協議会が計画している公開森林実習での利用を考えている。

山裾にある小・中学校との連携と「林業塾」

農学部には野外志向の強い学生が多く、上述のような実習では物足りない学生も出てくる。嶺北フィールドを拠点として活動し、現在ではサークル認定されている林業塾も、そのような学生が実習の実技指導を担当する技術職員を頼って始めた野外活動（森林管理作業のサポーター、ツリーハウス建築、草木染め、探鳥会等々）が発端である。嶺北フィールドでは、山裾にある繁藤小・中学校の自然体験授業に協力させていただいており、子供樹木博士認定、巣箱かけと野鳥観察、椎茸の原木栽培などを行っているが、子供達との距離の近い林業塾の学生達が大きな戦力となっている。

写真 –3　体験の森（下刈り実習風景）

国立大学演習林の統廃合への動きが燻っていると感じられる昨今の情勢であるが、演習林は個々の大学ごとに設置されていてこそ生きてくるものだ、との思いは、上のような活動を通じて深まるばかりである。

写真 –4　観察の森（二次遷移初期植生造成のための人工林伐採）

写真 –5　繁藤小・中学校（嶺北フィールド産原木への椎茸の駒うちをする児童と手伝う林業塾塾生）

森の休憩室 II
樹とともに　その 7

緑の匂い

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）

冬が終わり 3 月になると、茶色一面の地面にちらほら出てくる緑の葉っぱ達、その小さくかわいい姿に春の訪れを感じます。毎年繰り返されることではありますが、植物たちの新しい息吹に安堵すると同時に、これからの一年の変化に何かワクワクしてしまいます。しかし 4 月下旬のあるときから、そんな気持ちと反するかのように、彼らを雑草と呼びながら秋まで除草することが始まるのです。

庭や公園のように、私の勤務する植物園でも除草は年間作業の中でとても重要で、かつ、労力を必要とするものです。密集して丈の伸びた草たちは外見がだらしないだけでなく、人の進入を拒みます。さらに、そこに植栽されている植物にとっては競争相手となるのです。逃げ場のない太陽の下でその本業をいつからスタートさせるのか、春先の私は植物の発する緑の匂いに敏感になります。それらは暑さとともに強くなるもので、猛暑の際は、熱気と湿度を含んだ濃い緑の空気にめまいすら感じます。5 月前、草たちの成長がまさに爆発するその瞬間、目にはみえなくとも蒸散によって放出されている物の質や密度に、大きな変化がおきているのではないかと思っています。それが除草開始の合図です。緑の匂いは私にとって除草をイメージさせるものであり、匂いの濃さは労働の大変さに結びついています。そうかと言って私は草たちを嫌っているわけではありません。彼らの凄さについて畏敬の念をも持っています。それは、かつて植栽地の除草で大変苦い思いをしたことがあるからです。

新潟の造園会社に勤めていた頃、春と呼ぶには早い時期に海からそう遠くない新しい公園で植栽工事を行いました。地面は完全に砂地だったのですが、設計では一般的な公園で行われるような施工方法が指示されていて、「そんなものかな...」とは思いながら工事を終えました。その後、たびたび灌水に行きましたが、成長が良好だったので安心し、注意もしなくなっていました。6 月頃、元請会社から雑草の勢いが凄いので除草しろとの指示がありました。見るとエリア全体に丈が 1 m 以上になる草が出始めていました。それは当然の仕事だったし、私はなんのためらいもなく除草を行いました。するとその直後から、大量の樹木が枯れ出したのです。原因は極端な水不足によるものでした。植栽された樹木が水分の保持能力のない砂地でそれまで生きていたのは、雑草達がマルチング代わりに、いや、それ以上の役割をもって地表を守っていたからしいのです。それを私が完全に撤去してしまったのでした。事態に気づき慌てて灌水やいくつかの手を打ったのですが、時すでに遅し。何をしても効果はありませんでした。

私が思うに結局のところ、そこの日射環境は海の砂浜と同じであり、地面が熱すぎたのだと思います。たとえ潮風に強いとされる植物にしても、突然に何の環境緩和策もなしでは生きられる場所ではなかったのでしょう。そう考えると、あの丈の高かった雑草達による被陰はそれらを担っていた可能性があります。私はそれに替わる手立てを何一つ打ち出せず、ただ立ちつくしただけでした。そして、自然界を構成するものやしくみについて深く考えさせられたのでした。

樹木達が元気だったころの雑草あふれる緑の色と匂いに満ちた景色、除草後の灰色の砂がギラギラと照り返す中で緑の色と匂いが失われた景色。今でも植物がジワジワと枯れていく様をどこかで見る度に、その 2 つの景色を思い出します。あのような現場で何の疑問も持たないまま設計通りに植栽をし、さらに除草まで行ってしまった手痛い記憶は、植物の命をイメージさせる緑の匂いとつながって私の嗅覚に深く突き刺さっています。

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。新潟市の株式会社らう造景（旧 後藤造園）に勤務。現在は筑波実験植物園の非常勤職員として植物管理部門に所属。樹木医、森林インストラクター。

シリーズ

現場の要請を受けての研究⓬

サンブスギ間伐手遅れ林分管理指針の作成

福島　成樹（ふくしま　しげき、千葉県農林総合研究センター森林研究所）

1. はじめに

サンブスギは、千葉県の山武林業地においてさし木造林の技術とともに受け継がれてきた優良な性質を多く持つさし木スギの1品種です（写真–1）。しかし、さし木品種であるために個体ごとの成長差が少なく、間伐が遅れると自然間引きが発生しにくいためにいわゆるモヤシ状の共倒れ型林分[1]になってしまいます（写真–2）。このような共倒れ型林分となった場合、間伐をしなければ気象害による共倒れの危険性がより高くなる一方で、間伐をした場合にも一時的に気象害を受けやすくなり、共倒れの危険性が高くなる可能性があります（写真–3）。

林業普及の現場では、間伐が遅れたサンブスギ林分に対して、どのような場合に間伐を勧め、どのような場合には気象害を避けるために皆伐して再造林を勧めるべきかの判断基準がなかったため、その作成が要望されていました。ここでは、現場の要請を受けての研究として、林業普及の現場で必要とされていた間伐が遅れたサンブスギ林分に対する管理指針の作成について、どのような形で研究に取り組み成果をまとめたかについてご紹介します。

2. サンブスギの特徴

サンブスギという名称は使う人によって異なる意味で使われる場合があります。今回研究対象としたサンブスギは、山武林業地において250年以上前からさし木造林の技術とともに受け継がれてきたさし木スギの1品種で、単一クローンと考えられているものです。このサンブスギは在来品種として千葉県内に広く植栽されており、1995年の林務課（現森林課）の調査[3]によれば、県内の植栽面積は約7,700ha、県のスギ林面積の約18%を占めています。

サンブスギの特徴は、発根性が良くさし木での増殖が容易、幹の形状は通直、完満で、断面は円に近い、枝が細く樹冠が狭い、などがあげられます。また、雄花をほとんどつけない、赤枯れ病にかかりにくい、スギカミキリの被害を受けにくいといった長所を持っています。しかしその一方で、冠雪害や風害に弱い、スギ非赤枯性溝腐病にかかりやすいといった短所があります（表–1）。

現在、サンブスギに大きな被害をもたらしているスギ非赤枯性溝腐病は、1960年頃に茨城県で初めて報告された病気で、1964年にその原因がチャアナタケモドキ

写真–1　さし木のため成長がそろったサンブスギ

写真–2　間伐が遅れたサンブスギ

写真–3　気象害を受けたサンブスギ

という木材腐朽菌であることが確認されました[2)]。この病気は、幹を腐朽させ、材価を著しく低下させるばかりでなく、気象害に対する抵抗性を低下させるため林業上の大きな問題となっています。前述の調査[3)]によればその被害は千葉県全域に広がっており、本数割合で25％以上の個体が病気にかかっている被害林の面積は、サンブスギ全体の54％に達しています。

3. 研究の進め方

間伐が遅れたサンブスギ林分の管理指針の作成は、林業普及の現場における要望が強く、2000年に県のみどり推進課（現森林課）から試験研究要望課題として提出されました。研究の進め方については、提案機関のみどり推進課と協議し、サンブスギ林分の現況調査を主体とし、現場で使いやすい管理指針をできる限り短期間で作成することを目標としました。特に現況調査については、短期間で実施できるよう出先機関の林業関係部署の協力を得て、約2か月で32か所の林分調査を行いました。林分調査の内容は、所在地、所有者、面積、林齢、気象害の履歴と、100 m^2 のプロット内の毎木調査（樹高、胸高直径、スギ非赤枯性溝腐病による被害の有無）とし、25年生以上のサンブスギ林分を調査対象としました。

また、間伐が遅れて過密となった場合に、サンブスギではどの程度の成長が期待できるかを明らかにするため、森林研究所内のサンブスギ見本林（調査時39年生）において、2001年7月から2002年2月にかけて樹冠投影面積と形状比、胸高直径成長の関係を調査しました。

4. 現況調査の結果

現況調査を行ったサンブスギ32林分は、間伐が遅れている林分のほかに適正に間伐が行われている林分を含んでおり、調査林分全体についてみると、林齢は平均33年生（25～45年生）、平均樹高は17.7 m（13.6～24.7 m）、平均胸高直径は19.2 cm（11.9～25.4 cm）、平均立木密度は2,000本/ha（700～3,200本/ha）、形状比*の平均は96（73～124）でした（図-1～図-4）。

調査林分の成長をサンブスギ林分収穫表[5)]（以下、収穫表）と比較すると、樹高は地位**2等以上に該当するものが多いのに対し（図-1）、胸高直径は地位2等付近を中心に分布しており（図-2）、樹高に比べて胸高直径が小さい傾向を示しました。これは、間伐が遅れて立木密度が高い調査林分が多いためと考えられます。また、形状比は32林分中10林分で100を越えており（図-4）、気象害を受ける危険性が高い林分が多い現状にありました。

表-1　サンブスギの特徴

区　　分	特　　徴
繁殖方法	挿し木による（発根性が良い）
成　　長	早生型
材の性質	通直，完満，断面は正円
材　　色	淡紅色
枝の性質	細く枯れ上がりが早い
樹冠の形状	樹冠（クローネ）は狭い
針葉の形	先端がとがり握ると痛い
花粉症対策	雄花（花粉）をほとんど着けない
病虫害抵抗性	赤枯病にかかりにくい
	スギカミキリの被害を受けにくい
	スギ非赤枯性溝腐病に弱い
気象害抵抗性	冠雪害、風害に弱い

岩井(1986)を再編

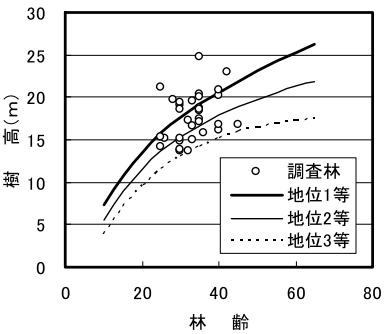


図-1　調査林分の樹高

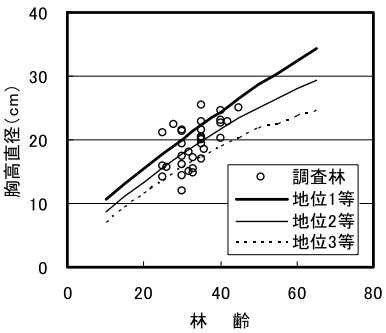


図-2　調査林分の胸高直径

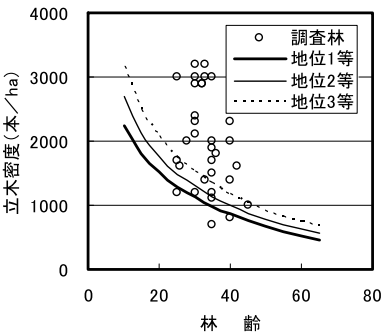


図-3　調査林分の立木密度

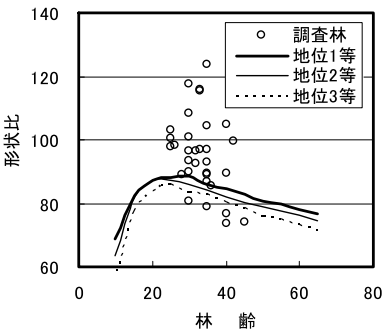


図-4　調査林分の形状比

*　形状比：樹高を胸高直径で割ったもので、値が大きいほどひょろ長い木であることを示している。気象害に対する抵抗性の目安となる。

**　地位：林地の生産力を示すもので、3階級または5階級に区分されることが多い。本文中のサンブスギの地位は3階級に区分され、生産力は1等＞2等＞3等となっている。

一般に、形状比が 70 を越えると雪害等の気象害を受けやすくなり[4), 7)]、100 を越えている林分は非常に危険な状況[8)]と言われています。そこで、気象害の履歴についてみると、調査した 32 林分のうち 9 林分が過去に気象害を受けていました。また、形状比が 100 を越える 10 林分では半数を超える 6 林分が過去に気象害を受けていることがわかりました。したがって、サンブスギ林においても形状比が 100 を越える林分は気象害を受ける危険性が非常に高いことがわかりました。

