



森林

科学

[特集]

ブナ林の衰退
—丹沢山地で起きていること—

シリーズ

森めぐり

神々がおわす森—タテヤマスギ天然林—
ミシシッピ河の湿地林

現場の要請を受けての研究

LEDを利用したナガマドキノコバエ捕虫器の開発

No. **67**
February 2013



安価な LAI 観測が可能なプラントキャノピーアナライザー

CI-110

(シーアイ 110)

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

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

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

専用タブレットPCはGPS内蔵で測定した位置情報も記録されます。



専用タブレットPC

スウェーデン製 成長錐 (インクリメントボア)



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



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

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

特集 **ブナ林の衰退—丹沢山地で起きていること—**

	衰退の現状	2
	谷脇 徹	
	空中写真からわかるブナ林の衰退	6
	鈴木 透・山根 正伸	
	ブナ林の大気環境	10
	若松 伸司・斎藤 正彦・神田 勲・岡崎 友紀代	
	ブナに及ぼす複合的なストレスの影響	14
	清水 英幸・伊藤 祥子	
	葉食昆虫の食害と樹木の衰弱枯死	18
	—ブナハバチとサクラスガ	
	谷 晋・山上 明・伴野 英雄	
	全国に適用できる簡易なブナ林衰退	22
	モニタリング手法の開発	
	武田 麻由子・小松 宏昭	

森林科学 No.67

2013年2月1日発行

領 価 1,000円 (送料込み)

年間購読割引価格

2,500円 (送料込み)

編集人 森林科学編集委員会

発行人 一般社団法人 日本森林学会

102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

郵便振替口座：00140-5-300443

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:巨岩の上に生育するドウスギ (故石崎義高氏提供)。森めぐり「神々がおわす森—タテヤマスギ天然林—」より (33ページ)

	解説	
森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか?	26	
—その2 森林の取り扱いから考える—		
	谷 誠	
	シリーズ 森めぐり	
神々がおわす森	32	
—タテヤマスギ天然林—		
	平 英彰	
ミシシッピ河の湿地林	34	
	山本 福壽	
コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに		
開花調査	36	
	二階堂 太郎	

シリーズ 現場の要請を受けての研究

37 LED を利用したナガマドキノコバエ捕虫器の開発	
阿部 正範	

シリーズ 森をはかる

41 土壌呼吸の発生源を探る	
大橋 瑞江	

43 Information

ボックス

北から南から

衰退の現状

谷脇 徹 (たにわき とおる、神奈川県自然環境保全センター)

はじめに

森林では、特定の地域や樹種で、樹木に集団的な衰弱や枯死が生じる現象、いわゆる衰退現象が生じることをご存知だろうか。衰退の要因には、大きく分けて非生物学的なものや生物学的なものがある。非生物学的要因には二酸化硫黄やオゾンなど人為起源の大気汚染、あるいは強風や乾燥といった気象条件などが挙げられる。生物的要因とは病気や昆虫、動物などを指す。

日本での森林の衰退は、1970～1980年代頃から、大気汚染との関係で注目されるようになる。代表的なものに、関東や瀬戸内などの平野部のスギ、奥日光や赤城山地のダケカンバやシラビソ、大台ヶ原のトウヒの衰退などがある。また、近年ではニホンシカによる樹皮剥ぎ被害や林床植生の退行が全国で顕在化している。昆虫と微生物を原因とするマツ枯れやナラ類の集団枯損もまた全国的な問題となっている。

このような衰退現象はブナ林でも報告されている。例えば、福岡県の英彦山では、平成3年の台風19号による集団的な風倒被害が生じ、現在でもその後遺症により衰退が進行している(猪上ら 2002)。富士山麓では1980年代に大気汚染の影響とみられる葉の可視障害と光合成速度の低下が生じている(角張・原野 1991)。また、今後温暖化が進んだ場合、ブナの生育適域が減少することが指摘されている(田中ら 2006)。

ブナは北海道から鹿児島県の冷温帯に生育する代表的な落葉広葉樹である。原生林として残されている場所が多く、ブナ林ならではの多様な動植物が生息し、人々は水の安定供給など様々な自然の恩恵を受けている。すなわち、ブナ林の衰退は、動植物のみならず、人々に対しても計り知れない影響を及ぼすことを意味する。したがって、ブナ林の衰退地においては、その実態と原因解明に取り組み、対策を講じる必要がある。

そこで特集では、ブナ林の衰退研究のモデルケースとして神奈川県北西部に位置する丹沢山地(以下、丹沢)を中心とする最近の研究成果を紹介したい。その概要を

みてみよう。特集は6つの記事からなり、前半の2題が衰退の実態、続く3題が衰退の原因解明、最後の1題が全国の衰退モニタリングという流れで構成される。特集の最初となる本稿では、丹沢のブナ林衰退研究のこれまでを振り返り、衰退の実態と原因の解明の取り組みを紹介する。次稿では、鈴木・山根が年代別の航空写真の解析から読み取れる衰退履歴を解説する。続いて、若松らが衰退原因であるオゾンの長期トレンドと空間分布の解明、清水・小林が現地の複合ストレスを裏付けるためのオゾンと水ストレスの複合影響実験を報告する。また、谷らは葉食昆虫の大量発生と樹木の衰弱・枯死の実態を、ブナに加えて、丹沢の希少植物であるシウリザクラにも着目して解説する。最後に、武田・小松が丹沢を含む全国的な衰退モニタリングの取り組みを紹介する。

丹沢のブナ林衰退

丹沢は約40,000 haの山塊であり、首都圏からおおよそ50 kmと近く、毎年多くの人々が訪れる。それゆえ丹沢の自然環境に対する人々の関心は高く、県やNPOなど様々な主体が保全活動を推進している。これらを背景に、丹沢では県と大学や国の研究機関、NPOなどが集まり、1960年代、1990年代、2000年代に3回の総合調査が実施され、ブナ林衰退を含めた丹沢の自然環境の実態と、丹沢が抱える問題が抽出・整理された。その



写真-1 ブナ林の衰退状況

ブナ林の衰退—丹沢山地で起きていること—

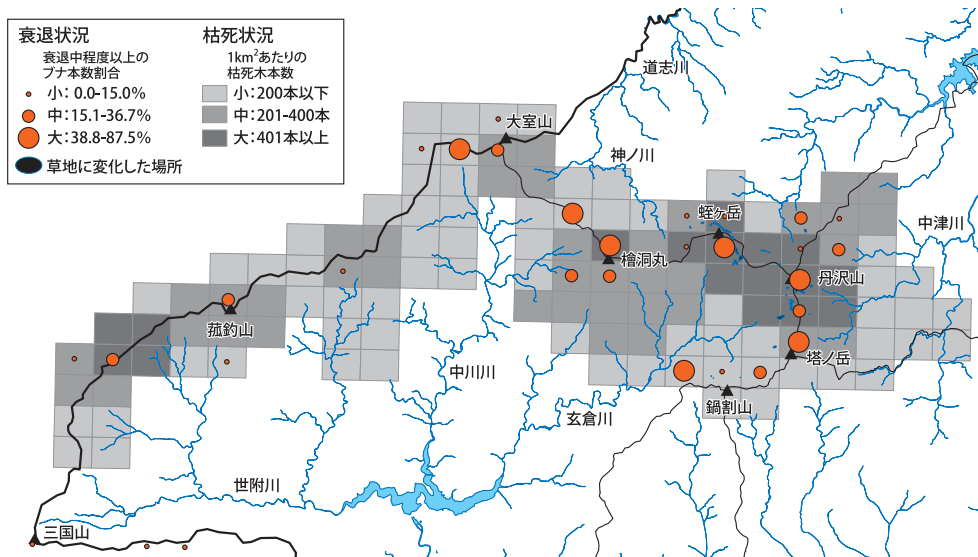


図-1 丹沢各地のブナ林の衰退度（山根ら（2007b）より引用）

結果、かつては鬱蒼としていたブナ林には稜線部を中心に衰退が生じていること（写真-1）、ブナ高木の衰弱や枯死は複合ストレスによって進行していることが明らかとなった。

丹沢でブナが生育する標高は700～800m以上であり、最高峰の蛭ヶ岳（標高1,672m）の山頂周辺までブナが出現する。まとまったブナ林は、主に標高1,000m以上の、火山灰が厚く堆積する尾根筋や緩斜面に成立する。丹沢のブナ林の主要な構成樹種としては、広葉樹にはブナ、アオダモ、シデ類、カエデ類、シナノキ、サワグルミ、針葉樹にはウラジロモミ、ハリモミなどがある。

衰弱や枯死が問題となっているのは、モミ、ウラジロモミおよびブナである。このうち、モミは丹沢東部の大山で1960年代から1970年代にかけて集団的な立ち枯れが生じ、二酸化硫黄などの大気汚染と、蛾の一種でありモミなどの葉を食べるハラアカマイマイ幼虫の大量発生の影響が推測されている。また、ウラジロモミでは1980年代以降にニホンジカの樹皮剥ぎによる立ち枯れが目立つ。

ブナ林の衰退は、鈴木・山根が述べるように1970～1980年代頃から目立ち始め、1990年代以降も現在まで拡大傾向にある。衰退は主として蛭ヶ岳や丹沢山、塔ノ岳など東丹沢から丹沢中央にかけてと西丹沢の檜洞丸の山頂付近の、標高1,400m以上の稜線部で生じている（図-1）。その中でも、特定の斜面で衰退が進む傾向を鈴木・山根は見出しており、それらの地点が風衝地（星ら1997）に該当することを指摘している。また、標高



写真-2 シカ侵入防止柵内外の植生

が1,200m前後であってもブナの単木的な立ち枯れが生じている堂平のような場所もある（山上ら2007）。

以上のような高木の衰弱や枯死に加え、ニホンジカの採食による林床植生の退行が顕在化している（写真-2）。丹沢のシカは戦後狩猟により一時絶滅の危機に瀕したが、保護政策と、拡大造林に伴う伐採跡地などでの餌資源の増加により、1960～1970年代に個体数が爆発的に増加した（古林ら1997）。1980～1990年代以降にはシカの採食による林床植生の退行が顕在化し、今なお進行中である。顕著な例としてスズタケの退行やシカの不嗜好性植物の増加、ブナを含む各種高木の天然更新の阻害などが挙げられる。

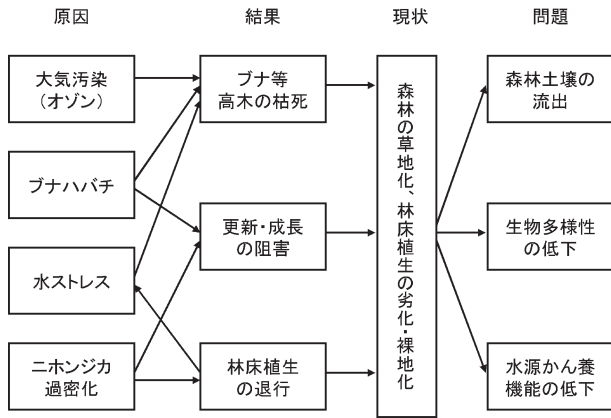


図-2 ブナ林衰退の要因連関図（山根ら（2007a）を一部改変）

以上から丹沢では、高木の枯死が増えると不嗜好性植物の草原化や裸地化が進み、土壌侵食が生じることで森林が荒廃することが懸念されている（山根ら 2007a）。

衰弱・枯死の原因

丹沢山地のブナ高木の衰弱や枯死には、大気汚染や水ストレス、あるいは生物的要因の関与が考えられている。特に、1990年代以降のブナの衰弱や枯死の原因として、オゾン、ブナハバチ、水ストレスの複合影響（図-2）が指摘されている（山根ら 2007a）。そこにブナ林環境を大幅に改変するニホンシカを加え、それらが原因となり引き起こされるブナ林衰退の現状と問題に関する要因連関を示した。また、ここに表していないが、若松らが明らかにした冬季の気温上昇や大気汚染には、ブナへの直接的な悪影響に加え、積雪の減少やブナの衰弱を通じてシカやブナハバチの発育や生存に好影響を与える間接的な作用も推測される。このような間接作用は、後述する水ストレスと他の要因との関係などでもみられる。以下に、ブナ高木の衰弱・枯死要因について解説する。

(1) 大気汚染

丹沢は首都圏に近いので、首都圏由来の大気汚染物質の影響を受けやすい立地環境にある。衰退には硫酸化物（二酸化硫黄）、光化学オキシダント（オゾン）、酸性雨による土壌の酸性化、酸性霧の関与が取り沙汰されている。

このうち首都圏での二酸化硫黄濃度は1967年をピークに減少に転じ1980年代以降は環境基準を満たしている。このため、二酸化硫黄が過去に衰退に関与したとし

ても、現在ではその影響はないものと考えられる。また、酸性雨による山地土壌の酸性化の兆候はこれまでに認められない。霧は雨に比較して大気汚染物質が多く含まれやすい（井川ら 1992）が、酸性霧の実態や影響を把握するのが難しく未知の部分が多い。

一方、オゾンは毎年春から夏の終わりにかけて首都圏で頻発する光化学スモッグの主成分であり、近傍の丹沢にも広域的に分布する。若松らは、丹沢のオゾンは首都圏由来のものが多いが、東海地方からの輸送も少数あることを明らかにしている。あわせて、気球観測により、丹沢のブナ林がある標高帯でオゾン濃度にピークがあることを突き止めている。オゾンが高濃度になる時期はブナの着葉期と重なる。オゾンの影響を受けると成長抑制や葉面の可視障害が生じることが、清水・小林の暴露実験で述べられている。

(2) ブナハバチ

1990年代以降の衰退に強く関与する要因にブナハバチがある。ハバチは葉蜂と書き、幼虫が葉を食べる蜂の一種である。谷らがその生態を明らかにしている。通常、オゾンや水ストレスは衰弱を引き起こすものの枯れるまでには至りにくく、ここにブナハバチの大量発生が加わることで衰弱や枯死が助長されると考えられている（山根ら 2007a）。

谷らが述べるように、丹沢山地では初めて大規模な食害が生じた1993年以降、小～大規模の食害が断続的に生じている。ブナハバチの幼虫の摂食により6月に全失葉したブナは、8月になると通常は翌春に開く冬芽から若葉が展開する。食害により失葉したブナには、翌年に枝先枯れが生じて葉量が減少する衰弱症状が観察される。同一のブナ個体が繰り返し食害を受ける傾向があり、複数回の食害を受けることで衰弱や枯死する事例が多い。（越地ら 2012; 山上ら 2007）。

(3) 水ストレス

稜線部の風衝地では慢性的に水ストレスが生じている。風衝地では地形に起因する局地風により乾燥に加えてオゾンの移流フラックスが増加することが指摘されている（河野ら 2007）。また、近年ではブナ林の乾燥化が進んでいる（山根ら 2007a）。その原因の一つは温暖化傾向と少雪化であり、これらにより山地全体の乾燥化が推測される。二つ目は衰退に伴う林分構造の変化が挙げられる。つまり、林冠ギャップが形成されるとともにシカの採食により林床植生が減少することで、林内の風

通しが良くなって乾燥しやすくなる。風通しが良くなるとオゾンの影響も受けやすくなる。清水・小林の実験では、オゾンと水ストレスの複合的・慢性的な影響がブナの生理活性を低下させ、その結果著しい成長低下が生じるという一連のプロセスが示されている。

おわりに

以上のように、丹沢山地におけるブナ林の衰退の実態とその原因について簡単に紹介した。丹沢の場合、ブナハバチの大量発生が繰り返生じることなど、他の地域とは異なる特徴がある。一方、大気汚染やシカの高密度化がもたらす植生被害のように他の地域でも同様に抱える問題もあり、そのような条件下でのブナ林の保全と再生は共通の課題となっている。この意味で、武田・小松の取り組みは興味深い。共通の指標で、全国でのブナの衰退度調査とオゾンなど各要因の観測を実施できれば、各地の衰退の実態と原因を全国との比較で捉えることができる。対策については、丹沢では植生保護柵によるブナ林再生の取り組み（田村ら 2012）や、ブナハバチによる食害回避に向けた防除手法の開発（谷脇ら 2012）が進められている。これらは他の地域におけるブナ林衰退対策の参考になるであろう。ただし、ブナ林の衰退には各地域で異なる原因が複合的に関与していると思われるため、地域ごとに衰退原因を解明し、それを踏まえた対策を講じていく必要がある。

引用文献

- 古林賢恒・山根正伸・羽山伸一・羽太博樹・岩岡 樹・白石利郎・皆川康雄・佐々木美弥子・永田幸志・三谷奈保・ヤコブ・ボルコフスキー・牧野佐絵子・藤上史子・牛沢理（1997）ニホンジカの生態と保全生物学的研究。（丹沢大山自然環境総合調査報告書。（財）神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会編。神奈川県環境部）。319-429。
- 星 直斗・山本詠子・吉川菊葉・川村美岐・持田幸良・遠山三樹夫（1997）自然林の現状とその保護。丹沢山地の自然林。（丹沢大山自然環境総合調査報告書。（財）神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会編。神奈川県環境部）。175-257。
- 井川 学（1992）酸性霧とその環境影響。森林立地 34：36-39。
- 猪上信義・野田 亮・佐々木重行（2002）福岡県英彦山におけるブナ林の衰退現象と立地との関係。九州森林研究 55：54-57。
- 角張嘉孝・原野美雄（1991）ブナ林衰退現象の評価とその対策（I）—ブナ葉における可視障害の有無と光合成速度—。日林論 102：443-445。
- 越地 正・谷脇 徹・相原敬次・山根正伸（2012）檜洞丸におけるブナハバチの大発生によるブナの衰弱枯死。神奈川県自然環境保全センター報告 9：95-104。
- 河野吉久・須藤 仁・石井 孝・相原敬次・内山佳美（2007）丹沢山地周辺のオゾン濃度の実態とブナに対する影響。（丹沢大山総合調査学術報告書。丹沢大山総合調査団編。財団法人平岡環境科学研究所）。383-395。
- 田村 淳・谷脇 徹・井田忠夫・中西のりこ・吉田直哉（2012）丹沢のブナ林衰退地における天然更新の状況—再生事業地における3年後の調査から—。神奈川県自然環境保全センター報告 9：119-126。
- 田中信行・松井哲哉・八木橋勉・峠田宏（2006）天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測：とくにブナ林について。地球環境 11：11-20。
- 谷脇 徹・山根正伸・田村 淳・相原敬次・越地 正（2012）丹沢山地において大量発生したブナハバチ対策への取り組み。神奈川県自然環境保全センター報告 9：81-89。
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄（2007）ブナハバチ食害によるブナ枯死とブナ林の衰退。（丹沢大山総合調査学術報告書。丹沢大山総合調査団編。（財）平岡環境科学研究所）。256-268。
- 山根正伸・相原敬次・鈴木 透・笹川裕史・原慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上 明（2007a）ブナ林の再生に向けた総合解析。（丹沢大山総合調査学術報告書。丹沢大山総合調査団編。（財）平岡環境科学研究所）。703-710。
- 山根正伸・藤澤示弘・田村 淳・内山佳美・笹川裕史・越地 正・齋藤央嗣（2007b）丹沢山地のブナ林の現況—林分構造と衰退状況—。（丹沢大山総合調査学術報告書。丹沢大山総合調査団編。（財）平岡環境科学研究所）。479-484。

空中写真からわかるブナ林の衰退

鈴木 透 (すずき とおる、酪農学園大学農食環境学群環境共生学類)

山根 正伸 (やまね まさのぶ、神奈川県環境農政局水・緑部自然環境保全課)

はじめに

丹沢山地は神奈川県北西部に位置し、約 40,000 ha の山塊である。最高地点は 1,672 m を誇る蛭ヶ岳山頂で、他に 1,500 m を越える山は、丹沢山、檜洞丸等 9 座を数える。地形としては、山腹斜面は全般に急峻である。植生は、低標高から高標高に向かいシイ・カシ等の暖温帯林から標高 800 m 前後を境としてブナを始めとした冷温帯林（以下、ブナ林）に変化する。低標高域ではスギやヒノキ等の人工林の割合が高く、それ以外の場所は薪炭林として利用された二次林が多い。また、丹沢山地は、都心からわずか 50 km しか離れていないにもかかわらず、ブナやモミの原生林、ニホンカモシカやツキノワグマ等

の大型野生動物、多くの滝を擁する深い渓谷等、豊かな自然がまだ数多く残っている場所であり、神奈川県の水源地域としても重要な役割を果たしている（丹沢大山総合調査調査団 2006）。

しかし現在、丹沢山地の主稜線部においては、ブナの衰弱・枯死やブナ林の草地化の進行などといったブナ林の衰退が深刻化している。これまでの調査で、モミやブナの枯死木が天然林の約 3 割の範囲に分布し、丹沢山・蛭ヶ岳・檜洞丸の各山頂付近に多いこと（越地ら 1996）や高標高の地域において衰退が顕著であり、風衝面では衰退が激しいこと（星ら 1997）が報告されている。また、ブナ林の衰退の原因は、本特集にも述べられているように

