

ISSN 0289-5285

林業と薬剤

No. 244 6. 2023

一般社団法人 林業薬剤協会



目 次

樹木中心の

植物分類雑記 VIII	小山 鐵夫	1
木部の特性から樹種の生き方を理解する	館野 正樹	7
長野県における獣害防除のとりくみ	小山 泰弘	13
今さら聞けない生物学入門		
3. 生体のエネルギーと運動	福山 研二	19

● 表紙の写真 ●

スギを剥いで形成層を食べるクマ

61年生のスギ人工林に設置したセンサーカメラに、幹を足掛かりに立ち上がったクマが、牙を使って皮を剥ぎ、門歯で形成層を削って採食する姿が撮影された。なお、幹に取りついてから剥ぎ終わるまでの時間は、わずか6秒だった。

2021年7月4日 19時14分 長野県下水内郡栄村堺屋敷で撮影
—カメラ設置者 長野県林業総合センター育林部 柳澤賢一氏—

樹木中心の 植物分類雑記 VIII

— 小山 鐵夫*

植物に関心をお持ちの方々は「フロラ」と言う言葉に接して居られる筈で有る。フロラ (flora) とは、日本は云うに及ばず、英語圏でも、ラテン語系の外来語である。元はローマ時代の花の神の意味だったとされて居る。日本語では普通は「植物誌」、時に「植物相」と訳して居る。植物誌とは、或る特定した地域に生じて居る全部の植物を同定して、科属等に整理した物で、植物名と形態的な記載が中心、それに適宜記載図や同定用の検索表等を加える。最も簡単な物では植物のリストだけでもフロラの範疇に入る。日本国全体に生えている植物を網羅した「日本植物誌」(Flora of Japan) やより大きな地域を cover する「新熱帯植物誌, Flora Neotropica」から、小さな地域に限った例へば「高知県植物誌」とか「伊豆大島植物目録」も有る。後者二つの例を「地方植物誌」と呼んでいて、小植物誌のカテゴリーに分けられ、小植物誌類 (florula) とも呼ばれる。此の連載では、主として、樹木中心に植物の同定法や名前の付け方について述べて来たが、それは、名前未知の植物をその可視的形態や組織学的形質を吟味しながら、日本植物誌の如き完璧で詳細に亘る文献に照らしながら同定すると云う、言はば正當的 (orthodox) な方法であった。もし同定したい植物が何処で採集されたか (地理的な地点) が分かって居たら、そんな面倒な事をしないで、地方 (とかより限定された小地域の) 小植物誌を使い、既に知られている種の何れに似ているか、を考えれば、同定に対応する植物の数は大幅に減って、簡単に同定出来る簡便法、言はば異端的 (heretic)

な方法、で時間と労力が大幅にセーブ出来る。

処で、世界中 (world flora) に何種くらいの種子植物が有るのかに就いて、正確な数は未だ調査不十分で不明だが、欧米の学者達は少なくとも 20~30万種と考へて居る。その中で、日本のフロラは大井次三郎先生の新日本植物誌 (平成 4 年, 1992) に拠れば 170 科 3694 種に纏められて居る。但しこの中には、現在未だ調査中の沖縄県産の種が入ってないので、沖縄県の固有種と沖縄から南の熱帯アジアに分布する植物を加へると 4500~5000 種位に成ると思はれる。因みに新分類牧野日本植物図鑑には 4503 種の日本の野生種と栽培種の図と記載文が載って居る。

次に上記の「植物相」と云うと、植物誌と云うより、或る地域や場所などに集まって生えて居る植物の集落の在り様、つまり、植物群落のイメージが強い。私が埼玉の浦和高俊一年生の時から、同校生物部活動で、浦和市 (現在のさいたま市浦和区) から西へ約一里の所の荒川縁が広がった田島ヶ原と言ふ稀有の興味深く優秀な植物採集場所が有り、私は田島ヶ原小植物誌を纏めようとして居た。水流の東側の河原には陽の良く射す草場が広がり、春は一面に桜草の群落と成り、多数のピンクの花に混じって比較的稀種部類のアマナとヒロハアマナの白い花や普通種のノウルシの黄花が彼方此方に混ざり、初夏を過ぎるとオオクサキビ、所々にヌマトラノオ、ギシギシ、ミソハギ、タコノアシ、更にスイバ、灌木のイヌコリヤナギが散在突出して来て、稀にトダスゲの様な珍種も有った。後に、荒川の河原の植物をお調べの方の標本からこれ等と大同小異の組み合わせの植物群落を上流の桶川の西や鴻ノ巢の西、更に吹上の南

* 日本国連代表部代表顧問：ハワイ桜親善協会理事長、
高知県立牧野植物園名誉園長 KOYAMA Tetsuo



写真-1 田島ヶ原のサクラサウ集落

西の荒川の河原にも発達して居た事が分かった。群落の構成植物が同じなので、サクラソウ-アマナ群落とも呼びたかった。田島ヶ原の水流の西側の河原の植物集落は東側とは全く異なり、ハンノキの疎林にメダケの竹やぶを交へ、やや隠地になった地面にはサクラソウやアマナは無く、スゲ類にもトダスゲの様な陽性種は無く、カハラスゲ、シラスゲ、ヤハラスゲ、ササガヤ（イネ科）の様な陰性に寄った種が多かった。他に湿地の植物が面白い所は点々と散っていて、私が尋ねた所はそれらのほんの一部であるが、サロベツ原野（北海道）、八幡平（岩手）、有名な尾瀬が原、作出湿原（愛知）、新所原（静岡）、茂原-上総-宮間の大湿地、等々で植物種の集落は皆大いに異なる。サクラソウやアマナが、ヨシ等のイネ科、星草（ホシクサ）科、ガマ等にとって代はり、尾瀬や愛知の作出湿原からは、ホシクサ科の新種も見つかった。

こんな事を書いた理由は、例え日本内地に3694

種の植物が生えて居ても、それ等全部が何処にでも一緒に生えて居るのでは無く、各地に拡散して居て、特に場所が替われば品変はる、で有ることを申し上げ、以下植物標本の採集地も地理的な名前だけでなく、湿地、砂地、林下、崖等生態的な記述も必要で有る事を言ひたかったからで有る。以下に日本の植物を採集同定するに役立つような、分布事項を簡単に纏めて見よう。

種子植物の分布の観察方法に、「垂直（縦）分布」と「水平（横）分布」と云う大きな二つの観点が有る。前者は地球の緯度による植物分布帯の違い、熱帯植物相と温帯や極地の植物相、即ち、高い山の麗の林の植物相と山頂に近い森林限界、頂上の高山植物のお花畑との植物集落の大い違い、後者は地球全体とか同じ高度の広い平野部等で、同じ種がどう分布して居るかを考える手法で有る。まずは垂直分布から始める。富山県の立山の様な海岸レベルから余り遠く無い高山の頂きの高山お花畑迄周りの植物集落の種構成に注意しながら登る時、縦分布がよく分る。日本を離れて30年余りの私は細かい植物名は忘れつつあるものの、麓の近くの海岸砂地にはハマヒルガオが普通で、イネ科のハマニンニク、岩が出ている所には灌木のハマヒサカキ等を見かけた様に思う。それから黒松林に入るが小型の灌木や確かサルトリイバラも見た様な気がする。そして、常緑落葉混交林から登り坂になる。その上にカバノキ科、オオヤマザクラ他の落葉樹林が有り、その上は喬木は減り灌木と草本が多くなり、樹木限界（正しくは高木限界）を pass, お花畑で種子植物主体の植生は終はる。北岳の場合は、登山口は海岸から金谷を経て、かなり遠い千頭、その間に植物帯では常緑広葉樹林帯とそれに匹敵すると思う茶畑がある。登り口から5~1,000メートル上辺りから落葉広葉樹林が多くなり、林床に小型常緑低木を散見する事が多い。この辺迄が植物の分布の立場から見た温帯であろう。此の上では、双子葉裸子植物の混交林、此処は冷帯（温帯上部）で、森林限



写真-2 樹木限界に在る木。左はアメリカンタウヒ，右は日本のハヒマツ。

界は日本の場合、ハイマツの様に、幹が這う丈低い裸子類で有るが、米国 Rocky 5,000メートルの森林限界では痩せた木は立って居り、枝は強風の方向に一方に向いていた（写真-2）。又、米国の New England やカナダの Quebec 州の東北部で海岸に北温帯のモミ、カシ帯混交林が発達し、林床のコケモモも面白い。Canada や米国の植物相の寒帯（極帯）はこの上にあつて地衣や水苔類の間に、高山性のキク科、イネ科、タデ科、スゲ属が多い。

色々な山岳の植物 list (local mountain flora) を作られる方々も多いが、普通その山の植物を科属の分類順に並べて居られるが、代はりにその山や地域の植物を標高順に並べると面白い flora が出来ると思う。

私は30年に亘る NY 在勤中、欧州の München (独) やヘルシンキ/コペンハーゲン (北欧) から中央アフリカの砂漠地帯へ往復したり、米国南部のフロリダからアパラチア山脈、プレーリー草原、ロッキー山地 (主としてコロラド)、NY (五大湖地方からカエデ林地帯) を通つてカナダの針葉樹林帯迄植物相を観る為 drive した事も数回あるが、その温帯の植物相は日本のそれ等と南北