一方、スギ非赤枯性溝腐病による被害は、被害調査を行わなかった 4 林分を除く 28 林分についてみると、75％にあたる 21 林分で罹病木が認められ、そのうちの 12 林分では罹病木の本数率が 25％を超えていました。気象害に対するスギ非赤枯性溝腐病の影響は明確ではありませんが、病気による幹の腐朽が気象害に対する危険性を一層高めている可能性があると考えられました。

5. 樹冠投影面積と形状比、胸高直径成長の関係

サンブスギ見本林における樹冠投影面積と形状比との関係を図 -5 に、樹冠投影面積と胸高直径成長量との関係を図 -6 に示しました。樹冠投影面積と形状比との間には負の相関（r= − 0.8383, n=56, p<0.01）が認められ、形状比は樹冠投影面積が小さいほど大きくなる傾向を示しました。一方、樹冠投影面積と胸高直径成長量との間には正の相関（r=0.6571, n=50, p<0.01）が認められ、胸高直径成長量は樹冠投影面積が小さいほど小さくなる傾向を示しました。

これらのことは、間伐が遅れて立木密度が高い状態が続き樹冠投影面積の拡大が抑制されると、胸高直径成長量が低下して形状比が高くなることを示しています。今回調査した 7 月から 2 月の胸高直径成長量は、樹冠投影面積が 5 m^2 の場合には 1 mm 程度と小さく、このような林分では間伐を行っても形状比が回復するまで長期に渡り気象害を受けやすい危険な状態が続くと考えられます。したがって、間伐が遅れて胸高直径成長量が低下した林分においては、収穫が可能な場合には皆伐して再造林を勧める方が望ましいと考えられ、これを選択肢に含めた管理指針を検討しました。

6. サンブスギ間伐手遅れ林分の管理指針の作成

以上の調査結果から、なるべく現場で使いやすい気象害の危険性を判定する方法を検討し、形状比に基づいたグラフを作成しました（図 -7）。これは、平均樹高と平均胸高直径から気象害の危険度を判定するもので、危険ライン（形状比が 101 のライン）よりも左上が危険の範囲、各林齢の注意ライン（収穫表から計算した形状比 ＋ 1.1 ～ 2.0）より右下が通常の施業の範囲、注意ラインと危険ラインの間が注意の範囲を示すものです。それ

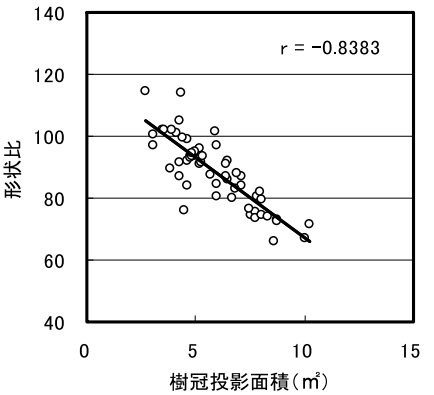


図 -5　サンブスギ見本林における樹冠投影面積と形状比との関係

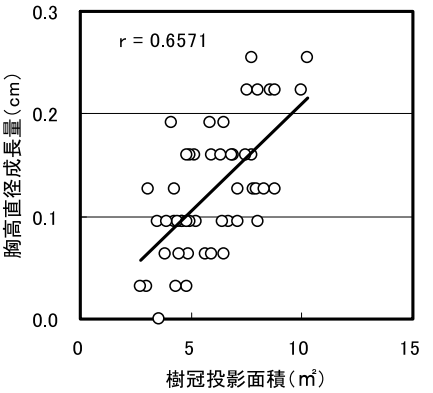


図 -6　サンブスギ見本林における樹冠投影面積と胸高直径成長量との関係 (2001/7/11-2002/2/22)

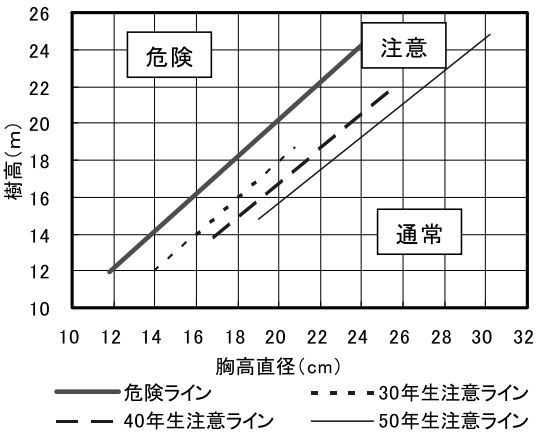


図 -7　樹高と胸高直径から気象害の危険性を判定するグラフ

ぞれの範囲に対する管理指針は以下のとおりです。

危険：皆伐し再造林することが望ましい。皆伐ができない場合には、間伐率を 10％程度に抑え、2 ～ 3 年ごとに間伐を繰り返し、形状比の高い個体から伐採していく。ただし、形状比の回復には長期間を要するため、その間に気象害を受ける危険性が非常に高い。

注意：間伐には注意を要し、実施する場合には、間伐率を 10％程度に抑え、2 ～ 3 年ごとに間伐を繰り返し、形状比の高い個体から伐採していく。なお、個々の樹冠が小さい林分では、直径成長の低下により形状比の回復に長期間を要するため､その間に気象害を受ける危険性が高い。

通常：サンブスギ林分収穫表を基準に通常の間伐を実施する。

また、より現場で扱いやすいように、林齢（30 年生、40 年生、50 年生）、地位（1 ～ 3 等）別に、測定が容易な胸高直径から危険度を判定するための表を作成しました（表 -2）。

なお、上記の判定とは別にスギ非赤枯性溝腐病への対策として、①生産目標に達し主伐が可能（収穫が可能）、②被害率が 70％以上、③平均形状比が 101 以上のいずれかに当てはまる場合は、皆伐、再造林を勧めることとしており、これらの内容をもとに、2002 年に「サンブスギ間伐手遅れ林分の管理指針」を作成しました。

この成果については、試験研究成果発表会や現地指導を通じて普及を図っているところですが、現場での管理指針の適用にあたっては、林内のスギを 1 本伐倒して直径成長を確認し、実際の成長と立地条件などを総合的に判断して管理方法を決定することを勧めています。

管理指針の詳しい内容については、千葉県農林総合研究センター森林研究所のホームページ（http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/forestry/jouhou/gijututaikei/shidou/sanbu.pdf）をご覧ください。

7. おわりに

今回の管理指針には「間伐手遅れ」という言葉を使用しましたが、「間伐手遅れ」という言葉はもっと慎重に使用すべきとの指摘があります[9),10)]。確かに、すでに打つ手がないような「間伐手遅れ」の森林と言えるのは、今回ご紹介したような単一クローンによる一斉林においても該当するものはごく一部と考えられ、今さらではありますが「間伐が遅れたサンブスギ林の管理指針」という名称の方が適切だったと感じているところです。

表 -2　林齢、地位別に主林木平均樹高から計算した危険、注意、通常の胸高直径の範囲

林齢	地位	主林木樹高(m) 平均	主林木樹高(m) 範囲	主林木平均樹高から計算した胸高直径(cm) 危険	注意	通常
30年生	地位1等	17.6	16.5 ～ 18.7	17.4 以下	17.5 ～ 19.6	19.7 以上
	地位2等	15.3	14.3 ～ 16.4	15.1 以下	15.2 ～ 17.4	17.5 以上
	地位3等	13.0	11.9 ～ 14.2	12.8 以下	12.9 ～ 15.3	15.4 以上
40年生	地位1等	20.6	19.3 ～ 22.0	20.4 以下	20.5 ～ 24.0	24.1 以上
	地位2等	17.9	16.6 ～ 19.2	17.7 以下	17.8 ～ 21.3	21.4 以上
	地位3等	15.2	13.8 ～ 16.5	15.0 以下	15.1 ～ 18.5	18.6 以上
50年生	地位1等	23.1	21.6 ～ 24.8	22.8 以下	22.9 ～ 28.2	28.3 以上
	地位2等	19.8	18.2 ～ 21.5	19.6 以下	19.7 ～ 24.8	24.9 以上
	地位3等	16.5	14.8 ～ 18.1	16.3 以下	16.4 ～ 21.2	21.3 以上

なお、この管理指針は現場の要請を受けて短期間で作り上げたものであり、間伐後の個体や林分の成長についての情報が十分とは言えません。今後はそれらのデータを加え、間伐後の成長を考慮した管理指針にしていきたいと考えています。

最後に、管理指針をまとめるにあたり現況調査にご協力いただいた出先機関の林業関係部署のみなさんと、当時みどり推進課で現況調査を担当していただいた森　浩也氏（現千葉県中部林業事務所森林管理課長）に感謝します。

引　用　文　献

1）安藤　貴（1982）林分の密度管理，実践林業大学 XXV：112 ～ 115，農林出版，東京.
2）青島清雄・林　康夫・米林俵三・近藤秀明（1964）サンブスギの非赤枯性溝腐病，75 回日林講：394 ～ 397.
3）千葉県農林水産部林務課（1995）平成 7 年度スギ非赤枯性溝腐病被害調査.
4）石井　弘・片桐成夫・三宅　登（1983）冠雪害をうけたスギ人工林の直径分布，形状比分布と被害の関係，日林誌 65：366 ～ 371.
5）岩井宏寿（1973）サンブスギ林分収穫表の調製，千葉林試報 7：3 ～ 48.
6）岩井宏寿（1986）山武林業，森林航測 148：20 ～ 24.
7）松田正宏（1983）スギ造林木の形状比と冠雪被害形態，94 回日林論：723 ～ 724.
8）四手井綱英（1954）雪圧による林木の雪害，林試研報 73：71.
9）横井秀一（2008）関中林試連「過密人工林における間伐手法研究会」，森林科学 54：43–45.
10）横井秀一（2009）簡単に「間伐手遅れ林」とは言わないで，岐阜県森林研究所ホームページ．（http://www.cc.rd.pref.gifu.jp/forest/rd/kankyou/mori091201.html）

北上するマツ材線虫病

中村　克典
（なかむら　かつのり、森林総合研究所東北支所）

シリーズ うごく森 13

うごく被害分布先端

2010 年 1 月、青森県津軽半島の蓬田村で発見された 1 本のクロマツ枯損木でマツノザイセンチュウの生息が確認された（図 –1、写真 –1）。その地に自生していた樹高 20 m を越える大木でのマツ材線虫病の発症は自然感染によるものとしか考えられない。この時点で、青森県は、長く言いならわされてきた「本州唯一の材線虫病被害未発生県」ではなくなった*。少し時間をさかのぼって、2009 年 10 月には岩手県盛岡市で材線虫病被害木が発見されている。岩手県では、長らく盛岡市の南に隣接する紫波町が材線虫病被害の北限であった（過去に、盛岡市およびさらに北に位置する滝沢村、八幡平市で単木的な被害発生記録があるが、その後の継続的な被害発生がなかったので被害分布北限とされてこなかった；図 –2）。

20 世紀初頭にマツノザイセンチュウが日本に侵入して以来、あるいは、東北地方について言うなら 1975 年に宮城県石巻市で被害が確認されて以来、材線虫病は着実に分布先端地を押し広げてきている。

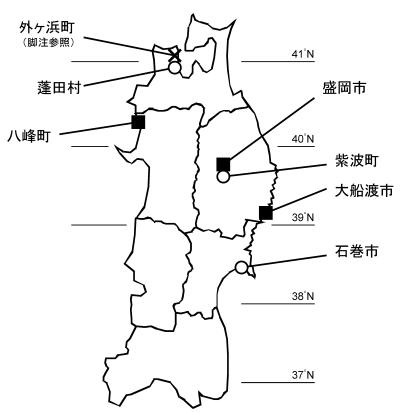


図 –1　本文中で言及される主な市町村の位置図
四角は 2010 年時点での連続的な被害分布の北限を表す。

* 2008 年 9 月に青森県外ヶ浜町で材線虫病被害木が発見されたが、それらは直前に県外から移入された苗木であり、県外ですでに感染していた木が植栽後に発症したものと認定された。このため、青森県での材線虫病被害の発生例と見なされていなかった。なお、これらの苗木はその年の 10 月にすべて抜き取り、焼却されたので、2008 年に持ち込まれた被害木から脱出したマツノマダラカミキリが飛来し今回の被害をもたらした、というストーリーはあり得ない。