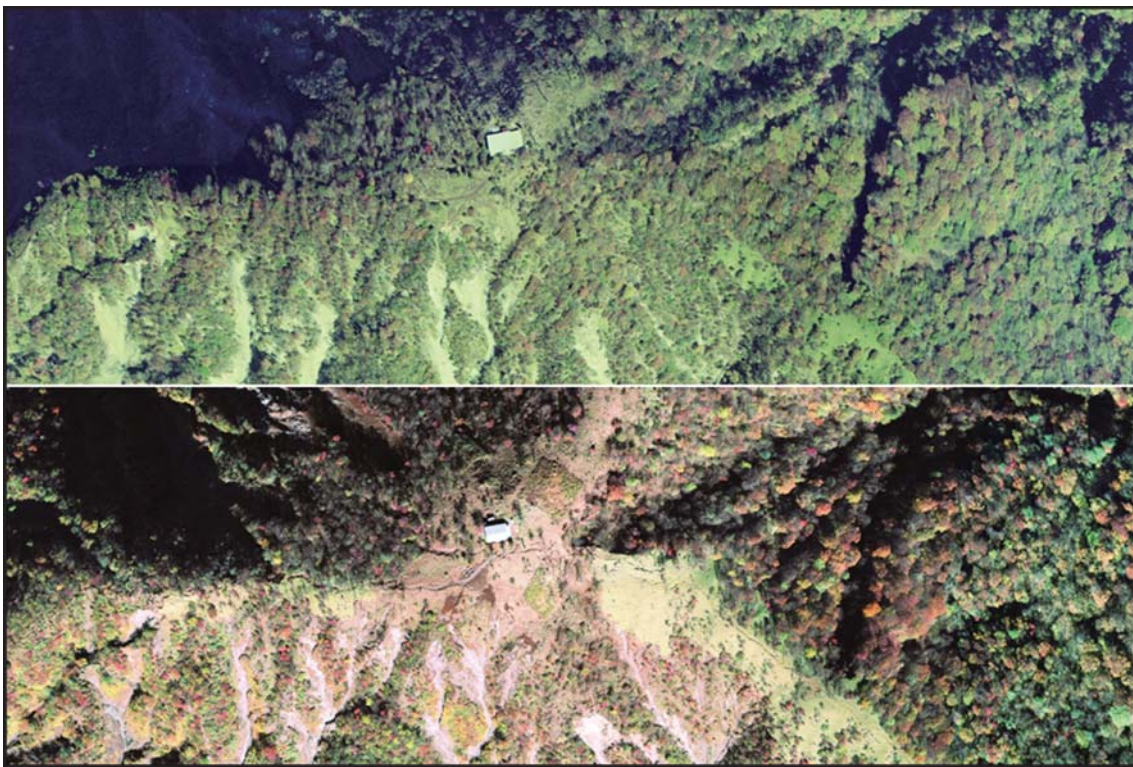


写真-1 蛭ヶ岳周辺の空中写真（上：1970年代、下：2000年代）。2000年代には草地が増加していることがわかる。

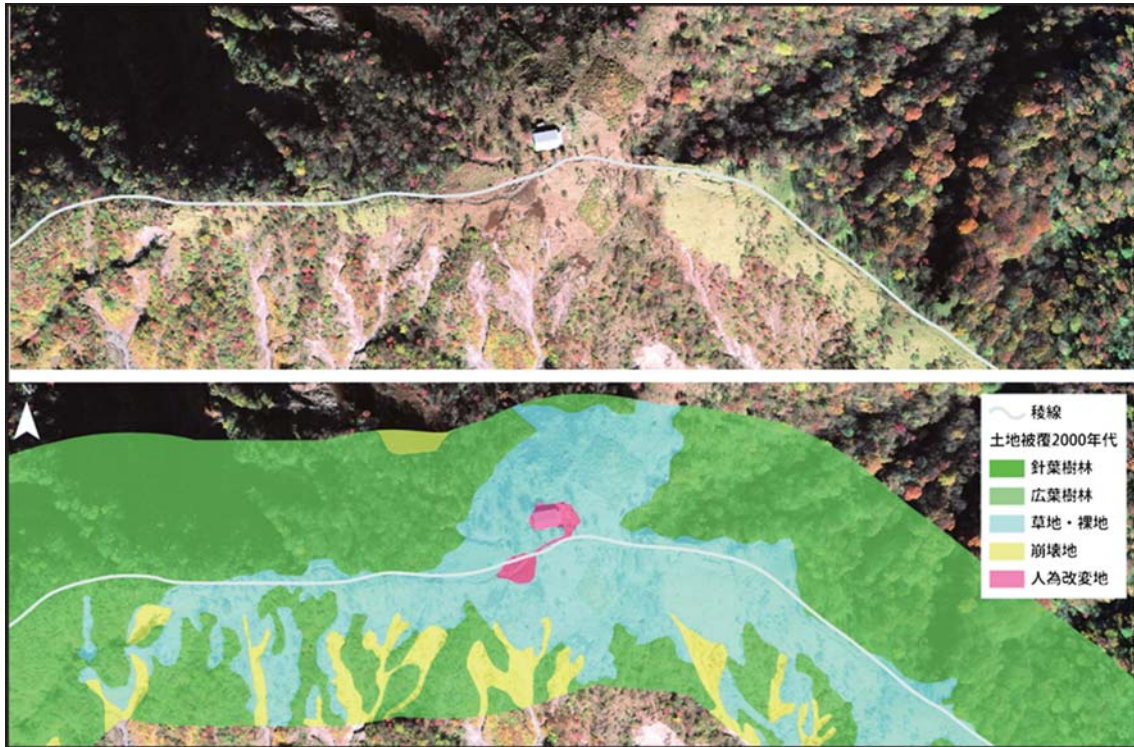


図-1 蛭ヶ岳周辺の土地被覆の判読結果（上：空中写真、下：判読結果）。特に南斜面で草地が多くみられる。

ニホンジカの過密化、大気汚染、ブナハバチによる食害、水ストレス等の様々な要因が複合的に関連していると考えられている（山根ら 2007）。

本稿では、ブナ林がどこで、どのように衰退してきたのかという時間変化を明らかにし、今後のブナ林の効果的な保全対策やその成果を判断するための重要な判断材料とすべく、丹沢山地主稜線部のブナ林の、1970年代から現在にかけての変化を、空中写真を用いて広域的に解析した事例を紹介する。

空中写真によるブナ林衰退状況の把握

ブナ林の広域的・長期的な衰退、特にブナ林の草地化の時空間変化を明らかにするために、空中写真を用いて土地被覆の状態を判読した。空中写真は飛行機に搭載したカメラで地上を撮影した写真で、古くは米軍が終戦直後に撮影した写真から現在に至るまで定期的に撮影されている。空中写真は撮影した時期の状況をありのままに映し出しており、特に長期的な環境変化を捉えるのに有用である（写真-1）。

空中写真は、1970年代・80年代・90年代・2000年

代の4時期について収集し、オルソ画像に加工した。オルソ画像とは、地形や写真の傾きにより歪んで撮影されている空中写真を補正した画像であり、オルソ画像化することによりGIS（Geographic Information System、地理情報システム）上で撮影時点の異なる空中写真の画像情報を正確な位置を対応させて重ね合わせることができ

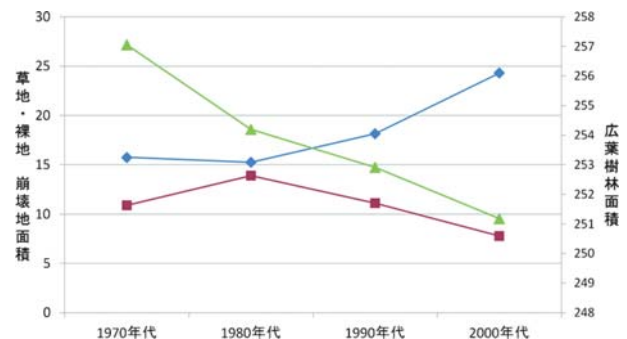


図-2 大室山から鍋割山の主稜線部周辺の草地・裸地、崩壊地、広葉樹林の面積（ha）変化。◆：草地・裸地、■：崩壊地、▲：広葉樹林。草地・裸地は1990年代以降増加し、崩壊地は1990年代以降減少、広葉樹林は1980年代以降減少している傾向がある。

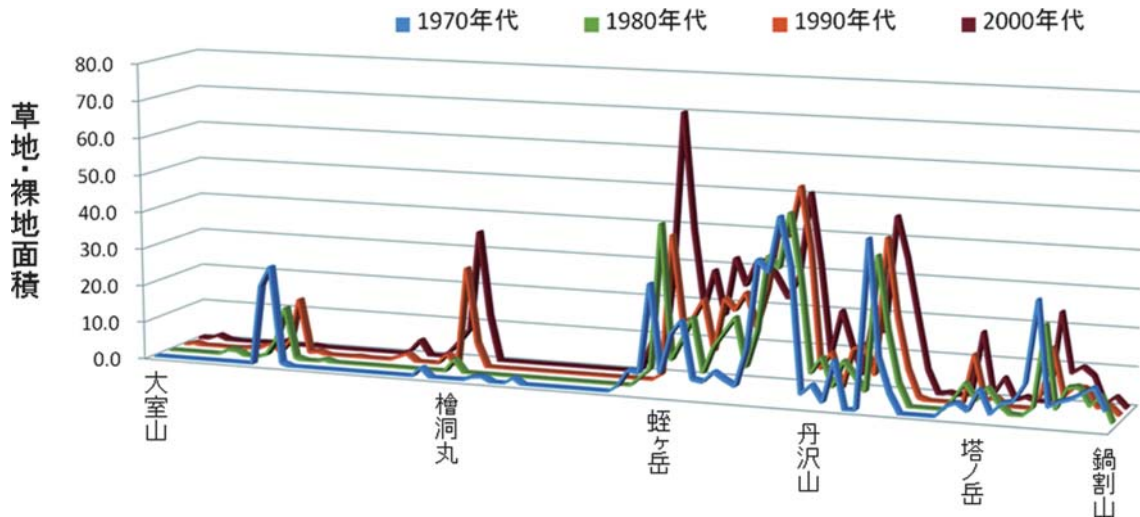


図-3 大室山から鍋割山にかけての草地・裸地面積 (m²) の変化。特定の場所で、草地化 (山頂) や草地の増加 (蛭ヶ岳から丹沢山周辺) が起きていることがわかる。

る。

解析では、各時点の空中写真を判読し5つの土地被覆(広葉樹林、針葉樹林、崩壊地、草地・裸地、人為改変地)に分類した(図-1)。ブナ林は広葉樹林として分類される。判読する地域は丹沢山地の内、ブナ林の衰退が激しい地域を含む大室山から鍋割山の主稜線(特集1、写真-1)の両側100mの範囲内とした。

丹沢山地におけるブナ林の草地化とその特徴

まず、大室山から鍋割山の主稜線部におけるブナ林の草地化の状況を把握するために、草地・裸地(以下草地)、崩壊地、広葉樹林の面積変化を図-2に示した。草地の変化に着目してみると、1970年代(草地:15.7ha)から80年代(草地:15.2ha)までは大きな変化は見られないが、90年代には18.1haと増加しており、2000年代には24.3haと1970年代と比較して約54.4%草地が増加している。1970年代から2000年代にかけて草地となった場所8.6haの内、崩壊地から変化も見られるが、多くはブナ林が衰退・枯死したことに起因する広葉樹林からの変化(5.8ha)である。このように丹沢山地におけるブナ林の衰退に伴う草地化は全体として1990年代以降顕著になり始めたことがわかる。

一方、ブナ林の衰退は、これまで報告されているように(越地ら1996; 星ら1997)、場所により程度が異なっている。そこで、大室山を始点として主稜線上に200m間隔でサンプリングポイントを決め、サンプリングポイ

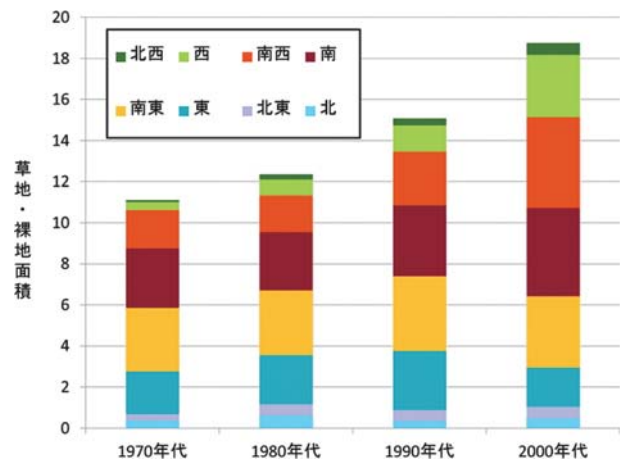


図-4 大室山から鍋割山にかけての草地・裸地面積 (ha) の変化と斜面方位割合。1970年代・80年代では、東から南西斜面で草地が多くみられたのに対し、1990年代、2000年代には南・南西・西斜面での草地化が増加していることがわかる。

ントを中心に半径100mのバッファーを発生させた円形プロット内の草地面積を各年代で集計した(図-3)。その結果を見てみると、まず地域により草地化の程度が大きく異なることがわかった。特に蛭ヶ岳から丹沢山にかけての主稜線部では、1970年代から草地化しており、近年は草地の面積が激増していた。また、檜洞丸等の山頂では、1970年代には草地が少なかったにも係らず、1990年代以降草地の面積が増加していた。このように、丹沢山地におけるブナ林の衰退は、主に蛭ヶ岳から丹沢山の主稜

線部における過去から草地となっている場所周辺での草地の拡大や、山頂における1990年代以降の草地化により進行していることが明らかになった。

最後に草地となっている場所の地理的な特徴についても検討した。丹沢山地の主稜線部における草地化は特定の斜面に発生している傾向が見られる(図-1)。そこで草地と斜面方位との関係を各年代で集計した(図-4)。1970年代・80年代では、東から南西斜面で草地が多く見られ、1990年代、2000年代になるにつれて南・南西・西斜面での草地の増加が顕著である。各年代に共通して北斜面(北・北東・北西)での草地は少なく、草地となる場所に特徴があることがわかる。星ら(1997)が明らかにしているようにいわゆる風衝地と呼ばれる斜面で草地化やその増加が起きていると考えられ、地域的な特徴と併せて地理的な特徴と草地化との関連も今後明らかにしていく必要がある。

おわりに

丹沢山地の大室山から鍋割山の主稜線部において、1970年代から2000年代におけるブナ林の草地化の実態について空中写真を利用して解析した結果、蛭ヶ岳山頂から丹沢山周辺の南向きを中心とする斜面で草地化が進行しているという地域的・地理的な特徴が明らかになった。このような特徴とこれまで原因とされている大気汚染や水ストレス等との関係をさらに解析して、ブナが衰

弱・枯死してブナ林が草地化するプロセスを明らかにしていく必要があるだろう。また、ブナ林衰退の原因特定と同時に、今回の結果やこれまでの知見から推定される草地化するリスクが高い地域について先行的に対策を講じていくことが重要であろう。

引用文献

- 越地 正・鈴木 清・須賀一夫(1996) 丹沢山地における森林衰退の調査研究(1) ブナ、モミ等の枯損実態。神奈川県森林研究所研究報告. 22: 7-18.
- 丹沢大山総合調査調査団(2006) 丹沢大山総合調査。(アトラス丹沢第二集。丹沢大山総合調査実行委員会)。50pp.
- 星 直斗・山本詠子・吉川菊葉・川村美岐・持田幸良・遠山三樹夫(1997) 自然林の現状とその保護、丹沢山地の自然林。(丹沢大山自然環境総合調査報告書。(財)神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会編, 神奈川県環境部)。175-257.
- 山根正伸・藤澤示弘・田村 淳・内山佳美・笹川裕史・越地 正・齋藤央嗣(2007) 丹沢山地のブナ林の現況—林分構造と衰退状況—。(丹沢大山総合調査学術報告書。丹沢大山総合調査団編, (財)平岡環境科学研究所)。479-484.

ブナ林の大気環境

若松 伸司・斎藤 正彦・神田 勲・岡崎 友紀代

(わかまつ しんじ・さいとう まさひこ・かんだ いさお・おかざき ゆきよ、愛媛大学)

はじめに

特集の最初にあるように、丹沢山地におけるブナ林衰退の原因の一つとして大気汚染の影響が考えられ、その中でもオゾンはブナの成長を阻害する事が室内実験により明らかとなっている(伊豆田ら 2001)。それではオゾンは、衰退の進む丹沢のブナ林において、実際にどのような挙動を示すのだろうか。このような丹沢を含む地域でオゾンの立体的な分布を明らかにすることはブナ林衰退の要因を解明するために、重要である。また、オゾンや気温を含めた大気環境の長期トレンドの把握もブナ林の衰退解明にとって重要である。

上空 20,000 ~ 40,000 m にある成層圏オゾンは有害な紫外線を防ぐ役割があるため、地球上の生物にとっては必要な存在であるが、地上付近にあるオゾンは、人や動植物にとって有害である。成層圏オゾンは酸素分子が紫外線のエネルギーを受けることにより生成するが、地上付近のオゾンは自動車や工場から排出される大気汚染物質により生み出され、光化学オゾンとも呼ばれる。

光化学オゾンの生成と分布には原因物質である窒素酸化物(NO_x)や揮発性有機化合物(VOC)の発生源の分布や化学反応条件、気象条件が複雑に絡み合っているため、発生源から離れた地域や、上空で濃度が高くなる特徴がある(Wakamatsu *et al.*, 1990)。

このような光化学オゾンを持つ複雑な特性により、丹沢山地のオゾンの動態は十分に明らかとなっていない。これを解明するには、大気汚染物質の分布を長期的、立体的に把握する必要がある。そこで本報告では丹沢山地のブナ林における大気環境の特徴を明らかにするために実施した、気象や大気質の長期変動や輸送経路解析、気象・オゾン濃度の立体観測と数値モデル解析等から得られた知見を紹介する。

気象条件の変化～気温の長期的なトレンド～

森林生態系に及ぼす気候・気象の影響は大きい。ブナ

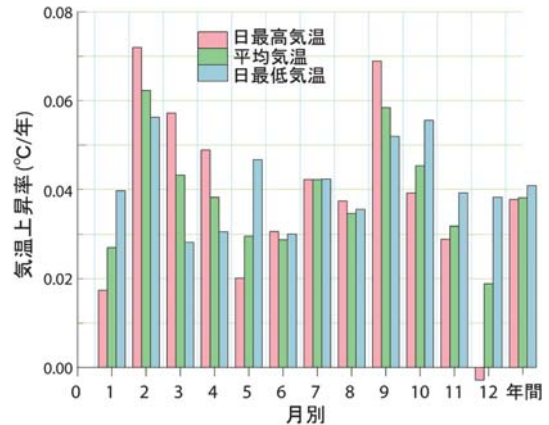


図-1 神奈川県周辺における過去 30 年間の日最高気温、平均気温、日最低気温の月別および年平均上昇率。月別および年平均は、それぞれ 3 本の棒グラフから構成されている。左側は日最高気温、中央は平均気温、右側は日最低気温を示す。

は寒冷な気候を好むので、温暖で夏季の降水量が少ない地域には、あまり分布していない。丹沢山地においても標高 800 m よりも高い地域にブナが多く生育している。このようなブナの生育範囲は地球規模の気温上昇や降水量の減少により大幅に狭められるだろうとの予測がなされている(松井ら 2009)。これを検討するため、丹沢を含む東京都、神奈川県、山梨県、静岡県にある 40 地点のアメダスデータを用いて 1978 年から 2007 年の 30 年間についての日最高気温、平均、日最低気温の上昇率を解析した(図-1、下村ら 2009)。

図中の右端の年間で平均した気温上昇率の大きさは、日最低気温、平均気温、日最高気温とも同程度で、約 0.04°C / 年であった。月別にみると、2 月と 9 月の最低気温の上昇が大きい。このことは、冬が早く終わり、夏が長くなる傾向にあることを示している。冬季の気温上昇はブナの生育環境に悪影響を及ぼす可能性がある。さらに気候の変化は、特集 1 でも述べられているように、採食によ

ブナ林の衰退—丹沢山地で起きていること—

り林床植生を退行させるニホンジカや、幼虫がブナの葉を食べるブナハバチの生態にも影響を及ぼすと考えられる。例えば、山岳域での降雪が少なくなれば、冬季におけるシカの生活圏が拡大して山頂付近での食害が増大するであろうし、地面の温度上昇や乾燥は冬期を土中の繭内で過ごすブナハバチの発育や生存に好影響をもたらす可能性がある。

大気汚染の変化～オゾンとその原因物質の推移～

近年の丹沢山地では、オゾンの原因物質が減少する一方で、オゾン濃度が上昇する傾向がある。丹沢山地のブナ着葉期（4～9月）のオゾン生成の原因物質である窒素酸化物（NO_x）と非メタン炭化水素（NMHC）についての全国と神奈川の経年変化を図-2に示す。

光化学オゾンの原因物質である非メタン炭化水素と窒素酸化物の濃度は、大気汚染規制の効果を反映して大きく減少している。しかし光化学オゾンの平均的な濃度は越境汚染などにより全国的に増加傾向にある（環境省2012）。この傾向は神奈川県でもみられる。図-3に示したAOT40（Accumulate exposure Over a Threshold of 40 ppb）とは、植物への光化学オゾンの影響を評価する指標で、40 ppb以上のオゾン濃度の積算値である。この値が大きいくほど植物に悪影響があり、影響の程度は樹種によって異なるが、ブナでは、30 ppm・hで17%程度の成長阻害（樹木の個体乾燥重量の減少）が確認されている。神奈川県では、特に春季と夏季において2000年以降顕著な上昇がみられる。オゾン濃度は平地に比べ、

山岳地で上昇しやすい。図-4にはブナの着葉期である4～9月の期間の日中と夜間におけるAOT40の神奈川県平均と、標高920mに位置する西丹沢犬越路局の経年変化を示す。日中も夜間ともに、犬越路においては県平均より高い値を示している。特に夜間の値は県平均より3～4倍程度高い（國元2012）。

丹沢山地にオゾンが到達する経路として大きく2パターンがあることが分かっている。犬越路局で100 ppb以上の非常に高濃度のオゾンが測定された日のオゾンの輸送経路を調べると、多くの日では、関東地方で発生したオゾンが輸送されたものであるが、東海地域で発生したオゾンの輸送も少数例ではあるが確認された（松隈ら2012）。

オゾンの立体分布とモデル解析

丹沢山地のブナ林がある標高帯ではオゾンが高濃度化しやすいことが知られている。相模湾沿岸地域で、夏期になると上空1,000～2,000mの範囲において頻繁に高濃度の光化学オゾンが存在することが分かっている。その要因としては相模湾と内陸平野間の海陸風による大気の循環によることが明らかとされているが、これ以外にも高度3,000m程度の高さの広域的な気圧配置による一般風が内陸部で生成したオゾン太平洋上に運び、この汚染空気塊が太平洋側からの一般風（季節風）に乗り再度、丹沢方面に移動するメカニズムもある（Wakamatsu, 1997; 若松ら2001）。

最近の神奈川県上空におけるオゾンの立体分布の状況を把握するためにオゾンゾンデを用いた観測を2009年から2011年に24回実施した。ゾンデ観測は、自由気球

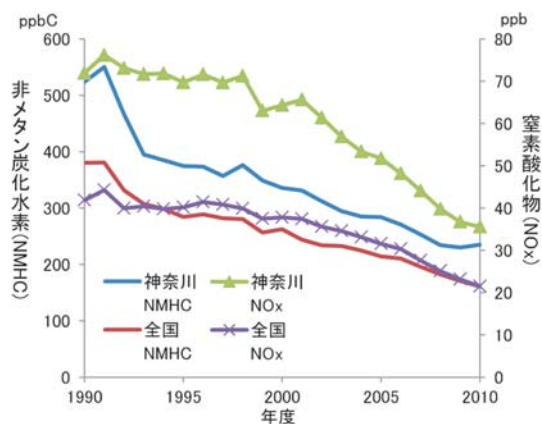


図-2 窒素酸化物と非メタン炭化水素の経年変化（全国平均、神奈川県平均）。

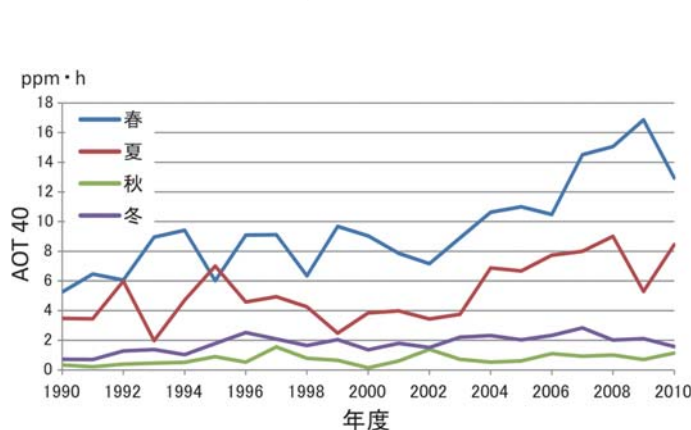


図-3 神奈川県におけるAOT40（Accumulate exposure Over a Threshold of 40 ppb）の推移。24時間すべてのデータを用いて計算した値。縦軸はppm・h、横軸は西暦年。

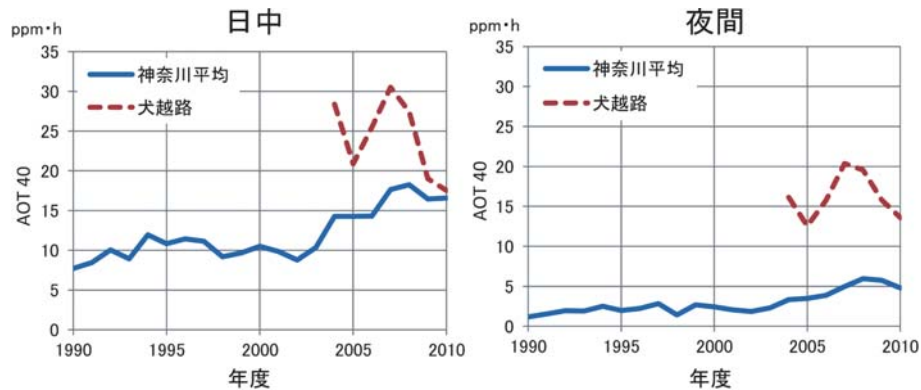


図-4 4～9月の期間の日中(6:00～18:00)と夜間(18:00～6:00)の神奈川県平均、犬越路局(丹沢山地)におけるAOT40経年変化。左側は日中、右側は夜間の計算値。