の並び方には余り変りは無かつた (Details については上記朝日新聞社、世界の植物百科11巻 (1978) 参照)。

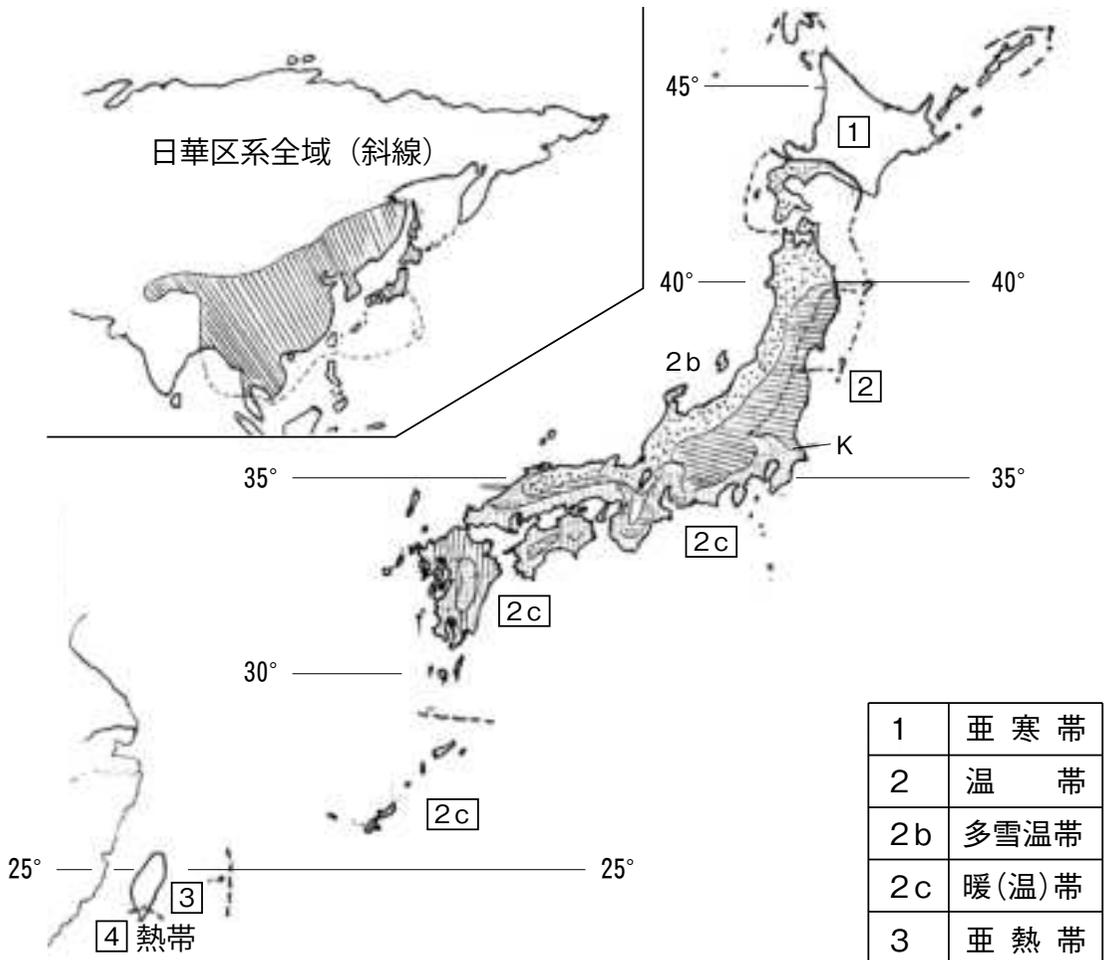
上記の様に日本の植物の水平分布帯には、明らかな寒帯 (北極帯) と真の熱帯は無い (地図-1)。北海道は大部分亜寒帯で道南は冷温帯の北端のフロラが少し入る。本州は全部多様な温帯但し、四国と九州の低地には暖温帯植物が少くない。薩南諸島と琉球諸島は暖帯南部で、先島諸島 (石垣島、西表島とそれ等の属島) は台湾へ続く亜熱帯と考へる。本当の東南アジア熱帯フロラは台湾の恒春半島の低地から始まり、南へ続くと云うのが私の見方である。

日本の植物フロラ的な温帯は植物の種数が非常に多いのみならず、植物自体に内在する環境/気候適応性により、本州北温帯種は少なからず道南に流れ込み、九州、四国、紀伊半島を中心とする真の暖帯フロラは多く東海、関東の低地へ流れ込み、日本の温帯/暖帯フロラは欧州や北米のそれ等より遙かに境界が不分明で扱い方が難しい。従つて日本では常緑広葉樹帯/ブナ帯を暖帯、落葉広葉樹林帯/カシ帯を温帯プロパーとは表現し難い。ブナ目/ブナ科には広葉常緑樹、広葉落葉

樹の双方が混り、カシ類にも同様に落葉広葉樹の中に常緑広葉樹が存在する。尾状花序を作るか否かで目や科を分類すると、地理分布（尾状雄花序の有る群が、それを持たない群より先に分化したと考へる仮説）と concordant では無い。欧州で硬葉（常緑）広葉（夏緑）樹帯（温帯 proper）と北温帯の針葉樹帯が分明なのは丈の高い Alps が植物分布の二帯を分けて東西に横走し、北米では東海岸のアパラチア山脈が南北に長く縦走し、西側ではロッキー山脈が同じく南北に走り、二山脈の間にやや凹んだ大型の草原（乾燥地）を作っているからかも知れない。日本列島はもろに海洋

にさらされて居る。

次に通常の植物の「水平分布」と云う分布の観方。若し上記の植物の垂直分布の生育場所を平地、丘陵地、高い山地等の高度に依るか地球の緯度に当て嵌めて寒帯、温帯、亜熱帯等の植物の分布帯（distributional zones）を設ける群落生態的観察研究方法と位置づけるなら、「水平分布」と云う調査研究法は地理的な方法で有る。この連載Ⅲで既に御紹介した様に、或る地域、地点に生えて居るか、標本と云う data が有る目的植物の生育場所（habitats）を普通丸印で地図上に落とし、普通その地図上の dots を歪曲した円形の線



地図-1 日本の植物分布帯の略図。K. 筆者の見方の照葉樹林帯が終り、丘陵～内陸に見た温帯 proper の植生が海岸線から始まる所。他の記号に就ては本文参照。

で囲み、その植物の分布域 (area [of distribution]) と呼ぶ。取り上げて居る植物が一種なら、種の分布域、ある属に属する全種類の areas を一纏めにすれば、属の分布図、更に一つの科の全属の areas を一纏めにすればその科全体の area を示し、系統分類研究では大事な data の一つになる。

もし、分布域の大きさで種や科を規定するなら、全世界に限らず分布する (cosmopolitan) 樹木は無く、草本なら、スズメノカタビラ、ヒメムカシヨモギ、シロツメクサ、コウキクサ (水生植物には世界種が多い)、ヒメスイバ等。日本の南極探検隊が南極で最初に見つけた種子植物もこの初めの 2 種だった。北半球全体に亘って分布するツタウルシ、オホバコ、ドクウツギ、ブナ属、ヒノキ属、カエデ科等を広分布植物群 (wide taxa, widely distributed genera, /families), 北極を中心に両半球とアジア中北部の高山帯に散在する N. Polar wide species (リンネソウ、コケモモ、ツルコケモモ、チョウノスケソウ等も極を囲む広分布種、世界的に areas が小さい群を狭い (narrow) 分布群とか偏在種 (ubiquitous species), 日本のみに有る群を日本の固有科、属種 (Japanese endemic families, genera, species, & c) 等と云う。

植物の分布形を支配する要因は数多で有るが、その主な点を挙げると自然的な、気温、降雨量、土質、地形 (産地の地面の形状)、海流は mandatory 要素で有り、加えて、人工的要素。此れには商工業関係で持ち込まれた種子等の他に、海外旅行から帰国した人々が持ちこむ種子も有り、所謂帰化植物類がそれであり、加えて、農業用、鑑賞用に導入した種類も多数ある (導入植物類)。鳥類、昆虫類、その他の動物を介して日本へ持ち込まれ、ほぼ永久に日本のフロラの一部となった帰化導入外国植物類は、私は自然人工半々の日本 flora への加入要因と考えて居る。

さて、この辺で、上で冗長に述べて来た日本の

フロラに関するコメントを纏めて見よう。旧日本のフロラの種子植物の総種数は3694種 (大井先生の新日本植物誌による)、それに現在尚調査中の琉球フロラ (初島先生の琉球フロラと米国の E. H. Walker 博士と小生他少数人の共同作業に依る Flora of Okinawa and southern Ryukyus) からの新日本フロラへの増種数を勘案しても4500~5000種と推定され、その内樹木はたったの899種だった。従って、草本を含まずに日本の植物帯論等到底論じられないが、代表的な樹木種は、その形態が気候帯を良く象徴するので、気候帯に呼応した植物帯の分け方をするのに好都合である。以下に現在私が考慮中の新日本の植物帯を示す。

0. 寒帯 (極帯): アラスカやシベリアの様な寒帯草原で、背の低い草本と形態が草本化した (幹が細く、地上を這う形の (例としてコケモモ) 低木類がコケ類や地衣類の間に見える。この地帯は日本の平地には無く、本州中部、東北と北海道の高山帯をそれに充等する。

1. 亜寒帯 / モミ帯: 北海道の大部分。耐寒性に富む針葉樹主体の森林。道南には本州青森県から北へ分布が伸びた温帯要素の種が有り、針葉樹と広葉落葉樹の混交林を作る。

2. 温帯: 落葉広葉樹林帯。カシ帯 / ナラ帯の落葉樹で対応。落葉広葉樹の葉は比較的薄く、柵状組織は1~2層のみ。(例、ハンノキ属、カエデ科。)

2 b. 温帯の日本海側には「温帯多雪亜帯が生じ、ヤブツバキ、ナニハズ、カラスシキミ、オホバクロモジ、ハイイヌツゲ、オクチョウジサクラ、マルバマンサク他、多雪地帯で分化した種、亜種が多い。

3. 暖帯 / ブナ帯: 常緑広葉樹林帯。ブナ科の常緑樹種で対応する。中尾佐助先生の言はれる「照葉樹林文化帯」がこれに当たる。常緑樹の葉は比較的厚めで、その柵状組織は2~3層以上故に表面やや光沢が有り、照葉樹と云う。好例、ツバキ、サザンカ、茶の木。こう云う本来南方起源の種が、

ナツツバキの様な、北方起源の落葉樹と共生して居る日本本土の林は生態的に興味深い。インド、マレシア (Malesia) 系のヒメツバキは沖縄を北限とする。

4. **亜熱帯**：九州の低地から南、琉球列島にかけての暖地林植物帯である。種によって四国南部の低地帯まで伸びる。暖温帯中心の針葉樹。琉球の固有種のリウキュウマツとか台湾の固有のタイワンスギ (Taiwania) 属の存在は世界的に観て興味深い。生態条件が上手く呼応すれば mangrove が発達する。日本では、石垣島、西表島とその属島、南西諸島の植物帯がこれに相当。加えて中国南部、タイ北部、ベトナムの林もこの植物帯に属する。殆ど定期的に交互する乾期と雨期が有り、乾季に落葉が見られる。

5. **熱帯**：本当の植物生態学的な熱帯は日本には存在しない。私の定義の熱帯は、台湾南部の恒春半島の低地から南、フィリピン、マレシアに続く。私はスリランカとブラジル駐在中に良く見たが、葉が大型で濃い緑の常緑樹中心 (チークの木、パンノ木、コクタン、シタン、ゴムの木他) の、年中緑か、やや不定期に訪れる雨期に落葉する常緑樹の密林が出来る。近海地ではヤシ類やサガリバ