マツ材線虫病被害とその拡大

一般に「松くい虫被害」と呼ばれるマツ材線虫病は、病原体であるマツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus xylophilus* がマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* およびその近縁種によって媒介されることで発生する、マツ類樹木の伝染病である。身近なマツ林で激しい材線虫病の流行を経年的に眺めたことのある方なら、ある年、数本の枯れ木から始まった被害が数年のうちに林分全体に広がり、やがて少数の生き残りのマツを残して（時に全滅）終息する様を思い浮かべていただけることと思う。少し範囲を広げて見渡してみると、被害は、近隣の被害林分（または地域）から広がってきて、後に周辺の未被害林分（地域）へと移っていく場合もあり、その林分（地域）に突如として発生し、そこを核に拡大していく場合もある。これらは、伝染病である材線虫病の典型的な「うごき」の例である。

病原体であるマツノザイセンチュウ自体が木から木へ移動する能力をもたない材線虫病では、被害の拡大は基本的にマツノマダラカミキリ等の媒介昆虫の移動分散能力に依存する。マツノマダラカミキリは成虫になると、飛翔および歩行により木から木へ移動することができる

写真 –1　青森県蓬田村に発生したクロマツ被害木の伐倒処理作業の様子

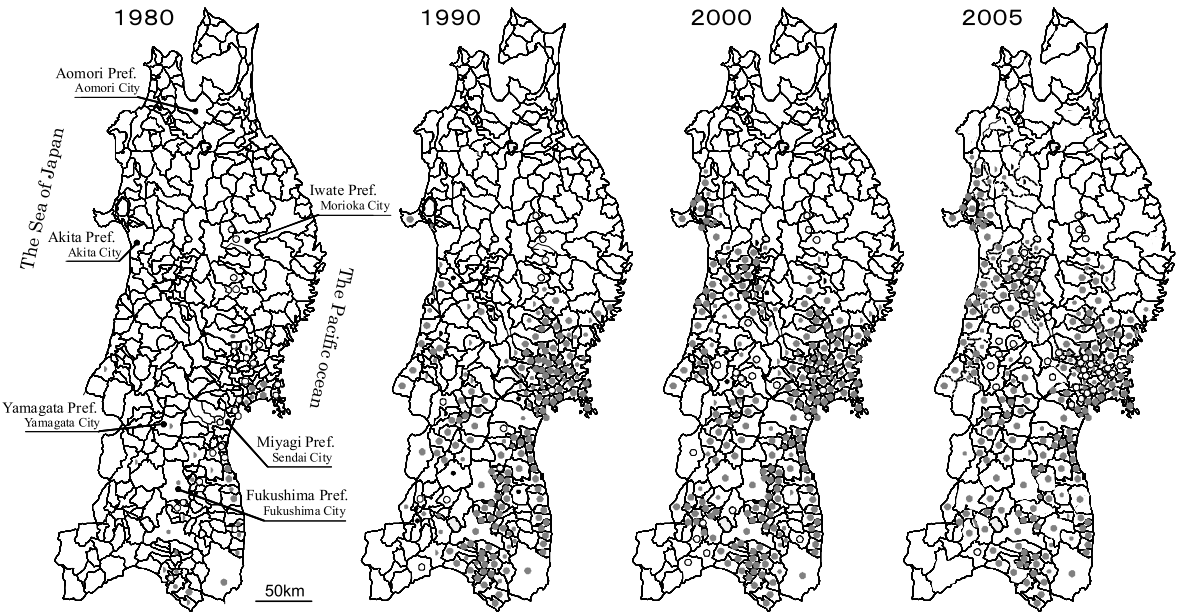


図 –2　東北地方における市町村別マツ材線虫病被害分布の変遷
黒色が当年度分布初確認地点、灰色は前年度から継続して分布が確認された地点を示し、半円、小円、大円はそれぞれ被害木本数 1 ～ 10 本、11 ～ 100 本、および 101 本以上を表す。白丸は以前分布が確認されたが当年度は分布が確認されなかった地点を示す（丸の大きさと本数は無関係）。東北林業試験研究機関連絡協議会森林保全部会（2008）から一部改変し抜粋、転載した。

が、その移動距離は通常はあまり大きくない（Togashi, 1990）。しかし、風に乗った場合などには、一回で数 km を移動することもある（井戸ら 1975）。山本ら（2000）はシミュレーションモデルにより、マツノマダラカミキリの短距離分散および長距離分散が材線虫病被害拡大に及ぼす効果を示した。それによると、短距離分散だけによる場合、被害拡大の速度は年間数十 m に過ぎないが、ここに長距離分散個体が加わると拡大速度は年間数 km まで急激に加速する。また、防除によりカミキリの個体数を減少させると被害拡大速度は低下し、もともとのマツの本数がある程度多いと拡大速度は速くなる。実際に、材線虫病侵入後の被害拡大経過が追跡された茨城県の例（岸 1988）では、拡大速度は年間約 4 km であったことが示されている（山本ら 2000）。

媒介昆虫の移動分散に加え、現実の被害拡大に大きな役割を果たしてきたのが被害木の人為的な移動である。そもそも、北米原産のマツノザイセンチュウが日本に侵入したのは、明治以降の海外からの木材の移入に伴うものと推定されている。その後の国内における材線虫病被害拡大の歴史の中でも、既被害地から遠く離れた場所で突然新たな被害が発生する例は後を絶たなかった。危険な病原体と媒介昆虫をセットにして未被害地に持ち込むという犯罪的な行為がみすみす見逃されている今の日本の状況は、絶望的ですらある。

東北地方での材線虫病分布拡大の経過

東北地方におけるマツ材線虫病の初確認は、1975 年、宮城県石巻市のクロマツ集団枯死木についてのものであった（庄司ら　1976）。引き続き、1976 年には福島県で、1979 年には岩手県、山形県で、材線虫病被害木が発見された。この事態を受けて、東北林業試験機関連絡協議会保護専門部会（現、森林保全部会）では、毎年の会合の際に各県の材線虫病被害木とマツノマダラカミキリ（トラップや被害木での生息調査による）の分布について情報を持ち寄り、市町村単位の分布地図を作製することとなった。以来、約 30 年に渡って集積されてきた情報のうち、1980 年から 2006 年までの分布変遷図が研究資料として公開されている（東北林業試験研究機関連絡協議会森林保全部会、2008；森林総合研究所ホームページ http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/paper.html から閲覧可能）。図 –2 に、そのごく一部を抜粋して示す。

分布変遷図には、1980 年当時、宮城県沿岸部から福島県浜通り、中通りにまとまった被害地域が見られる以外には山形県と岩手県に点在するに過ぎなかった材線虫

病が、それらの地域を席巻しながら分布を拡大してゆく様子が如実に示されている。被害地域の拡大は、分布の外縁部が爆発的に拡大していくというより、既被害地域で被害が量的に増加する一方で飛び火的な新規被害地が発生し、その場所で被害が激化し新たな被害中心地になる、という過程を繰り返してきたように見える。

初期の被害中心地であった宮城県北部などでは、2000 年以降に被害が見られなくなる場所が出てきているが、もともとマツ林が多くなかった地域で枯れるべきマツが枯れ尽くし、結果として材線虫病の発生も減ってきているものと推測される。岩手県では、1979 年および 1983 年という早い時点で内陸部国道 4 号線沿いに盛岡市以北まで被害発生が見られたが、早期の徹底駆除により完全に沈静化し、被害地域の北限は県南部に押しとどめられた。その後、被害地域は徐々に北上し、ここ数年は紫波町が北限となっていた。三陸の沿岸部では、1980 年代以降、市町レベルでの被害地域の北上は抑えられている。対照的に、秋田県への材線虫病の侵入は 1982 年と遅かったが、1980 年代後半から 1990 年代前半には男鹿半島以南の沿岸部と南部内陸で被害が激化し、1990 年代後半以降は被害地域が男鹿半島より北の沿岸地域に拡大している。この被害拡大様相の違いには、温度環境（暖流の影響で気温が高い秋田県では材線虫病が広がりやすい）や樹種（秋田県の沿岸部には材線虫病感受性の高いクロマツの海岸林が広く分布する）の効果が強く反映されているものと考えられる。

なお、材線虫病による被害量は高温少雨な夏を経ると増加することが知られているが、分布変遷図を見る限り、そのような年（例えば、1994 年、1999 年、2000 年；転載元文献の図を参照されたい）に分布域が急激に拡大するというような傾向は読みとれない。

マツノマダラカミキリの分布域は、1980 年時点で材線虫病の分布域より広く、その後は材線虫病とほぼ並行して分布を拡大しているが、概して材線虫病の被害発生に先行する傾向がみられる（東北林業試験研究機関連絡協議会森林保全部会 2008）。ただし、材線虫病被害が発生しない場所でのマツノマダラカミキリの生息密度は極めて低いので、図で「未分布」とされている地域に本当にカミキリが生息していなかったという確証はない。低密度でも媒介昆虫が先行して生息している地域には材線虫病が侵入しやすいと考えられることから、筆者らは現在、青森県の材線虫病未侵入地域で媒介昆虫の生息確認調査をすすめている。

侵入病害である材線虫病の被害拡大経過を広域で、しかも侵入直後から追跡した分布変遷図は資料として貴重であり、極めて示唆に富む内容を含む。このような、公益性の高いデータの長期的な集積は公立試験研究機関でなければ成し遂げられない業績であり、東北の森林保護研究の先輩方の先見と努力に深い敬意を表したい。データの収集は継続して行われているが、市町村単位での集計であるため、平成の大合併以降は集約単位が粗くなってしまった点が非常に残念である。

被害分布の北上は温暖化の表れ？

分布変遷図からも明らかなように、東北地方で材線虫病被害分布は北上している。生物の分布北上があれば何ごとも「地球温暖化の表れではないか」と問われる昨今であるが、材線虫病の場合、これは当たっているであろうか？

材線虫病には温度依存性があり（Rutherford *et al*., 1990）、気温が高くなると被害が発生・拡大しやすくなることは事実である。そこで、温度をはじめとする気候値を用いて材線虫病あるいはマツノマダラカミキリの分布可能域を予測した研究がいくつか示されているが（例えば、五十嵐 2007）、現在の被害分布はまだ材線虫病やカミキリの分布可能域をカバーするに至っていない。つまり、材線虫病は、温暖化がなくてもさらに北上する余地を残している。材線虫病被害分布の北上は、被害拡大を抑制しようとする人間の防除努力が材線虫病の勢いにジリジリと押し上げられて生じている現象に過ぎない。

しかし、温暖化がすすめば材線虫病はますます勢いを増し、防除はさらに困難を極めることになる。材線虫病対策を考える上で、地球温暖化が望ましくないことは当然である。

被害分布の北上を封じるために

現時点で、東北地方における材線虫病の連続的な被害分布の北限は太平洋側では岩手県大船渡市、北上盆地では盛岡市南部、日本海側では青森県境に近い秋田県八峰町にあり、飛び地で青森県蓬田村での被害が確認されたところである（図 -1）。

蓬田村の被害木はすでに伐採、焼却処分された。筆者らは処分される前の被害木を精査し、この木にマツノマダラカミキリが生息しないことを確認した。さらに、樹

冠部の枝条を探索したが、マツノザイセンチュウの侵入門戸となるカミキリ成虫の後食痕を見つけることはできなかった。これらのことから、被害木にマツノザイセンチュウをうつしたマツノマダラカミキリは非常に低密度であったことは間違いない。周辺でこの木以外に衰弱・枯死木が発見されていないことも考えると、被害は偶発的にこの地にもたらされたごく少数のマツノマダラカミキリ成虫によって生じたとしか考えられない。分布適域でもない地域に少数のマツノマダラカミキリがマツノザイセンチュウを持ち込むことでマツの大木に枯損被害が発生するなどというのは、筆者の想像に余りある事態であった。しかしながら、現地の気温条件下では材線虫病の継続的な発生は困難と考えられ、今回の被害は厳重な監視の下で早晩に終息するものと筆者は予測している。

この件とは別に、ここ数年青森県が緊張をもって対応してきたのが、秋田県境の日本海岸地域である。2006年夏に県境まで250mの秋田県側で材線虫病被害木が発生したことを受け、青森県は秋田県と国有林の協力を得て、県境部の2カ所で南北2km幅に渡ってマツ生立木を伐採、除去する「防除帯」を設定した（写真－2）。この地域に設置されている誘引トラップで、以前は頻繁だったマツノマダラカミキリ成虫の捕獲数が2007年以降激減していることから（青森県調べ）、防除帯が機能していることは確かである。しかし、2kmの防除帯でカミキリの移動が完全に抑制されることはなく、最近になって秋田県側の被害量が増加傾向にあることを考え合わせると、今後もこの地域は材線虫病の被害拡大を抑えるための最重点地域であり続けるだろう。

写真－2　青森県深浦町に設置されたマツ材線虫病に対する防除帯
南北幅2kmに渡ってマツ生立木を伐採、除去し、マツノマダラカミキリの移動を抑制しようとしている。右手は日本海で、前方の崖地あたりが秋田県境となっている。

盛岡市での被害木の発生は蓬田村の例とは異なり、隣接する紫波町にあった被害分布域が移ってきつつあるもので、被害中心地となっている紫波町側での対策なくして根本的な解決はありえない。太平洋沿岸地域についても、県境を越えて宮城県側の被害地を視野に入れた対応策が必要と考えられる。これらの地域では丘陵地やリアス式海岸の複雑な地形にマツ林が広く分布していて駆除すべき被害木を発見することが難しい。防除を成功させ、被害最前線を南に押し下げるには、高精度に被害木を見つけ、駆除するしくみが必要であり、研究開発のひとつの焦点となっている。

引　用　文　献

井戸規雄・武田丈夫・小林一三・竹谷昭彦・奥田素男・細田隆二（1975）マツノマダラカミキリ成虫の分散行動に関する調査．第86回日本林学会大会論文集 335–336.