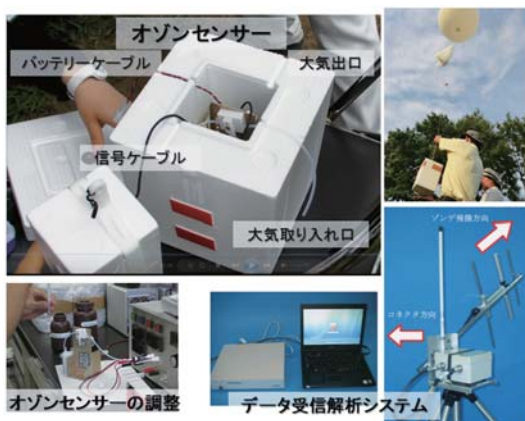


図-5 オゾンゾンデシステムと観測の様子

に観測機器を取り付けて300m/分で飛揚し、上昇中に外気と高度を測定することにより、各要素の高度分布を観測する。図-5に観測システムの概要を、図-6に2009年と2010年の観測例を示す。

いずれの観測事例でも、大気境界層(地球表面の熱的・物理的影響が及ぶ高さで、一般的には地上から3,000～4,000mまでの範囲)と、それ以上の高さにある自由大気、それぞれに幾つかのオゾン濃度のピークが観測されている。2009年と2010年の夏季は、1,000m付近にオゾンのシャープなピークが認められた。特に2010年7月21日の事例では500m、1,000m付近と上空8,000から9,000mにピークを持つ複雑な構造になっていた。高度500m、1,000m付近のピークは局地循環の影響によるものと考えられ、下層500mのピークは海から陸への風の層(海風領域)、上層1,000mのピークは陸から海への風の層(陸風領域)に対応していた。自由大気高度でのピー

クは国内外からの神奈川県地域への越境大気汚染と考えられる(斎藤ら2012a)。

神奈川県で光化学スモッグ注意報が発令された2010年7月21日には東京都を中心に14時から16時にかけてオゾンが高濃度になっていた。丹沢山地は、この高濃度オゾン領域の南西端に位置している。丹沢山地で、この日の夜間に観測されたオゾンの高濃度化の要因を数値モデルにより調べたところ、山地では夜間風が弱く移流や拡散が小さかったことや、化学反応や湿性・乾性沈着によるオゾンの消失が少なかったため、日中に生成したオゾンがそのまま保たれ夜間の高濃度をもたらしたことが分かった。モデル計算結果から夜間においては高度2,000m付近にピークを持つオゾンの高濃度域が認められた(斎藤ら2012b)。

まとめ

- (1) 過去30年間の気象データの解析から、冬が短くなり夏が長くなっていることが明らかとなった。このような変化は、ブナ林の生態系に直接的な影響を与えるのみならず、ニホンジカやブナハバチの生態にも影響を及ぼすため、食害の影響が加速される可能性も考えられる。
- (2) 大気汚染のモニタリングデータの解析からは、オゾンを生産する原因物質は減少しているが、越境汚染などのためオゾン濃度は上昇していることが分かった。特に丹沢山地の夜間におけるAOT40の増加が顕著である。
- (3) これまでに言われてきた首都圏の汚染空気塊だけでなく、東海地域方面からの大気汚染物質の輸送もあることが、初めて把握された。
- (4) オゾンゾンデ観測から、ブナが生育する標高1,000

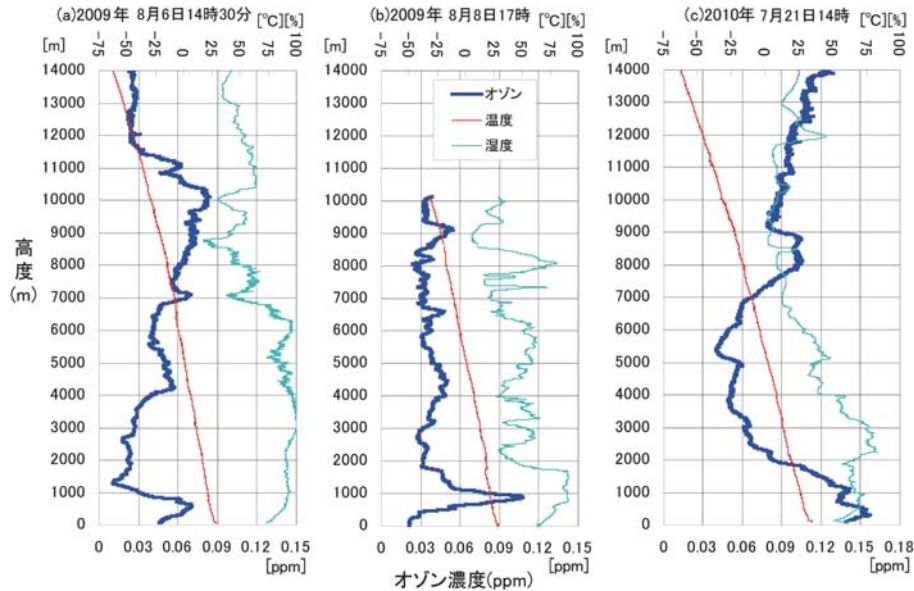


図-6 神奈川県におけるオゾンの垂直分布観測例

m付近にオゾン負荷量のピークがあり、平地よりも大きいことが分かった。数値モデル解析から、丹沢山地におけるオゾン生成は少ないが、移流による寄与が大きいことが分かった。

観測実施に当たりましては神奈川県自然環境保全センター並びに環境科学センターの多くの皆様からご援助を戴きました。心から御礼申し上げます。

引用文献

伊豆田猛・松村秀幸・河野吉久・清水英幸（2001）樹木に対するオゾンの影響に関する実験的研究. 大気環境学会誌. 36：60-77.

環境省（2012）光化学オキシダント調査検討会報告書—今後の対策を見ずえた調査研究のあり方—（光化学オキシダント調査検討会（平成24年3月）, 環境省）. 1-180.

國元浩平（2012）神奈川県における平野域と山岳域における光化学オキシダントの濃度分布と変動要因に関する研究. 愛媛大学農学部農学研究科修士論文

松井哲哉・田中知行・八木橋勉・小南裕志・津山幾太郎・高橋 潔（2009）温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価. 地球環境 14：165-174.

松隈大亮・板橋秀一・鞆野伊津志・若松伸司（2012）丹

沢山地における高濃度オゾンの広域移流現象の数値解析. 大気環境学会誌 47：173-178.

斎藤正彦・若松伸司・岡崎友紀代・堀越信治・山根正伸・相原敬次（2012a）数値モデルを用いた丹沢山地のオゾンの挙動解析. 大気環境学会誌 47：217-230.

斎藤正彦・若松伸司・岡崎友紀代・國元浩平・松隈大亮・下村佳史・相原敬次・山根正伸（2012b）神奈川県丹沢地域の大气環境. 神奈川県自然環境保全センター報告 9：33-43.

下村佳史・斎藤正彦・岡崎友紀代・西川 敦・若松伸司・相原啓次・飯田信行（2009）丹沢山地における過去30年間の気象トレンド. 第50回大気環境学会年会講演要旨集. 301.

若松伸司・篠崎光夫（2001）広域大気汚染—そのメカニズムから植物への影響まで—. 裳華房 209pp.

Wakamatsu S, Uno I, Suzuki M (1990) A field study of photochemical smog formation under stagnant meteorological condition. Atmos. Environ. 24A：1037-1050.

Wakamatsu S. (1997) High concentrations of photochemical ozone observed over sea and mountainous regions of the Kanto and eastern Chubu districts. J. Jpn. Soc. Atmos. Environ. 32：309-314.

ブナに及ぼす複合的なストレスの影響

清水 英幸・伊藤 祥子 (しみず ひでゆき・いとう しょうこ、国立環境研究所)

はじめに

近年、丹沢山地など複数の地域で、原因が特定されないブナ林の衰退が報告されている(清水・須田 2012 など)。丹沢のブナの衰弱・枯死には、様々な調査研究の結果(丹沢大山総合調査団 2007 など)、オゾンを中心とする大気汚染、乾燥化による水欠乏、葉食昆虫であるブナハバチの複合的な影響が指摘されている。しかし、これらの要因が、実際にどのような機作で、どの程度ブナの成長阻害や枯死に影響を及ぼしているのか、に関しては十分に解明されておらず、より詳細な研究が必要とされた(山根ら 2007)。

そこで本稿では、衰退要因のうちオゾンと水ストレス(水欠乏による植物へのストレス:水欠乏と水ストレスは用語として本質的な意味は異なるが、煩雑さを避けるため、本稿では以下、水ストレスに統一する)の2つに的を絞って、これらの複合的なストレスを与えた場合の、ブナ苗木の成長量の変化を調べた実験結果を紹介する。

オゾン短期曝露の急性的な影響

オゾンは植物に対して毒性の強い大気汚染物質であり、短時間であっても高濃度のオゾンに曝露されると、葉には急性的な影響として可視傷害の発現や落葉が認められ、植物の種類によっては枯死に至る場合もある。一方、低濃度の場合、直ぐには変化が認められないが、長期間曝されると、葉の老化促進や樹木個体の成長抑制といった慢性的な影響が引き起こされる場合がある(国立公害研究所 1984)。

大気汚染物質の濃度は気象や排出量によって急激に上昇することがあり、短時間であっても植物に影響を及ぼす(国立公害研究所 1984)。そこで、高濃度オゾンの短期曝露でブナにも影響が現れるかどうかを調べるため、人工光型環境制御室を用いて、ブナ苗木を50～200 ppbのオゾンに24時間だけ曝露する実験を行った。その結果、可視傷害の発現、葉緑素含量、蒸散速度、

光合成速度などの指標には、オゾン無処理区との間で差異は認められず、200 ppbまでのオゾンの短期曝露はブナに急性的な影響を及ぼさないことが分かった。

従って、ブナの衰弱・枯死にオゾンが影響するとすれば、長期のオゾン曝露による慢性的な影響を検討する必要がある、同じく慢性的に作用すると考えられる水ストレスとあわせて、それらの複合ストレスがブナの成長に及ぼす影響を解明するための実験を行った。

複合ストレスの慢性的な影響

(I) 環境制御実験

本研究では丹沢山地のブナ林に着目しているため、実験材料には遺伝的特性を考慮して丹沢産のブナ苗木を用いた。苗木は冬季のうちにポットに植栽し、野外に暫く置いた後、温室内に移動し、長期複合実験の実験環境に順化させた。その後、丹沢の自然環境を再現した自然光型環境制御室を用いて実験を行った(写真-1)。実験期間は丹沢のブナの着葉期である5～6ヶ月を想定し、展葉完了後から22週間とした。

室内の温湿度環境は現地の日変化を考慮し、昼の気温25℃、湿度65%、夜の気温15℃、湿度70%に設定した。

オゾン濃度は日平均70 ppb(昼120 ppb、夜



写真-1 自然光型環境制御室におけるブナ苗木の複合処理実験



写真-2 光合成蒸散測定装置 (CIRAS-1) を用いた純光合成速度の計測



写真-3 上皿天秤を用いた重量法での蒸散速度の計測

40 ppb)、日平均 50 ppb (昼 100 ppb、夜 20 ppb) および 0 ppb の 3 段階に設定した。これらは丹沢地域の平均オゾン濃度である 42 ppb 程度を参考とした (河野ら 2007)。なお、AOT40 (40 ppb を越える日中 1 時間平均オゾン濃度の積算値) に換算すると、各々約 206 ppm·h、149 ppm·h、0 ppm·h となる。

水ストレス処理は灌水量を変化させ 4 段階に設定した。灌水処理としては、3 日に一度 250 ml 灌水する処理区 (降水量換算で総計 1,300 mm) を基準 (100%) とし、200 ml (80%)、150 ml (60%)、100 ml (40%) の灌水を行った。250 ml 区は太平洋側のブナ林域の降水量を参考にした (村井ら 1991)

これら要因の影響を評価する指標として、目視による可視傷害の発現状況のほか、光合成速度や蒸散速度といった生理活性を計測した (写真-2, 3)。また、成長量の指標として、実験開始および終了時に、葉面積および乾燥重量を計測した。成長解析法により葉面積と乾燥重

量から相対成長率 (個体乾重当たりの乾重増加速度) と純同化率 (葉面積当たりの乾重増加速度) を算出した (Evans, 1972)。

(2) 葉の可視傷害

オゾンに曝露されたブナの葉には、白緑色から褐色、さらには茶褐色に変色した斑点が認められた。傷害が激しい葉では葉身全体に色斑が拡大し、やがて枯死し落葉した。オゾン濃度が高いほどその傷害は激しくなり、実験終了時の苗木の葉の付き方は疎らとなった (写真-4)。また、水ストレスで生じる褐色または茶褐色の変色は葉の先端や葉縁に観察されることが多く、水ストレスが強くなるほど可視傷害は顕著となり、落葉が促進された。

オゾンによる葉の可視傷害については、国内外の様々な樹種で報告されている (Shimizu *et al.*, 1993 など)。丹沢産のブナでも、オゾンの長期曝露によって可視傷害の発現と落葉の促進という慢性的な影響が確認された。



写真-4 長期 (22 週間) 複合処理実験終了時の丹沢産ブナ苗
オゾン濃度はそれぞれ、A : 0 ppb, B : 50 ppb, C : 70 ppb。図中の数字は相対灌水量 (%)。

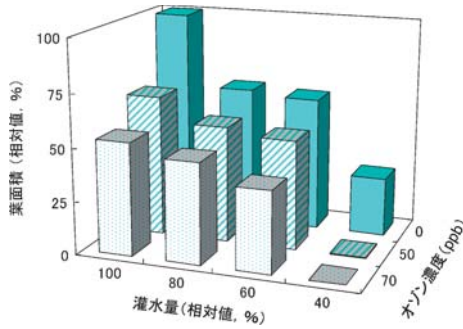


図-1 プナの葉面積に及ぼすオゾン曝露と水ストレスの影響

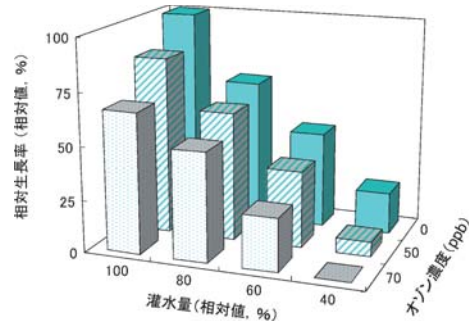


図-3 プナの相対成長率に及ぼすオゾン曝露と水ストレスの影響

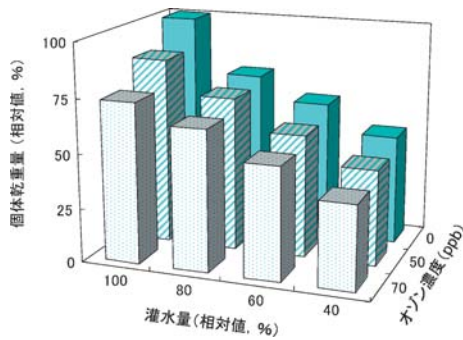


図-2 プナの個体乾重量に及ぼすオゾン曝露と水ストレスの影響

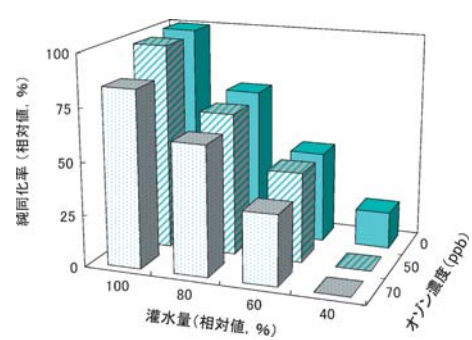


図-4 プナの純同化率に及ぼすオゾン曝露と水ストレスの影響

(3) 成長および生理活性への影響

最もストレスの少ない、オゾン 0 ppb で灌水量 250 ml 区の植物を基準 (100%) とすると、オゾン濃度や水ストレスが増加するほど、葉面積や個体乾重の減少は顕著であった(図-1, 2)。特に40%の灌水処理区では、50 ppb および 70 ppb のオゾン曝露によって、ほとんどの葉が落葉した。

成長解析の結果、相対成長率や純同化率も、オゾンや水ストレスの増加にともない減少した(図-3, 4)。さらに同様の結果が、生理活性の指標である純光合成速度や蒸散速度でも認められた。

植物は光合成により同化産物を生産し、これを分配・蓄積して成長する。樹木の純光合成速度はオゾン濃度の上昇に伴って低下するが (Yang *et al.*, 1983 など)、今回の実験では、オゾンに加え、水ストレスでも純光合成速度の低下が確認され、また純同化率も減少した。これらを踏まえ、オゾンと水ストレス双方の影響で光合成速度が低下したことが、純同化率の減少を生じさせ、さらには成長の抑制に繋がったことが示唆された。

(4) 複合的な影響

このようにオゾンや水ストレスはブナの成長と生理活性を抑制することが明らかとなった。それでは、これらのストレス要因が互いの作用を助長しあうような相乗効果はあるのだろうか。例えば、水ストレスをかけたモミをオゾンに曝露した結果、水ストレスは成長を低下させたが、オゾンの単独影響やオゾンと水ストレスの相乗効果は認められていない (Tseng *et al.*, 1988)。オゾンと水ストレスの複合ストレスを与えたポプラの純光合成速度やダケカンバの成長に対する作用は相加的であり、相乗効果は認められていない (Greitner *et al.*, 1994, Shimizu and Feng, 2007)。今回の結果を解析してみると、ブナの成長に対して、オゾンと水ストレスが各々単独で有意に成長を抑制したが、それらの相乗効果は認められなかった。つまり、ブナに対してオゾンと水ストレスは、相互の作用を助長しあうのではなく、各々の作用が重なり合う相加的な関係にあると解釈される。

おわりに

樹木に対するオゾンの影響については多くの報告があ

るが（伊豆田ら、2001 など）、ブナに対する水ストレスとの複合的な影響については、これまで葉の生理活性への影響のみが報告されていた（Watanabe *et al.*, 2005 など）。

今回、ブナの成長期間に当たる 22 週間の長期複合実験により、オゾンと水ストレス双方の作用による葉の可視傷害の増加、生理活性の低下および個体全体の成長の抑制が確認された。これらのストレスは、主に葉の光合成を低下させることにより、個体全体の同化産物を減少させ、成長を抑制するという慢性的な影響を引き起こすと考えられた。また、両ストレスは相乗的に作用するのではなく、作用した分だけ重なってブナの成長を抑制すること（相加的影響）が推測された。実際の丹沢山地では、ブナハバチの食害も観察されており、さらに複雑な複合影響がブナ林の衰退に関係している可能性は高い。今後はこれらを再現するような実験データを蓄積する必要があるだろう。

引用文献

- Evans GC (1972) The quantitative analysis of plant growth. William Clowes and Sons Ltd. 734pp.
- Greitner C, Pell EJ, Winner WE (1994) Analysis of aspen foliage exposed to multiple stresses: ozone, nitrogen deficiency and drought. *New Phytol.* 127 : 579–589.
- 伊豆田猛・松村秀幸・河野吉久・清水英幸 (2001) 樹木に対するオゾンの影響に関する実験的研究. *大気環境学会誌* 36 : 60–77.
- 河野吉久・須藤 仁・石井 孝・相原敬次・内山佳美 (2007) ブナ林の立地環境調査（大気）丹沢山地周辺のオゾン濃度の実態とブナに対する影響. *丹沢山地のブナ林衰退機構の解明に関する研究調査報告書* : 48–62.
- 国立公害研究所 (1984) 複合大気汚染の植物影響に関する研究—昭和 54～56 年度特別研究総合報告—. *国立公害研究所研究報告第 64 号 (R-64-'84)* . 336 pp.
- 村井 宏・山谷孝一・片岡寛純・由井正敏 (1991) ブナ林の自然環境と保全. ソフトサイエンス社 399 pp.
- Shimizu H, Feng YW (2007) Ozone and/or water stresses could have influenced the *Betula ermanii* Cham. forest decline observed at Oku-Nikko, Japan. *Environ. Monit. Assess.* 128 : 109–119.
- Shimizu H, Fujinuma Y, Kubota K, Totsuka T, Omasa K. (1993) Effects of low concentrations of ozone (O₃) on the growth of several woody plants. *J. Agric. Meteorol.* 48 : 723–726.
- 清水英幸・須田隆一編 (2012) 「ブナ林域生物・環境モニタリング」第 6 回ワークショップ講演集. *国立環境研究所* 44 pp.
- 丹沢大山総合調査団 (2007) 丹沢大山総合調査学術報告書. (財) 平岡環境科学研究所 . 794pp.
- Tseng EC, Seiler JR, Chevone BI (1988) Effects of ozone and water stress on greenhouse-grown fraser fir seedling growth and physiology. *Environ. Exp. Bot.* 28 : 37–41.
- Watanabe M, Yonekura T, Honda Y, Yoshidome M, Nakaji T, Izuta T (2005) Effects of ozone and soil water stress, singly and in combination, on leaf antioxidative systems of *Fagus crenata* Seedlings. *J. Agric. Meteorol.* 60 : 1105–1108.
- 山根正伸・相原敬次・鈴木 透・笹川裕史・原慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上 明 (2007) ブナ林の衰退機構と再生の方向. (平成 13～平成 18 年度丹沢山地のブナ林衰退機構の解明に関する研究調査報告書. 神奈川県自然環境保全センター研究部編, 神奈川県自然環境保全センター) . 104–111.
- Yang YS, Skelly JM, Chevone BI, Birch JB (1983) Effects of long-term ozone exposure on photosynthesis and dark respiration of eastern white pine. *Environ. Sci. Technol.* 17: 371–373.