ナが熱帯を象徴する。

初めに述べた様にヨーロッパや北米東岸では上記のような植物帯の遷移が比較的に明瞭であるが北米西岸や日本中心の東アジアでは多くの種が分布域を隣接の南北の分布域に伸ばす為、分布域の遷移が不透明である。世界の各地域、地点は其処の気候、地質と地形に適したフロラを持って居ることは上に述べた。植物地理学では、これらフロラの類似性と差異 (構成植物の類似性に依る) に基づき、地球上を約38の区域に分け、その区域を**植物区系**と呼ぶが、日本は日華区系の東端に位置して居り (地図-1)、植物に適した気候なので構成種数が多いので有名である。中国や琉球フロラ研究中の現在のデータでは、日本の樹木899種の内、朝鮮半島にも分布が伸びて居る種は223種、中国本部にも有る種は185種で、草本を含めればこの種類は大幅に増へるであろう。最近の東域のヒマラヤ探検と京大のアフガニスタン調査でヒマラヤ西部迄も日本と同じ植物が属種レベルで相当数分布して居る事が解った。

以上を以って私 (系統分類専門家) の日本フロラに対する comments を終はらせて頂く。

木部の特性から樹種の生き方を理解する

— 館野 正樹*

はじめに

木材の性質については材料力学的視点から多くの研究が行われてきた。その結果、古くから多くの樹種の特性がリスト化されている（例えば、世界の有用樹種300種, 1975）しかし、これらの研究は乾燥させた木材、特に気乾材を用いて行われてきており、湿潤材である生きた木を扱った研究は実は少ない。

生きた木を使って世界中で行われた研究は、樹木の形態形成の規範は力学的安定性であることを明らかにした。私たちの研究室でも、断続的ではあるが、樹木の形態を材料力学的視点から解析してきた（引用文献参照）。数年前に多雪地の樹木に発生する冬季の歪みを測定したところ、生きている樹木の材料力学的な特性は乾燥させた木材とはかなり異なっていることが明らかになった。生きている木はこれまで考えられていた以上に歪んでも元の状態に戻れたのである。種によっては、いくら曲げても折ることができないほど「しなやか」な木部を持っていた。

そこで、生きている木を使って再度木材の材料力学的特性を測定し、それぞれの種に特徴的な生き方を明らかにすることを試みた。ここではその結果の一部を紹介したい。

湿潤材における非対称歪みの発見とそれを可能にする木部の構造

ここで紹介する性質は、曲げに関した歪み、強度、ヤング率、材密度などである。曲げ試験は三等分点四点荷重法（構造用木材の強度試験マニユ

アル, 2011）を用いて行った。歪みなどの計測は（株）東京測器研究所製の歪みゲージ、荷重計、変位計などの機器を用いて行った。使用した種は日光植物園に植栽されている15種の針葉樹と25種の広葉樹であり、さらに、ヤダケを用いてタケの特徴も測定している。計測機器の都合により、直径3 cm程度の枝をそのまま用いて測定を行っている。また、生きている湿潤材と比較するために80℃で乾燥させた全乾材も測定に供した。通常、木材は気乾材を使ってその物性を測定するが、気乾材はある程度の水分を含んでいるため、生きている湿潤材との比較には適した材料とは言えない。そのため、ここではオープンで乾燥させた全乾材を使用することにした。

荷重をかけていったときに見られるたわみと歪みの例を図1に示している。ここでは引張歪みを+で、圧縮歪みを-で表している。また、歪みは直感的に理解しやすい%で表している。全乾材は一般の工業材料と同じ挙動を示している。すなわち、荷重をかけたときのたわみと歪みは比例し、また引張歪みと圧縮歪みの絶対値はほぼ等しい。他方、湿潤材の歪み方は特殊である。荷重をかけてたわませていった場合、引張歪よりも圧縮歪みがかなり大きく、圧縮歪みが大きくなると歪みゲージが歪みに追従できず測定ができなくなった。これは歪みゲージが剥がれてしまうことが原因であった。そのため、試料が破壊されるときの圧縮歪みはそのときの引張歪みと曲率から計算によって求めることにした。

では、どのような仕組みで圧縮歪みが引張歪みよりも大きくなるのだろうか。ヒノキ角材を水に浸漬し、それを曲げていったときに見られる形状が図2である。圧縮側に襞がよっていることが分

*東京大学大学院理学系研究科 日光植物園

TATENNO Masaki

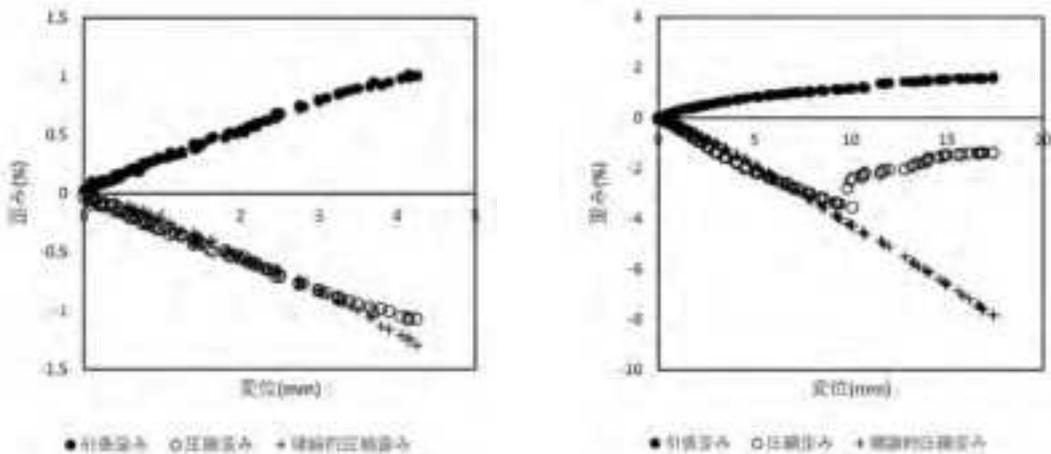


図1 たわみ（変位）と歪みとの関係。左：全乾材での測定例，右：湿潤材での測定例。樹種はヒノキであり，荷重をかけてたわみを大きくしていったときの歪みをプロットしている。引張側は+，圧縮側は-で表示している。全乾材では引張歪みと圧縮歪みの絶対値はほぼ等しい。他方，湿潤材では圧縮歪みの絶対値が引張歪みよりも大きい。歪みゲージはたわみが大きくなると追従しなくなるが，これはゲージが剥離してしまうためである。そこで，たわみと引張歪みから計算によって圧縮歪みを求めることにした。

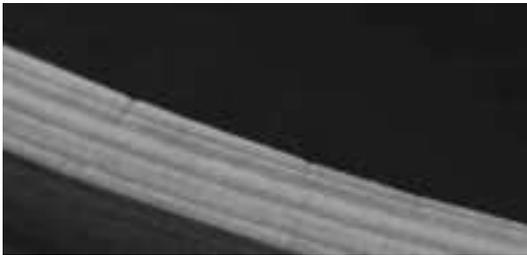


図2 ヒノキ角材を浸漬して曲げたときに観察される小さな皺。圧縮側に皺が生じていることが分かる。

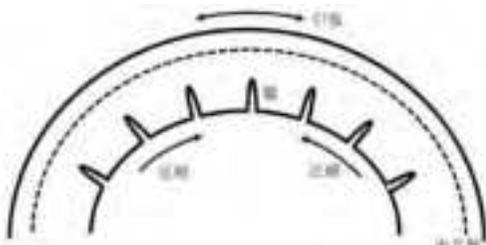


図3 湿潤材を曲げたときの模式図。内側には小さな皺が生じている。このような状態では引張も圧縮もない中心軸は外側にずれていく。また，繊維の折りたたみでは応力がほとんど発生しないため，それも曲げたときにしなやかさを感じさせる要因となっているようだ。

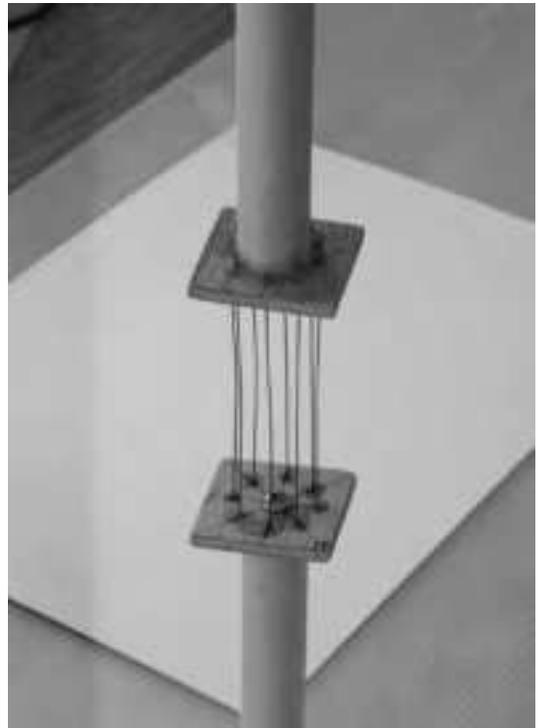


図4 湿潤材をピアノ線で再現したモデル。これを曲げると内側だけが大きくたわみ，外側はほとんど変化しないことが分かる。動画は https://drive.google.com/drive/folders/12tyMBy_CxxC57RrA5fqiQDC81Q7Uv6IX?usp=sharing にある。

かる。襷の存在はCT画像でも確認できている。このような襷は生きた木を曲げた場合でも見ることができる。これを模式的に表したのが図3である。木部繊維は糸のようなものであり、引張には強いが、圧縮すると容易に折り畳まれてしまう。これが生木の中で起きていると考えることができる。この襷が生じるため、圧縮側で歪みゲージが剥がれてしまっていたのである。

全乾材ではこのような挙動は見られない。それは乾燥すると木部繊維の隙間から水分がなくなり、繊維同士が水素結合によって強固に結びついてしまうから、と考えられる。生木の場合は繊維の間に水が存在するため、一本一本の繊維がある程度独立して動くことができる。それによって襷を作ることが可能となり、大きな圧縮歪みを実現できるのだろう。こうした挙動はバネやピアノ線を使ったモデルでも再現できる(図4、動画)。

湿潤材におけるヤング率と破壊に必要な歪みとの関係

生きた湿潤材の場合、ヤング率と破壊されるときの歪みとの関係はどのようになっているのだろうか。ここでは、その歪みを引張歪みの絶対値と圧縮歪みの絶対値の和とした。

破壊される時の歪みは樹種によって大きく異なる(図5)。材密度が小さく、ヤング率も小さい傾向を持つ針葉樹は、大きな歪みが生じるまで破壊されることはない。他方、材密度が大きく、ヤング率も大きい傾向にある広葉樹は、歪みが針葉樹ほど大きくなる前に破壊されることが多い。針葉樹の材密度が小さいということは繊維間の隙間が大きく、ここに水分が多く存在するため、繊維が隣接する繊維との相互作用なしに畳まれ得ることなのかもしれない。