五十嵐正俊（2007）「松くい虫」の被害は青森県にも達するのだろうか？森林防疫 56(4): 116–121.

岸洋一（1988）マツ材線虫病―松くい虫―精説．トーマス・カンパニー，東京．292pp.

Rutherford, T. A., Mamiya, Y. and Webster, J. M. (1990) Nematode-induced pine wilt disease: Factors influencing its occurrence and distribution. Forest Science 36: 145–155.

庄司次男・滝沢幸雄・五十嵐正俊・早坂義雄・小原憲由・高橋勉（1976）宮城県石巻市とその周辺におけるマツ類材線虫病の分布実態調査．森林防疫 25(4): 53–56.

東北林業試験研究機関連絡協議会森林保全部会（2008）東北地方におけるマツ材線虫病とマツノマダラカミキリの分布変遷．森林総合研究所研究報告 7(3): 139–158.

Togashi, K. (1990) A field experiment on dispersal of newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Researches on Population Ecology 32: 1–13.

山本奈美子・高須夫悟・川崎廣吉・富樫一巳・岸洋一・重定南奈子（2000）マツ枯れシステムのダイナミクスと大域的伝播の数理解析．日本生態学会誌 50: 269–276.

シリーズ 森をはかる その43

湿原の面積をはかる
—湿原と森林の境界線の移動の計測—

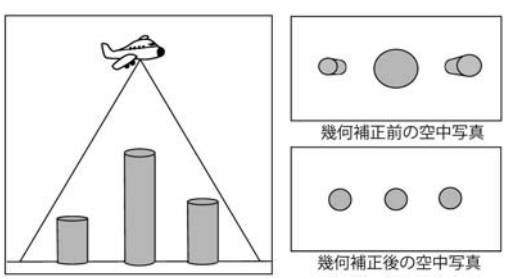
安田　正次（やすだ　まさつぐ、千葉大学　協力研究員）

はじめに

我が国の山地の上部には雪田草原や湿性草原とよばれる草原状の湿地、いわゆる湿原が点在しています。これらの湿原の多くは日本海側の雪が多く降る山地に多く、残雪が夏まで残る場所に対応して分布している事から、残雪によって樹木が生育できない場所に成立している植生であると考えられています。ところで、近年日本海側の山地で積雪量の減少が報告されていて、残雪も夏まで残る事が少なくなってきています。これに伴って湿原も何らかの影響を受けている可能性が指摘されてきました。しかし、これらの湿原は山地の上部にあるために調査があまり行われておらず、変化が起きているかどうかは明らかになっていませんでした。

空中写真で変化を検出

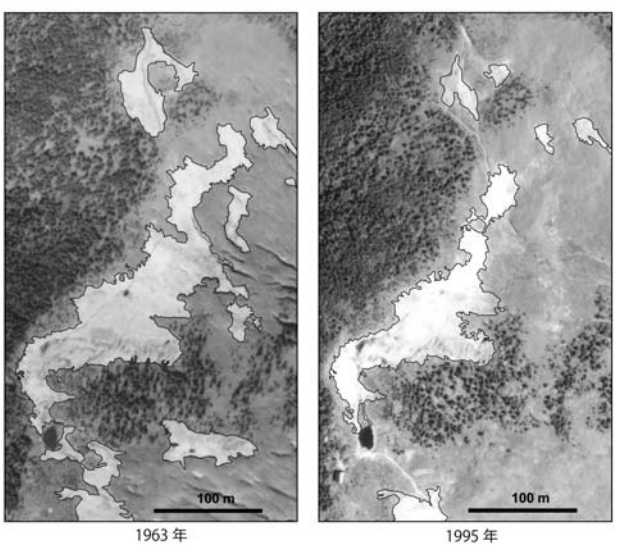
植生が変化したかどうかを明らかにするには、長い年数をかけて定点観測を行って植生の変化を追跡することが確実です。しかし、山の上での継続的な調査は容易ではありません。この残雪に起因する湿原では、植生の変化が起きるときは端の部分から変化が起き、徐々に縮小することが知られています。そこで私達は、湿原における植生の変化を検出する方法として、新・旧の空中写真を比べて、面的な変化を明らかにする方法を考案しました。しかし、空中写真はカメラのレンズ中心に光束が集まる中心投影ですから、立体的な形をしたものは撮影中心に対して外側に傾いて写ります（図–1 右上）。また、標高が高いものは大きく写り、標高が低いものは小さく写るため植生境界の位置を正確に知ることが出来ません（図–1 右上）。そこで、空中写真をスキャナーで読み込んで写真測量用のソフトウェアで歪みを取り除く幾何補正という処理を行って、正射図、つまり地図のようにどの場所でも真上から撮影した状態となる写真を作成しました（図–1 右下）。この正射図上で植生の境界位置を決定して湿原の面積を計算しました。



図–1　空中写真の歪みと幾何補正

植生の境界を検出し、面積を計算する

次に、湿原と樹林やササなどの周辺の植生との境界を決定するには、空中写真上でそれぞれの植生がどのように写っているかを知らなくてはなりません。写真の写り具合によっては、湿原と森林の境目が判定しにくくなっている場合もあるからです。そこで、現場で最新の空中写真と植生の比較を行って対応を確認します。次に、この情報を基に古い空中写真における植生の境界を決定し、現在と過去の植生の分布を正射図化した空中写真上にマッピングします。マッピングはGIS（地理情報システム）ソフトウェア上で行われ、各植生毎の面積が計算されます。図–2 は植生の変化を検出できた会津駒ヶ岳の様子ですが、大きなところでは 100 m 近く植生の境界が移動したところがあるのが判ります。しかし、この会津駒ヶ岳のようにダイナミックな変化が認められる場所は多くありません。むしろ湿原での植生変化は小さいスケールで起きている事が多いので、正確な位置情報が得られるよう、GPS（全地球測位システム）を使って、位置の誤差を半径 50 cm 以内に収める努力を行っています。



図–2　会津駒ヶ岳における湿原の縮小
（黒線で囲った白い部分が湿原、灰色はササ草原、黒い部分はオオシラビソ林）

さいごに

空中写真を用いた植生の判読は、古くは大正時代から行われてきた手法です。しかし、先に述べたような地形による歪みや、写真自体の精度の問題から、主に樹木を対象とした林業目的で使われてきた技術でした。近年のコンピューター技術の発達によって、これまでよりも手軽に、かつ、高精度の補正を行う事が出来るようになった事で、私達が行っているような草本を主体とする植生の変化を検出する事が出来るようになったといえるでしょう。日本では 1950 年代以降全国に渡って定期的に空中写真が撮影されています。これは大事な資産であり、活用していく事も重要であると言えます。

樹木のライフライン
樹体内の水の状態を調べる

矢崎　健一（やざき　けんいち、森林総合研究所）

樹木は、強固な樹幹と枝によって数m以上（時には数十m以上）の高い位置に葉を配置して光を得る。しかしその為に「水をいかにして高い所の葉まで運ぶか」という問題が生じる。樹木内の水の通り道は、道管（広葉樹）または仮道管（針葉樹）と呼ばれる細長い中空の細胞で作られる。葉が元気でいられるかどうかは、この樹体内の水の通り道が必要な水を運べるかどうかによる。

樹木の水分特性を調べる手法は、1）水の存在状態を調べる、2）水の流れ（樹幹流）を調べる、3）（特性としての）水の通りやすさを調べる、の三つに大別される。これまでの本連載で、葉の水ポテンシャル（17号）、蒸散量（19号）、樹液流（21号）、アコースティックエミッション、感受性曲線（24号）などが紹介されてきたが、これらは主に2）3）の為の手法である。しかし「水が樹木のどの部分を通るのか」「樹体のどこに水が溜まっているのか」という事を調べるには1）の手法が欠かせない。そこで今回は組織学的に樹体内の水の存在状態を調べる方法を紹介する。

樹木内部の水をみる

樹木内部の水分状態の評価として簡便なのは、小片を採取して含水率を測定することであるが、細胞の生命活動と関連づけるには組織レベルの詳細な解析が必要である。そこで、より厳密な解析方法として本誌57号「うごく森」で紹介されたのが、樹木の一部を生きた状態で液体窒素で短時間で凍結させ（立木凍結法）、その組織内部の氷を低温走査型電子顕微鏡（cryo-SEM）で観察する方法である。

まず、観察したい部位の周辺を漏斗やペットボトルなどでしっかりと囲い、ビニールテープで液体が漏れないようにして、液体窒素を注ぐ。細い枝先や葉柄を観察したい場合は、液体窒素を入れた断熱性の容器に枝や葉を突っ込んでも良い。凍結したら手早く試料を切断して液体窒素やドライアイスを入れた容器に入れて搬送し、ディープフリーザ内で保管する。cryo-SEMで観察する前に観察したい部位をきれいに削りださなくてはならないが、この作業も氷点下で行う。細切は液体窒素の液面下で切り出したり、時には巨大な冷凍庫内に人が入ってミクロトームを使うこともあるが、凍結切片作成機（クリオスタット）の作業チャンバー内が利用できる。

cryo-SEMで観察すると、採取時に水があった部分に氷が見え、水がなかった部分には空洞が見える（図-1）。この手法により、どの細胞に水があったのか、という事が詳細にわかる。

樹木の水の通り道をみる

水の移動経路を観察するには、立木染色法を用いる（図-2）。これは樹幹下部から染料を注入して樹体内の水の経路を染める方法である。染料を樹幹に注入するには、樹幹の周囲を漏斗などで囲い、染料を注いでその液面下でドリルで孔をあける。生け花の水切りと同じ原理である。空気中で孔をあけてしまうと、通水系に空気が入ってしまって染料を吸い上げることが出来なくなる。染料としては酸性フクシンやサフラニンの水溶液を用いることが多い。一定時間後、染料の注入部よりも上部から円盤を切り出したり、成長錐などでサンプルコアを採取したりして、観察する。染まった部分が樹幹流によって染料が上昇した部分である。ただし、染料は樹幹流だけではなく、拡散によっても広がる（にじむ）ため、染まっている部位が必ずしも樹液が流れる部位であるとは限らないので、注意が必要である。

以上紹介した水の状態を見る組織学的な手法は、例えば「乾燥したときに枯れる木と枯れない木で水の蓄え方が違うのか」[1]「虫害にあった樹木はどのように水を失って枯れていくのか」といった樹木の反応を組織レベルで調べる手法として有効である。更にこれらの手法に、グラニエ法といった樹幹流速を経時的に測る手法や、樹幹の水の通りやすさ（通水コンダクタンス）を測る手法などを組み合わせることで、より詳細に樹木がどのように水を利用しているのかが明らかになるであろう。

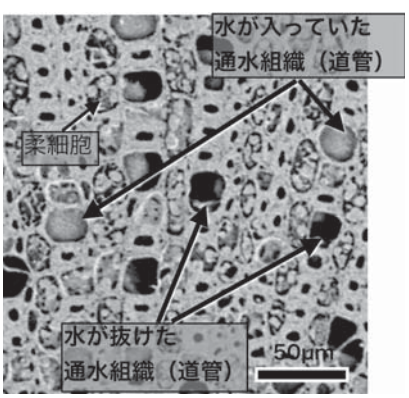


図-1　cryo-SEMによる観察例
乾燥下で成育したシマイスノキの木口面観察像。一部の通水組織（道管）の水が抜けているのがわかる。

図-2　ペットボトル容器を利用した立木染色法

参考文献

1）Yazaki, K., Sano, Y., Fujikawa, S., Nakano, T., and Ishida, A. (2010) Response to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. Tree Physiol. 30: 597–607.