葉食昆虫の食害と樹木の衰弱枯死—ブナハバチとサクラスガ

谷 晋・山上 明 (たに すすむ・やまがみ あきら、東海大学総合教育センター)
伴野 英雄 (ばんの ひでお、桜美林大学自然科学系)

はじめに

一般に広葉樹は葉食昆虫により葉をすべて失うような食害を受けても、枯死することは稀だとされている。ところが、神奈川県丹沢山地では1990年代からブナ林の主要な構成樹種であるブナと、神奈川県の絶滅危惧植物であるシウリザクラにおいて葉食昆虫の大量発生が頻発し、食害により樹勢が衰え、枯死する個体が増えている。

その葉食昆虫とは、ブナハバチとサクラスガである。両種ともに、度重なる食害で寄主となる樹木の衰弱や枯死が確認されているのは全国でも丹沢のみである。これらの食害の発生状況とそれに伴う衰退の推移を把握することは、丹沢のブナ林を保全していくうえで今後の対策に結びつく重要な情報となる。

そこで今回は、丹沢山地において現在までに解明できた両種の生態、食害の発生状況の経年変化、食害によるブナやシウリザクラの衰退枯死の概況について解説する。

ブナとブナハバチ

(1) ブナハバチの生活史

ブナハバチはハバチ科に属する体長1cm程度のハバチで、北海道から九州までのブナ林に広く分布している。標高1,200mの丹沢山堂平では4月下旬から5月上旬に成虫が出現する。雌成虫は芽吹き始めたブナを訪れ、葉の裏側の葉脈に埋め込むようにして1卵ずつ産卵する(写真-1)。

幼虫はガヤチョウに似たアオムシ状をしている。卵から孵化した直後の幼虫は1齢と数え、脱皮するごとに齢が増え体も大きくなる。最後の齢(終齢)は雄が5齢、雌が6齢と雌雄で異なる。1~2齢は水分を多く含んだ柔らかい葉を必要とする。3齢以降では固くなった葉でも摂食でき、雄は4齢、雌は5齢まで摂食を続ける。



写真-1 ブナハバチ雌成虫(上)と葉脈に産み付けられた卵(矢印)(中)、摂食中の幼虫(下)

摂食を終えた幼虫は樹上から地面に落下し、付近のササや木の幹に低く登り、脱皮して終齢幼虫となる。堂平では6月中旬に終齢幼虫が現れる。



写真-2 食害で全失葉したブナ

終齢幼虫は地中に浅く潜り、糸を吐いて繭を形成する。繭の中で前蛹と呼ばれる発育段階となり、この状態で休眠して越冬する。前蛹は4月上～中旬に蛹化し、蛹は2週間程度で羽化して成虫となる。このように卵から成虫までの一世代を1年間で過ごす個体が多い。一方、一部の前蛹は1年間では羽化せずに長期に休眠を継続させる。飼育実験では、長期休眠の割合は年により26～72%と大きく変動し、休眠期間が4年に及ぶ個体もあった(谷ら2012b)。

ブナハバチの幼虫密度には、その年の産卵密度が強く関与する(山上ら2001)。産卵密度に影響する主な要因として、成虫の発生量、成虫の発生時期とブナの展葉時期の同調性(開いた葉には産卵できない)、産卵時期の天候(悪天候が続くと産卵行動が抑制される)が考えられる。これらの条件が揃うと、高密度の産卵が起きて、深刻な食害が発生する(山上ら2007)。

(2) ブナハバチ幼虫による食害とブナの枯死

ブナハバチの大規模で著しい食害は1993年に初めて観察された。幼虫の大量発生時には、多くのブナが葉をすべて失い、根元周辺には樹上から降りた幼虫が多数見られる(写真-2)。

1997年から、幼虫の摂食が終了した7月中旬以降に丹沢山地広域の決められたルートを歩き、各地点のブナ100個体以上について、食害がほとんど目立たない被食度1から葉がほとんど食い尽くされた状態の被食度3までの段階を記録している。被食度にブナの個体数をかけた値を平均して食害指数を求めている。これまでの経験上、食害指数は1.5を越えると、一見して異変がわかるような被害が観察されている。

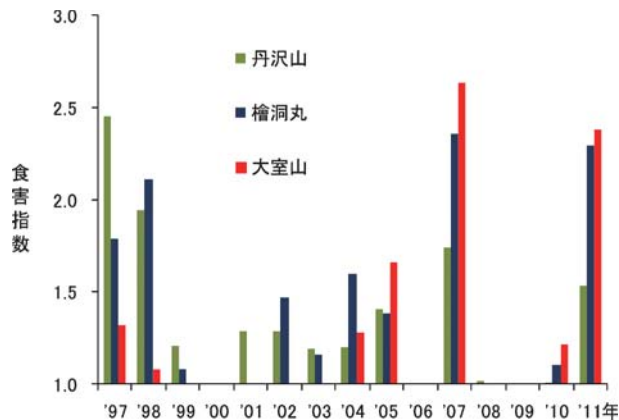


図-1 食害指数の経年変化 (谷ほか (2012a) から丹沢山、檜洞丸、大室山を抜粋)

ここでは、特に食害が著しい丹沢山、檜洞丸、大室山の食害指数の経年変化を比較する(図-1、谷ら2012a)。1997年から2011年までの15年間に、1997年、1998年、2007年および2011年の4回の激害が記録され、その間には小～中規模の食害が断続的に発生している。東丹沢の丹沢山では1997年に特に激しい食害が観察されたが、その後は縮小傾向にある。一方、西丹沢の檜洞丸や大室山では大量発生時の食害の規模が拡大している。これに伴い、ブナの枯死は丹沢山では減っているが、檜洞丸では増加している(越地ら2008)。

丹沢のブナを衰退させてきた要因としてはオゾンなどの大気汚染物質、シカの摂食による林床植生の退行と土壌の乾燥化による水ストレスがある。山上ら(2007)は丹沢山のブナが1997～1999年にブナハバチの食害を繰り返し受け、その後枯死が急速に進んだことを報告し、葉食昆虫の食害もブナの枯死の一要因であるとした。

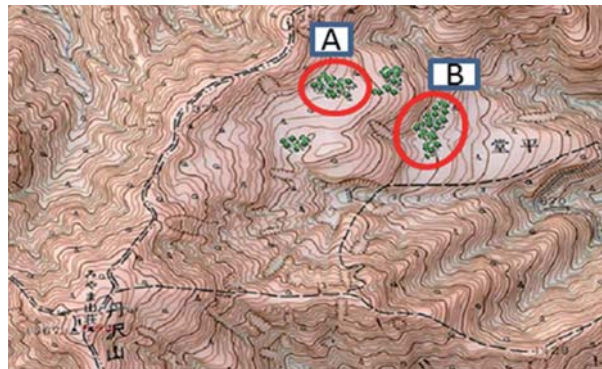


図-2 丹沢山堂平におけるシウリザクラの分布



写真-3 サクラスガ成虫（上）と網巢内で摂食する幼虫（下）

その過程を「衰弱していたブナは春の芽吹きが遅れる傾向にあり、ブナハバチの産卵はこのような個体に集中しやすい。高密度の幼虫により激害を受けたブナは、ストレスで翌年の芽吹きがまた遅れる。この繰り返しにより衰弱が進み枯死する」と説明している。

シウリザクラとサクラスガ

(1) 神奈川県でのシウリザクラの分布

シウリザクラは初夏に白い穂状の花をつけるサクラの一種で、国内では本州中部山岳地帯から北海道にかけて自生している。

神奈川県では丹沢山堂平、蛭ヶ岳の北東斜面と地藏平（標高 1000 ～ 1500m）の3地点で約 450 個体が確認され、その約 8 割は堂平に分布する（図-2）。堂平では4つの集団に分かれて、不連続に分布している。それぞれの集団の遺伝子を調べたところ、集団内および集団間ともに遺伝的多様性が極端に低いことが判明した。シウリザクラは種子でも増えるが、根をのばした先で地上部



写真-4 サクラスガの激害を受けたシウリザクラ（上）と枯死寸前の個体（下）

が出てくる根萌芽という性質がある。遺伝的多様性が低いということは、根萌芽によって無性的に増えたため同一の遺伝子を有する個体が多くなっていることが考えられる。

(2) サクラスガの生活史

シウリザクラを食害するサクラスガは、成虫の体長 1cm ほどの小型のガである。「スガ＝巢蛾」の名前のとおり、幼虫が集団で糸を吐いて巣をつくる特徴がある（写真-3）。成虫は7月中旬から8月にかけて出現し、シウリザクラの2年枝に90個ほどの卵塊を産み付ける。卵は9月中旬までに孵化するが、1齢幼虫は摂食をせず、集団で越冬する。

4月にシウリザクラの芽が伸び始めると、1齢幼虫は近くの芽に潜り込んで内部を食い荒らす。葉が展開すると葉を巻き込んで網巢をつくる。巢内部の葉を食い尽くすと集団で移動して新たな巣を造る。この繰り返しで成長し、6月末までには幼虫の発育を完了して、巢内で繭をつくり蛹となる。このように同じ卵塊に由来する個体は、卵から成虫となるまで集団を維持する。

(3) サクラスガ食害とシウリザクラの衰退

サクラスガの食害は、1996年に堂平の地点Aにおいて初めて確認された。この地点の約80個体のシウリザクラのほとんどが葉を食い尽くされ、幹は幼虫の吐いた白糸で覆われた(写真-4)。このとき、大量の幼虫が餌不足により餓死した(谷ら2000)。その後、堂平のすべての地点では数年間隔でサクラスガの大量発生が起きた。

その食害により、シウリザクラの衰退枯死が最も進んでいるのは地点Bである。ここには2002年の時点で122個体のシウリザクラが生存していた。しかし、2009年春に行った調査で、全個体の14%に当たる17個体が枯死したことを確認した。枝がほとんど枯れ落ちた枯死寸前の個体やそれに続く衰弱個体も30%あり、健全な個体は56%だけであった(谷ら2010)。その後もシウリザクラの枯死は進み、2012年春には累積の枯死数は40個体を越えた。これは神奈川県で確認されているシウリザクラの約1割に相当する。

シウリザクラの枯死は若木ではなく、ギャップに生育する胸高直径30cm以上の成木を中心に起きている。丹沢のシウリザクラはもっぱら根萌芽で増えてきたと考えられる。しかし、シカの摂食圧を強く受けるため、現在は次の世代を担う胸高直径10cm未満の幼木が全く育っていない。根萌芽を供給する成木の衰弱と枯死により、萌芽数自体も激減している。

おわりに

ここまで丹沢山地のブナやシウリザクラを衰退させている葉食昆虫のブナハバチとサクラスガについて紹介してきた。両種とも寄主が生育する場所であれば、どこでも見られるような種である。ブナハバチの食害は丹沢山地以外のブナ林からも報告されているが、多くは単発的な発生に止まりブナを枯死させたという報告はない。また、丹沢のサクラスガ幼虫の密度は最も低い年でさえ、日光や上高地で観察している最高密度に比べ桁違いに大きかった。

なぜ、丹沢だけで食葉昆虫の大量発生が頻発しているのか。これが現在最も注目している点である。この点に関しては、丹沢山地の森林衰退に伴う生息環境の変化がブナハバチの生息密度の上昇に関係するという見方もある。現在、神奈川県では植生保護柵によりシカの採食に

より退行した林床植生を回復させる取り組みを進めている。この取り組みは、ブナハバチを取り巻く環境を改善し、その密度を低下させる効果を期待できるかもしれない。

葉食昆虫の食害により衰弱枯死が進行する樹木の保全もまた緊急で重要な課題である。特に、神奈川県内の絶滅危惧植物であるシウリザクラは遺伝的多様性の低下に加え、サクラスガ食害による高木の減少とシカの採食による若木の消失の三重苦にさらされていることが判明した。その保全に関しては、これまで特別な対策は取られてこなかった。個体群の絶滅を回避するためには萌芽更新を妨げているシカの摂食から守る必要がある。幸いにも、シウリザクラの分布域は極端に狭いために、全体を植生保護柵で囲うことも十分可能であると考えられる。

引用文献

- 越地 正・谷脇 徹・田村 淳・山根正伸(2008) 丹沢山地における2007年に大発生したブナハバチ被害とこれまでのブナの衰弱枯死経過. 神奈川県自然環境保全センター報告5: 3-9.
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明(2000) 神奈川県丹沢山におけるサクラスガの大発生. 自然環境科学研究13: 127-130.
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明(2010) 神奈川県丹沢山における県絶滅危惧種シウリザクラの衰退について. 東海大学総合教育センター紀要30: 129-134.
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明(2012a) 丹沢山地におけるブナハバチ幼虫のブナ葉への食害状況の経年変化(2008-2011). 神奈川県自然環境保全センター報告9: 95-98.
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明(2012b) ブナハバチ雌の前蛹期における休眠期間. 神奈川県自然環境保全センター報告9: 105-109.
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄(2001) ブナハバチの性比と産卵数(予報). 東海大学総合教育センター紀要. 23: 47-54.
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄(2007) ブナハバチ食害によるブナ枯死とブナ林の衰退. (丹沢大山総合学術報告書. 丹沢大山総合調査団編、(財)平岡環境科学研究所). 256-268.

全国に適用できる簡易なブナ林衰退 モニタリング手法の開発

武田 麻由子・小松 宏昭 (たけだ まゆこ・こまつ ひろあき、神奈川県環境科学センター)

はじめに

特集の最後となる本稿では、丹沢を中心とする話から、全国に視点を移したい。ブナ林の保全と再生のためには、地域ごとの衰退の実態と原因を正しく把握する必要があることはこれまでに述べられたとおりである。ただし、このような各地の衰退の進行度合いは、地域内で比較するだけでは、正しく把握するのが難しい。衰退がどの程度進行し、保全の必要性が高まっているかは、全国的に同一の基準でモニタリングを行い、この結果を比較してはじめてその位置づけが明確になると考えられる。

ここで問題となるのは、多くのブナ林が山岳部の高標高域に存在する点である。このような場所でモニタリングを行おうとすると、到達するのに登山が必要となり、電源の確保や大型資材等の運搬が難しい場合が多い。また、全国で様々な調査員が参加することを想定すると、調査項目は個人の技能に影響されず、作業が容易で、効率的にデータが取れる方法であることが重要となる。

これらを踏まえ、簡易なブナ林衰退調査マニュアルの作成を試みたので紹介したい。調査項目は衰退実態調査として葉緑素含有量の測定と、目視による衰退度判定、衰退原因調査としてオゾン濃度の測定の3項目とした。これら3項目を選定した理由は、一般に山岳地でオゾン濃度が高く、樹木に影響を及ぼす可能性が言われていること、オゾンなどにより葉緑素含有量が低くなるということが明らかとなっていること(武田ら 2007)、目視による衰退度判定は、個人の技能に影響される部分はあるものの、特別な機器を用いず、ブナの衰退状況を把握することができるためである。今後は、上で示したような他の要因についての調査項目も追加していく予定である。ここでは、現段階の調査マニュアルの内容と、本マニュアルに基づき広域で実施した調査結果について紹介する。

調査マニュアルの内容

(1) 調査時期

葉緑素含有量は、ブナの展葉直後(5月末)と落葉直前(9月末)に健全なブナと衰退の著しいブナで差が明瞭となるため(武田ら 2007)、葉緑素含有量の測定および目視による衰退度判定をこの時期に実施する。オゾンの観測もこの時期に合わせ、4月末~5月末および9月末~10月末の各1ヶ月間実施する。いずれの調査も、可能であれば、4月末~10月末の間、毎月調査を実施する。

(2) 葉緑素含有量(SPAD値)の測定

葉緑素含有量の測定にはコニカミノルタ社製葉緑素計(SPAD-502)を用いる。このハンディタイプの葉緑素計は、葉を挟みこむだけで簡易に単位面積あたりの葉緑素含有量(SPAD値)を測定することができる。調査木1本につき、太陽光が直接当たる側の枝3本を選定し、各枝から中程度の大きさの葉を10枚ずつ選定してSPAD値を測定する。10枚の平均値を各枝の葉緑素含有量の代表値として報告する。

(3) 目視による衰退度判定

環境省のマニュアル(2003)を参考に、目視による衰退度判定基準を作成した。樹木全体、枝、葉の3項目それぞれについて、樹木全体では樹形や樹勢、枝では梢端の枯損など、葉では大きさや色、形などに着目して衰退度0(健全)~衰退度4(枯死)の5段階で評価スコアを決め、その結果を基に総合判定を行うこととした(表-1)。総合判定が難しい場合は上記3項目の平均値で表すこととした。

(4) 大気中のオゾン濃度の測定

大気中のオゾン濃度の測定には電源を必要とせず、多点に設置可能な拡散型パッシブサンプラーを用いた(写真-1)。このサンプラーはプラスチック容器にオゾン捕集用のろ紙が入った簡易な構造をしており、雨除けをして設置しておくことで、設置期間中の平均的なオゾン濃度

表-1 目視衰退度の評価基準

評価	総合判定基準
0	健全
1	少し生育状態に衰えが見られ、枝葉等に少し異常がみられる。
2	生育状態はかなり衰え、枝葉等の異常が目立つ。
3	生育状態は劣悪であり、枝葉等に著しい異常がみられ、回復の見込みがない。
4	枯死

が測定できる。設置数は(2)、(3)の調査を行った地点ごとに2個ずつとし、設置場所は見晴らしが良く、風が通りやすい場所とする。設置には植生保護柵やフェンスなどを利用する。約1ヶ月間設置した後、プラスチック容器から捕集用ろ紙を取り出して水で抽出し、抽出液をイオンクロマトグラフィで分析し、月平均オゾン濃度を計算する。

調査マニュアルに基づく統一調査の試行

(1) ネットワークの構築および統一調査の実施

各地のブナ林の衰退の程度や各原因の影響の度合いを把握するためには、全国的に同一の基準で調査し、その結果を相互比較することが重要である。そこで、ブナ林についての調査研究を行っている北海道から福岡県までの10道県の地方公共団体の環境研究機関、自然研究機関の計12機関と、国立環境研究所からなるモニタリングネットワークを構築した。2009年度に北海道(黒松内)、神奈川県(丹沢山)、静岡県(富士山、函南原生林)、広島県(臥竜山)、岡山県(県立森林公園)、富山県(立山)、福井県(平泉寺)、福岡県(英彦山、脊振山)において、健全なブナ、衰退が著しいブナおよび中庸のブナの各3本ずつ、計9本程度を選定して、調査マニュアルに基づく統一調査を試行した。

(2) 葉緑素含有量 (SPAD 値)

ブナの SPAD 値の季節変化について神奈川県(丹沢山)

の例を示す。図-1に丹沢山の調査木12本の平均 SPAD 値の季節変化を示した。SPAD 値は、展葉した後夏にかけて増加し、8月頃をピークに減少した。また、健全、中庸および衰退が著しいブナで結果を比較したところ、健全なブナは他のブナに比べ、特に春秋の SPAD 値が高いことがわかった。

次に広域におけるブナの SPAD 値の差異について比較するため、毎月調査を行った福岡県(英彦山、脊振山)、静岡県(富士山、函南原生林)、神奈川県(丹沢山)の例を図-2に示す。いずれの県も、調査木の平均 SPAD 値の季節的な変動はほぼ同じであるが、福岡県はブナの展葉が早く、盛夏には平均45を越える SPAD 値が観測された。静岡県および神奈川県は、福岡県よりブナの展葉が若干遅く、また調査期間を通して SPAD 値が低かった。特に神奈川県では盛夏の SPAD 値が40程度と低かった。

今回の調査結果から、各ブナ林の SPAD 値の季節的な変動の特徴を把握することができた。一般に、葉緑素量が少ないと光合成能が低下し、同化産物の生産も減少する。このため、SPAD 計で葉緑素量を測定することで、測定時の生理活性の指標値が得られると期待される。葉緑素計を用いた SPAD 値の調査は簡易かつ調査者による個人差が少ないため、広域で多数の調査者が参加してブナの衰退度を評価するのに有効な一手法であると思われる。



写真-1 拡散型パッシブサンプラーの設置例

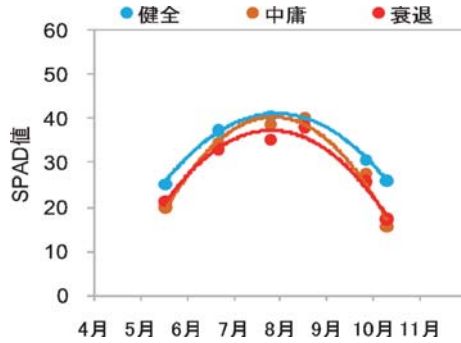


図-1 神奈川県 の SPAD 値の季節変化

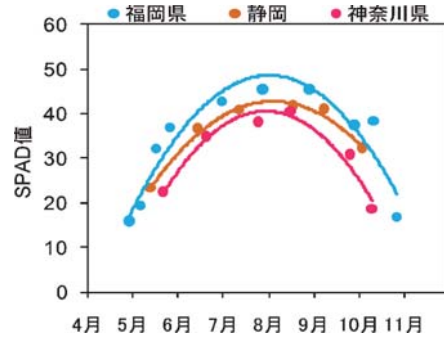


図-2 各県の SPAD 値の季節変化

(3) 目視による衰退度

図-3に神奈川県 の目視による衰退度の判定結果を示す。この図では、例えば個体番号1のブナは、葉の評価スコアが1、枝の評価スコアが3、樹木全体の評価スコアが2で、総合判定は2であったことを示している。丹沢山の場合、葉は0~1であるが、枝および樹木全体に異常が見られるブナが多く見受けられた。

図-4は、各ブナ林の目視による衰退度の総合判定の結果である。棒グラフは、選定した9本程度のブナのうち、最も健全なブナから最も衰退の著しいブナまでの総合判定の幅を示し、丸印は平均値を示す。平泉寺(福井県)、背振山(福岡県)は健全、立山(富山県)、臥竜山(広島県)も概ね健全と言えた。ただし、背振山では総合判定が2のものもあった。函南原生林および富士山(静岡県)は総合判定の平均値が1程度であった。英彦山(福岡県)と丹沢山(神奈川県)の総合判定の平均値は、それぞれ1および2程度であり、最も衰退が進んだ樹木では目視衰退度の総合判定が3を超えるものもあった。

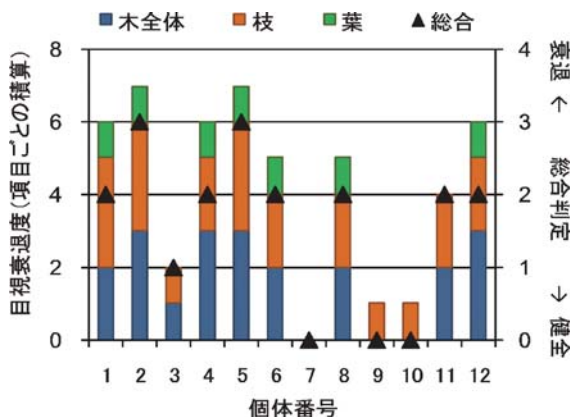


図-3 神奈川県 (丹沢山) における各個体の目視衰退度

このように、目視による衰退度判定により調査地間の衰退状況の差が把握され、特に丹沢山や英彦山の衰退が危惧される結果となった。この調査法は目視であるため、個人差に影響されやすいが、事前の目合わせ等を十分に行った上で実施すれば、衰退状況を簡易かつ客観的に把握することが可能な方法であると思われる。

(4) 大気中のオゾン濃度

図-5に毎月調査を行った北海道(黒松内)、福岡県(英彦山)、静岡県(富士山および函南原生林の平均値)、神奈川県(丹沢山)の月平均オゾン濃度を示す。4道県とも、春季に最もオゾン濃度が高く、夏季は濃度が低下し、秋季に再び上昇した。福岡県および神奈川県が調査期間を通じてオゾン濃度が高く、最も低かった北海道と比べ、調査期間を通じて10ppb程度高かった。

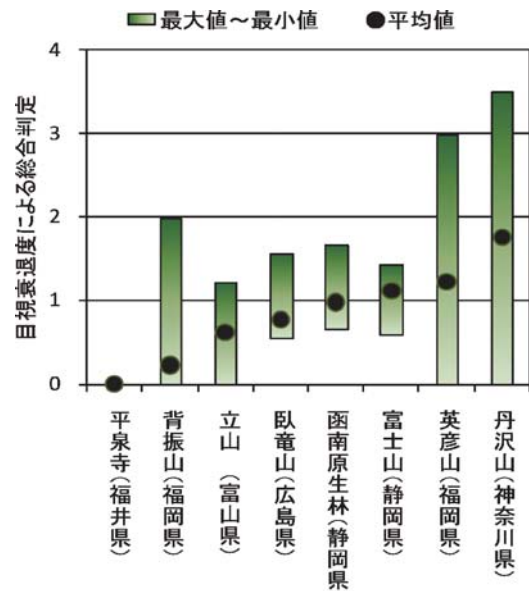


図-4 各ブナ林の目視衰退度の総合判定

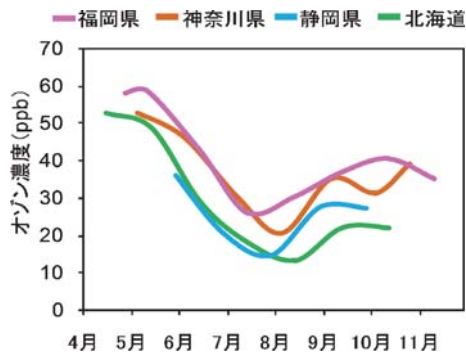


図-5 各県のオゾン濃度の季節変化

このように、拡散型パッシブサンプラーを用いることによりオゾン濃度の差が把握され、丹沢山や英彦山ではオゾンによるストレスを強く受けていることが示唆された。拡散型パッシブサンプラーは運搬や設置が容易であるため、山岳地においてブナの衰退要因の一つとされるオゾンを測定するのに有効な手法といえる。定量には分析機器を要するが、構築したネットワークを活用して互いにフォローすることで対応可能である。

おわりに

ブナ林は北海道南部から九州まで広い範囲で分布している日本の冷温帯を代表する森林であるが、近年各地でブナ林の衰退が報告されている。各地のブナ林の衰退状況や衰退原因を明らかにするため、簡易かつ効率的、客観的な調査マニュアルの作成を試みた。また、全国で構築したネットワークを活用し、マニュアルに基づく統一調査を試行した。その結果、特に英彦山や丹沢山で衰退

が進んでおり、衰退要因の一つとされるオゾン濃度が他地域より高いことが懸念された。このように、本マニュアルに基づく調査で地域間の差を把握できることが期待される。今回提案したマニュアルでは、調査項目は3項目のみであるが、現在、温湿度や土壌水分量などを追加してバージョンアップした新マニュアルを作成中である。今後も新たな項目を追加し、継続した調査を実施してデータを蓄積すれば、各地のブナ林衰退の進行状況を考察する上で重要な情報を得ることができる。そして、衰退が進行し、保全の必要性が高まっている可能性が明らかとなった地域では、より詳細な衰退の実態とその原因の解明が必要となる。もちろん、衰退の要因は地域ごとに異なるので、特集で解説したような丹沢の衰退機構を、他の地域にそのまま当てはめるのは難しい。それでも、衰退の実態を把握し、その要因を絞り込んで各要因の挙動や生態、あるいは作用機構の解明を目指す一連のアプローチの仕方は、全国で共通している。これらを実践してきた丹沢のモデルケースは、今後の各地のブナ林保全対策に役立つものと考えられる。

なお、この取り組みは、2007～2009年度地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究として実施した。

引用文献

- 環境省 (2003) 土壌・植生モニタリング手引書
- 武田麻由子・相原敬次 (2007) 丹沢山地の大気中オゾンがブナ (*Fagus crenata*) 苗に及ぼす影響. 大気環境学会誌 42: 107-117.