針葉樹の中でも最も大きな歪みを可能にしてい

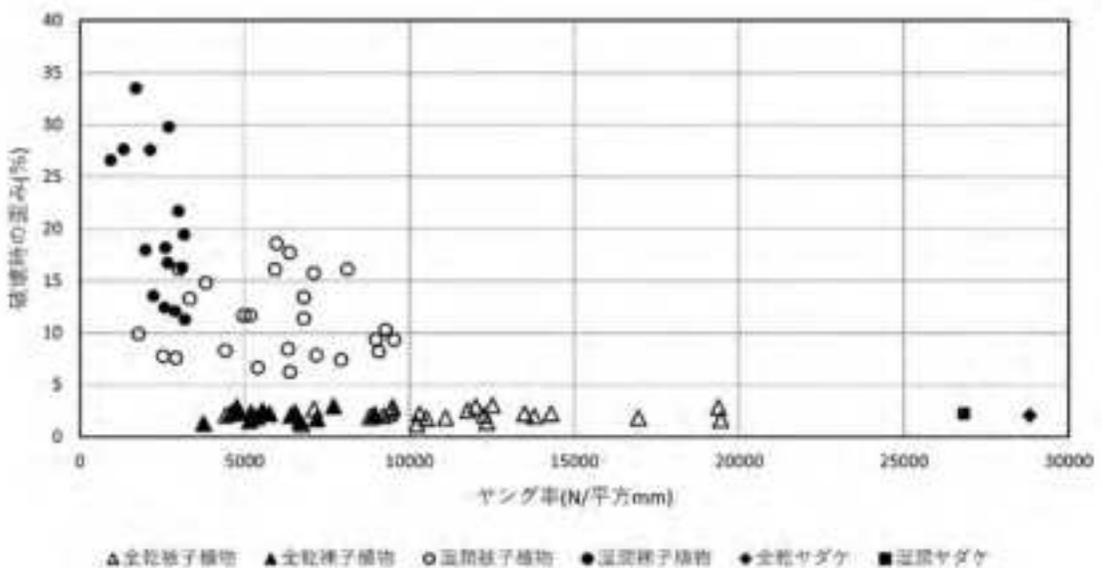


図5 湿潤材と全乾材で測定されたヤング率と破壊されたときの歪みとの関係。ここでの歪みは引張歪みの絶対値と圧縮歪みの絶対値の和である。湿潤材の場合、針葉樹はヤング率が小さく、破壊時の歪みが大きい。広葉樹は針葉樹よりもヤング率が大きく、破壊時の歪みが小さい傾向を持つ。サダケは最もヤング率が大きく、小さな歪みの状態で破壊された。全乾材では、全ての樹種で湿潤材よりもヤング率が大きくなり、全ての樹種で2%程度歪むと破壊された。生きている樹木の特性は湿潤材を使うことで明らかになる。それぞれの点は種を表しており、4回の測定の平均値である。

るのはハイマツである。ハイマツでは引張歪みの絶対値と圧縮歪みの絶対値の和が30%以上になるまで破壊されることはない。ハイマツの枝を手で曲げても折ることは難しいのだが、それは圧縮側の歪みを非常に大きくできるため、非常にしなやかだからである。多雪地に分布していたスギやアスナロもかなり柔軟である。針葉樹の中であまり歪めないのは、成長の速いことで知られているコウヨウザンであった。

広葉樹の場合、全体としてみれば破壊に必要な歪みは針葉樹よりも小さい。意外だったのは、気乾材の材密度が高くヤング率も大きそうに見える常緑のシラカシやヤブツバキのヤング率はそれほど大きくはなく、かなり歪んでも破壊されなかったことである。ブナはヤング率が比較的大きく、あまり歪まないうちに破壊された。ヤング率が小さいキリもそれほど歪まないうちに破壊された。キリの性質は針葉樹のコウヨウザンと良く似ていた。コウヨウザンは針葉樹の中では成長が速く、その点でもキリと類似している。コウヨウザンは直立したキリと考えて良いだろう。

特筆すべきはヤダケである。ここで測定した種の中で飛び抜けてヤング率が大きく、そしてあまり歪むことができずに破壊されてしまう。しかも、引張歪みの絶対値と圧縮歪みの絶対値がほぼ等しいことも他の樹種との大きな違いである。

比較のために全乾材でのヤング率と破壊されるときの歪みとの関係も示している。全乾材は全ての種で生木よりもヤング率が大きい。そして、全ての種で引張歪みと圧縮歪みの和が2%になると破壊される。引張歪みの絶対値と圧縮歪みの絶対値がほぼ等しいため、水分のない全乾材では全ての種で繊維が1%引き伸ばされると破断することを意味している。

適応戦略の多様性

気乾材の材密度とヤング率、そして腐朽耐性の間には強い関係があることが知られている。材密

度が大きいほどヤング率も大きく、なかなか腐らないために長寿命となる。また、長寿命とのトレードオフの関係にあるのが成長速度である。材密度が小さいほど成長が速い。この関係は広葉樹については一般的である。しかし、そこに針葉樹を加えると少々一般性が崩れてしまう。針葉樹は一般に材密度が小さく、ヤング率も小さいが、必ずしも短命ではないし、また成長が速いわけではない。

ここで示した「湿潤材で見られる非対称歪みをうまく利用したしなやかさ」という視点を取り入れてみると、針葉樹と広葉樹の適応戦略を別の角度から理解することが可能になる。強風や雪という物理的な負荷に対し、針葉樹はそれを受け流すという適応戦略を持っていることが多い。それに対し、広葉樹はある程度は受け流すが、硬さも使って対抗するという適応戦略を持っている。さらに極端なのがタケであり、一見するとしなやかに見えるが、実際は負荷に対して徹底抗戦をしているのである。

針葉樹は古生代に進化し、その当時は全世界に分布していたが、その後進化した広葉樹に押されて現在では主に寒冷地に分布している。当然、多雪地が分布の中心となる種も多い。このような環境では、雪が降ると大きいたわみ、最終的に地面に接地することで折損を避けるという適応方法がある。スギやヒノキアスナロの稚樹、そしてハイマツなどはこのような方法で雪による負荷に耐えている。このうちで高木となる種は、接地しなくとも負荷に耐えられる太さまで成長してから直立して雪の上に出てくる。

広葉樹の中でもブナは多雪地に多く分布するため、多雪地の針葉樹との対比が興味深い。先に述べたようにブナはそれほどしなやかではない。細い稚樹のうちは雪の重みで接地できるが、成長するにつれてそれができなくなり、折損が起きる(図6)。根曲がりという接地しやすい形態をとっていても、太くなると折れるのである。ブナは多



図6 雪によるブナの折損。ブナは多雪地では根曲がりという形状を採り、稚樹のうちは接地することで折損を避けている。しかし、時間が経って肥大すると接地できなくなり、このような折損が発生するようになる。これはブナがそれほどしなやかな幹を作らないことが原因である。写真は福島県会津地方の要害山で撮影されたものである。このような折損は、ブナと似た特性を持つ多雪地のミズナラでも見ることができる。

雪地に分布するとはいえ、雪による負荷の大きくなりがちな急峻な地形には生育できない。これはしなやかさに欠けるという性質によって説明できる可能性がある。

タケはどう捉えたら良いのだろうか。広重の浮世絵木版画である「東海道五十三次」には庄野白雨が納められており、そこではタケが強風の中で良くしなっている。しかし、物性を見るとタケはしなやかではない。実際、2019年の台風では千葉県竹林に大きな被害が出た。また、モウソウチクは湿雪が降ると折れる。多雪地に竹林が少ないのはこの雪害があるためでもある。パイプ状の軽い桿を持つタケの戦略は「少ない資源で高い位置に葉を展開して光を巡った競争に打ち勝ち、急速に分布を拡大する」というものであろう。その代償として風や雪による大きな負荷には抵抗できなくなった。

おわりに

生物は物理法則の範囲の中でしか生きていくこ

とはできない。ただし、それを巧みにかわしたり、利用したりすることで意外な特性を進化させることができる。ここで紹介した「非対称歪みを使ったしなやかさ」はその一つの例である。そして、その程度が種によって異なることで、環境に対する適応法が多様になっている。そこが生物を研究していく上での面白さなのかもしれない。

物理法則を越えられない生物がそれをどう回避するか、という問題は他にもある。例えば、高木が水を吸い上げる仕組みである。基本的に葉が水を引き上げていることは間違いないのだが、それがどのようにして実現されているのかという問題については未だに答えが見つかっていない。水の凝集力では水は10mまでしか引き上げることはできず、それ以上引き上げようとするとう部に真空ができてしまう。そのため、それ以上高い場所に水を送るには下から押し上げるしかない。高層ビルの屋上に設置された貯水槽には押し上げポンプを使って水を送っている。こうした制約があるにも関わらず、植物は100mの高さにまで水を引き上げているのである。おそらく意外な方法で、しかもシンプルな方法で物理的な制約をかいくぐっているのだろう。生物学にはまだまだ解決しなければならない問題が山積みである。

引用文献

- 農林省林業試験場木材部編 (1975) 世界の有用木材300種：性質とその用途。日本木材加工技術協会。
- Taneda, H., and Tateno, M. (2004) The criteria for biomass partitioning of the current shoot: water transport versus mechanical support. *American Journal of Botany* 91 : 1949-1959.
- 構造用木材の強度試験マニュアル作成委員会 (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル (公財) 日本住宅・木材技術センター。
- Minamino R., Tateno, M. (2014) Variation in susceptibility to wind along the trunk of an isolated *Larix kaempferi* (Pinaceae) tree. *American Journal of Botany* 101 : 1085-1091.
- Minamino R., Tateno, M. (2014) Tree Branching:

Leonardo da Vinci's Rule versus Biomechanical Models. PLoS ONE 9 (4) : e93535.

Miyashita, A., Minamino, R., Sawakami, K., Katsushima, T., and Tateno, M. (2020) Monitoring bending stress of trees during a snowy period using strain gauges. Bulletin of Glaciological Research 38 : 25-38.

Tsugawa, S., Teratsuji, K., Okura, F., Noshita, K., Tateno, M., Zhang, J., and Demura, T. (2022) Exploring the mechanical and morphological rationality of tree branch structure based on 3D point cloud analysis and the finite element method. Scientific Reports 12 : 4054.