記 録

私たちの生活と京都議定書
―財団法人林学会シンポジウム―

鈴木　和夫（すずき かずお、財団法人林学会理事長）

1. はじめに

2010年1月13日、東京大学弥生講堂において財団法人林学会主催による「私たちの生活と京都議定書」と題するシンポジウムが開催された（写真–1）。基調講演に佐々木惠彦氏（日本大学総合科学研究所）を迎えて、小林紀之氏（日本大学法科大学院）、塚田直子氏（林野庁研究・保全課）、塩谷喜雄氏（日本経済新聞社編集委員）らをパネリストに、パネルディスカッションが開催された。京都議定書は、1997年に京都で開催された気候変動枠組み条約締結国会議第3回会議（COP3）において、先進国の排出量について法的拘束力のある数値目標を定めたものである。わが国は1990年に比べて6％の削減目標を受け入れて、2008年から2012年を約束期間としている。

シンポジウムは、酒井秀夫氏（(財)林学会、東京大学）の司会のもと、まず、鈴木和夫氏（(財)林学会、森林総合研究所）から開会挨拶とシンポジウム開催に至った経緯について説明があった（写真–2）。その後、佐々木氏による基調講演「ポスト京都議定書の世界動向－熱帯林の現状と環境－」があり、続いてパネリストによる講演として、小林氏「京都議定書と排出量取引－私たち市民の対応の仕方－」、塚田氏「温暖化ガス吸収源としての日本の森林－私たち市民の森林との付き合い方－」、塩谷氏「これからの日本の生活と環境－私たち市民の生活の仕方－」と題してそれぞれの考えが述べられた。最後に、筆者をコーディネータとして講演者全員を交えたパネルディスカッションが行われた。

当日は全国的に特級の寒波の襲来であったが、およそ90名ほどの参加者を交えて講演者の熱気に溢れたシンポジウムであったので、その概要を報告するとともに、日本林学会が75年前に設立した財団法人林学会の初めてのシンポジウム開催に至った経緯について記した。

2.「私たちの生活と京都議定書」シンポジウム

基調講演の佐々木氏（写真–3）は、発展途上国の森林減少に起因する排出量の増大が問題であるとする、気候変動枠組み条約締結国会議COP11（2005年、モントリオール）でのコスタリカ・パプアニューギニア提案が、COP13（2007年12月、バリ）においてREDD（Reducing Emissions from Deforestation in Developing countries：途上国における森林減少からの排出削減）という対策の仕組みとして取り上げられ、さらにCOP15（2009年12月、コペンハーゲン）において森林経営・炭素増加といった活

写真–1　財団法人林学会主催シンポジウム「私たちの生活と京都議定書」

写真–2　シンポジウム開催に至った経緯を述べる鈴木和夫氏（(財)林学会）

写真–3　基調講演で農耕地と森林の在り方について述べる佐々木惠彦氏（日本大学）

動が加えられたREDDプラスとして検討された状況から、土地利用の在り方について述べた。FAOの統計では、地球上の陸地面積150億haのうち耕作可能な土地を33億haとしている。そのうち、肥沃な農地15億haは既に農耕地として使用されており、多少とも生産性のある土地（moderately productive land）が耕作可能地として約19億ha残されている。これらの耕作可能地は現在森林であり、地球上の人口増大に伴って農耕地への転換圧力が高まっている。しかし、これらの土地にはパイライト土壌（酸性硫酸塩土壌）、塩類集積土壌、乾燥地や湿地の一部の問題土壌が含まれており、開発はきわめて危険である。したがって、これらの農耕地への開発圧力に対しては、森林が森林であるべきことの重要性が積極的に示されなければならない、とした。

すでに30年以上にわたって毎年1,000～1,500万haの森林が農地に変換されてきたが、農地面積は増加していない。このことは、これらの開発された農地が数年後には耕作放棄地となり、中国、アマゾン、カリマンタンなどで荒廃地となっていることがきわめて多いことから、今後の大きな問題となっている。そして、熱帯林における生物多様性の維持が重要であるとして、種の多様性の維持について現状が紹介された。

このような地域においては、まず人間の生産活動や経済活動が問題土壌の自然環境に大きな影響を及ぼしていることを認識することが重要であり、そのためにも現在ある森林を環境上重要性が高いものとして維持すること、同時に、経済的にも森林が存在することによって農耕地の生産が確保されていることに理解を得ること、荒廃地を森林として修復すること、荒廃地の環境に適するnon-wood productsの開発・利用を含めた育種・生産方法の研究が必要であること、などに言及した。また、今年は国際生物多様性年であり、10月には生物多様性条約COP10がわが国で開催されることから、森林が存在することの価値を国際的に広く訴える絶好の機会であるとした。

パネリストによる講演（写真–4）では、小林氏は「京都議定書と排出量取引－私たち市民の対応の仕方－」と題して、2009年12月にコペンハーゲンで開催されたCOP15に参加した感想を交えて、1）COP15の要点、2）気候変動枠組み条約の内容、3）排出量取引とカーボン・オフセット、4）先進諸国の動向、5）J-VER、などについて概要を紹介した。

COP15では、気候変動に対する科学的視点の認識、先進国の2020年排出削減目標、森林を維持するのための多様なポジティブ・インセンティブの仕組み、の3つの項目が強調された。環境政策には、規制的手法、経済的手法、自主的取り組み、総合的手法などさまざまな手法があり、排出削減は規制的手法、排出量取引は経済的手法、両者を組み合わせると総合的手法となる。経済的手法として、排出量取引と並んでカーボン・オフセット制度が世界的に注目されていて、わが国でもJ-VER制度が始まった。カーボン・オフセット制度は自主的な取り組として多くの国民の参加が可能な幅広い活動と考えられる。次期枠組みでは、京都議定書における米国の離脱と新興経済国の排出削減義務が課題となっている、と述べた。

塚田氏は、「温暖化ガス吸収源としての日本の森林－私たち市民の森林との付き合い方－」と題して、森林の役割について、1）地球温暖化と森林、2）日本の森林のすがた、3）京都議定書と森林、4）森林吸収量の測り方、について紹介した。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）は、第四次評価報告書（AR4：Fourth Assessment Report, Climate Change 2007）において、1990年代の地球上の炭素循環において、森林などの陸域生態系は吸収源としても排出源としても重要な役割を果たしていることを示した。人間活動による二酸化炭素排出量64億トンのうち約4割の26億トンが陸域生態系に吸収されている。また、土地利用変化により毎年16億トンの炭素が放出され、その内の主要な部分が熱帯の森林減少に由来している。そこで、森林の役割を維持しさらに高めていくためのわが国の森林の今後の取り扱いについて紹介し、京都議定書では3条3項で「1990年以降の新規植林、再植林、森林減少に限定した直接的な人為起源による土地利用変化、林業活動によって生じる各約束期間における炭素貯蔵量の変化を吸収量として用いる」と定めており、3条4項で「締結国は、その活動が1990年以降に行われた場合には、これら追加的人為起源活動に掛かる決定を第1約束期間に適応することを選択できる」こととなっている森林管理などについて紹介した。そして、吸収源としての森林の実態をまず知ることの大切さを述べた。

塩谷氏は、「これからの日本の生活と

写真–4　熱演するパネリスト。左から、小林紀之氏（日本大学）、塚田直子氏（林野庁）、塩谷喜雄氏（日本経済新聞）

環境－私たち市民の生活の仕方－」と題して、文明が危機を迎えるたびに幾度となく繰り返してきた森林の再評価について考えを述べた。

「文明が危機を迎えるたびに幾度となく繰り返してきた森林の再評価。その最終的な形が、今回の地球温暖化、気候変動の問題だと思う。観念的・情緒的反省ではなく、科学による冷厳な予測を政治が受け入れ、文明の転換を図るという、人類史上あり得なかった軌道変更が現実になろうとしている。

主役は科学である。林学が林業のための道具ではなく、森林と人間社会の共生を支える哲学的な土台たり得ているかどうかが問われているのではないかなどと、素人は考えてしまう。

大陸をほとんど丸坊主にしてしまった欧州諸国では、バリカンで刈り残したような小さな二次林ですら、人々は頻ずりするように慈しみ利用している。キノコ狩り、野生鳥獣のハンティングもさかんだ。

手入れと共生の伝統に守られてきたかに見える日本の森林が荒れている。林業経営の不振や就労人口の減少も、背景には、経済社会の森林への圧倒的無関心がある。こどもが森を知らず木も知らず、政策決定者は森も木も見ない。日本にとって森は果てしなく遠い。それは飛行機に乗ってカナダやニュージーランドで出会うモノになっている。」（講演要旨から転載）

そして、わが国のGDP当たりのエネルギー排出量はウサギ小屋・満員電車・温暖な気候に支えられて抑えられてきたのではないかという、さまざまなマスメディアの論調を読み解く必要性を、日本経済新聞社社説「春秋」を担当した経験から述べた。

引き続くパネルディスカッション（写真–5）では、フロアーからの質問に答えた後に、「京都議定書が突きつけたモノは、先進国と発展途上国の問題ではあっても、私たちに価値観の転換と新しいライフスタイルを求めたモノではないのか」というコーディネータの問いに、それぞれ講演者が今後の森林の多面的な機能の発揮に向けた思いを披露した。

本シンポジウムにおける講演内容の詳細は、「山林」（大日本山林会、2010年10号）に掲載予定ですのでご参考にして頂ければ幸いです。

3. 財団法人林学会の歩み

財団法人林学会は昭和9年4月に日本林学会大会において設立提案された。財団法人林学会に関する最初の記録は、昭和9年5月10日発行日本林学会誌（第16巻第5号）「本会記事」に次のように記述されている。

○林学会役員会、「3月28日（水曜日）午後5時より市内赤坂区溜池三会堂内帝国森林会室に於て本会役員会を開催す。」（略）

○林学会春季大会、「予報せし如く第5回日本農学大会開催を機とし4月8日東京帝大農学部林学教室に於て昭和9年度春季大会並に講演会を開く、定刻8時半開会」。1. 会務報告、2. 提案事項、3. 本大会決議事項。因みに、1. 会務報告では、現在会員数は、林学士会 948、林友会 802、札幌林学会 436、盛岡林学会 504、鹿児島林学会 407、駒場林学会 155、シルバ会 56、九大林学会 42、水原林学会 112、宇都宮林学会 236、三重林学会 218、京大林学会 82、宮崎林学会 176、各務林学会 146、シルビア会 69、団外会員 37、合計 4,426名。会員数は現在の日本森林学会会員数を優に超えていて、しかも、それぞれの地域に根ざした会員数の多さが特筆される。なお、シルバ会は北大同窓会、水原林学会は韓国・水原高等農林、各務（かかみ）林学会は岐阜大学の会員である。

2. 提案事項は、(1) 昭和9年度予算案、～ (5) 白沢博士記念金寄付受け入れ、(6) 財団法人林学会の設立、と続く。財団法人林学会設立の項は、（イ）財団法人林学会設立趣意書、（ロ）財団法人林学会寄付行為、として設立の経緯と規程が提案されている。設立趣意書の概略は以下の通りである。

日本林学会は、学芸の研究と会員相互の親睦を図る目的で大正3年11月に設立されたこと、会員は逐年増加の趨勢にあること、毎年3円50銭の会費を徴収していること、会員より寄付を受けた基金2万5千余円を保有していること、私的団体なので保有する基金の保管や利殖法は一層厳正を期すべきこと、慎重に考えた結果財団法人林学会を設立して基金の保全と利殖を確実にして相互協力してわが国林業の改良発達に貢献すること、とあり、財産目録が合計金28,000と記されて締め括られている。