森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか？

—その2 森林の取り扱いから考える—

谷 誠

(たに まこと、京都大学農学研究科)

はじめに

前回の「その1」(谷 2012: 以下、単に“前回”、注参照)では、森林の洪水緩和機能について「大雨の際には限定的である」とした2001年の学術会議答申の表現に対し、2011年の学術会議の回答では「大雨の際にも発揮される」となっていることを指摘しました。今回は、森林の取り扱いとその保水力との関わりをテーマとします。そして、「利根川の八斗島上流流域を対象としてカスリーン台風規模の大雨が今後発生した場合、森林成長のおかげで洪水が小さくなるのか」についても、検討したいと思います。

洪水流出のメカニズムに関する既往の知見

まず、これまでの研究から、山地流域での流出メカニズムの基本を理解しておきましょう。まず前回に示した①の降雨の洪水への配分抑制効果は、地質によって大きく異なります(Tani *et al.*, 2012)。例えば花崗岩の場合、はげ山になりやすく森林成長も良くないのですが、基盤岩の芯まで腐っているような風化状態なので間隙の水貯留変動が大きく、①の効果は大きい傾向があります。これに対し、前回の図-1、2で示した竜ノ口山流域は古生層で、この効果が小さいのです。したがって、①の効果の大きさを決定するメカニズムとして、地質を指標と

する基盤岩の貯留タンクとしての性質を第一に挙げなければなりません。

①の効果が限界に達し降雨がすべて洪水に配分されても、②の洪水の遅れ効果によって、洪水流のピークを緩和する効果が残ることは、前回説明しました。そこで次に、この効果の現れてくるメカニズムを、「斜面水文学」の研究史から概観しておきましょう。1970年頃には、斜面のうち谷に近い水の集まりやすいところで降雨時に地下水があふれ始め、降った雨がそのまま「飽和地表面流」となるという観測結果(Dunne and Black, 1970)に基づいて、洪水流の発生が理解されていました。図-3(1)に示されたこの古典的な考え方は、石原・高樟(1962)が観測に先駆けて開発した雨水流モデルなど、多くの流出モデルに今でも取り入れられています。ところが、洪水流を構成する水が雨水(新しい水)なのか、前から土壌の間隙に貯まっていた水(古い水)なのかを識別できるようになり、古い水のウェイトが高いことがわかってきました(Sklash and Farvolden, 1979)。そこで、「飽和地表面流」や強い雨の一部が浸透できずに発生する「ホートン地表面流」だけではなく、「古い水」が洪水となるのはなぜかを理解するために、観測研究が展開されました。その結果、地中に排水能力の高いパイプ状の水みちが存在すること(Anderson *et al.*,

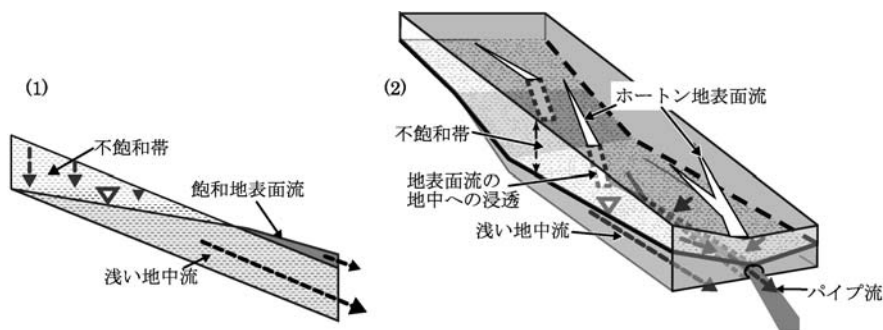


図-3 斜面の洪水流出メカニズムに関する概念図

(1) 単純均質な土層における概念図

(2) さまざまな不均質な経路を考えた概念図

1997)、そこを速く流れる雨水も岩盤近くで土壌水と混合すること (McDonnell, 1990)、雨水が土壌水を押し出すこと (Tani, 1997) が見いだされ、古い水で構成される地中流もまた洪水流となるメカニズムが明らかにされてきたのです。

ところが、2000年代になって、森林土壌表面の浸透能力がこれまで過大評価されてきたとの指摘がありました。恩田 (2008) は、「密植ヒノキ林で落葉層や下草がなくなった状態では、広葉樹林よりもホートン地表面流が出やすく、洪水ピークが大きい」ことを示しました。加えて、「大規模な降雨の場合には、密植ヒノキ林と広葉樹林で地表面状態に差があるにもかかわらず、小～中規模の降雨の場合に見られた洪水ピークの差が明瞭でなくなる」ことも明らかになりました (五味ら 2008)。また、水質観測の結果からは、「新しい水」と「古い水」の比率は、落葉層の厚さの差によってあまり変わらないことが示されています (Gomi *et al.*, 2010)。こうして、洪水流出のメカニズムは、場所や降雨規模によって異なり、まだ研究の余地があると考えられるのです。

大規模な豪雨時に洪水緩和をもたらすからくり

以上の観測研究の結果を筆者は次のように解釈しています。降雨があると、もともと湿潤であった谷底近くからだけ地中流が発生し、洪水となります。激しい雨で浸透できない水が生じるとホートン地表面流が洪水流に加わります。けれども、それで雨が止んでしまうと、前回の図-1 と言えば、原点に近いプロットで表される小規模の洪水で終わります。しかし、雨が続くと、図-3 (2) のように、尾根近くの土層も湿潤になってゆき、洪水流の発生する領域が斜面の尾根方向に拡大します。飽和地表面流も発生しますが、前節で述べた古典的な考え方は異なって、パイプ状の水みちが高い排水能力を発揮したり、地下水位上昇とともに地表近くの透水性の高い部分を水が流れたりする (Kendall *et al.*, 1999) 結果、大雨になっても地中流が洪水流の主体であり続けます。また、ホートン地表面流が発生しても途中で地中に浸透することもあります (五味ら 2008)。結局、複数の経路を多様な時間をかけて流れてきた水が洪水として溪流に出てくる (Katsuyama *et al.*, 2009) のだと考えられます。

②の洪水遅れ効果はこうしたメカニズムによって生み出されるのですが、その効果を正しく理解するには、そ

れが「流れの速さ」ではなく、「変化の伝わり方の早さ」に基づくことを学ぶ必要があります。その専門的な説明は Tani (2008) に譲り、比喻によって原理を解説しておきましょう。

図-4 は、前回示した浴槽と同様、底に排水孔のあるタンクですが、空気孔のついたふたがついていて注水管が連結されています。まず、注水量と同じ量が排水され水位が変動しない定常状態を考えてください。もし、注水量を大きくすると、水位はその新しい注水量と同じ量が排水できる高さまで上昇します。当然、水位が高くなっていくまでには時間がかかります。この変化の伝わり方をステップ A と呼ぶことにします。次に注水量を最初と同じ量まで小さくし、同時に排水孔に栓をします。水位は上がってゆき、水面上方の空気は空気孔から出てゆきます。満杯になったとき空気孔に栓をし、同時に排水孔の栓をはずすと、今度は空気が入らず、大気圧がかからないので水位は下がりにません。満杯のまま注水量と同じ量が排水され続けることとなります。その後、注水量を再び大きくすると、排水量は注水量と同じ量までただちに大きくなります。この伝わり方をステップ B と呼ぶことにします。ステップ A では、水位の上昇、すなわち、タンクの貯留量の増加があるために、排水量増加には「遅れ」が生じます。しかし、ステップ B では、貯留変化がないので遅れは生じません。

さて、斜面土層の場合、降雨がすべて洪水に配分される場合であってさえ、少なくとも尾根近くには不飽和部分が残っています。そのため、ステップ A に似た変化の伝わり方が生じます。例えば、降雨の強度が大きくなると、土壌間隙内の空気がぬけて貯留水量が増加します

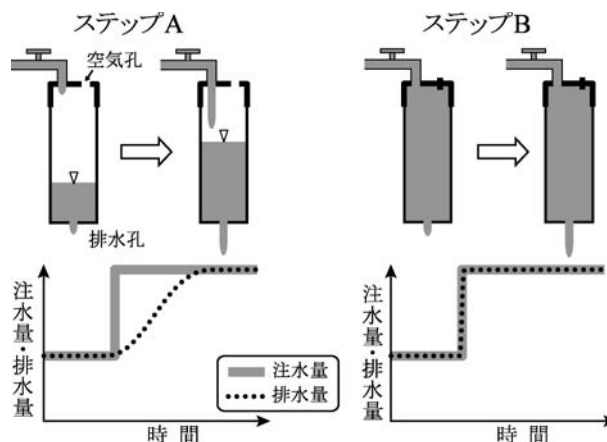


図-4 注水量変化の排水量変化への伝わり方

(専門的には、含水率と不飽和透水係数が正の関係を持つことから説明されます)。逆に降雨強度が小さくなると、間隙から水がぬけて代わりに空気がはいります。つまり、降雨強度の増減が土壌水分貯留量の増減をとまなうので、流れに遅れが生じるわけです。この遅れは、流量の変化(Δq)に対する貯留量の変化(ΔS)が大きい(つまり微分値 $\Delta S/\Delta q$ が大きい)ほど大きくなります。タンクの例でステップBに遅れないのはこの微分値がゼロだからです。この原理によって、降雨に激しい時間変化があっても、雨水が土層を通過することで、流量の変化は緩やかになるのです。

前回、竜ノ口森林理水試験地の北谷と南谷の洪水流変動を比較し、両流域の遅れ効果の違いを図-2に示しました。この両流域の違いは、土層内の不飽和部分の貯留量変動が異なるために生じたものと考えられます。蒸発散の解析からも、南谷が北谷よりも土層が厚いことが指摘されており(谷・細田 2012)、こうした土層の流域ごとの個性が降雨変化の流量変化への伝わり方を変え、②の遅れ効果の大きさを決定しているのです。

洪水緩和機能における森林の役割

以上の流出メカニズムをふまえて、流域の洪水緩和における森林の役割を考えていきましょう。①の降雨の洪水配分抑制効果に関しては、地質の影響が大きいと述べました。しかし、地質による基盤岩の貯留構造の違いは森林とは直接関連しません。森林がかかわる①の効果は、蒸発散を通じて現れると考えられます。根を深く張った樹木の蒸散量や、森林樹冠に付着した雨水の遮断蒸散量が大きいと、草地などに比べて、降雨の洪水への配分が確かに抑制されるわけです。

次に、②の洪水の遅れにかかわる森林の効果について、降雨がほぼすべて洪水になるに至った大規模豪雨時を対象として考えましょう。こうした場合でも、土層の中に不飽和部分は残っていますが、一時的な地下水帯も生じますから水の浮力によって強度が低下し、斜面がぐずれやすくなります。「地盤がゆるむ」とはこのことを言うわけです。このとき、もし、土層の排水能力が高いと地下水面が下がり、また樹木の根は土の粘着力を強化するようにはたります。したがって、その両者が、豪雨時にも土層がぐずれないように保持する鍵を握ることになります。樹木が根を張っている理由は、光合成・蒸散活動に必要な水と栄養を集めて「長く生きる」ためです。

しかし、基盤岩の風化によって生じる土粒子は、日本のような急勾配の斜面上では、根で補強しなければ降雨時に流されてしまうため、樹木は長く生きることができません。樹木の生命力によって土層が発達でき、雨水が地表面流ではなく地中流として流出するため、洪水の遅れ効果が発揮されるのです。2011年の学術会議回答は、それがゆえに、「土壌が樹木の根によって斜面上に保持されており、健全な森林がその保持のために必要だからである。」と記述しています。よって、前回掲げたA)のテーマについて、「治水問題となる大規模な豪雨に対しては、森林こそが保水力のみなもとである」と回答できることとなります。なお、こうした森林生態系のレジリエンス(恒常性維持機能)の環境保全における重要性については、世界水フォーラムの場などで発信してきましたが(益田ら 2012)、国際的な地球環境に関する議論の焦点となっています(三枝・江守 2012)。

なお、スギやヒノキの人工林は、ブナ林や照葉樹林よりくずれやすいことを心配する方もあります。しかし、根の強度そのものは、スギ・ヒノキと広葉樹との差はないこと、また垂直根だけでなく水平根のかかわる三次元的な絡まり合いが重要であることが示されています(北原 2010)。ただし、スギやヒノキの人工林では、皆伐した後、十年程度で根が腐ることが指摘されていますので(北村・難波 1981)、伐採後の確実な成林を図ることで、根の強度低下を最小限にとどめるようにすべきだと思います。

森林の成長による保水力の変化

以上の考察を基に、前回に掲げたテーマの残りふたつ、「B) 森林成長によって保水力が増加するのか」、「C) 利根川で大雨が発生した場合に、森林成長によって1947年よりも洪水が小さくなるのか」を考えたいと思います。森林成長は蒸発散量を増加させますので、①の効果により年間流出量は減少し、洪水量も減少します(藤枝・阿部 1982)。ただし、大規模豪雨時には差が見いだしにくくなる傾向があります(Bruijnzeel, 2005)。また、森林成長にともない地表付近の有機物層が発達します。しかし、大規模豪雨時には地表面状態の洪水流出への影響は明瞭でないといわれています(五味ら 2008)。深層を含む土層全体はどうかというと、基盤岩風化による土粒子生成があつて(梅田ら 2005)、崩れない限り、年に最大で1mm程度土層が厚くなるので、洪水緩和効果

は向上するはずで。例えば、1mの土層であれば50年間で最大1m5cmに厚くなることとなります。とはいえ、これによる保水力増加は微妙なもので、高精度で観測がなされている小流域であっても、その検出は容易ではありません。

しかし、花崗岩のはげ山など風化基岩が裸出していた場合は異なります。基岩表面を切り取って平坦面を造成し、土壌を客土する積苗工を施工すると、植生と土層ができることで、洪水緩和効果が飛躍的に増加したことがわかっています。また、積苗工施工時期の異なる複数の小流域の比較から、効果の増加程度は徐々に緩やかになるものの、数十年にわたって増加傾向が続くと推定されています(福巖 1987)。また最近、花崗岩の14haの小流域を対象とし、数十年を隔てた2期間の比較研究が発表されました(五名・蔵治 2012)。この流域では、はげ地の面積率が1925年の30.3%から1982年の3.5%に減少し、森林蓄積が1953年の14m³ ha⁻¹から2010年の118m³ ha⁻¹に増加しました。そこで、総降雨量と総洪水流量の関係を調べた結果、1935～46年よりも2000～11年の方が総洪水量が小さかったと報告されています。さらに、この傾向が降雨強度の大きいときに見られたとして、蒸発散効果の他に、土壌回復による流出メカニズムの変化が現れたと推測されています。

以上から、森林成長による保水力増加に関する回答としては、「蒸発散量増加によって降雨の洪水への配分が抑制されるが、大規模な豪雨時にはこの効果は小さくなる。花崗岩のはげ地では、緑化工事を行った直後に土層発達による保水力増加が顕著に見られる。その後の数十年間でも増加するとの報告もあるが、これは推測の域を出ない」ということになるでしょう。花崗岩以外の山地も含め、より長期の高精度観測による実証が期待されるのは言うまでもありません。いずれにせよ、数十年の観測でも実証が困難である最大の理由は、「大規模豪雨時にも発揮される洪水緩和効果が、樹木根の補強によって数百年以上かかって発達する土層の流出メカニズムに基づいている」ところにあることを、ぜひ十分に理解していただきたいと思います。

次に、C)のテーマについて考えます。利根川の八斗島上流域には高崎や前橋等の都市が含まれ、戦後に流域の都市開発が広く行われました。そうした開発地では、森林消失による蒸発散量の減少、舗装による降雨の地中

への浸透量の減少、建物の屋根、舗装道路、排水管の増加による排水の高速化などによって、洪水量が増加します(角屋・岡 1971; 立川ら 2009)。ここでは、数百年以上かかって発達してきた土層の保水力が根こそぎ失われることによるマイナスが生じているはずで。一方、利根川流域の里山は、西日本と異なり花崗岩が少なくてはげ地には至らず、やせた土層の上に貧弱な植生が存在するという状況が主でありました。ここでは、「戦後」における保水力増加は、花崗岩山地よりも小さいと推定されます。また、奥利根地方などには、森林利用がもともと少ないために、継続的に落葉広葉樹林でおおわれてきた奥山も多く、保水力の経年変動の生じる要因そのものがほとんどありません。このように、利根川流域の保水力は、森林や土地利用の経年変化から増加・減少両面の影響を受けたでしょうが、流出メカニズムに関する水文学の知見に照らしたとき、減少要因がはるかに大きいと言わざるを得ません。こうした保水力の増減要因の比較に加えて、大流域では降雨分布などの観測誤差によって、流域条件の経年変化の影響を検出するに足る精度が得られにくい点も指摘しておくべきでしょう。降雨・流量の観測データが、たとえ保水力の経年的増加を見かけ上示唆していたとしても、流出メカニズムに基づいた裏付けがなければ、観測誤差を乗り越えるような判断は、水文学においてできることではありません。以上のことから、「八斗島流域全体では、流出メカニズムからみて、戦後直後に比べて同じ降雨条件に対して洪水が小さくなったとは考えられない」と結論づけられます。

森林の取り扱いと治水

森林保水力をめぐることは、観測実証できることは限られています。土層発達には長期を要しますし、針葉樹人工林、広葉樹林、複層林のように、見かけが大きく違うのに、洪水流出量の観測結果に大きな差が出ない場合が多いです。そのため、保水力の観点から森林をどのように扱うべきなのかという、日本の森林林業政策における重要課題に対して明確な答えが導かれてこなかったのではないのでしょうか。この点に कांगみ、小論では、流出メカニズムをふまえて「つつこんだ研究解釈」を試みました。

あらためて戦後の森林の経過を振り返ると、1960年前後に人工林が大量に造成されましたが、60年代の外材輸入伸張や農山村の社会変化によって、木材収穫の採

算が合わず、林業に魅力がなくなってきました。そのため、人工林が年々成長してゆくの、収穫に必要な作業である間伐が実行されず、林業施業体系における難題が生じました。そこで、間伐により下草の繁茂を促して地表面流の発生を抑えるといった公益的機能の面が強調され、公的資金を投入した間伐が実行されてきています。しかし、人工林施業体系が植栽、除伐、間伐、主伐から成る数十年のサイクルを持つという自明の理に基づいて考えれば、保水力・公益的機能は、収穫の準備作業に過ぎない間伐だけを取り出してではなく、施業体系全体の中で評価する必要があります。なぜなら、世界の森林資源枯渇の現状からみて、日本の人工林政策には、木材を供給しながら地球環境の破綻を抑止するため、「林業」を担う大きな責務があるからです。そのためには、今後2～3百年かけ、現在の人工林蓄積をベースにして定期的に収穫を挙げられる施業体系への移行が求められます。この過程では皆伐が避けられず、土層の発揮している保水力を維持するためには、シカ食害をはじめとする森林再生阻害要因は当然防がなければなりません。林業振興と保水力維持を含む環境保全を両立させることは、2009年以降の森林・林業再生プランの核でありました。成長に数十年を要する樹木を扱う森林管理は世紀を超えた長期戦略に基づくしかないとの覚悟が、森林林業政策と国民意識に強く求められると思います。

このように描いた長期戦略から考えると、森林の保水力は、日本学術会議の2001年答申の限定的な表現を超え、大規模な豪雨の場合の重要性こそを強調すべきだと思います。研究面では、間伐効果の検出にとどまらず、山腹斜面上の土層保水力を林業技術体系全体と両立させて維持する方策の探求が、ぜひとも必要です。都市化による保水力低下、温暖化にともなう極端に大規模な豪雨の来襲など、洪水を激化させる要因ばかり多い中、利根川のような大河川流域であってさえ、樹木根の補強力で急斜面上の土層が支えられ、洪水ピークを低下させている効果は非常に重要です。たしかに、森林管理のあり方によって保水力は「維持」できますが、すぐに「増加」させられないことは、これまで述べてきたことから明らかです。そこで即効性を重んじる工学的立場からダムが提唱されるわけですが、いかんせん、大規模豪雨によってダム湖の水位が最大に達した場合には、上流側の危険を避けるために「ただし書き操作」によって流入量をそのまま放流するように規則で定められており、図-4の

ステップBと同じく、貯留増加によるピーク低下は生じません。こうしたダムの限界を超えるような大規模豪雨時には、斜面土層（正確にはその不飽和部分）の貯留増加だけが、図-4のステップAで示される②の洪水の遅れ効果を通じて、ピーク低下のはたらきを発揮し続けることができます。森林取り扱いの長期戦略は治水面からも重要な位置を占めると言えましょう。

「想定を超える規模の」豪雨に対して治水の万能策などあり得ません。学問の枠や省庁の枠を超え、ダム・堤防・森林・農地などに関する多様な専門家の連携と科学的知識の共有が必要だと思います。さらに、治水策の最終判断を専門家の見解にのみ依拠するのではなく、その提案する複数オプションを基に、先祖伝来の土地を失う住民の犠牲、対策に要する予算の妥当性を総合的に検討し、その川の恵みを享受しつつ最適な減災を可能にする対策は何なのかを、流域利害関係者が合議のうえ判断してゆくことが、治水策として理想だと考えます。それに近づくために必要な「研究解釈の共有」に対し、小論が何らかの材料を提供できればさいわいです。