長野県における獣害防除のとりくみ

— 小山 泰弘*

1 長野県における獣害の概要

本州のほぼ中央に位置し、全国第3位の森林面積を誇る長野県は、標高3,000m級の山々に四方を囲まれ、森林率も79%を占めることから、集落と森林の距離は近い。その結果、野生鳥獣と私たちの生活圏が重なる場合も多く、その被害は甚大である。令和3年度の林業被害額だけでも2.5億

を超えている（長野県 2022）。その内訳は、図-1のようにツキノワグマ（以下、クマとする）による被害が1.37億円と過半数を占め、次いでニホンジカ（以下、シカとする）の0.92億円と続く。この2種だけで林業被害の90%を占めており、本県の森林管理において深刻な加害獣となっている。

農業被害を含めた農林業全体での被害額は、令和3年度は5.80億円で、シカの2.34億円が最大で、クマもこれに続き1.44億円である。県内被害額の3分の2を両種が占め、農林業ともにシカとクマの被害が大きいことがわかる。

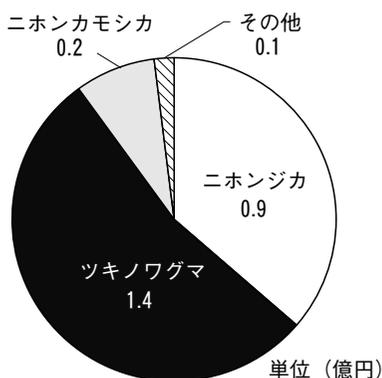


図-1 令和3年度の獣種別林業被害 (長野県 2022)

2 獣類による農林業被害額の年次別変化

獣種別の農林業被害額（図-2）を見ると、1970年代後半は、国の特別天然記念物であるニホンカモシカの被害が甚大で、1980年には被害額7.1億円とも言われた。その後も1995年頃までは県下随一の被害額だったが、防護柵の設置や新規造林

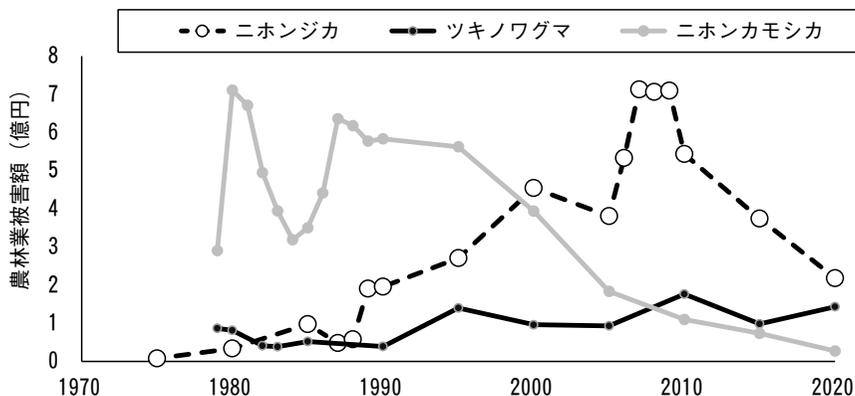


図-2 獣種別の農林業被害額の推移 (長野県林務部鳥獣対策室参考資料)

*長野県林業総合センター 育林部 KOYAMA Yasuhiro

地の減少によって、現在3千万円弱まで低下している。一方で、シカの被害は、1975年には800万円弱と少なかったが、1985年頃から徐々に増加し、2000年にニホンカモシカを超え、4.5億円に達した。被害額としては2007年の7.1億円をピークに減少傾向にあるが、現在も2億円を超えている。クマの被害はシカよりも少ないが、そのほとんどが林業被害で、森林資源の充実とともにクマ剥ぎが各地で問題となり、被害額も緩やかに上昇し、徐々に深刻化している。

さらに被害額に算出されない被害として、シカによる高山植物など自然植生への食害や、クマによる人的被害もあり、両種との適切な関係を維持していくことは重要な課題である。

3 忌避剤による防除対策

年間5.8億円とされる農林業被害、特に2.5億円を超える林業被害に対する獣害対策は、加害個体を減らす捕獲と、被害を防除するための防護資材の設置などが考えられるが、捕獲による被害抑制は安全性などに問題があり、防護資材の設置は手間やコストがかかることを考えると、低コストで安全な方法として薬剤による防除も考えられ、古くから忌避剤（平川 1996）の開発が進められてきた。当センターでも県内の林業現場で活用できる防除法の一つとして、忌避剤の効果を検討している。本稿では、近年実施した忌避剤効果試験の中から、造林木を対象にした試験と、成木を対象とした塗布試験の結果について紹介する。

1) 造林地の枝葉食害防止試験

ここで、県内2カ所の新規造林地でシカの食害防止を目的とした忌避剤による採食防止試験の結果を紹介する。

図-3のA地は、スギの新規植栽地で、周辺植生が少なくなる冬期にシカの食害を受けるため、植栽当年11月に薬剤を施用して翌春までの5ヶ月間調査した。図-4のB地は、カラマツの新規植

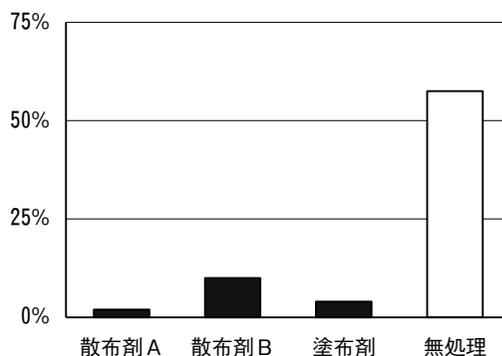


図-3 忌避剤試験（A地）のスギ被害率

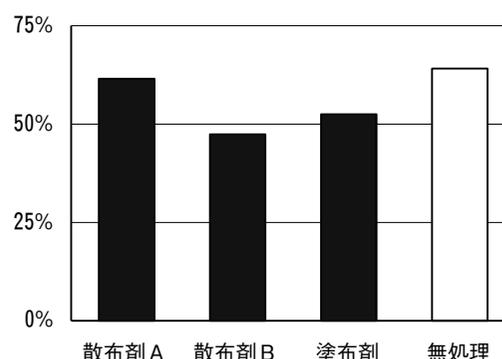


図-4 忌避剤試験（B地）のカラマツ被害率

栽地で、植栽後の6月に薬剤を施用して秋までの4ヶ月間調査した。両方の試験地ともに散布剤2種類と塗布剤1種類に、無処理を含めた4区で比較した。調査対象木はA地の処理3区は各区50本とし、A地の無処理区とB地の4区では各区40本とした。なお、調査途中で枯死する個体があったが、どの区も最大2本だった。

今回の結果、A地では忌避剤の効果が顕著だった（図-3）が、カラマツを植栽したB地では忌避剤の有無で被害に差がなかった（図-4）。

今回の試験ではスギとカラマツという異なる樹種ではあるが、無処理の被害率がA地で58%、B地で64%と近似し、薬剤による差も考えられなかった。さらに、センサーカメラの解析ではニホンカモシカは写っていなかったことに加え、食痕からシカの被害だけと考えられた。

被害率に影響を与えたのはシカの出現頻度で、B地はA地よりも、一日あたりの出現率が高く、1分のインターバル間隔で撮影された結果から見てもB地の滞在時間が長かった。つまり、B地は多くのシカが長時間滞在することで採食圧が高かった。既往（雲野ら 2015）の結果でも採食圧が高いと忌避剤の効果が少なくなることが知られており、生息密度が高い場所では、薬剤の種類に関わらず、忌避剤の効果が小さいことを改めて示していた。

2) クマ剥ぎ防止試験

植栽木の成木を剥皮する樹幹剥皮は、シカとクマで認められているが、近年クマ剥ぎと呼ばれるクマの剥皮が問題となっている。そこで、今回は、クマ剥ぎ防除を目的とした薬剤塗布試験の結果を紹介する。

長野県は、ほぼ全域でクマが生息しているが、クマ剥ぎの被害に悩まされているのは、主に県の南部の少雪地域と、北部の豪雪地域である。防除試験を行う上で地域性を考慮し、両地区で実施した。使用した忌避剤は、ペースト状の薬剤を根元付近の地上高30cmに、点状に幹全周にわたって塗布した。

少雪地域の試験地は、当該地域で過去に被害が

多く見られたヒノキを対象として、被害が多く発生している林道沿いの50年生前後の人工林の立木を対象として、クマ剥ぎ被害が発生する前の5月に薬剤を塗布し、樹皮が剥がれなくなる9月までの4ヶ月間で実施した。

一方豪雪地域の試験地は、被害が多く発生しているスギ林を対象として、激害化している61年生のスギ人工林内に少雪地の試験と同様、消雪後の5月に薬剤を塗布し、樹皮が剥がれなくなった10月初旬までの5ヶ月間で実施した。

その結果、図-5のように、少雪地域のヒノキでは薬剤塗布により被害を受けなかったにも関わらず、豪雪地域のスギ林では無処理の23本(51%)に比べて、17本(12%)と被害率は少なかったものの、忌避剤を塗布しても被害を受ける結果を招いてしまった。

山形県の調査では、無処理区の被害が50%を超える被害地でも処理木の被害はなかった（古澤 2022）とされており、今回の豪雪地での結果は、忌避剤の効果が発現しない事例と考えられた。そこで、現地調査及び試験にあわせて設置したセンサーカメラの映像を解析したところ、豪雪地で処理木の被害が防げなかったヒントが見つかった。写真-1は、薬剤を塗布した処理木の横にあった無処理木を加害するクマの様子である。スギの根

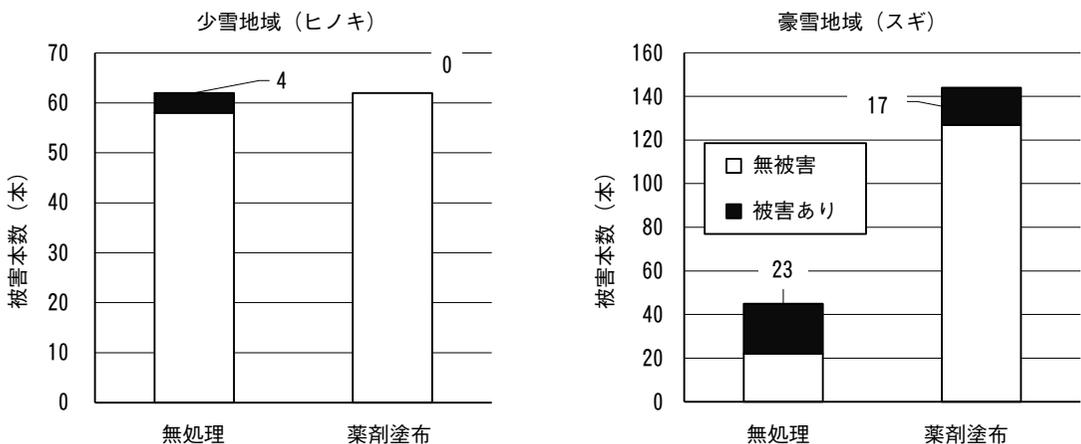


図-5 クマ剥ぎ効果試験 (図中の数字は被害本数)



写真-1 豪雪地で観察されたクマ剥ぎ

元に来たクマは、根元曲がりの立木に山側から近づき、根曲がり部分で身体を起こして樹皮に手を掛けて剥いていた。今回使用した忌避剤は、地上を歩くクマの鼻先が忌避剤に触れるように地上30cm付近に塗布していたのだが、根元曲がりしたスギの上方からクマが近づくと、忌避剤を塗布した部分には触れずに幹を剥ぐことが出来ると観察できた。