第16巻第6号（昭和9年6月発行）「本会記事」には、○財団法人林学会評議員の決定についての記録がある。

「4月16日市内赤坂三会堂に於て林学会役員会を開催し「法人林学会評議員の選任に就き」協議せるは既報の通りなるも右協議の次第に基き今回白澤日本林学

写真–5　パネルディスカッションにおける壇上のパネリスト各氏

会長より下記各位に対し法人林学会設立当初の評議員を夫々委嘱せられたり。在京者（アルハベット順）藤岡光長君、本多静六君（以下略）、在京者15名と地方在住12名の計27名の評議員候補者名が記載されている。そして、財団法人林学会評議員会の項には、「5月5日午後1時より市内赤坂区溜池三会堂に於て評議会を開催し、「理事及監事の選任に就き協議」の結果下記各位の選任を見ここに財団法人林学会設立当初に於ける役員全部確定す。理事長白澤保美君、常任理事藤岡光長君、理事貴島圭三君（以下略）、監事諸戸北郎君、同　北玉　樹君。（なお、白澤氏は前林業試験場長、藤岡氏は林業試験場長）

第16巻第8号（昭和9年8月発行）「本会記事」には、○財団法人林学会の設立許可の項があり、「財団法人林学会設立の動機及之れが経過等に就いては既に本誌5月号及6月号に掲載の通りなるも、その後白澤理事長より主務大臣に対し是れが設立許可の申請中なりし処本月7日付を以つて許可されたり。」と記述されている。

第16巻第10号（昭和9年10月発行）「本会記事」には、○本会会員に対する奨学規程の制定の項があり、「別項記載の通り去る25日赤坂三会堂内に開催の財団法人林学会評議員会に於て林学又は林業上顕著なる研究、発明、又は有益なる著述を為したる日本林学会員に対し下記の如き表彰規程制定せられたり、財団法人林学会奨学規程、第一条　林業に関する学術技芸を奨励するの目的を以て本会会計中に奨学資金を設く」

翌年、第17巻1号（昭和10年1月発行）「本会記事」は、○日本林学会秋季大会、「11月23日新嘗祭を卜し鹿児島高等農林学校創立25周年記念式典の挙行せられしを機とし翌24日同校に於て日本農学会臨時大会開催せらる、此日天晴れ気候温かく南国の春を思わしむ。本会亦櫻岳に対立せる同校林学教室に於て同校職員各位の献身的斡旋により盛大なる秋季大会及講演会を開催するを得たり。定刻午後1時白澤会長開会を宣し次で会務の報告を為す。」1. 会務報告　1. 財団法人林学会の設立、本会春季大会の決議に基く財団法人林学会の設立に関しては既に本会誌上に御報告の通り去る7月7日を以て主務省の許可を受け同時に同規則第五条に依り本会より財団法人林学会へ次の財産を寄付したり。（略）合計金 28,000。2. 現在会員数、本年11月15日現在の会員を挙ぐれば次の如し。（略）合計 4,556　之れを本年3月に比し130人増加せり。

このようにして、財団法人林学会は、昭和9年7月7日に設立されて、現在、75年を経過したが、過去にシンポジウム開催の記録はない。

一昨年、平成20年12月1日に、行政改革の一環として公益法人制度改革関連三法（一般法、公益認定法、整備法）が施行されました。これによって、従来の公益法人（社団法人、財団法人）約25,000法人（内、国所管財団法人は3,093）は、5年間の期間内に新制度による「一般財団（社団）法人」か「公益財団（社団）法人」のいずれかの形態に移行しなければならなくなりました。新法人となるまでの移行期間中は、特例民法法人として存続し、平成25年11月30日までに新制度に基づく法人に移行しない場合には、解散したものとみなされます。公益法人制度は、これまでは「主務官庁に公益性を認められたものだけが法人格を得ることができ、法人運営については法律上詳細な規定がなく主務官庁が立ち入り検査を含め監督が行われてきた」が、これからは「法人法の要件を満たせば登記のみで設立することが可能で、基準を満たしているかどうかの判断は合議制の機関が行う」とされて、明確に定められた基準による公益認定を民間有識者が行うことで民間非営利部門の一層の発展を期待するものとされています。新たな法律は、いずれの法人形態を選択するにせよ、その認定・認可を得るためには様々な法律上の要件をクリアーしなけらばなりません。残念ながら、財団法人林学会は事業を行うにあたって、主務官庁から平成12年度以降手続き等に不備が指摘されており、また、平成17年8月の実地検査の指摘事項への対応、さらに、平成20年7月の実施検査事項について改善が求められています。

4. おわりに

本シンポジウムのポスターは、「京都議定書では、2008年から2012年までの期間中に、先進国全体の温室効果ガス6種の合計排出量を1990年に比べて少なくとも5%削減することを目的として定めています。このことが、私たちの生活に具体的にどう関わっているのか、森林・林業の役割は、そして、2012年以降、世界はどうなろうとし、私たちはどうすればよいかを、新春を迎えて市民の目線で考えていきたいと思います。」と記しています。一方で、京都議定書以降の次期枠組みについて、ニコラス・スターン氏は気候変動に関する科学的・経済的情報を収集してスターン・レビューを発表し（2006年10月）、森林破壊が最重要課題の一つであるとして気候変動対策を一刻も早く実施するよう訴えています。財団法人林学会は、設立75年を経過して初めてシンポジウムを開催し、新しい公益法人制度のもとで、設立時の先達の志を引き継いで、わが国の森林科学の発展に寄与すべく公益法人としての役割を果たしていきたいと考えています。

ブックス

Ecology of Riparian Forests in Japan —Disturbance, Life History, and Regeneration—

Sakio, Hitoshi（崎尾　均）・Tamura, Toshikazu（田村俊和）編著訳、Springer Japan、2008年8月、339ページ、13,440円（税込）、ISBN978-4-431-76736-7

Riparian Forest（水辺林）は、河川沿いや湿地などに成立する森林で、地形や洪水撹乱の大きな影響を受ける。水辺林は、水域から陸域への移行帯であり、生物多様性の高い生態系であり、水源涵養や水害防備など人間の生活に欠かせない重要な機能を有している。ところが、近年、貯水ダムや治山ダムの建設、河川改修などによって自然な水辺林は姿を消しつつある。そのため、この水辺域を保護し河川環境を保全することが、河川管理目的のひとつとされている。

本書は、北海道から九州まで日本各地を対象とする研究者が、それぞれの視点で行った水辺林生態学の研究を英文で紹介したもので、Springerから出版された。

本書はその内容から、①日本全体における水辺環境の特徴の包括的な説明、②様々な場所における生態学的研究例、③水辺における生物多様性と希少種についての研究、の3つに大きくわかれている。

①では、水辺域の地形、撹乱レジーム、植生について概説している。この部分では、水辺域の生物と環境の関わりについての基礎的な視点が整理されている。そのため本書は、日本の水辺域について勉強するための教科書として、とても有用であるといえる。これまで、アメリカ合衆国やカナダ、ヨーロッパ諸国において、水辺林についての多くの研究事例があるが、それらは比較的大規模な河川を対象としたものが多いのに対して、我が国の水辺域は、大雨や台風による極端な洪水、急峻な地形、大きな地殻変動に特徴づけられる。狭い空間の中にも、複雑な地形、撹乱、植生の特徴を有しているという日本ならではの水辺域の特徴が、本書のこの部分には顕著に表現されており、国外に日本の水辺域に関する研究をアピールするために役立つだろう。

②では、河川上流部（源流域）、中流部（扇状地）、下流部（低地）、湿地といったそれぞれ異なる環境下での、水辺植物の生育について詳細な研究例が示されている。雑多な研究例を集めて列挙しているようではあるが、個々のトピックを読むことによって、読む人に共感を与える部分が必ずあるだろう。様々な地形条件下の水辺林について共通していることは、水辺種の生活史戦略が河川の撹乱レジームと立地環境に適応しているということである。たとえば上流域においては、サワグルミ、カツラ、シオジといった渓畔樹種の実生定着や成長特性が、土石流や洪水といった多様な撹乱レジームが提供するハビタットに適応していることが示されている。中流域においては、ヤナギ属の近縁多種の共存機構について、更新特性のわずかな差が基質特性の異質性を通した競争関係に影響していると説明されている。下流域では、マルバヤナギやアキグミなどが、河川水位変動に対応して定着するプロセスが示されている。このように、様々な地形条件下で共通して見出せる基礎生物学的な現象もあれば、それぞれの地形条件に独特の考え方もある。それを個々の研究者からの視点で描き出しており、これら研究例が論文として発表されたときの内容には入りきらなかった研究者の考え方や大胆な仮説などについても述べられている章があり、読みどころとなっている。

他にも、個体群動態をセンサスした研究、種子散布など動物と植物の相互関係に関する研究、湿地での樹木生理学的研究など、近年のオリジナリティあふれる研究例が示されている。本書は、水辺林の生態学について、これまでどんな研究が行われてきたのかを概観するのに適している。

③では、水辺林が生物多様性の宝庫であることから、その多様性に着目した研究について紹介されている。水辺域の種の多様性については、樹種による微地形選択性から、多様性が生み出されるメカニズムを、異なるスケールで議論している。成木と稚樹の関係にも言及されており、この複雑な生物多様性の維持機構のモデルとして興味深い。水辺域に生育する希少種については、まだ十分な研究が行われているとはいえないものの、今後の河川管理に有用な知見を与えるものがある。希少種の潜在的ハビタットを予測すると、河川流下方向に連続的に連なる撹乱レジームの影響が重要であることが明らかとなっており、河川特有の環境の維持が希少種の保全と生物多様性の維持に必要不可欠であることを、顕著に示している。

このように本書は、これまでの日本の水辺林研究の多くを統括する内容となっている。そのため、我が国で水辺林を研究しようとしている学生や現在水辺林を研究している研究者にとっては、これまで積み上げられてきた知見を理解し、今後さらに必要な研究がどういったものかを考える資料として最適である。本書の結びには、今後必要とされる研究として、水辺林の長期的観測、生態生理と生活史特性の関係性の研究、分子生物学的手法による生物多様性解析、リモートセンシングを利用した景観の回復などが挙げられ、水辺生態系の管理への貢献が期待されている。読者それぞれの視点で、水辺生態学についての今後の展望を思い描くのは楽しい読み方となるだろう。また、本書は英文で書かれており、日本の水辺林の素晴らしさや特徴をまとまった形で海外の研究者に伝える著書として有用である。さらに、生物多様性に注目が集まっている昨今、本書は、日本列島には大陸の国々とは異なる特有の生物多様性とそのプロセスの維持機構が存在するということを、水辺林を軸として、海外の政策担当者に伝えるという任務に一石を投じるものとなるだろう。水辺林研究は、まだまだ発展途上であるが、本書を通して、水辺林の価値とその保全のために必要な

情報を様々な立場の人に理解してもらい、今後この貴重な水辺生態系を後世に残してゆくため、この本に収録された研究例が役立つと私は信じている。

指村奈穂子（東京大学大学院農学生命科学研究科）

Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests（永久凍土生態系：シベリアカラマツ林）

Osawa, A.（大澤　晃）・Zyryanova, O.A.・Matsuura,Y.（松浦陽次郎）・Kajimoto, T.（梶本卓也）・Wein, R.W. 編著、Springer, Ecological studies 209、2010年1月、502ページ、21,000円（税込）、ISBN978-1-4020-9692-1

久しぶりにSpringerのEcological Studiesから、分厚い大著が出たという感想である。この本は、10年以上におよぶ長期の日本とロシアの協力の成果であり、高緯度の永久凍土上のシベリアカラマツ林の生理生態に関わる最新の知見を集めた、正に最初のsynthesisである。本書は、世界のほとんどの研究者が長い間アクセスできなかった地域の貴重な生態学的データを提供していると同時に、これらの生態系が環境変動の影響を強く受けていることを示している。

この永久凍土の森林生態系は、北半球の北方林の約20％を占めているが、温度、養分、根の空間といったものに特別な制約を受けており、他のどこにもない生態系の特性を持っている。北方林は地球温暖化の影響が最も懸念される広大な陸域生態系であるが、永久凍土地帯のシベリアカラマツ林は、その中でも最も厳しい環境に成立する独特な森林生態系である。本書は、そのようなシベリアカラマツ林の多様性、構造、動態やフィジオロジーを網羅し、他の地域の北方林と関連して比較できるデータを提供しているのが大変役立つ。そして、地球の炭素収支に関する重要な疑問や研究テーマをわれわれに投げかけている。

北方生態系、森林生態、育林学、森林土壌、さらに温暖化や地球の炭素収支に興味のある学生、研究者には必読の書である。

石塚森吉（森林総合研究所）

ゾウと巡る季節 ―ミャンマーの森に息づく巨獣と人びとの営み―

大西信吾著、彩流社、2010年3月、161ページ、3,990円（税込）、ISBN 978-4779115011

長い間、林業作業は人力に頼ってきたため、その規模も限られ、森林への影響はさほど大きくなかった。しかし、効率化が優先される産業活動のもとで、木材伐採・搬出作業は人力からブルドーザ等の重機に置き換えられ、より早く、より大規模なものとなり、そして多くの森林資源が失われた。効率性、経済性を追求した結果であり、回復不能なまでのダメージを森林に与え、熱帯林の多くが危機的状況に陥っている。