謝辞

小論は森林総合研究所の森林理水試験地の貴重な長期データに依存しています。森林科学編集委員会の田中浩委員長、清水貴範、壁谷大介両委員にはたいへんお世話になりました。東京大学の鈴木雅一教授、森林総合研究所の三森利昭博士、東京農工大学の五味高志准教授にコメントをいただきました。ここに謝意を表します。

注

前回「その1」の図-2において、説明が「南谷（左図）と北谷（右図）」となっていますが、「北谷（左図）と南谷（右図）」の誤りでした。深くお詫びします。

引用文献

- Anderson SP, Dietrich WE, Montgomery DR, Torres R, Conrad ME, Loague K (1997) Subsurface flow paths in a steep, unchanneled catchment. *Water Resour Res* 33 : 2637-2653.
- Bruijnzeel LA (2005) Land use and land cover effects on runoff processes. In: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Anderson MG (ed.) John

- Wiley & Sons, 1813–1829.
- Dunne T, Black RD (1970) Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resour. Res.* 6 : 1296–1311.
- 藤枝基久・阿部敏夫 (1982) 竜の口山試験地における森林の成立が流出に及ぼす影響. *林試研報* 317 : 113–138.
- 福嶋義宏 (1987) 花崗岩山地における山腹植栽の流出に与える影響. *水利科学* 177 : 17–34.
- Gomi T, Asano Y, Uchida T, Onda Y, Sidle RC, Miyata S, Kosugi K, Mizugaki S, Fukuyama T, Fukushima T (2010) Evaluation of storm runoff pathways in steep nested catchments draining a Japanese cypress forest in central Japan: a geochemical approach. *Hydrol. Process.* 24 : 550–566.
- 五味高志・恩田裕一・寺嶋智巳・水垣 滋・平松晋也 (2008) ヒノキ林流域と広葉樹林流域の降雨流出の違い. (人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 恩田裕一編, 岩波書店). 73–85.
- 五名美江・蔵治光一郎 (2012) ハゲ山に森林を再生した小流域における降雨量—直接流出量関係の長期変化. *日林誌* 94 : 214–222.
- 石原藤次郎・高棹琢馬 (1962) 中間流出現象とそれが流出過程に及ぼす影響について. *土木論集* 79 : 15–23.
- 角屋 睦・岡 太郎 (1971) 市街地域の雨水流出特性. *京大防災研年報* 14B : 143–155.
- Katsuyama M, Kabeya N, Ohte N (2009) Elucidation of the relationship between geographic and time sources of stream water using a tracer approach in a headwater catchment. *Water Resour. Res.* 45 : W06414, doi: 10.1029/2008WR007458.
- Kendall KA, Shanley JB, McDonnell, JJ (1999) A hydrometric and geochemical approach to test the transmissivity feedback hypothesis during snowmelt. *J Hydrol.* 219: 188–205.
- 北原 曜 (2010) 森林根系の崩壊防止機能. *水利科学* 311: 11–37.
- 北村嘉一・難波宣士 (1981) 抜根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能. *林試研報* 313 : 175–208.
- 益田健太・谷 誠・岩田悠希・富村周平 (2013) 第6回世界水フォーラム(森林関係) 報告. *水利科学* 329 (印刷中) .
- McDonnell JJ (1990) A rationale for old water discharge through macropores in a steep, humid catchment. *Water Resour. Res.* 26 : 2821–2832.
- 恩田裕一 (2008) 人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 岩波書店. 260pp.
- 三枝信子・江守正多 (2012) Planet Under Pressure 会議報告. *地球環境研究センターニュース* 259 : 201206_259005.
- Sklash MG, Farvolden RN (1979) The role of groundwater in storm runoff. *J. Hydrol.* 43 : 45–65.
- 立川康人・江崎俊介・椎葉充晴・市川 温 (2009) 2008年7月都賀川増水における局所的大雨の頻度解析・流出解析と事故防止に向けた技術的課題について. *京大防災研年報* 52B : 1–8.
- Tani M (1997) Runoff generation processes estimated from hydrological observations on a steep forested hillslope with a thin soil layer. *J. Hydrol.* 200 : 84–109.
- Tani M (2008) Analysis of runoff-storage relationships to evaluate the runoff-buffering potential of a sloping permeable domain. *J. Hydrol.* 360 : 132–146.
- 谷 誠 (2012) 森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか—その1洪水緩和に関わる二種の効果の区別—. *森林科学* 66 : 26–31.
- Tani M, Fujimoto M, Katsuyama M, Kojima N, Hosoda I, Kosugi K, Kosugi Y, Nakamura S (2012) Predicting the dependencies of rainfall-runoff responses on human forest disturbances with soil loss based on the runoff mechanisms in granitic and sedimentary-rock mountains. *Hydrol. Process.* 26 : 809–826.
- 谷 誠・細田育広 (2012) 長期にわたる森林放置と植生変化が年蒸発散量に及ぼす影響. *水文・水資源学会誌* 25 : 71–88.
- 梅田浩司・大澤英昭・野原 壯・笹尾英嗣・藤原 治・浅森浩一・中司 昇 (2005) サイクル機構における「地質環境の長期安定性に関する研究」の概要. *原子力バックエンド研究* 11 : 97–111.

神々がおわす森 —タテヤマスギ天然林—

平 英彰 (たいら ひであき)

富山県北アルプス北部、3,000m級の山々が連なる山岳地帯には、タテヤマスギと呼ばれている天然スギが分布している(写真-1)。その分布面積は約29,000haに達し、スギ天然林の面積としては屋久島、高知県、秋田県、京都府に分布するスギ天然林をはるかにしのぐ広さである。また、その分布標高も立山、劔岳、毛勝岳、朝日岳で標高2,000m前後に達し、その中の最高標高は毛勝岳大明神尾根の2,070mで、スギの標高分布としては日本で最も高い。これらの標高に分布しているスギは、すべて単一クローン(一個の個体から栄養繁殖で増えた個体)で構成されている。スギは実生(種子)更新と伏条(栄養繁殖)更新でその生育地を拡大するが、寒冷な気候条件下では雄花が形成されないため、実生による更新はできない。また、伏条更新では斜面上部にその分布地を拡大できないため、現在最高標高に分布するスギは、6,000～4,000年前の温暖な時期に実生更新によって到達し、その後の寒冷化に伴って伏条更新で生きながらえたスギの集団であると考えられる。タテヤマスギ天然林には巨木が多く生育しているが、その全容は調査されておらず不明である。平成16年、17年に富山森林管理署が行った美女平・弥陀ヶ原溶岩台地約300haの調査では、胸高周囲6mを超える巨木が147

本発見されている。胸高周囲6mを超える巨木はヤクスギ天然林でも27本しか報告されておらず、タテヤマスギ天然林は他のスギ天然林に比べ巨木の数が著しく多い。これは、その生育地が積雪2.5mを超える豪雪地帯という特殊な環境が何らかの影響を及ぼしているのかもしれない。タテヤマスギ天然林の利用の歴史も古く、弥陀ヶ原の標高1,520m地点で1,282±20年前(奈良時代)の伐根が発見されている。これは豊臣秀吉が伐採(400年前)を命じたとされている屋久島のウイルソン株よりもはるかに古い。また、美女平近くの上市町江上A遺跡(AC100～200年)から出土したスギ木製品の年輪幅は当時海岸付近に生育していた魚津埋没林のスギの年輪幅より非常に狭く天然林由来のスギ材である。このことから判断すると、タテヤマスギ天然林の伐採は弥生時代後期にまで遡ると考えてもよいだろう。

このタテヤマスギ天然林の一角、片貝川上流の南又谷に点在する巨岩の上に成立しているスギ巨木群はドウスギと呼ばれている。日本では、まれに岩石の上に樹木が成立することはあるが、周囲長6mを超える巨木が多数巨岩の上に成立している現象は、世界的に見ても例がなく、見るものを圧倒する特異な景観を呈している(写真-2)。ドウスギを見ていると、水分も養分もほとんどない巨岩の上で、どうしてこれだけの巨木に成長できたのか、スギ種子が巨岩の上に発芽してからどれほどの年月がたっているのか、どうしてこのように不思議な樹形をしているのかなど、多くの疑問がわいてくる。

長野県黒姫山北西斜面の標高1,820mの亜高山帯にキバナシャクナゲ、チングルマ、コケモモ、ミネズオウ、ガンコウランなどの高山植物群落分布する天狗の露地と呼ばれる面積約1200m²の岩塊斜面がある。この斜面は43,000年前に黒姫山山頂部の成層火山体が崩壊し形成された大小の岩石が堆積する斜面の一部である。現在亜高山帯に位置するこの岩塊斜面に、高山植物群落が遺存分布しているのは特異な現象である。この現象を支



写真-1 タテヤマスギが分布する北アルプス北部の山岳地帯

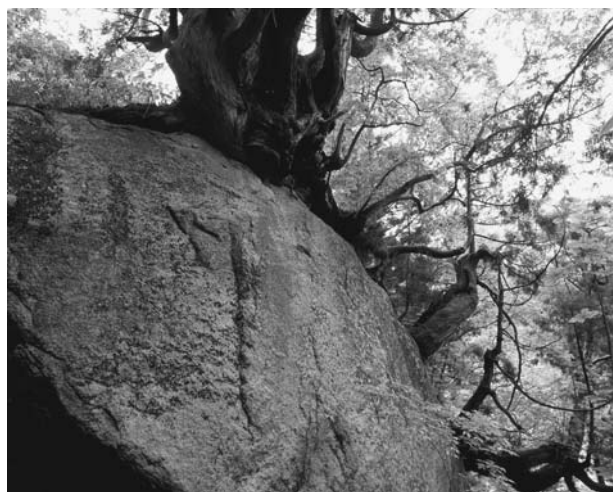


写真-2 巨岩の上に生育する胸高周囲6mを超えるドウスギ

えているのが斜面に分布している岩石である。この岩塊斜面には周囲から絶えずダケカンバやオオシラビンなどの高木性樹木の種子が供給されている。しかし、岩石上では腐食が溜まりにくく、その厚さは1.4—4.4cmと薄いため、岩石の腐植上で発芽した高木性樹木はほとんど枯死し、比較的条件的の良い場所に成立した個体でも樹高30cm程度にしか達せず、全ての個体は30年ほどで枯死する。後氷期後1万年間、この岩塊斜面上の岩石は、ダケカンバやコメツガ、オオシラビンなどの高木性樹木の侵入を拒んできた。片貝川流域の岩石は、二億七千万年前に貫入した飛騨古期花崗岩類が約五十万年かけてゆっくりとせりあがったものと考えられている。片貝川流域と黒姫山では環境がかなり異なると思われるが、巨岩の上にドウスギが成立するまでには千年単位、いや、万年単位かもしれない時間が必要だったのだろう。富山県では氷河期でも標高800m前後までスギの生存が可能であったと考えられている。弥陀ヶ原の標高1,700m地点では、6,500年前からスギ花粉が出現し、3,570年前頃から次第に増加し始める。弥陀ヶ原溶岩台地では、3,570年前にはすでに氷河期を乗りきったスギが、大き

な森林を形成しており、タテヤマスギ天然林の成立は歴史的に見ても非常に古いと考えられる。

奈良時代の人々は北アルプス立山連峰の山々に神様たちが住んでいると信じて、神々をたたえる多くの歌を残している。大伴家持は万葉集で「たち山に降りおける雪を常夏に見れどもあかず神からならし（神様がおられるからだろう）」という有名な歌を詠んでいるが、日本人の信仰の原点は、自然界の驚くべき事象に神々の存在や聖性を見出すアニミズムである。少なくとも明治政府によって廃仏毀釈が行われるまでは、日本人は多くの神々や仏の存在を認め、異なる神々がそれぞれの地域で共存していた。日本人の多様な価値観が、日本文化の源泉であり、多くの異文化を吸収消化し、驚異的経済発展を成し遂げたのもこのような原点があったからだと考えられる。

弥陀ヶ原・美女平溶岩台地や片貝川流域に生育しているタテヤマスギの森は、古代の人々が体験した自然に対する畏怖と尊敬の念を感じることができる場所の一つである。

一般の方にお勧めできるタテヤマスギ巨木観察コースは二つある。一つは立山アルペンルートの美女平周辺のコース。美女平駅から室堂行のバスに乗り、弘法で途中下車。整備された木道を徒歩で美女平まで歩いて下る所要時間5時間のトレッキングコースで、道沿いに多くのスギ巨木を観察できる。また残雪期（4月下旬～5月中旬）には、雪上を自由に歩けるため、さらに多くの巨木を見ることができる。ただし、残雪期にはガイドが必要。

二つ目はドウスギコース。高速道路北陸道を魚津インターで下り、魚津市街地の反対方向島尻へ向かう、15分程度で片貝川沿いの道に出るので、そこを上流に向う。途中の分枝点にはドウスギへ向かう標識があるのでわかりやすい（所要時間1時間30分）。

ミシシッピ河の湿地林

山本 福壽 (やまもと ふくじゅ、鳥取大学農学部)

湿地林とは

ミシシッピ河はアメリカ合衆国ミネソタ州に端を發し、メキシコ湾にそそぐ全長 3,779 km の大河川である。湿地林とは、溪畔林や河畔林などとともに水辺に成立する森林であり、特に河川下流域の沖積地や沼沢地に成立している森林をさす。日本では比較的大きな湿地林として、国立公園である釧路湿原のハンノキ・ヤチダモ林をあげることができる。釧路湿原は約 6,000 年前の縄文海進から徐々に海岸線が後退し、現在の地形が形成されたもので、地質年代からすれば極めて若い湿原である。これに対してミシシッピ川下流域の氾濫原の形成は数億

年を超える時間が経過している。そこに生育するヌマスギ (*Taxodium distichum*、写真-1) はヒノキ科スギ亜科ヌマスギ属の針葉樹で、日本のスギと類縁関係にある。この樹種がミシシッピ河に出現したのはやはり 1 億年以上遡ることができる。現在のヌマスギ林の地表下には、まったく同じ樹種の化石が眠っている (写真-2)。湿地林を構成するヌマスギは純林となるほか、高木性の広葉樹であるヌマミズキ (*Nyssa aquatica*) との混交林を構成する。

湿地林構成樹種の環境耐性

一般的に根系が水没するような環境では、樹木は生存することが困難である。冠水や水の停滞によって空気を保持する土壌の空隙が水に置き代わってしまうと、土壌はたちまち酸素欠乏状態となり、根の呼吸は著しく阻害される。植物はみずから生産した糖分を分解し、酸素の存在下でエネルギー物質である ATP を生産し、これを生命活動に利用しながら生きている。しかしながら酸欠土壌ではこれが不可能となる。土壌に酸素が極めて少ない湿地林を構成する樹種は、根に酸素を送り込む通気システムを発達させている。写真-3 はミシシッピデルタ



写真-1 ミシシッピ河畔 (メンフィス市郊外) のヌマスギ林



写真-2 ヌマスギの針葉の化石



写真-3 パール川 (ニューオーリンズ市郊外) のヌマスギ (右) とヌマミズキ (左)



写真-4 巨大な膝根



写真-5 ビーバーの食痕のあるヌマスギ (メンフィス市郊外)

の東部に位置するパール川のヌマスギとヌマミズキだが、両樹種とも樹幹の基部が大きく肥大しているのが観察される。これは湿地環境に対する適応のひとつであり、根に酸素を供給し、酸欠環境の根の内部や根圏におけるCO₂、メタン、硫化水素などの有毒なガスを排除するために発達した構造である。肥大した部位は、表面積が大きくなることでガス交換を容易にし、また樹幹部の樹皮内や根系には通気組織が形成されていて、幹の表面にある皮目を通じてガス交換が行われている。

ヌマスギはこれらの特徴に加えて、膝根と呼ばれる特殊な根が形成される(写真-4)。膝根は最大で1.5mにも成長するが、厳密には水平に展開する根の上部の形成層が局所的に細胞分裂を繰り返して、タケノコのように伸びたものである。したがって構造的には幹や根とほとんど同じとみてよい。膝根が形成されるメカニズムはまだ明らかではないが、過湿な土壌や比較的浅い滞水環境でよく発達し、水深が常時50cmを超えるような環境ではほとんど形成されない。また幹の過剰肥大は水深と関係があり、深いところでは水際の幹が、あたかも蛇が卵を飲んだように膨らんでいるのを観察することができる。

生育の阻害要因

テネシー州メンフィス市の近くのミシシッピ河は、河口からかなり上流になるが、広大なヌマスギ湿地林がある。支流のウォルフ川では、ヌマスギとヌマミズキが林

立する中を縫うようにカヌーで下ることができる。ここでは樹高30m、直径1mを超えるようなヌマスギが多数生存しているが、多くの個体の根元や膝根にはさまざまな傷があり(写真-5)、また点々と枯死している老木も見受けられる。これは水辺に生きるビーバーの仕業である。もしビーバーがいなければ、ヌマスギやヌマミズキももっと巨大なサイズにまで成長できるのかもしれないが、この存在もまた生態系を構成するものである。人間の都合で排除したりしたら、別の大きな弊害を招くことになるだろう。

森林利用史と更新

ヌマスギの木材は耐湿性にすぐれているため、湿地林では多くのヌマスギが伐採、利用されてきた。ルイジアナ州ニューオリンズ市郊外のミシシッピデルタ湿地林では伐採、搬出に使われた直線的な水路を空中から望見することができる。ヌマスギは水上を浮遊する種子が岸辺に流れ着き、そこで発芽・定着することで更新する。また更新には年々変動するミシシッピ河の水深が大きく影響している。一度発芽して定着すれば、ある年の水位上昇で実生が1年程度水没したとしても、その次の年に水位が下がれば、ふつうに開芽・成長を開始する。この地では伐採が行われなくなって久しいが、寸断された湿地林の中の水路がヌマスギなどの更新によって森林植生に覆われるようになるのは、極めて困難であるようだ。

開花調査

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)



寒い季節の植物園、温室だけを満喫して帰られる方が大勢いらっしゃいますが、屋外エリアを担当する私としては、冬こそ空の下を歩いてほしいと思っています。蚊に邪魔されることなく、植物たちとじっくり向き会えるという利点があるからですが、私の真意としては、この季節でしか見られない冬芽にぜひとも接し、感じてほしいものがあるのです。そうは言いながらも、私がそれを実感できたのは、植物園で開花調査という業務を3年ぐらい経験してからの事でした。

つくば植物園は10万m²の面積に約3,000種の植物が展示してあり、しっかり見ようとすると半日はかかります。そこで、誰でも短時間で見どころを回れるように、「見ごろの植物」という園内マップを作成しています。その中心となる業務が、私を含めた7名の職員とボランティアさんと毎週行っている開花調査です。私はこれまでで8年参加し、距離にすると3,000kmは歩きました。夏は焼ける日差しに追われ、冬はつくばおろしと呼ばれる冷たい強風に凍え、天候や体調によってはとてもきつい調査です。しかし、辛いとか忙しいとかを理由に休んだ事は一度もありません。続けて来られたのは単に義務だからではなく、春夏秋冬の巡りに魅了されてしまったからなのです。

それまでの私は季節の移り変わりにさほど興味がなく、気温の暑い寒いがまた繰り返されると思っている程度でした。冬の植物においては、樹の枝に冬芽という寂しそうなものが付いている、そんな貧弱なイメージしかありませんでした。しかし、花を見つけることを目的に植物と接してから、いつの間にか冬芽に意識が向くようになり、それまで目に入らなかった変化が見えるようになってきました。春の気温に応じた微妙な膨らみが分かってきたのです。さらに、その後続く芽鱗のズレやほころび、隙間から見える花びらを認めるようになり、種によってはそのまま咲かないで長い休憩に入ることなどを知りました。また、冬芽には花芽と葉芽があり、ほとんどの樹木は展葉の方が開花より早いことも発見でした。産毛が光る新葉は本当にかわいらしく、数週間をかけた展開はとてもダイナミックです。私は、冬が明け

てから起きる植物の様々な目覚めに心が躍り、次週の開花調査が待ち遠しくなりました。そして、夏になれば蒸散を深く吸い込み、秋は紅葉の彩りに見とれ、冬は再び落ち葉を踏みながら新しい冬芽に来春を期待します。四季を絶え間なく歩くことを繰り返すうちに、その時々植物達の様子に自然と意識が向き、特に芽が開く瞬間を待ち焦がれている自分がいました。加えて、過去から途切れることなく開花を繰り返して来たという当たり前の事を、やっと気が付くに至っていました。理屈で分かるのとはまったく違う、実際に形がある何かを直接手で触れたかのような気付きでした。それからというもの、生命がこれまで繋がってきた「今」の瞬間に驚きが生まれ、これから先へ続く通過点としての「今」に気が遠くなるようになりました。

春の陽気を心待ちにしている冬芽を前に、私は何とも不思議な気持ちになります。私も生命の歴史上では同等であるはずなのに、暖かい服を着つつも凍えているからなのか、冬芽の方が強い存在に見えるのです。冬の来園者の方には、その小さい芽の中で息づく大きな生命力を、そして、共に同じ冬に生きる一体感を、ぜひとも感じてほしいと思います。厳しい季節だからこそ、生命というものを捉えやすいのではないのでしょうか。もう一つ希望を言うならば、期間を空けて再び来園し、季節毎に変化する姿も見てほしいと思います。継続して見続ける内に、きっと今までと違う四季に出会えることでしょう。しかし、一年を通じて色々な植物を観察するのは結構難しいので、たまに植物園のHPにある「見ごろの植物」と「今週の開花リスト」をご覧くださいとはいかががでしょうか。季節のうつろいと、旬の植物を感じる手助けになるかもしれません。

.....
著者プロフィール

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

LED を利用したナガマドキノコバエ捕虫器の開発

阿部 正範 (あべ まさのり、徳島県立農林水産総合技術支援センター森林林業研究所)

1. はじめに

我が国の栽培きのこ類の産出額は、平成 20 年に木材生産を追い抜き、林業産出額全体の 50.3% を占めるまでになっています。その栽培きのこ類の中で、生シイタケは、産出額の 29% を占めています。生シイタケは、菌床による生産割合が、1994 年の 25.6%¹⁾ から 2010 年の 83%²⁾ まで急増しています。特に徳島県は、生シイタケの栽培が盛んで、生産量は 7 年連続で日本一となっていますが、その 99% は菌床による生産³⁾ です。ところが、菌床によるシイタケ栽培が盛んになるにともない、ナガマドキノコバエ (以下ナガマドと表記) の異常発生による被害が問題になってきました。特に徳島県では、周年出荷に対応するため空調設備の整った完全閉鎖型の栽培施設 (写真-1) が多いため、1 年を通してナガマドによる被害が発生していました。深刻な被害をもたらすナガマドですが、菌床シイタケ栽培では、本害虫に対する農薬が登録されておらず、防除に農薬は使用できません。そのため、農薬に頼らない防除技術として、発光ダイオード (LED) と誘引剤を組み合わせた、今までにない強力なナガマドの捕虫器を開発しました。

なお、本研究は、平成 19～21 年の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの環境保全型防除技術の開発 (No. 1958)」により実施した成果⁴⁾ の一部です。