この結果を受けて、同じ林分で翌年、改めて試験をやり直すことにした。

3) クマの習性を考慮した追試験

2年目の試験では、観察結果を考慮して、クマがスギの立木に触れる際の鼻先に、薬剤が触れるように塗布位置を変更した。つまり、根曲がり木の山側だけは、根元だけでなく、幹にも薬剤を塗布することにした。

実際は、従来の塗布方法である地上高30cmの幹全周に点状に塗布する点状塗布に加えて、幹の山側の地上高1m付近を対象として、縦50cm程度の長さで線状に塗布する、点+線状塗布(写真-2)を行った。これを従来の塗布方法である地上高30cmの幹全周に点状に塗布する点状塗布及び、無処理の3種類で比較した。

追試験の結果を図-6に示す、2種類の薬剤塗布と、無処理の3種類で比較したところ、点状塗布よりも点+線状塗布では、被害率が低下し、点



写真-2 忌避剤の点+線状塗布

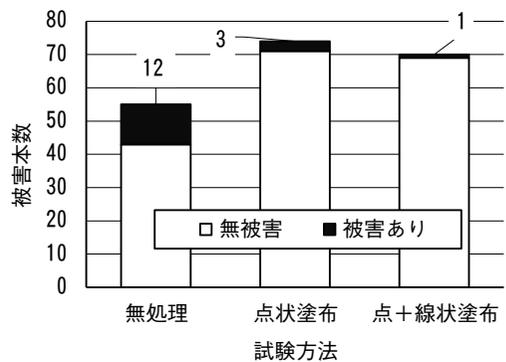


図-6 追試験の結果 (図中の数字は被害本数)

+線状塗布では、施用した70本中1本の被害に留まった。しかも、点+線状塗布で被害を受けた1本は、線状に塗布した地点にクマが触れた痕跡が残り、塗布した忌避剤に触った瞬間に剥皮をやめた様子だった。このことから、被害率だけで見れば、点+線状塗布をしても被害を完全に防ぐことは出来なかったといえるが、唯一の被害木が、爪をかけただけで剥がされなかった事を考えると、防除できたとも言える。初年度と翌年度の被害率を比較すると、図-7のように初年度に比べ無処理でも点状塗布でも被害率が大きく低下している。

被害率が低下した原因の一つとして、センサーカメラに写っていたクマの変化が挙げられる。当

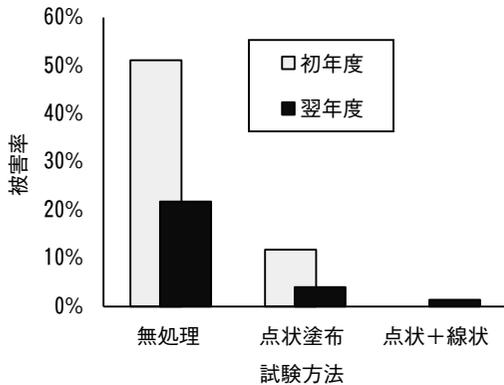


図-7 豪雪地での2年間のクマ剥ぎ試験結果

地では、初年度は6～8月に毎月クマが撮影され、3ヶ月間で、14頭を記録した。しかし、2年目は6月1頭、7月2頭だけで、8月には出現せず、クマの出現頻度が低下したことで被害率が下がったと思われた。

クマが出現しなかった原因は、塗布の方法を変えたことで、クマの忌避効果を高めた結果と考えられているが、2年続けて同じ場所で試験を行った影響も考えられる。実際、4年前に忌避剤を塗布した別の現場を訪れたら、色が薄くなったものの忌避剤の痕跡は残り、わずかに忌避剤の匂いを感じることも出来た。現在塗布している忌避剤は、単年度の効果とされているが、2年続けて忌避剤を塗布したことで、林分全体での忌避効果があったかもしれない。

今回の結果だけでは、忌避剤の有効性が高まるとは思えないし、獣類の調査は我々の期待を裏切ることも多いので、過度な期待は禁物ではあるが、今後の研究によっては、新たな効果が発現する可能性も感じられた。

4 おわりに

森林資源が充実して、人工林でもスギやヒノキなどの大径木が増加することに加えて、木材資源の有効活用に向けて、主伐再造林も進められていくと、今回紹介したシカやクマなどの獣害は今後

も増えることが十分に予測される。再造林後の初期保育で発生する枝葉食害は、成長停滞を招く上に、激しい場合は立木の枯死につながる。一方、成木に発生する樹皮の剥皮は、成木の成長を阻害して立木が枯死する危険が高まるだけでなく、形成層が剥き出しになることで、害菌の侵入を許し、材内に変色腐朽を発生させて、木材価値を低下させるうえ、倒伏の危険性を高め、森林としての維持が出来なくなる可能性をはらんでいる。

このことは、林業という点で見れば、主たる生産物である木材の価値低下による資産価値の低下につながる。また、森林の持つ公益的機能という点でも、立木が不用意に枯死することで、根系支持力が低下し、表土の保全が出来なくなり、災害を誘発する可能性が高まるなど、地域住民の日常生活への影響も危惧される。

とはいえ、在来哺乳類であるクマやシカを絶滅させてしまうのは、生物多様性の観点からも望ましいものではない。カモシカの被害が話題になり始めた1977年、長野県ではカワウソ・オオカミに続いて絶滅するのはシカとクマに違いない(宮尾1977)と指摘されたことがある。その後、個体数が回復して、現在では多大な農林業被害を出している両種であるが、カワウソやオオカミのように一度絶滅させてしまえば、元に戻ることはなく、古くから日本の環境に適して生きてきた生き物である以上、適切な共存関係を維持していくことは重要である。

獣害防除対策としての忌避剤利用は、個体密度が高い場合には被害を受けてしまうこと(図-4)や、地域によって効果が異なること(図-5)から、安易に有効性を語るべきではないが、比較的 low コストで一定の効果が期待できる。また、連年使用による獣類の出現頻度を変える可能性(図-7)まで示唆されれば、新たな選択肢としても検討できるかもしれない。

森林のように、面積が広大な場所では、効果が高いとされる防護柵も、設置手間がかかるうえに

定期的な管理が不足すれば効果がなくなってしまうため、最終的な費用対効果を考えればどちらが最適であるかは難しい。

長野県のように、南北に長く、標高差も大きく、人口密度にも差がある地域では、絶対数を減らす個体の捕獲と、物理的に区域全体を護る防護柵と、今回紹介した忌避剤を、現地の状況に合わせて適切に組み合わせていくことが必要だと思われる。このためにも単純な方法では対処が難しい獣害対策を推進するための一つとして、今後も、地域の環境に適合した忌避剤の使用法についても知見を深めていきたい。

なお、本報告の一部は、林業薬剤協会より委託された林業薬剤等開発試験で得られた成果を含んでおり、試験にあたった林業総合センター育林部

の柳澤賢一研究員をはじめとする関係各位にこの場を借りて感謝する。

引用文献

- 長野県（2022）令和3年度長野県林業統計書，長野県林務部，78pp.
- 平川浩文（1996）草食性哺乳類に対する忌避剤の効果を考える，林業と薬剤135，19-21.
- 雲野明ら（2015）広葉樹に対するエゾシカ忌避剤の効果的な適用時期の検証，北海道林業試験場研究報告52，1-10.
- 古澤優佳（2022）ツキノワグマによるスギ剥皮害防除のための獣害忌避剤（KW-11）塗布試験，林業と薬剤142.
- 宮尾嶽雄（1977）滅びゆく信州のシカ，信州哺乳類雑記第4集，136-138.



今さら聞けない生物学入門

3. 生体のエネルギーと運動

福山 研二*

生命は、エネルギーを使って代謝を行う。これはすべての生物に共通である。また多くの生き物は、何らかの運動を行う。特に動物と呼ばれるものはそうである。今回は、生命活動の基本とも言える生体エネルギーとそれを使って行われる様々な生命の動きについて触れてみよう。その中で、前回の細胞の構成要素として触れなかった、繊毛についても触れることにしよう。

1. 生体が見えるエネルギーの形態

エネルギーというものは、様々な形をとる。身近なものとしては、太陽から届く暖かい光である。これは、光エネルギーと呼ばれ、地球の多くの生命を養っていることは皆さんもよくご存知であろう。また、水力発電などでは、高いところにある水が持っている位置のエネルギーを使っているわけで、このように物が動くときのエネルギーは、力学的エネルギーと呼ばれる。

また、木材などが燃焼するときに出るものは、熱エネルギーであるが、その元になっているのは、木材の中に蓄えられている化学エネルギーが転換されたものである。さらに、最近では私たちの周りで溢れており、欠くことができない電気エネルギー。そして、巨大な力を秘めているのが核エネルギーがある。

もちろん、生命体は核エネルギーを使うことはできないし、力学的エネルギーや熱エネルギー、電気エネルギーも使うことはできない。

もし、力学エネルギーや熱エネルギーを利用でき

きるとしたら、便利であろう。だれかに思い切り殴って貰えばお腹がいっぱいになり、焚火にあたるだけで、空腹が癒されるとしたら楽であろう。コンセントから、体に充電できたらどんなにか便利だろう。

しかし、実際に我々生命が利用できるのは、主に化学エネルギーと光エネルギーである。ただし、光合成のように光エネルギーを利用する際には、電気エネルギーに転換して利用しているので、実は電気エネルギーも部分的には利用していると言える。

2. 生命はいかにしてエネルギーを得るのか

生命体を取り込むことができるエネルギー形態としては、光と化学エネルギーであるが、それを生物が内部で蓄える方法としては、有機物という化学エネルギーの形のみである。

外部のエネルギーを取り込んで、生命体ができる有機物の形を合成する過程を、同化とよぶ。そして、現在のほとんどの生命体は、炭酸同化作用により、エネルギーを取り込んでいる。これは、光のエネルギーや元素が酸化するときのエネルギーを使って糖類などの有機物を合成することであり、光を使う場合は、光合成、硫黄や鉄などの元素の酸化を使う場合が化学合成とよばれる。

地球ができてまもなくは、地球は高温の状態が続いた。これが冷却するにつれ、水蒸気が液体となって降り注ぎ、海になったわけだが、その後も地球の内部は高温状態が続き、火山の爆発や熱水鉱床として海中に吹き出していたであろう。

*自然環境研究センター客員研究員 FUKUYAMA Kenji

このように、太古の地球では、地球内部からの膨大なエネルギーの供給があり、それが海中で様々な反応を起こして、多くの有機物が合成されていたであろう。その有機物をエネルギー源として消費しながら多くの生命が進化を遂げ、その中で、化学合成の能力を獲得したものが現れたと思われる。これらは、現在でも硫黄細菌や鉄バクテリアなどとして深海や熱鉱床、温泉などに生息している。