本書では象と人との関わりに主題をおいている。撮影が行われたミャンマーやタイでは、象が木材搬出に活躍した。しかし、タイでは1980年代末、すでに象が活躍する場所は無くなっていた。過度な木材伐採が森林資源の枯渇を招き、それに携わってきた人と動物も社会から消し去ったのである。

大西信吾氏は象を一動物としてではなく、人と共に生きる仲間としての視点から捉えている。そこには人と共に生き、共に喜びを分かち合う家族の一員としての姿がある。ゾウは単なる使役動物・家畜ではない。ゾウの世話役はよほどのことがない限り代えない、ということは家族の一員としての捉え方である。生まれて間もない子ゾウはしばらくの間、母親と行動を共にさせ、ある年齢に達した後、訓練を開始するという。訓練キャンプでは、時として悲壮感さえ漂う厳しい訓練が行われ、それを経て子ゾウは大人のゾウへと生まれ変わる。それは人と共に生きるため、越えなければならない厳粛な儀式である。キャンプでの「壮絶な体験」を経ることで、野生に近い子ゾウははじめて人と共に生きていく術を身につけることができるのである。だが、これは決して虐待ではない。そこに動物への深い愛情を読み取ることができる。訓練はゾウと人の心が一つになるまで続けられる。そうでなければ巨大な動物をあれほどまでに使いこなすことはできないであろう。

時代と共に社会が求めるものも大きく変わった。持続可能な社会の実現を目指して適正な森林管理が求められる時代である。産業としての林業の将来をなかなか描けない中、地球環境や生物多様性の保全ばかりに注目が集まっている。しかし、森林は単に保全するだけでよいものではない。人と森林との適正な関係がなければならない。森林からの恩恵を持続的に享受するためには、サービスの原資である森林を食い潰してはならない。大西氏はこの写真集を通して、我々にそれを伝えようとしている。

ゾウと人が、共に一体となり、木材搬出に従事するこの作業体系は東南アジアでしか見られない。しかし、森林資源の枯渇により、この伝統的な作業体系もすでに限られた地域でしか見られない。地域固有の伝統的文化であり、叡智であり、洗練された技術であるこの作業体系は何らかの形で後世に残しておきたい。文字や口承で伝えるだけでは、やがては消えて無くなる運命にある。大西氏が実際のキャンプで生活を共にし、撮影した一枚一枚の写真は時代を超えた希少価値といえる。東南アジアの森林地帯にはこのような人と動物の共生関係が、木材搬出という作業体系を通して形作られていたことを多くの人に知って頂きたい。是非ともお薦めしたい貴重な写真集である。

中島　清（森林総合研究所）

読者の皆様からのご意見を募集しております！！

森林科学編集委員会では、読者の皆様の声を反映した誌面作りを心がけています。さらに一層親しみ易い「森林科学誌」を作っていくために、皆様のご意見を伺えたらと考えています。つきましては、下記のアンケートにご記入いただき、FAX あるいはメール等にてお気軽にお送り下さいますようお願い致します。

1.　性別　（　）男　（　）女　　**年齢**＿＿＿＿歳

2.　職業　（　）林業家　（　）森林関連事業体職員　（　）会社員　（　）公務員
（　）森林関係団体職員　（　）大学教員　（　）高校教員　（　）小・中学教員
（　）研究機関職員　（　）学生　その他（　　）

3.　本号の記事で興味を持った記事、印象に残った記事（複数回答可）
（　）特集　（　）森めぐり　（　）森の休憩室Ⅱ
（　）現場の要請を受けての研究　（　）うごく森　（　）森をはかる
（　）記録　（　）北から南から　（　）Information

4.　本号記事についてご意見があればご自由にお書き下さい。

5.　以下の最近の特集記事で面白かったものをお知らせ下さい（複数回答可）。
（　）広葉樹林への誘導の可能性（59 号）　（　）拡がるタケの生態特性とその有効利用への道（58 号）
（　）クマ出没の生物学（57 号）　（　）地震と山地災害（56 号）
（　）火の文化と森林の生態（55 号）　（　）その他（　　）

6.　今後取り上げて欲しいとお考えの記事（企画）をお知らせ下さい。

7.　購読会員の方におたずねします。本誌をどのようにして知りましたか。
（　）パンフレット　（　）知人の紹介　（　）シンポジウム会場等　（　）学会等のホームページ
（　）その他

8.　「森林科学」の記事・編集に対するご意見をお聞かせ下さい。

送り先　FAX：03-3261-2766　日本森林学会事務局
メール：tomokun@ffpri.affrc.go.jp　編集主事　高橋與明

天然記念物と生物多様性

志田　祐一郎（しだ ゆういちろう、㈱野生生物総合研究所）

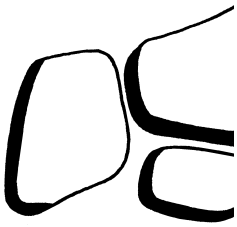
今年は生物多様性条約締約国会議の開催年ということもあり、生物多様性という言葉を目にする機会が例年より多いような気がします。生物多様性を高めるための取り組みは多々あります。例えば天然記念物指定など、法令等によって人間の係わりを制限して自然あるいは構成する生物を保全することもその一つです。北海道には、植物に関係する天然記念物が国指定と道指定とあわせて約30件あり、そのうち森林に関するもの（森林そのものが指定されているもの及び森林の構成樹種の自生地が指定されているもの）が約半数を占めます。具体的には札幌円山の落葉広葉樹林、歌才のブナ林、焼尻島のイチイ林などがありますが、これらは自然性の高さ、分布限界、種組成の希少性などが選定理由になっているようです。全てが原生的な森林というわけではなく、人の手が入った二次林も含まれています。ただし植栽された樹木が指定されていないことは、日本の他の地域との歴史的な違いを反映していると思われます。

天然記念物は、「保存し、かつ活用する」ことを目的として指定されています。ただし生物の集合体である森林の状態は、時間の経過と共に変わります。そのような変化する対象に対して、どのような状態を保存すべきなのでしょうか。この答えを一言で言えば、選定理由とされた群集や個体群の構造が大枠で維持されている状態だと思います。ただしある時点の群集や個体群の構造はその後の構造に影響しますから、現状を変化させればそれに応じて将来も変わる可能性がでてきます。現状も将来も望ましい状態が維持される可能性が高いのであれば特に何もする必要はないでしょうし、将来望ましくない状態に変化する可能性が高いのであれば、現状を変える何らかの対策が必要とされるでしょう。逆に、立地環境を変化させたり本来その場所に存在しなかった種の侵入を招いたりし、群集や個体群の構造を変化させる危険性が高い場合には、手を加えることはおろか不用意に立ち入ることも制限する必要があるかもしれません。すなわち保存するためには、「手を加えない」あるいは「手を加える」というまったく異なる2つの方法が状況に応じて選択されることになります。

一方、それぞれの天然記念物はどのように活用されるべきなのでしょうか。自然あるいは生物多様性は、物質的な面から精神的な面まで、我々人間に様々な恵みを与えてくれています。ただし天然記念物に関しては、個々の性格や規模を考えると、物質的な面よりも精神的な面での活用が期待されるのではないでしょうか。人間は自然や生物に対し、見たり触れたりすることで、様々な感情を抱きます。例えば私なら、大きな樹木やうっそうとした森林に対して畏敬の念や時間の重みを、雪や風によって偏形した樹木に対して生命力の強さを、「こんなところにこんな植物がいる！」ということに対して驚きと不思議さを感じますし、林床に様々な草花がある森林を歩くと「なんとなくいい感じ」になります。ある対象に見たり触れたりしたときに抱く感情は、もちろん人それぞれですが、対象の状態によっても変わってきます。活用を視野に入れたときは、より多くの人によい感情を与える姿が望ましいという考え方もできるでしょう。このことは、先ほど述べた「望ましい群集や個体群構造の大枠」を想定する際に考慮すべき事項なのかもしれません。

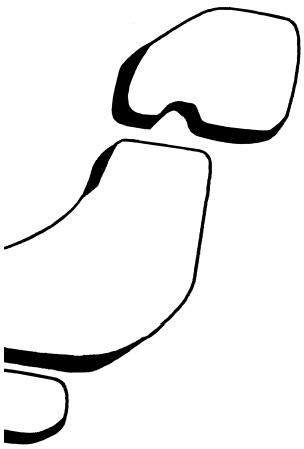
以上植物に関する天然記念物に関して話をしてきましたが、それぞれをどのように保存し活用していくのが望ましいかは、対象によって様々だと改めて感じました。このことは、生物多様性保全の取り組みに置き換えてもまったく同様のはずです。大きな理念に基づき、局所レベルで何をすべきかそして何ができるかを

北から



最近目にしたある記事の中で、「日本の大学には林業を学べるところはない」とあった。一体ここで言う「林業」とは何なのかと反論したい気持ちもあるが、大学が林業技術者をきちんと養成し

考え、実行していくことが大事なのでしょう。この点について自分を振り返ると実行力のなさに恥じ入るばかりですが、現在係わっているあるいは今後係わる地域で、できる範囲で少しずつ実行していきたいと思っています。



南から

日本森林学会支部だより

林業技術者養成への取り組み

寺岡　行雄（てらおか ゆきお、鹿児島大学農学部）

ているのかと真正面から問われれば、言葉に詰まるのも正直なところである。5年ほど前に日本林学会が日本森林学会へ変わり、大学での専攻名からも林学科は消滅してしまった。林業を科学的知見から支える林学が森林科学となったのであるから、林業を学べる場所もなくなったと言えるのかも知れない（そういえばこの原稿も“森林科学”誌に書いているのだった！）。では、かつての林学科の時代には、林業が教育されていて、林業技術者の養成がきちんとできていたのであろうか？林学末期に学んだ私の大学院の専攻名は、なんと「林業学」であったが、残念ながら「林業」を学んだという記憶はない。

昨年度は林業施策に対する民間団体からの提言が相次いだ。それらのいずれにおいても、林業技術者の養成が急務であるとしている。このような人材の養成は、どの機関が担えばよいのであろうか？森林科学に係わる教育を行っている大学は全国に25ある。いずれの大学からも林業職公務員や製紙、木材加工、住宅あるいは環境アセスやコンサルティングといった、森林、林業、木材といったキーワードに関連する企業へ人材を輩出しているのは事実である。これが「林業技術者の養成」にあたっているのかどうか、各種提言への期待に応えられていないということなのかも知れない。

そもそも日本の医歯薬系、家政、教育、芸術といった専門職養成的性格が強いところを除いて、大学教育における職業的意義はヨーロッパに比べて顕著に低いとされている（本田由紀：教育の職業的意義，ちくま新書（2009））。かつては職場で上司や先輩から学ぶことによって、林業技術者として育てられる仕組みがあった。直営生産が行われていた国有林では、林業生産活動に携わることで職員が林業を学ぶことができたであろうし、都道府県の林務系職員も林業改良普及員として地域の林業の実際に触れる機会が多かった。公務員であっても実践的な林業を学ぶ、いわゆるOJTによる林業技術者養成が行われていたとも言える。だが、状況の変化により、それらも今では行えなくなっているらしい。大学は林学に関する基礎的な科目と特定の専門分野での研究方法を教育すれば良かった。森林の多様な機能の発揮と同様、人材育成においても予定調和的な発想があったと思う。今は、林業技術者養成用のカリキュラムの開発と実施が大学に求められているのではないだろうか。

鹿児島大学では平成19年度から21年度までの3年間、文部科学省の支援を受け、社会人向けの「林業生産専門技術者養成プログラム」を実施してきた。このプログラムは124時間の講義と実習で構成され、5回のプログラム実施により計60名の林業従事者の講習を行った。演習林を主な学習場所として、林分調査から路網と間伐の設計を行い、同じ林分で実際の路網作設と間伐作業が行われ、間伐材の素材販売結果までの素材生産活動の全体を通じて、コストと生産工程管理を総合的に学ぶものであった。簡単に言えば、林業作業員から林業事業体の親方候補者を養成することを目指したものであった。22年度は林野庁の補助事業を受けることができ、鹿児島大学は引き続き、林業生産専門技術者養成プログラムを実施してゆく。現在は社会人向けの再教育という性格であるが、ここで得られた教育ノウハウを学部生や大学院生向けの林業技術者養成カリキュラムへ発展させてゆきたいと考えている。

林業技術者養成のニーズはオールジャパンの問題であり、南九州の取り組みだけで解決できるものではない。全国の林学・森林科学系の大学で、このような事業に興味をお持ちで、一緒に取り組まれるところはないものかと考えている。

Coming Next !