2. ナガマドキノコバエの生態とその被害

ナガマドの成虫 (写真-2) は、体長 6～10mm で、黄色で胸背に黒褐色の 5 本の楕円模様があるのが特徴的です。明け方と夕方に活発に飛翔し交尾します。生存期間は 3～8 日程度で、1 頭の雌が 60～150 個の卵を産みます。卵は、長さ 0.5mm 程度で、菌床やシイタケの表面に産み付けられます。幼虫 (写真-3) は、体長 10～15mm で、透明から半透明で細長い体をしています。菌床やシイタケを食べて生育し、粘着性のある糸を吐いて住処や蛹になるための場所を形成します。蛹は、長さ 5～8mm で焦げ茶色をしています。卵から成虫になるまでの期間は、15℃で 35 日間、20℃で 23 日間、25℃で 17 日間程度です。

被害は、幼虫の食害による収量の減少と、幼虫の商品への混入が挙げられます。幼虫により食害されたシイタ



写真-1 空調設備を導入したシイタケ栽培舎



写真-2 ナガマドキノコバエ成虫



写真-3 ナガマドキノコバエ幼虫

LED を利用したナガマドキノコバエ捕虫器の開発



写真-4 幼虫に食害されたシイタケ

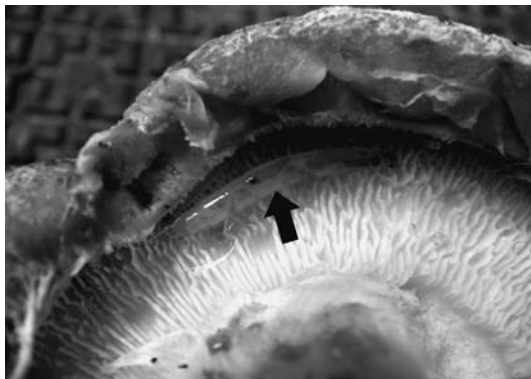


写真-5 傘の内側に潜む幼虫

ケは、褐色化（写真-4）し、凹みができるため商品として出荷できなくなります。幼虫は傘の内側に潜む（写真-5）ことが多いため、発見しようと思うと、時間がかかり、出荷作業に遅れが生じます。また、もし発見できずに出荷した場合に、市場や消費者から異物混入のクレームがくる恐れがあります。

3. ナガマドキノコバエ捕虫器開発の経緯

捕虫器の開発の目標は、「強力な誘引効果」、「取扱が簡単」のほか、生産者の要望を受けた「設置が簡単」、「栽培舎の高湿環境下で使用可能」の4点としました。

「設置が簡単」、「高湿環境下で使用可能」については、どこでも設置可能なコードレスにすること、および散水される栽培舎でも漏電の不安無く使用できるように、乾電池を電源とすることにしました。また、捕虫器自体も電池ボックスや電気回路部に水が侵入しない構造にして防滴性を高めることにしました。

残る「強力な誘引効果」、「取扱が簡単」についての取り組みは以下のとおりです。

(1) 強力な誘引効果

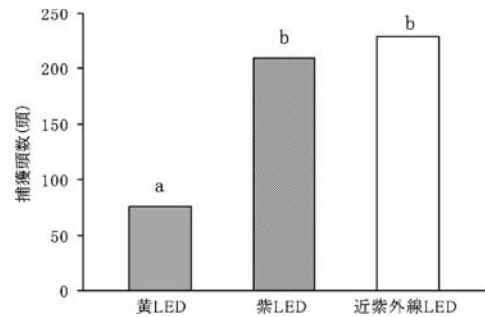


図-1 LEDの種類別のナガマドキノコバエ捕獲頭数。異なるアルファベットは、有意差があることを示す。

既存の研究から、ナガマド成虫が光や乳酸発酵液に誘引されることが明らかになっていました。このため、両者を組み合わせることで、さらに誘引効果を大きくできるのではと考えました。

そこで、誘引効果の高い光源と誘引剤の選抜、およびこれらの組合せによる相乗効果を検討しました。

① 光源の選抜

光源にはLEDを用いることにしました。LEDは、消費電力が少ない、特定の波長が簡単に利用できる、防水構造が容易などの特長⁵⁾があります。そのため、頻繁に散水があり、高湿度な菌床シイタケ栽培舎内の誘引光源として優れていると考えました。

次に、光の波長を選抜しました。一般に多くの昆虫では、紫外線域（約350nm）から青色域（約500nm）に対し誘引行動を示し⁶⁾、ショウジョウバエやミツバチは紫外線域（約360nm）に対し強い誘引行動を示すと報告されています⁷⁾。ナガマドに対する誘引効果の高い波長を選抜するために、黄（ピーク波長：560nm）、紫（405nm）、近紫外線（375nm）の3種類のLEDを比較しました。これらのLEDと捕虫用水盤を組み合わせた誘殺トラップを作成し、栽培舎内に設置してトラップに捕殺された成虫数を調べました。

その結果、紫LEDと近紫外線LEDの誘殺効果が高いことが判明しました（図-1）。ナガマドでは青よりも波長の短い紫や紫外線の方が、誘引効果が高いと考えられました。近紫外線LEDは紫LEDよりも安価で、シイタケの発生に悪影響を及ぼさないことも判明したため、近紫外線LEDを誘引光源に採用することにしました。さらに、近紫外線LEDは、羽化2日以内の処女メスの97%を誘引できることもわかりました。LEDの明るさは、電流値を変えることで調節できます。そこで、電流

値を 21 mA と 3 mA とし、誘引効果を調べたところ、誘引効果に差が無かったため、明るさ（電流値）は、消費電力の少ない 3 mA に決定しました。

② 誘引剤の選抜

4 種類の誘引剤の誘引効果を調べました。用いた誘引剤は 3% 砂糖水に市販の 3% ドライイーストを添加したもの、畜産用乳酸発酵液（PF-S、カルピス株式会社製；以下、乳酸発酵液と表記）、コバエ用誘引剤（固形、カモ井加工紙株式会社製）および水道水です。300 ml のポリカップの内側に粘着シートを取付けたトラップを作成し、各溶液 50 ml あるいはコバエ用誘引剤を 3 個投入してトラップに捕殺された成虫数を調べました。

その結果、誘引効果は乳酸発酵液が高いことが判明しました（図-2）。乳酸菌飲料がナガマドの誘引効果をもつことは、新田⁸⁾も報告しています。ナガマドにとって、乳酸発酵液や乳酸菌飲料の匂いは、菌床の発酵臭と似ているのかもしれませんが。以上のことより、乳酸発酵液を誘引剤として採用することにしました。

③ LED と誘引剤の組合せ

以上を踏まえ、誘引源の組み合わせの捕獲効果を調べました。用いたのは近紫外線 LED+ 水道水、近紫外線 LED+ 乳酸発酵液および乳酸発酵液の 3 種類です。これらを設置したトラップを栽培室内に設置し、各トラップに捕殺された成虫数を調べました。その結果、捕殺数は近紫外線 LED+ 乳酸発酵液が、他のトラップに比べて多くなり、これらを組み合わせることで、単独使用に比べて誘引効果が向上することが判明しました（図-3）。

(2) 取扱が簡単

誘引されたナガマドの捕獲については、当初は水盤を

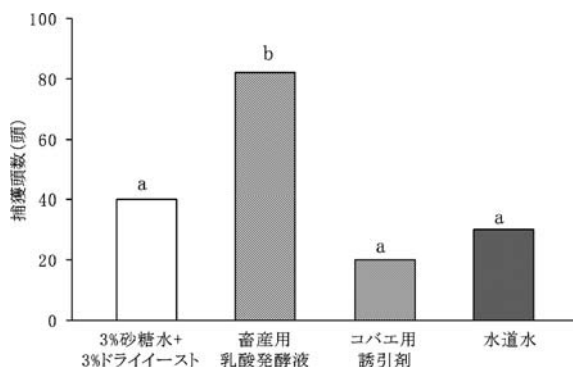


図-2 誘引剤別のナガマドキノコバエ捕獲頭数。異なるアルファベットは、有意差があることを示す。

考えていました。しかし、水盤は取扱いが不便なことから、捕獲には粘着シートを採用することにしました。ところが、これまでの栽培用に販売されている粘着シートの粘着力は弱く、ショウジョウバエ類やクロバネキノコバエ類は捕獲できても、ナガマドは捕獲できないことがわかりました。そこで、各種の粘着シートでナガマドの捕獲を試みたところ、主に畜産で使用されている「リボンハイトリ」（写真-6：カモ井加工紙株式会社製）の捕獲効果が高いことが判明しました。このことから、共同研究機関であるカモ井加工紙株式会社が、「リボンハイトリ」の粘着剤を改良したナガマド専用捕虫シートを作成しました。

また、誘引剤についても、液体よりも固体の方が扱いやすいことから、乳酸発酵液に寒天を加えて固形化しました。

(3) 捕虫器の仕様決定と商品化

以上の結果を参考に、吊り下げ型の試作器（写真-7）を作成し、実際の生産現場で捕虫効果を検証するとともに、商品化に向けての問題点を抽出しました。

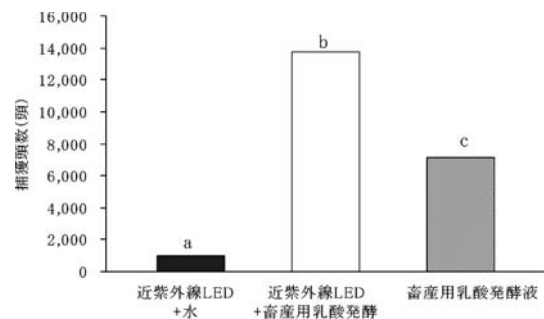


図-3 近紫外線 LED と畜産用乳酸発酵液の組み合わせによるナガマドキノコバエ捕獲頭数。異なるアルファベットは、有意差があることを示す。



写真-6 「リボンハイトリ」に捕獲された成虫

LED を利用したナガマドキノコバエ捕虫器の開発



写真-7 試作機

捕虫効果は、従来から使用されているペットボトルラップ[®] に比べて約 6.5 倍の成虫を捕獲できることがわかりました。問題点として、誘引剤にハエの仲間が産卵し増殖すること、粘着シートで LED の光が遮られること、据え置きでは使用できないこと、などが挙げられました。これらの問題点や生産者へのアンケート結果を参考に最終仕様（写真-8）を決定しました。この LED を利用した捕虫器は、“LED キャッチャー”の名称で、共同研究機関である、みのる産業株式会社より販売されています。生産者にとって“LED キャッチャー”の関心は高く、2011 年には約 5,700 台が販売されています。

4. おわりに

ナガマドキノコバエ捕虫器“LED キャッチャー”開発の経緯を紹介しました。本研究では、捕虫器の開発だけでなく、捕虫器の効果的な設置法や生態の解明などの研究もおこなっており、これらの成果をパンフレットにしてシイタケ生産者に配布しています。さらに現在は、“LED キャッチャー”を発生予察器として利用し、ナガマドの生息密度を抑える研究を進めています。すでにナガマドが異常発生している栽培舎では、“LED キャッチャー”だけではナガマドの生息密度を抑えることは、困難なことがわかっています。生息密度を効果的に抑えるためには、栽培の初期段階から“LED キャッチャー”を設置し、ナガマドの捕獲を確認し、菌床の水洗浄

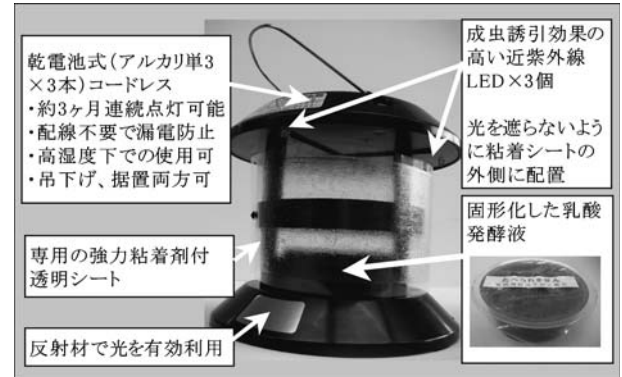


写真-8 商品化された“LED キャッチャー”

等で幼虫を洗い流すなどの作業を組み合わせるのが有効と考えられます。

引用文献

- 1) 農林水産省（1996）平成 6 年特用林産関係資料（<http://www.library.maff.go.jp/GAZO/3-0000131704.htm>, 2012.10.26 閲覧）。
- 2) 林野庁（2011）平成 22 年特用林産基礎資料（<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000012669228>, 2012.10.26 閲覧）。
- 3) 徳島県農林水産部林業戦略課（2012）みどりの要覧
- 4) 北島 博ら（2011）菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの環境保全型防除技術の開発. 森林防疫 60(1): 19-27.
- 5) 大谷義彦（2006）LED 光源の特長. (LED 照明ハンドブック. LED 照明推進協議会編, オーム社). 28-41.
- 6) 平間淳司（2005）光線利用（LED 光源）による物理的害虫防除装置の開発. 農業電化 58 : 2-8.
- 7) 田澤信二（2004）光による害虫の物理的防除方法について（1）. IWASAKI テクニカルレポート（http://www.iwasaki.co.jp/tech_rep/technical/15/2010.4.12 閲覧）。
- 8) 新田 剛（2004）菌床シイタケ栽培における害虫問題. 林業みやざき No. 483

土壌呼吸の発生源を探る

大橋 瑞江 (おおはし みずえ、兵庫県立大学環境人間学部)

はじめに

生態系の炭素循環において、土壌から発生する二酸化炭素 (CO₂) は土壌呼吸と呼ばれ、光合成の次に大きな炭素の流れである。土壌呼吸は、単位時間、単位面積あたりに地表面から発生するCO₂量 (mol m⁻² s⁻¹, g ha⁻² year⁻¹ など) として表され、一般に土壌表面にチャンバーと呼ばれる箱をかぶせて、箱の中の空気中のCO₂濃度の変化を赤外線ガス分析計で測定することで求める (図-1)。土壌呼吸は生態系全体の呼吸量の30-80%を占め¹⁾、そのわずかな増減が大気中のCO₂濃度に強い影響をもたらす可能性がある。さらに土壌には大気中の約2倍の炭素が未分解の有機物として蓄積しており、気候変動によってこれらの有機炭素の分解が進めば、土壌呼吸が増加し、大気中のCO₂濃度の増加が一気に加速する恐れがある。一方で森林の炭素循環を理解し、その炭素貯蔵能力を最大限に生かすことが出来れば、大気中のCO₂削減に貢献することが期待できる。森林における土壌呼吸の発生メカニズムとその変動要因を明らかにすることは、森林生態系の炭素貯蔵と放出プロセスを正しく理解するために不可欠である。

土壌呼吸は、土壌中に生息する微生物、根系、土壌動物等といった生き物が呼吸で排出したCO₂に起因している。土壌呼吸の変動は、土壌中の生物の種類、量、活性に大きく依存しているため、土壌中の各CO₂発生源について土壌呼吸との関わりを理解することは重要である。これまで、土壌呼吸の発生源を明らかにするために多くの方法が考案されてきた²⁾。しかしその多くは土壌呼吸を根系由来の呼吸と微生物由来の呼吸に大別する方法であり、土壌呼吸の複雑な発生メカニズムを理解するには到底足りない。土壌呼吸は、土壌中の多様な生物活動に起因し、それぞれの生物活動は土壌呼吸に対して異なる役割を持っている

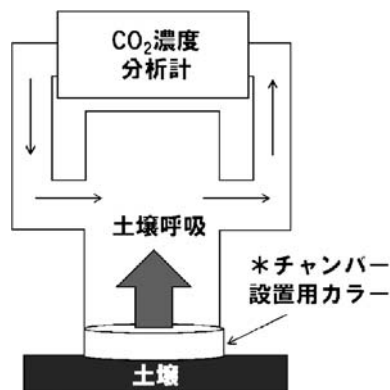


図-1 密閉型循環式土壌呼吸測定システムの模式図

可能性がある。そこで近年、土壌中のCO₂発生源をさらに細かく分類し、それぞれの発生源と土壌呼吸との関係を詳細に理解するための測定手法が開発されつつある。ここでは、その一例として、1) 根系の部位毎にCO₂放出量を分離する方法、2) 土壌動物群 (ここではアリ) 由来のCO₂を測定する方法、の二つについて紹介する。

様々な根から放出するCO₂量

土壌呼吸の約半分は植物の根系の呼吸に由来する²⁾。しかし、根系は機能や形態が多様に分かれており、例えば細根と呼ばれる細い根が専ら養水分の吸収を担っているのに対し、太い樹木根(粗根)は通水と樹体の支持を主な役割としている。また、陸上植物の大半は菌との共生体である菌根を持っており、養水分の吸収力や病気への抵抗性を向上させている。そして根の呼吸活性や土壌環境への反応性は、このような根の部位や機能によって変化すると考えられる。

そこで、根系の様々な部位について、土壌呼吸への寄与度をそれぞれ明らかにするため提案されたのが、ロングメッシュカラーを用いた土壌呼吸の測定である³⁾。この手法は、土壌呼吸チャンバーを設置する台であるカラー (図-1の*)の形状を変えることで、カラー内の生物群を、微生物のみ、微生物と菌根のみ、微生物と菌根と細根のみ、と言うように細かく変化させることができる。カラーは土壌中の細根の分布深度と同等の長さとし、根をカラーに通過させるための窓を作る。窓に様々なサイズのメッシュを張ることで、侵入する根のサイズを規定することが出来る。例えば細根は一般に直径2mm程度となっているため、2mm格子のメッシュを窓に張れば、カラー内へは菌根や細根の侵入は可能だが、それ以上太い根は侵入できない (図-2)。同様に5μmの格子を持つメッシュを用いれば、菌根の侵入は可能だが細根の侵入は除くことが出来る。このようにカラー内の根系の種類をコントロールし、それぞれのカラーから発生する土壌呼吸量を差し引きすることにより、各構成要素の寄与度を見積もることが出来る。ロングメッシュカラー法は、カラー内の土壌環境の変化など検討すべき課題は残るが、安価かつ簡便に土壌呼吸の構成要素を分離し、それぞれが土壌呼吸に与え

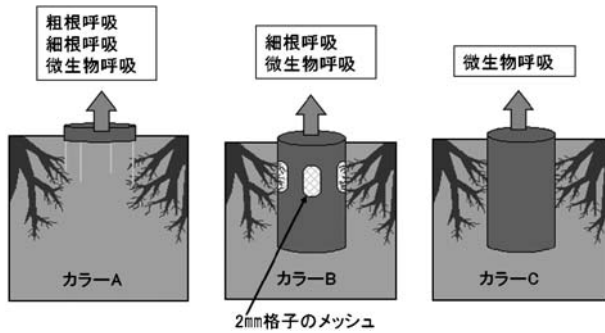


図-2 ロングメッシュカラーを用いた根系の分離。A、B、Cの各カラーからの土壌呼吸量を計測し、C-Bは細根由来の呼吸量、B-Aは粗根由来の呼吸量、というように根系の部位毎にCO₂放出量を求める。

るインパクトを長期的にモニタリングすることができる優れた手法だと言える。筆者らが同手法を50年生のヒノキ人工林に適用した結果、土壌呼吸に対する粗根と細根の寄与度は、2009年1月は78%、1%であったのに対し、8月にはそれぞれ37%、11%となった(森田ら、未発表)。

アリ塚から放出するCO₂量

土壌中に生息するミミズやムカデ、アリ等の土壌動物が生産するCO₂量は土壌微生物や植物の根に比べて少なく、土壌呼吸へのインパクトは小さいと考えられてきた。しかし、一部の土壌動物は生態系改変者(Ecosystem Engineer)と呼ばれ、呼吸源として土壌呼吸に直接関与するだけでなく、土壌環境を変えることで間接的にも土壌呼吸に影響を及ぼしている。例えばミミズやシロアリは土壌有機物を餌とすることで、これらの分解プロセスに関与し、アリは集団生活を営むことで土壌構造や土壌の養分状態を変化させる。

土壌動物は分類群としても機能群としても多種多様であるため、土壌呼吸の発生メカニズムとの関連を明らかにすることは方法的にきわめて困難である。しかし近年、土壌動物の中でも特に関与が大きいと考えられるアリ類に着目し、アリの巣からのCO₂放出量を測定する試みが行われている。中でもアリ塚を作るアリ種は、集団サイズが大きく土壌環境へのインパクトが大きいことに加え、容易に巣の位置を知ることが出来ることから測定対象としやすく、アリ塚からのCO₂放出量を測定するための手法が開発されている⁴⁾。この手法は、土壌呼吸の測定システムの中の呼吸チャンバー部分を改良して、専用のアリ塚チャンバーを用いる点に特徴がある。アリ塚チャンバーは、土壌呼吸チャンバーとは異なり、サイズをアリ塚の寸法に合わせることで、塚全体からのCO₂放出量を測定できるようになっている。また、アリ塚のサイズは高さ、直径共に1.5mを超

えるものもあるため、チャンバーの取り外しが容易となるように、木枠にビニールを張った軽量化が試みられている。さらに、チャンバーをかぶせることがアリの行動をかく乱しないように、素材を透明にするなどの工夫がなされている(写真-1)。著者らがフィンランドの北方林で、アカヤマアリ(*Formica* spp.)のアリ塚からのCO₂放出量をアリ塚チャンバーで測定した結果、アリ塚からのCO₂放出量は周辺土壌呼吸量の最大6倍に達した⁵⁾。



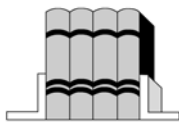
写真-1 アリ塚チャンバーによるアリの巣からのCO₂放出量の測定

終わりに

本来「呼吸」という言葉は、酵素を用いたある一連の代謝活動を指す。しかし土壌呼吸は、土壌から二酸化炭素が放出するという現象のみに着目した、その実態は様々な生物、物理、化学のプロセスが混在する複雑系である。土壌呼吸の発生メカニズムを解明するためには、これらの多様なプロセスについて、目に見えない土壌中で、目に見えない二酸化炭素を相手に調査や実験を重ねる必要があり、方法的困難が常に付きまとう。今後、新しい方法がどんどん開発され、土壌呼吸の全容解明に近づいていくことを期待したい。

引用文献

- 1) Luo Y, Zhou X (2000) Soil Respiration and the Environment. Elsevier. 316pp.
- 2) Hanson PJ, Edwards NT, Garten CT, Andrews JA (2000) Biogeochemistry. 48 : 115-146.
- 3) Heinemeyer A, Hartley IP, Evans SP, De la Fuente JAC, Ineson P (2007) Glob Change Biol 13 : 1786-1797.
- 4) Ohashi M, Finér L, Domisch T, Risch AC, Jurgensen MF (2005) Agr Forest Met 130 : 131-136.
- 5) Ohashi M, Finér L, Domisch T, Risch AC, Jurgensen MF, Niemelä P (2007) Soil Biol Biochem 39 : 1504-1511.