しかし、地球が次第に冷却して安定してくるにつれ、化学エネルギーは、得にくくなってきた。そこで、母なる太陽からの光エネルギーを利用するものが現れた。化学合成と光合成のどちらが先に現れたかは、今となってはわからないが、状況から考えると、化学合成生物の方が先に現れたと考えるのが自然といえよう。

いずれにしろ、生命は、化学エネルギーや光エネルギーを炭酸同化のために利用し、当時大気のおほとんどを占めていた、二酸化炭素と水から、炭水化物を合成する仕組みを発達させたのである。

3. 生体エネルギーの基本単位 ATP

このシリーズの1で、生命にとって特に重要な物質として、リン(P)の存在を上げた。そして、2では、そのリンが作り出す生体膜というものが、生命を形作ったことを述べた。さらに、その膜の中の有機物を動かし反応を進めている、エネルギーの基本単位も、リンが関わった、ATPというものなのである。

ATPとは、アデノシン三リン酸 (Adenosine tri-phosphate) のことで、分子構造は図1で表されるように、リボースとよばれる炭素が5つの輪っかにDNAを構成する核酸塩基のひとつアデニンがくっついたもの(アデノシン)に3つのリン酸が結合したものである。

この3つのリン酸の一つがくっついたり離れたりするときに、エネルギーが出たり入ったりする。

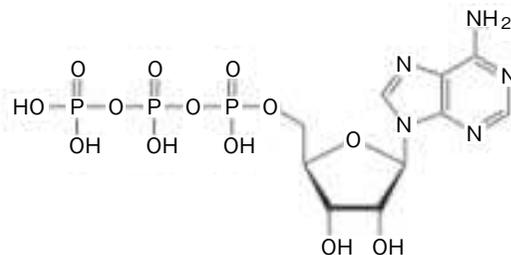


図1 ATPの構造(充電後)

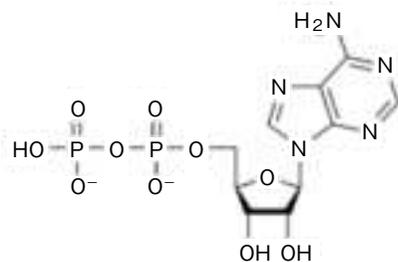


図2 ADPの構造(充電前)

アデノシンにリン酸が2つ付いた状態をADP(アデノシン二リン酸)(図2)とよぶのだが、これは、ちょうど充電する前の電池のようなもので、まだエネルギーを蓄えていない。これが、ミトコンドリア内のクエン酸回路や電子伝達系により、エネルギーを充填されるとリン酸が一つ増えてATPになるのである。ATPはいわばフル充電の電池というわけである。

このATPが生命体のあらゆる活動エネルギーとなっており、生体膜を作ったり、生体膜の間の物質の出入りを制御したり、生物を動かしたり、有機物を合成したり、分解したりするエネルギーとして使われている。もちろん、運動のエネルギーとしても使われているのである。

4. 筋肉の動き

私たち人間は、動物であり、活発に運動している。そのために多くのエネルギーを使っている。馬は、非常な速度で走り、ツバメは大空を駆け抜け、イルカは水面をジャンプする。このためには非常に複雑な動きが伴われている。しかし、実は、

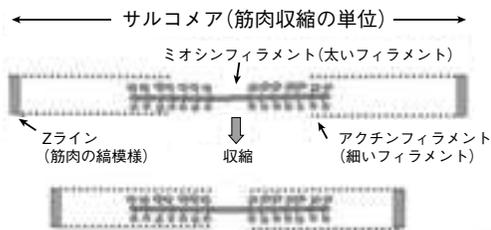
動物の運動の元になっているのは繊毛と筋繊維しかないのである。

私たちは、歩くのも呼吸をするのも、ものを食べるのも排泄をするのも筋肉を使っている。その筋肉というのは、筋原繊維という細い繊維状の構造で、刺激を与えられると縮む。これが束になっていることにより、強い力を生み出すのである。そして筋肉は、縮むことしかできず、あとは緩めるだけであり、伸ばすことでは力は発揮できない。つまり動物は、筋肉の縮む力だけを利用してあの複雑な動きを生み出しているのであるが、この筋肉のエネルギーも ATP が使われている。

筋肉が縮む仕組みが分かったのは、比較的最近である。もちろん、かなり以前から、筋肉に電気刺激を与えると収縮することはわかっており、高校の生物の授業でもカエルの足の筋肉で実験した記憶がある。また、筋肉が縮むのは、ミオシンとアクチンというタンパク質が滑り現象を起こして、お互いの鞘に入り込む現象により縮むのだということもわかっていたが、その化学的な現象解明には至っていなかった。

そのことを高校の生物の先生から言われ、感激したことを今も覚えている。その後いろいろな研究者が少しずつメカニズムを解明し、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントをつなぐ、コネクチンという弾力性のあるタンパク質の存在も明らかとなり、平成19年には、筋収縮のエネルギー転換機構の全貌が明らかとなった。

詳細は省くが、要するに、ATP からリン酸が



アクチンフィラメントの鞘にミオシンフィラメントが滑り込むことによりサルコメアという筋肉単位が短くなることにより、筋肉は収縮する

図3 筋肉収縮の仕組み

離れるときのエネルギーで、ミオシンタンパクとアクチンタンパクの間に弱い結合から強い結合へとの変化が起こり、それがミオシンタンパクにねじり現象を起こして、それにつながっている櫂のような構造体を動かし、結果として縮むことになるようだ。

4. 繊毛運動

生物の動くメカニズムとして、忘れがちなのが、繊毛あるいは鞭毛である。繊毛で思い出すのは、原生動物でおなじみのゾウリムシ(図4)ではないだろうか。

ゾウリムシは、単細胞であり、その細胞の外側に多数の繊毛を持っており、これを使って遊泳できる。

繊毛の構造というのは、ゾウリムシであれ、精子であれ、体内の器官などにあるものも、すべての構造は基本的に同じものである。

繊毛は、細長い毛髪状の細胞膜の中に、中心小官対と言う細いタンパク質の管が2本とそれを取り巻くように、やはり9本のタンパク質の周辺小官というもので構成されている。周辺小官は、実は2本の管がくっついた形をしており、その片方には、ダイニン腕と呼ばれるタンパク質の突起がムカデの足のように2本出ている。

繊毛が波打つような運動を行うメカニズムは、このダイニン腕がとなりの周辺小官の上を滑ることによって起こっており、この時のエネルギーも

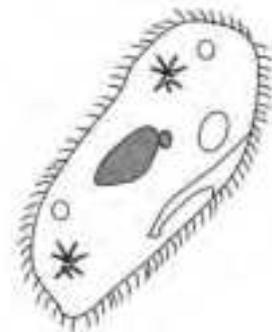


図4 繊毛を持つ原生動物ゾウリムシ

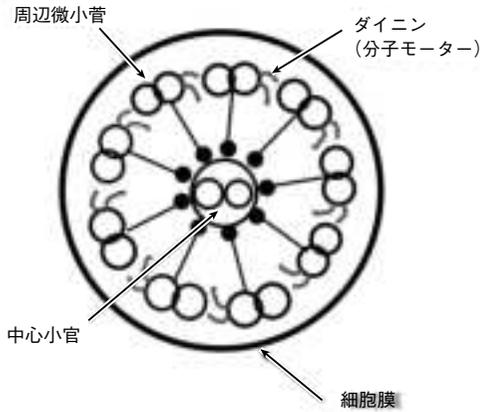


図5 繊毛の断面図



図7 エリ鞭毛虫

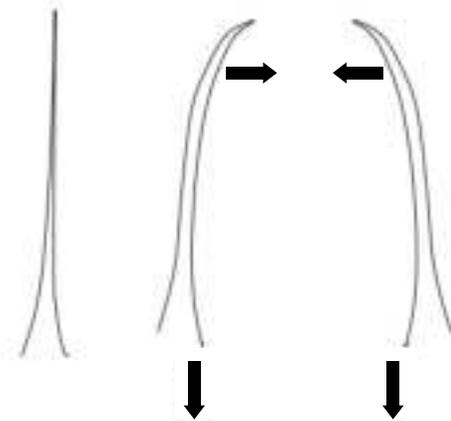


図6 繊毛の動きのモデル (紙を折ったもの)

ATPが使われている。これは、まさに、筋原繊維のアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの櫛状の突起の働きに似ている。

ただし、筋原繊維と異なるのは、筋肉では、そのズレが筋肉の収縮そのものをもたらすのに対して、繊毛では、ちょうど2枚に折った紙をずらすと、うねうねと曲がるのと同じで、わずかなズレが、繊毛の大きな動きにつながっているということである。この繊毛運動は、とくに液体中では大変に効率的な運動能力を持っていることがわかっている。

繊毛または鞭毛は、どのように発生進化してきたかは、よくわかっていないが、生命が発生して

間もなくの頃の細菌類の中でも、体をくねらせることができるようになった、スピロヘータと呼ばれるタイプの細菌が起源だろうといわれている。

スピロヘータは、一本の鞭毛に螺旋状に細胞体が巻き付くような構造をしており、海中を移動する能力は、他の細菌類にくらべて格段に高かったであろう。その後、細菌類の中で、細胞壁をなくすことによって、外界から食物を取り込みやすくなった細菌の一部が、ミトコンドリアを取り込んで、より複雑な細胞を作り上げ、真核生物になり、それがスピロヘータを捕食した際に、遺伝子やその機構を取り込んだ可能性が高い。

この繊毛という器官は、実は、我々人類も含めた全ての多細胞生物の細胞に原則的に一つずつ付いているのである。それは、多細胞生物が群体性のえり鞭毛虫という生き物から進化したことによると考えられている(図7)。この辺は、いろいろな説があるものの、大変に魅力的である。

そして、前回の細胞の話の時に述べた、細胞分裂の時に分裂した染色体を引っ張る役目をしている中心体というのは、その構造が、鞭毛に極めてよく似ており、実際に、中心体から鞭毛や繊毛が生えることがわかっている。

実は、中心体は、細胞の形を維持するための細胞骨格と呼ばれるタンパク質のフィラメントを形成する役割もあり、細胞分裂時に、染色体を引っ張る役割をするのもこの細胞骨格なのである。

この細胞骨格があるおかげで、細胞は、ある程度一定の形をとることができるし、細胞内のものの移動や形の変化などを行うことができるのだ。

そういう意味では、まさに中心体こそが細胞を形作る司令塔であり、中心だと言える。

動物の細胞は、中心体がはじめに分裂することにより、細胞分裂が起こるのだが、最終的に成熟して役割を持った細胞では、この中心体は、繊毛となって役割を終えそれ以上の細胞分裂は起こらなくなる。つまり、繊毛が生えた細胞は成熟した証なのである。