森林科学 60 予告

特集

REDD+ とは何か？（仮）

うごく森

ヤクタネゴヨウの衰退と保全（仮）

記録

第 58 回日本森林学会中部支部大会シンポジウム報告（森の研究　―今とこれから―）（仮）

森林科学 60 は 2010 年 10 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　高橋　與明*（経営/森林総研）
田中　憲蔵*（造林/森林総研）
藤田　曜（動物/自然環境研究セ）
黒川　潮（防災/森林総研）
谷脇　徹（保護/神奈川県自然環境保全セ）
井上真理子（経営/森林総研）
橋本　昌司（土壌/森林総研）
宮本　基杖（林政/森林総研）
磯田　圭哉（育種/森林総研林育セ）
菅原　泉（造林/東京農大）
吉岡　拓如（利用/日本大）
斎藤　秀之（北海道支部/北海道大）
白旗　学（東北支部/岩手大）
戸田　浩人（関東支部/東京農工大）
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

平成 18 年 9 月 8 日に新たな「森林・林業基本計画」が閣議決定されました。本計画では、「林業の採算性が悪化している現下の情勢も踏まえ、効率的かつ効果的な森林の整備を促進する必要があり、従来から進めてきた若齢の人工林における間伐の推進に加え、急増する高齢級の人工林について、立地条件等に応じ、間伐の実施はもとより、広葉樹林、針広混交林、大径木からなる森林等へと誘導する多様な施業が適切に実施されるよう条件整備を図る」と記されています。今回の特集「広葉樹林への誘導の可能性」は、まさにこの計画に必要な知識や情報や考え方が豊富につまった記事となっておりましたが、皆様いかがでしたでしょうか。

例えば清和氏の「広葉樹林化に科学的根拠はあるのか？」では、起伏にとんだ日本の地形や林冠ギャップなどの非生物的な環境と菌類や植食者などの生物的な環境の相互作用が、狭いスケールでの森林の種多様性を創っていることを詳しく解説していただいております。島田氏らの「暖温帯域における広葉樹林化の可能性」では、東海地方出身の小生には大変馴染み深い？手入れ不足のヒノキ人工林を対象に、強度間伐後のヒノキ人工林の林床植生や被覆状態が時系列で変化していくさまを写真を交えながら、科学的分析結果をわかりやすく解説していただいております。また、今氏、小田氏ら、田内氏からは、北海道における広葉樹林化の可能性、広葉樹林化の適地を GIS で抽出する手法、広葉樹林化の目標林型と更新基準、についてそれぞれ研究事例を取り上げて、大変わかりやすく解説していただいております。小生のような専門外の方々にとってはさることながら、一般の読者の皆様や専門の研究者の方々にとっても本特集は極めて有用な情報源になったのではないでしょうか。

ところで、先に述べました森林・林業基本計画がある一方で、農林水産省は、「今後 10 年間を目途に、路網の整備、森林施業の集約化及び必要な人材育成を軸として、効率的かつ安定的な林業経営の基盤づくりを進めるとともに、木材の安定供給と利用に必要な体制を構築し、我が国の森林・林業を早急に再生していく」という「森林･林業再生プラン」を作成しました。本プランで「目指すべき姿」は、「10 年後の木材自給率 50％以上」です。それでは、10 年後、50 年後、100 年後の将来の日本の「針葉樹人工林の姿」を、皆様はどのように想像するでしょうか。針葉樹林であれ広葉樹林であれ、林木も土壌も含めた森林の生長には長い年月がかかる一方、人為であれ自然であれ森林が一瞬にして大きく「変化」することがあります。おかしなことを言うようですが、小生が望むのは、急傾斜の山が多い日本で、まずは最低限安全に安心して暮らすことができ、そしてあわよくば自然からの恵みを人間も含めた生物が多様な形でいただけるような、そういった「森林」です。近い将来の日本の森林の姿に小生は不安と期待の両方を覚えてしまいます。

最後になりましたが、執筆者の方々には多忙な時期にもかかわらず、読み応えのある原稿を寄せていただき、大変感謝しております。特集もさることながら、本号は連載記事も興味深く大変勉強になる記事が満載です。執筆者の方々と各担当編集委員の方々に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

（編集主事　高橋　與明）

「森林科学」への投稿について

「森林科学」投稿規定

（2009 年 3 月 26 日改定）

1. 投稿できるのは日本森林学会会員および「森林科学」購読者のみとする。ただし筆頭者以外の共同執筆者および依頼による記事の執筆者についてはこの限りではない。
2. 原稿は、解説、記録、研究トピックス、読者の声、その他とし、和文とする。
3. 原稿の採否は編集委員会が決定する。
4. 原稿の長さは原則として、すべてを含む刷り上がりが解説、記録は 4 ページ以内、研究トピックス、読者の声、その他は 2 ページ以内とする。解説と研究トピックスについては、やむを得ない場合は規定ページ数の 1.5 倍まで認め、超過分は著者の負担とする。
5. 投稿原稿は執筆要領にしたがい作成し、電子メールまたは郵送で提出する。郵送で提出する場合は、オリジナル原稿（1 部）を書留便で送付する。
6. 著者校正は原則として初校に限り、誤植の訂正にとどめる。
7. 解説、記録、研究トピックスの著者は別刷 50 部を希望により無料で受け取ることができる。無料分以上（50 部単位）を希望する場合は、著者の負担とする。
8. 原稿の送付および編集についての問い合わせは森林科学編集主事あてとする。
9. 著者は最終原稿を提出する際に、著作権譲渡承諾書を提出しなければならない。

著作権規定

（2009 年 3 月 26 日改定）

1. 本会の刊行物への掲載が受理された記事、論文等の著作権は、本会単独であるいは本会の定める出版社と共同で、本会に帰属するものとする。
2. 著者に許容される権利については、刊行物ごとに別に定める。

「森林科学」執筆要領

（2009 年 3 月 26 日改定）

1. 原稿の書き方

専門分野以外の読者が理解しやすいように、図表や写真を多くし、わかりやすく、簡潔な表現を用いる。図にできる場合はなるべく表を使わない。目安として、少なくとも 1 ページに 1 つの図（イラストを含む）や写真を入れるようにする。

2. 原稿の種類

解説：特定の研究テーマや話題に関する解説

記録：シンポジウムや研究会の記録

研究トピックス：プロジェクトや国際共同研究、特徴ある研究の紹介

読者の声：読者の意見や主張

ブックス：書評、出版物の紹介

その他：上記以外の内容についての投稿。編集主事まで問い合わせること。

3. 原稿の形式

解説・記録・研究トピックス：以下を別紙 ①～⑤ にそれぞれ記載する。① 表題、著者名、所属先、原稿種類名、別刷数（希望する場合のみ、50 部単位）、連絡先（住所、電話番号、FAX 番号、電子メールアドレス）、② 本文、③ 引用文献（必要な場合のみ、目安として最大 10 点程度まで）、④ 図、表、⑤ 図の説明

読者の声・その他：以下を別紙 ①～④ にそれぞれ記載する。① 表題、著者名、所属先、原稿種類名、連絡先（住所、電話番号、FAX 番号、電子メールアドレス）、② 本文、③ 図、表

ブックス：紹介する印刷物の書誌情報（書名、編著訳者名、総ページ数、出版社名、発行地、発行年、定価、付与されている場合は ISBN）、本文、紹介者名、紹介者連絡先（住所、電話番号、FAX 番号、電子メールアドレス）

4. 原稿の体裁

原稿は電子メールに添付しての提出を基本とする。ファイル形式などの詳細については編集委員会が定める「原稿作成の目安」を参照のこと。

図、表の表題にはそれぞれ通し番号（図-1、表-1 など）をつけ、1 点ごとに別ファイルとする。各ファイルには筆頭著者名と通し番号を含む分かりやすい名前を付ける。

手書き原稿も受け付ける。手書きの場合は 400 字詰め原稿用紙（A4 版、縦型、横書き）に黒ペンで書き、図表や写真などの扱いは慣例に従う。

5. 引用文献

引用文献は必要最小限とし、アルファベット順に記載する。本文中での引用はアルファベット順で記載した通し番号で（1）、（2、3）のように引用するか、該当人名に（年号）あるいは事項に（人名、年号）をつけて引用する。混用はしないこと。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、 欧文の場合は Forestry Abstracts にならう。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは巻（号）を併記する。単行本の場合は総ページもしくは引用ページを記載する。記載例は「日本森林学会誌執筆要領」を参照のこと。

原稿の送付および編集についての問い合わせ先は下記あてとする。

森林科学編集主事　高橋與明
〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1
森林総合研究所
森林管理研究領域
Tel 029-829-8314
Fax 029-873-3799
e-mail tomokun@ffpri.affrc.go.jp

学会事務についての問い合わせ先

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
Tel./Fax 03-3261-2766
http://www.forestry.jp/
（日本森林学会）
http://www.forestry.jp/contents/publish/publish.html
（森林科学）

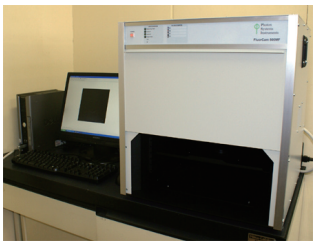
複写をされる方に：Ⓡ　学協会著作権協議会へ複写権委託済み
許諾・連絡は、〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3 F 学協会著作権協議会（Tel./Fax 03-3475-5618）

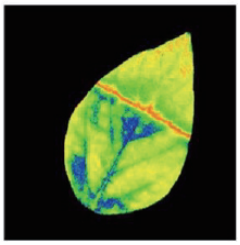
日本環境計測株式会社

葉面積指数センサー
MIJ-15
400～700nmのPARと700～1100nmの近赤外線のデータを計測し、比を算出する事でLAIを計測します。LAI～8。

光合成有効放射センサー
MIJ-14
PPFDセンサで問題となる長期ドリフトを抑える設計思想。小型堅牢。
0～4,000μE（アンプ使用時10000μEまでリニア）

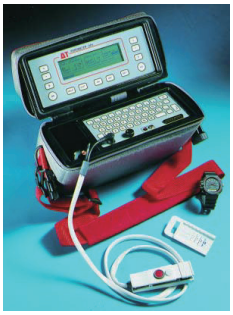
二次元クロロフィル蛍光測定器
EMFluorCam800MF
二次元蛍光測定はこれで完結。高分解能カメラ、照射光波長、受光波長など、オプションも充実。
測定項目:F0, FM, FV, F0', FM', FV', FV'/FM', AbsPAR-value
計算項目:NPQ, FV/FM, FV'/FM', Rfd, qN, qP, PAR吸収率、他





携帯型蛍光測定装置
OS-5p
屋外での蛍光測定(一次元)はこの機種。内蔵電池で連続20時間稼働し、測定パラメータも充実しています。オプションのリーフクリップで、PARや葉温度も計測できます。
測定項目:Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fod, Fms, Fs, qP, qN, NPQ, Ft, ETR, PAR, T

蒸散測定器
AP4
気孔開口部は葉表面の拡散コンダクタンスにより植物葉からの蒸発散、光合成用のCO_2吸収の両方をコントロールする重要な役割を持ちます。拡散コンダクタンスの測定は植物の水分状態の重要な指標で、環境変数への植物適応や植物成長に対する貴重な情報を供給します。



土壌水分センサーと読取装置
ML2x、HH2
ML2xは、土壌、混合土や生育媒体等の広い範囲にわたって使用できます。コンパクトなので植木鉢に挿入したり、苗床(最低50mm)に水平に入れられます。農薬や化学肥料を使用する土壌にも対応しています。

樹体内体積含水率測定プローブ MIJ-16
MIJ-16
専用治具を用いることで、感部であるニードルを樹体に正確な位置に、正確な深さに貫入が可能です。ML2xに装備したバネとボールが入ったプランジャを介して、ロッドに電気的接続を行う構造ですから、1つのプローブで、複数箇所の計測が可能です。この場合、専用読取器HH2を組合わせると便利です。連続モニタリングを行う場合、ニードルをプローブ本体と結合できます。プランジャの側面にある1.3mmイモネジを締め込むことで、ネジがニードルの溝に食い込み、締結可能です。プローブ配線をMIJ-12データロガーなどに接続可能です。

Environmental Measurement Japan
日本環境計測株式会社
E.M.J. Environmental Measurement Japan Co. Ltd.
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
電話：092-608-6412
FAX：092-985-7844
www.environment.co.jp