ブックス

**中国の森林・林業・木材産業
—現状と展望—**

森林総合研究所編、(株)日本林業調査会、2010年12月、480ページ、3,000円(税込)、ISBN 978-4-88965-204-8

中国の木材産業は、近年、急速に成長してきた。自国内での資源確保、国内需要向け木材製品生産に加え、木材輸入、木材製品輸出も積極的に行っている。世界の木材、木材製品貿易における中国の存在感は高まっており、日本にも影響を与えることが予想される。

森林総合研究所は、交付金プロジェクト研究「中国における木材市場と貿易の拡大が我が国の林業・木材産業に及ぼす影響の解明」(2008～2010年度)により、中国の木材産業に関する調査を行った。本書はその成果をまとめたものである。構成は、第Ⅰ部木材産業、第Ⅱ部国内関連政策、第Ⅲ部貿易という三部構成である。

第Ⅰ部は、中国の木材産業の動向として、中国の木材産業の概要、産地・品目別の動向や、日本の木材関連企業との取引事例について論じている。

ロシアから木材を輸入し日本などへの輸出を行う大連市の集成材工場やフローリング工場のロシアの関税引き上げへの対応過程や、木質ボードの主要産地である文安県における原木不足に対する木材加工企業の原木調達ネットワーク形成や造林による対応および、県主導で設立した「左各荘国際人造板(木質ボード)トレーディングセンター」の失敗要因などが取り上げられている。また、中国最大の家具産地である広東省を事例とし、輸出志向の家具産業の現状と課題を分析している。木質ボード産業や家具産業は、2000年代に中国国内で急速に発展し、世界有数の生産国かつ輸出国となっている分野である。

第Ⅱ部では、中国の森林・林業・木材産業関連施策について、導入の背景、内

容、社会への影響などについて論じている。長江・黄河流域での天然林伐採の基本的停止などを内容とする「天然林資源保護工程」や、土地所有権という形での土地の権利開放(「森林経営の民営化」)政策の展開と、それに伴う外資系製紙企業の参入事例の紹介がなされている。また、国有企業・国有林改革、木材産業とも関係のある建設関連政策や、違法伐採対策・森林認証制度に関する分析も行われている。

第Ⅲ部では、中国の木材産業や木材貿易の動向についての現状分析を踏まえて、世界林産物モデル(GFPM)を用いたシミュレーション分析による将来見通し予測を行っている。中国のGDP成長率が世界の林産物取引に与える影響などを考察している。

本書によって、中国の木材加工産地の実態や関連政策動向といった国内事情や、日本など貿易相手国との関係についても知ることができる。今後は、製品の主な輸出先であるアメリカやヨーロッパとの関係や、近年急速に生産量を拡大している紙・パルプ産業の動向にも着目することが必要であると考えられる。中国は今後、日本にとって有力な市場になる可能性があり、丸太、製材品等の輸出戦略を考える上でも、本書は参考になるだろう。

下田佳奈

(元京都大学 農学研究科)

回復の森：人・地域・森を回復させる森林保健活動

日本森林保健学会編・上原 巖監修、川辺書林、2012年4月、245ページ、1,680円(税込)、ISBN 978-4-90652-972-8

本書は、森林療法の中心メンバーである、上原さん、住友さん、瀧澤さんを核として、松沢さんや出水さんの医療側からの実践および、小田さんや山田さんの森の幼稚園における子供の森林活動の実践から構成されている。全体として基礎的な森林医学のエビデンスを構築するためのものではなく、現場での実践を通し

て森林療法の可能性や森林保健活動の意義や効果を問う内容になっている。

まず、東京農大の上原さんは、森林浴と森林療法の違いについて「森林の四季の移り変わり、ゆったりとした時間の流れや、豊かな森林環境の持つリラックスできる風景、音環境、温度・湿度環境、芳香、地形変化など、人間の手では作り出せない様々な作用がもたらされる・・・」こうした森林の持つ環境要素を活用して、「人々の病気の治療や健康増進のために、生活習慣病の予防や気分の改善、心身のリハビリテーションのために森林療法を行う」としている。森林環境要素については森林浴と同様であるから、森林療法の目的は、対象とする人がより医療サイドに向いていると言えよう。さらに、「地域の森に出かけて行って高齢者の方が過去を振り返ったり、子供たちが毎日森の中で遊び、学びながら成長したり、仕事に疲れたサラリーマンが心身の不調を静かな森の中で整えること・・・」を、森林保健活動として提唱している。もちろん森林の保健休養機能の概念が基本にあり、それを目的とする活動に近いが、こちらも森林療法同様に筆者の向けるまなざしは、より弱者にある。こうした活動がさらに社会性を高めるには、基礎的研究によるエビデンスの蓄積が求められているというのはその通りであり、地道なデータの蓄積と分析結果の公表が待たれる。

長野県北相木村診療所の松橋さんは、NPO法人北相木りんねの森を設立し、「託林(たくりん)」と名付け、潜在植生であるミズナラをドングリから育てて植林を行う活動を実践している。「託林」の参加者は、患者やその家族、さらには遺族の方々である。彼らの心の癒し、心理療法も兼ねて森を育てて行こうとする試みである。このほか森林内で行う「森林回想法」も紹介されている。

鹿児島県霧島桜ヶ丘病院の出水さんは、患者を対象として森林の保健活動を実践している。たとえば森林内での焚き火をすることによって、患者の落ち着いた表情がみられるとしている。また森林

保健活動を通して、認知症の患者さんたちの介護負担の軽減につながったり、入院生活において楽しみを見出したり、意欲が見られるようになったなど効果を実感している。

北海道苫小牧市の植苗病院の瀧澤さんは、病院の周囲に広がるミズナラの雑木林のフットパスを利用して患者が森林浴を行うことで、抑うつ状態が改善したり、薬物量が軽減したり、心因性の歩行障害が治ったりした事例を挙げている。こうしたうつ病の治療のための認知行動療法は、森林環境において効率よく進むのではないかと感じているとしている。また、イギリスの「マインド」という精神保健チャリティの組織において、「開けた田園の緑地、遠く離れた原生自然、身近な公園や広場…等の利用が、人をリラックスさせ活力を充電する。」といった啓発活動を行っていることを紹介している。

森のようちえん「ねっこぼっこ」の織田さん、「安曇の空の下 自然保育 季楽」の山田さんは、森の幼稚園を紹介し、デンマークで発祥した森の幼稚園がすでにデンマークに70か所、ドイツに220か所以上とヨーロッパで広まりつつあると述べている。日本でも森の幼稚園を実践していく中で、子供たちの創造力が育ち仲間同士で行動することで、社会性や危険予知、事故の回避などの能力も高まると述べている。

旭川医科大学の住友さんは、生活習慣病や足腰に自信の無くなってきている人を念頭に、森林ウォーキングをすすめている。森林ウォーキングに期待される効果を、ストレスの解消、高血圧の予防、中性脂肪を減らす、悪玉コレステロールを減らして善玉コレステロールを増やす、心肺機能の強化、糖尿病の予防、肥満防止、骨粗しょう症の予防などがあるとしている。

このように、本書は森林療法と森林保健活動を、全国のさまざまな医療機関等の実践事例から、その効果の可能性を幅広く紹介した良書である。

香川隆英
(森林総合研究所 環境計画研究室)

森林遺伝育種学

井出雄二・白石 進編、文永堂出版、2012年10月、296ページ、5,040円(税込)、ISBN 978-4-8300-4124-2 C3061

編者の井出・白石両氏をはじめとする森林総研(林木育種センターを含む)と大学の研究者、総勢16名による「森林遺伝育種学」の教科書が出版された。本書は、人工林を対象とした「林木育種を進めるための基本的情報の集積」と天然林を対象とした「森林の生態や樹木の進化などを解明する基礎学問」とは別個に進められてきたが、それらを「遺伝情報に基づいた森林管理」という視点で統一的に理解するとの意図で編集されている(井出氏の「まえがき」より)。

本書の章立ては、「第1章 森林の遺伝的管理」、「第2章 遺伝学の基本」、「第3章 天然林の遺伝的変異」、「第4章 林木育種」、「第5章 樹木のバイオテクノロジー」となっている。第1章で遺伝学や林木育種の歴史と課題の整理がなされ、現代世界の森林・林業における遺伝育種学の意義が示される。第2章は、遺伝学上の概念や数式が解説された教科書らしい部分である。そして、第3章では、天然林の遺伝的多様性や樹木の交配様式、さらに系統地理や種分化、雑種形成などの最新の知見が整理されており、大いに知的興味をそそられる。第4章は林木育種の理論と最新の動向、育種事業のこれまでの成果が紹介されている。第5章ではゲノム研究や組織培養の実際、さらに将来の展開が紹介される。

本文にはカラー写真やカラー図版が多用され、各章のコラムには興味深い話題が紹介されていて、拾い読みしても楽しい本である。遺伝育種の関係者だけでなく、森林に携わるすべての人に一読をお勧めする。

福田健二
(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

森林科学では、2012年に以下の書籍も受贈いたしました。

地球圏・生命圏の潜在力
—熱帯地域社会の生存基盤—
(講座 生存基盤論2)
柳澤雅之・河野泰之・甲山 治・神崎 護 編、京都大学学術出版、2012年3月、352ページ、定価3,990円(税込)、ISBN 978-4-8769-8203-5

樹木ガイドブック
上原敬二著、朝倉書店、2012年4月、504ページ、定価1,890円(税込)、ISBN 978-4-254-47048-2

歴史のなかの熱帯生存圏
—温帯パラダイムを超えて—
(講座 生存基盤論1)
杉原 薫・脇村孝平・藤田幸一・田辺明生編、京都大学学術出版、2012年5月、550ページ、定価4,410円(税込)、ISBN 978-4-8769-8202-8

絵でわかる樹木の知識
堀大才著、講談社、2012年6月、191ページ、定価2,310円(税込み)、ISBN 978-4-0615-4763-6

照葉樹ハンドブック
林将之著、文一出版、2012年10月、80ページ、定価1,260円(税込)、ISBN 978-4-8299-8108-5

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. 本号の記事に興味を持った記事、印象に残った記事 (複数回答可)
 特集 解説 森めぐり
 森の休憩室Ⅱ 現場の要請を受けての研究 森をはかる
 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)。
 プナ林の衰退—丹沢山地で起きていること— (67号) 津波と海岸林 (66号)
 樹木の根 (65号) 森を歩く (64号)
 森林の生物多様性 (63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：kabeta@ffpri.affrc.go.jp 編集主事 壁谷大介

小さな博物館で地域と共にブナ林を活用する —葉を集め、ケーキを作り、クマを考えてみた—

小林 誠 (こばやし まこと、十日町市立里山科学館 越後松之山「森の学校」キョロロ)

私は現在、雪国の里山のだ真ん中に建つ、小さな自然科学系博物館に勤めています。当館は地域資源の研究をベースとしながら、それを1) 教育・普及、2) 展示・情報発信、3) 体験・交流、4) 里山保全、5) 観光・産業活性などへ幅広く活用することで、今までにない「地域づくり」を目指している博物館です。現在、生態学分野の若手研究員が4名在籍し、専門分野を活かした活動を展開しています。

当地域は平均4m近い積雪に見舞われる豪雪地帯に位置します。本州中央部の日本海側ではブナ林の分布標高が下降し、新潟県では標高約200m付近からブナ林が現れます。そのため、ブナ林と人間の日常的な生活圏が重複し、ブナ林が里山の林として利用されてきました。「ブナ林は遠く山奥の森」という多くの日本人がもつイメージとは異なり、民家の裏山がすぐブナ林という景観が一般的で、当地域の人々にとってブナは「どこにもある、珍しくもない木」の一つです。一方、ブナは市の木にも指定され、また年間10万人が訪れる当地域の重要な観光資源でもあり、住民や観光客におけるブナに関する知的需要が高いという側面もあります。「どこにもある木」に「ここでしか味わえない魅力」という価値を創造し発信するため、地域と共にブナ林を活用した近年の取り組み事例を紹介したいと思います。

2010年秋にブナに関する企画展を開催し、よく知られたブナの形態変異である葉面積の地理的変異の様子を展示しました。雰囲気は掴むだけであれば東西南北数地点のサンプリングで問題ないかもしれませぬ。しかし、小規模館が抱える予算・人員規模・作業量の制約を様々な工夫によって克服し、分布域を網羅する

45都道府県48地点から、全国の協力者による網羅的サンプリングが実現し、恐らく日本全国探しても当館でしか見ることができないであろう展示物が完成しました。「どこにもある木」がもつ実に多様な姿に、地域内外の来館者から好評を得ました。またサンプルは、県内外の方にブナ林ガイドをする際のアイテムとして使用したり、書籍・リーフレットとして教材化したりと、地元ガイドや地域住民が使いやすい形での整備も行いました。また、数千枚にも及ぶサンプルは地点ごとに葉形質を測定し、地理的要因との解析を行うなど、教育普及・観光・体験交流・研究といった様々なシーンで活用することができました。

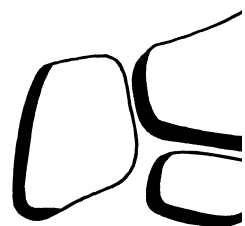
2011年秋はブナの大豊作年が訪れました。そんな機会に、第6次産業に携わる地域の方からブナの種子を使ったスイーツ開発の相談を受けました。加工・製造はゼロからの模索となりましたが、ブナの実を使った塩スイーツ、ケーキ・サレを作製し、市内での様々なイベントで出品し毎回完売するほどの好評を得ました。ご存知の通りブナの種子生産量には非常に顕著な豊凶があり、安定的な種子の確保は困難です。しかし、これを逆手に取り「〇年に一度の味」という付加価値をつけることで、地域資源の新たな活用の展望につなげられないかと考えています。手間は大変かかりますが…。

2012年秋はブナの大凶作年が訪れました。こういう年にニュースとなるのが、クマの出没との関係です。当館では7年前から周辺の森林にて、個体ベースでブナの開葉・開花モニタリングを続けており、調査からブナの開花率とツキノワグマの秋の出没数との間に負の相関があることがわかってきました。この成果を活用し、県内数団体と協力して新潟県では

初めての早期のクマ注意報を出没ピーク前の夏の段階で発信することが出来ました。

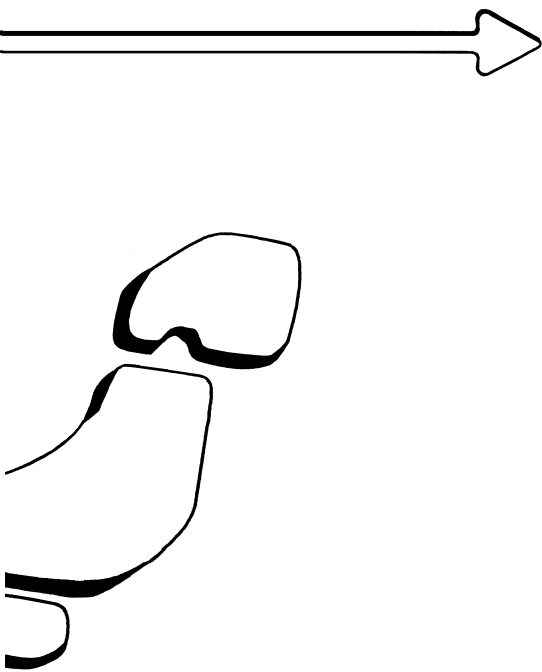
上記にとどまらず、市民協働調査・植樹・教育支援・体験イベントなど、博物館の様々な活動の中でブナ林を活用しています。また、それぞれの活動を様々な主体と「協働」するなかで展開し、地域に成果を還元していく仕組みづくりも進めています。地域資源を様々な形で調査研究する我々にとって、その成果が研究を行った地域のためになることは、論文

北から



山陰の風に吹かれるようになって5年が過ぎた。この間、勤め先の大学ではカリキュラムが3回も見直され、新任で来た私はただただ翻弄されるばかりで

として公表するのはまた違った喜びを感じはしないでしょうか？「その研究の成果は、どのように地域に還元できるのかい?」。昔、卒論でブナ林を研究し始めた頃、ある博物館の学芸員さんに言われた言葉だったと思います。当時、そんなことは微塵も考えず研究を始めましたが、今その言葉の意味・重さが身にしみています。どこにでもある木に、地域と共に新たな価値を創造し発信、還元する。そんな森林科学もどうでしょうか。



南から

日本森林学会支部だより

かった。極端な時には、自宅の玄関で「行ってきます」と発したのち、次に発する言葉は帰宅時の「ただいま」であった。3年くらい経つと学生が増えてきたので、「行ってきます」と「ただいま」の間に「山でこんな面白いことがあったよ」のような言葉が加わるようになったが、ずいぶんおとなしい学生が多くその状況は大きくは変わらなかった。

こんな中、楽しみにしていたのは、トリコロール（パン屋）のリュスティックをいただくこと、石松（居酒屋）で近海の魚をいただくこと（と言っても年に3回くらい）、ピック（喫茶店）でカツカレーをいただくことであった。大学周辺は、学生が多く住んでいる割には飲食店が少ないのだが、「この3軒があるからよしとするか」と私は割り切っていた。しかし、早々にトリコロールが閉まり、今年に入って石松とピックが閉まった。生活圏のお気に入りの店が消えるというのは、私にとっては手頃な気分転換の場を失うことであり、本当に辛かった。

ところが最近になって、別の気分転換の場が出てきた。構内での学生たちとのやりとりが面白くなってきたのである。研究室にはまだ分属していない2年生たち（講義があるので顔と名前は知っている）のことなのだが、非常に反応が良い。彼らは、こちらが投げれば、必ず投げ返してくるタイプである。しかも、たまに気持ちを乗せて返してくる。ここ5年間に経験しなかったやりとりが彼らとはできている。例えば、人手不足の話をすれば4、5人で実験を手伝いに来てくれたり、遠方に実習に行ったと言ってお土産をくれたり、誕生日の話題が出ると数日後にバースデーケーキを持って来てくれたり、自分で作ってみたいと言って和菓子やチーズケーキを振る舞ってくれたり、学生の方から飲み会に誘ってくれたり

…。もちろん、廊下ですれ違う時には二言三言のちょっとした会話を楽しむなど、日常の他愛のないやりとりが違和感なくできている。構内ですれ違う時のほんの数秒程度の会話など、取り立てて書くようなことではない気もするが、ここ5年このようなことが軽々とできる学生たちに出会わなかった。要するに、これまでこちらから投げてもなかなか返ってこなかったボールが、最近うまい具合に返ってくるようになり、キャッチボールとして成り立っている。大袈裟に思われるかもしれないが、私はこの状況が本当に嬉しく、大きく気持ちを揺さぶられている。おかげで、気分転換の場が身近に増え、職場へ向かう足取りも少し軽くなったような気がする。

今、私の研究室に所属している学生はわずか3人（いずれも院生）である。うち2人が3月で修了となるので、4月から学生は1人になってしまう。この1人はとてもよく仕事をする学生であるが、森林調査や環境モニタリングを継続するにはさすがに人手が足りない。ある意味、研究室の存亡の危機である。当然ながら、上に書いた2年生の中から一人でも多く、私の研究室を希望してくれる者がいてほしいと願っている。研究室への分属は、3年生後期からであるが、ここ2年間“希望者ゼロ”が続いている。「なんだかきつそうだから」というのが、希望しない大方の理由だそう。さて、今の2年生の目には私のことがどのように映っているのだろうか。これだけ違和感なく日常のやりとりができていて、希望者ゼロなら本当に辛い。お気に入りの店が無くなるどころの話ではない。彼らの分属は10か月も先の話であるが、なんだか今からそわそわしている。「一緒に山に行こうよ!」ということで、2年生諸君、どうぞよろしく。

2年生諸君、ありがとう、そしてよろしく

芳賀 弘和（はが ひろかず、鳥取大学農学部）

あった。初めの2年近くは、私の研究室には学生がおらず、また同じ階にいる教員は私を含めて3人という状況であり、とにかく1日のうちに発する言葉が少な

森林科学 68

予告

特集

ヨーロッパ林業の最前線 一組織・制度に
焦点をあてて一 (仮)

森めぐり

シンガポール・ブキティマ自然保護区 (仮)

全国大学演習林協議会 公開森林実習 (仮)

森林科学 68 は 2013 年 6 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、双方情報交換を実践したいと考えております。手紙、fax、e-mail で編集主事までお寄せ下さい。
- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、創刊号からの目次がご覧いただけます。また、バックナンバー（完売の号あり）の購入申し込みもできます。
- ・56号以降については、森林学会会員の方は別途お送りするパスワードでオンライン版をご利用になれます。パスワードに関するお問い合わせは編集主事へどうぞ。

森林科学編集委員会

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

(*は主事兼務)

編集後記

ずいぶん寒さが厳しくなってきましたが、皆様いかがお過ごしでしょうか。今号の特集ではブナ林の衰退現象を取り上げました。全国各地で古くからマツ枯れやナラ枯れに代表される森林の衰退現象が報告されています。マツ枯れのように比較的原因のはっきりしている衰退もあれば、原因がよくわからない衰退もあります。今回取り上げた丹沢山地でのブナやモミ林の衰退は日本でもかなり古くから多方面に渡る研究がされてきたため、他の地域の森林衰退にも応用できる成果がいろいろ含まれていると思います。しかし、この特集でもまとめられているように、森林衰退の要因は多くの場合一つでは語れず、大気汚染、シカや昆虫による食害、樹病など様々な要因が複雑に絡み合っています。特に、近年は中国など東アジア地域からの越境大気汚染物質が、光化学スモッグの増加や九州地方でのコメの生産に負の影響を及ぼしていると言う報告が聞かれます。丹沢地域でもこれら越境大気汚染物質がオゾン濃度を高め、ブナに負の影響を与えているようです。このように、森林衰退現象を解明するためには国を超えた幅広い視野も必要

になります。また越境大気汚染のように要因が海外にある場合、すぐに有効な対策を打ち出すのは難しいと考えられます。

さらに気がかりなのは、地球規模で進む温暖化など気候変動が森林に与える影響です。この影響評価については世界中で研究がすすめられ、実際この10年ほどで世界各地の熱帯林で樹木の成長が低下していると言うデータが出されています。しかし、まだ分からないことがあまりにも多すぎ、正確な森林への影響予測は現時点では不可能です。今後、気候変動が森林衰退を加速するのかどうか研究が待たれます。

さて、次号では「ヨーロッパ林業の最前線」という仮題で徐々に林業についての特集を組む予定です。ご期待ください。また、読者の皆さまから今後組んで欲しい特集のネタについても随時募集しておりますので、編集委員までご連絡いただければと思います。

(編集委員 田中 憲蔵)



7年先の確かな未来を

確かな効果

豊富なデータが裏付ける確かな効果で

皆様の信頼に応えてきた

グリーンガード・NEOは

7年間の薬効期間という

新たな時代の夜明けを

迎えました。



松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

Greenguard® NEO

農林水産省登録：第22028号

グリーンガードホームページ

www.greenguard.jp/

7年先の確かな未来を



「ぽんっ」と叩いて即座に診断。
 — 打撃音樹内腐朽簡易診断装置 —

ぽん太



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

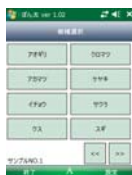
樹種を選び、周長を計測・入力、あとは「ぽんっ」と5回叩けばOK。

① 機種の種類

測定する樹種を選択します。樹種ごとに値が異なりますので、正しい樹種を選んで下さい。
※下記の14樹種に対応しております。(H23.10現在)

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

今後、随時樹種を追加します。追加した場合は、無料でアップデートいたします。



② 直径の入力

メジャーで直径を測ります。



測った直径を入力します。数値の入力は指でできます。

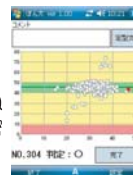
③ 打診音の計測

胸高の位置を、専用のハンマーでリズムカルに手首を使って5回打撃します。



④ 判定結果

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



片手で持てるコンパクトさ。
 優れたコストパフォーマンス。



ぽん太

価 格：189,000円
 重 量：306.5g
 外形寸法：
 縦 144.2mm
 横 82.2mm
 重量 306.5g

専用打診ハンマー

価 格：1,680円



最適な打撃音を出します。



データ分析・帳票用印刷プログラム
 (Windows用)
 価 格：48,300円

開発・製造・販売

詳しくはコチラ...



株式会社ワールド測量設計

〒699-0631

島根県出雲市斐川町直江4606-1

TEL: 0853-72-0390 URL: <http://www.world-ss.co.jp/>

TEL: 0853-72-9130 メール: ponta@world-ss.co.jp

ワールド測量設計

検索

街路樹、公園樹等の正確、迅速な腐朽診断を実現！