そして、それらの繊毛をもつ成熟した細胞は、脳や腎臓などの重要な臓器以外でも身体中のほとんどの場所で、感覚器や体液を流したりする役割を果たしている。特に、肺の気管上皮細胞の繊毛は、肺に侵入した異物を排出する重要な役割があり、これが弱くなると、たちまち肺炎などを起こして死んでしまう。

体に循環している血液は血管だけを通して流れているので、血管以外の組織の中に充満している液体は、すべて繊毛の動きによって流れているということになる。まさに、生命を動かしているのは、繊毛だということである。

5. アメーバ運動と原形質流動

細胞は、繊毛による運動の他に、細胞の形を変形させて移動するアメーバ運動をするものがある。このアメーバ運動は、実は、細胞骨格の一種であるアクチンフィラメントがミオシンタンパクと相互作用を起こして細胞を変形させているということがわかっており、これは前述した横紋筋などの筋原繊維の仕組みと極めて似ているのである。

要するに、筋原繊維というのは、細胞骨格が規

則正しく並び、より効率よく働くようになったものだということであり、繊毛も、細胞骨格が、細胞を細長く変形突出させて出来上がったものだと言える。そして、それを司っているのが、中心体ということになる。

動くこととは無縁の植物細胞でも、盛んに動いているところがある。それが、細胞内の原形質の動きで、原形質流動とか細胞質流動とよばれる。

シヤジクモという水草でとくにこの原形質流動が盛んに起こっており、生物の授業などでも観察の材料として使われる。

この原形質流動も昔はその仕組みがよくわからなかったが、最近の研究により、やはり細胞骨格であるアクチンフィラメントとミオシンタンパク質の相互作用であることがわかってきた。

さらに、ただデタラメに作用をしているのではなく、アクチンフィラメントがミオシンを動かすと、動かされたミオシンが、アクチンに逆に働きかけて、アクチンを整列させ、その動きの方向を次第に統合し、結果として、大きな原形質流動が起こることがわかってきた。この相互作用がさらに進めば、筋肉のようになることは、想像に難くない。

動物でいう血管に当たるのが、植物では、維管束であるが、動物が繊毛によって体内の物質を動かすように、動くことが苦手の、植物でさえ、維管束とは別に原形質流動という循環の仕組みを持っているのである。

そして、細胞の項で述べたように、植物は、細胞壁を貫いた、原形質連絡という穴を通じて細胞間の物質を循環させており、これに動物と同じアクチンという分子モータータンパク質が使われているわけで、ミトコンドリアや葉緑体などのように、とことん便利なものは、共有するものだということがわかる。これは、電磁石を使ったモーターの原理がほとんどの電気で動かす製品に共通に使われているのとまさに同じことといえる。

(つづく)



禁 転 載

林業と薬剤 Forestry Chemicals (Ringyou to Yakuzai)

令和 5 年 6 月 20 日 発行

編集・発行／一般社団法人 林業薬剤協会

〒101-0032 東京都千代田区岩本町 1-6-5 神田北爪ビル 2 階

電話 03 (3851) 5331 FAX 03 (3851) 5332 振替番号 東京00140-5-41930

E-mail : rinyakukyo@wing.ocn.ne.jp

URL : <https://www.rinyakukyo.com/>

印刷／株式会社 スキルプリネット

定価 550 円

すぐれた効果

豊富なデータの裏付けで
薬剤持続期間7年を実現。

高い安全性

人体および水産動植物への
高い安全性。

充実の フォローアップ

薬剤濃度検査
サービスの実施。

培った技術力

蓄積したノウハウで最適な
アドバイスを行います。

信頼のブランド

1982年の発売以来、
永きにわたり、全国の松を
守っております。

松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

農林水産省登録 第22023号

マツノマダラカミキリの
後食防止剤

マツグリーン®液剤

農林水産省登録第20330号

普通物

マツグリーン®液剤2

農林水産省登録第20838号

- ①マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果。
- ②樹木害虫にも優れた効果を発揮。
- ③新枝への浸透性に優れ、効果が安定。
- ④車の塗装や、墓石の変色・汚染がほとんどない。
- ⑤環境への影響が少ない。
- ⑥周辺作物に薬害の心配がほとんどない。

剪定・整枝後の
傷口ゆ合促進用塗布剤

トップジンM® ペースト

農林水産省登録第13411号

作物名	適用病害名・使用目的
樹木類	切り口及び傷口のゆ合促進
きり	腐らん病
さくら	てんぐ巣病
ぶな(伐倒木)	クワイカビ類による木材腐朽



株式会社ニッソーグリーン

www.ns-green.com

全卵粉末水和剤

ニホンジカ専用忌避剤 農林水産省登録 第22312号

有効成分
全卵粉末
80%

ランテクター[®]



- ランテクターの有効成分（80％）全卵粉末を使用しています。
- ランテクターは年間の使用回数に制限がありません。被害の発生状況に合わせて使用できます。
- 樹木類、花き類・観葉植物に使用できます。

● 適用範囲及び使用方法

作物名	使用目的	希釈倍数	使用用量
樹木類	ニホンジカによる食害防止	10倍	1本当たり10～50ml
花き類・観葉植物			100～300g/10a
使用時期	本剤の使用回数	使用方法	全卵粉末を含む農薬の総使用回数
食害発生前	—	散布	—

※スギ・ヒノキや広葉樹への散布も可能です。（広葉樹の新芽が枯損するなどの心配がありません）

● 有効成分

全卵粉末	鉱物質微粉等
80.0%	20.0%

販売

DDI 大同商事株式会社

本社 〒105-0013 東京都港区浜松町1丁目10番8号
TEL:03-5470-8491 FAX:03-5470-8495

製造



保土谷アグロテック株式会社

〒105-0021 東京都港区東新橋1-9-2

◎ 保土谷アグロテック株式会社の登録商標です。

松枯れ予防
樹幹注入剤

マツケンジー[®]

農林水産省登録
第22571号

医薬用外劇物

① 作業が簡単！

孔をあける

1ml (8～10cm間隔)、または
2ml (10～15cm間隔)を注入

直後に穴をふさぐ

② 注入容器をマツに装着しない！

注入・チェック・回収などで、現場を何度も回らずOK。

③ 作業現場への運搬が便利で、 廃棄物の発生も少ない！

250mlの容器1本で20～25本のマツの処理が可能（φ30cmの場合）しかもジャバラ容器の使用により使用後の容器容積が小さくなる。

④ 水溶解度が高く、分散が早い！

作業時期が、マツのマダラカミキリ成虫の発生期近くまで広がる。

有効成分：塩酸レバミソール液剤 … 50.0% その他成分：水等 … 50.0%
性状：赤色透明水溶性液体

洞注にもお勧めです

注入容器でこんなに便利！



保土谷アグロテック株式会社 東京都港区東新橋1-9-2 TEL 03-6852-0510



特定外来生物「クビアカツヤカミキリ」防除は

®は日本農業(株)の登録商標
農林水産省登録
第22461号

殺虫剤 アクセル[®] フロアガル

そのさくら、**アクセルが
守ります!!**



高濃度の
希釈液を樹幹に
しっかり散布!



サイン、無視していませんか?



樹皮下を
食い荒らす

登録作物や使用方法、
その他の詳細情報はコチラ



虫糞(フラス)噴出始め～成虫発生期の散布で
高い効果を発揮!(5月下旬～8月上旬)

幼虫の加害抑制効果と
殺成虫効果で防除!

- 使用前にはラベルをよく読んでください。
- ラベルの記載内容以外には使用しないでください。
- 本剤は小児の手の届くところには置かないでください。
- 使用後の空容器等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

 **日本農業株式会社**
東京都中央区京橋1丁目19番8号
カスタマーサービス TEL. 03-6361-1414

マツノマダラカミキリの後食防止剤

殺虫剤 モリエート[®] SC

農林水産省登録 第21267号

低薬量で優れた殺虫効果と
後食防止効果を示し、
松枯れを防止します。

**1,000倍使用で
希釈性に優れ
使いやすい**
(水ベースの液剤タイプ)



製 造：住友化学株式会社 販 売：サンケイ化学株式会社 レインボー薬品株式会社

計画散布で雑草、竹類・ササ類を適切に防除しましょう!



題名
放置竹林から里山を守る!

信頼のブランド

《竹類・ササ類なら》

コロートS (粒剤)

農林水産省登録 第11912号

《開墾地・地ごしらえなら》

コロートSL (水溶剤)

農林水産省登録 第12991号

※すぎ、ひのき、まつ、ぶなの
地ごしらえ、又は下刈りの雑草防除
でも使えます。

〈製造〉



株式会社 **イスター・エス バイオテック**
〒103-0004 東京都中央区東日本橋1-1-5 COI東日本橋ビル
TEL.03(5825)5522 FAX.03(5825)5501

〈販売〉



丸善薬品産業株式会社

SINCE 1895
東 東京都千代田区鍛冶町2-9-12(神田徳カビル) ☎03-3256-5561
大 大阪府大阪市東区道修町2-4-7 ☎06-6206-5531
福 福岡市博多区奈良屋町1-4-18 ☎92-281-6650
札 札幌市中央区大通西8-2-38(ストーク大通ビル) ☎011-261-9024
仙 仙台市青葉区大町1-1-8(第3青葉ビル) ☎022-222-2790
名 名古屋市中区丸の内1-5-28(伊藤忠丸の内ビル) ☎052-209-5661

松くい虫防除薬剤 / 地上散布・空中散布・無人航空機散布・駆除

エコワン[®]3フロアブル

【有効成分：チアクロプロド3.0%】

®:エコワンは井筒屋化学産業㈱の登録商標です。

- ◆低薬量で高い効果が長期間持続します。
- ◆不快臭・刺激臭がないので、薬剤調製時や散布時に作業者や周辺住民に不快感を与えません。

松くい虫防除薬剤 / 樹幹注入

井筒屋

ショットワン・ツー[®]液剤

【有効成分：エマメクチン安息香酸塩2.0%】

®:ショットワン・ツーはシンジェンタジャパン㈱の登録商標です。

- ◆確実な防除効果が長期間持続します。
- ◆有効成分は、強力な殺センチュウ活性を有しています。

マツガード[®]

【有効成分：ミルベメクチン2.0%】

®:マツガードは三井化学アグロ㈱の登録商標です。

- ◆確実な防除効果が長期間持続します。
- ◆土壌放線菌から分離された有効成分を有し、環境にもやさしいです。

緑化樹害虫防除薬剤 / 樹幹注入

アトラック[®]液剤

【有効成分：チアトキサム4.0%】

®:アトラックはシンジェンタジャパン㈱の登録商標です。

- ◆薬剤が速やかに葉まで分散し、葉を食害するケムシ等に対して内側から高い殺虫効果を発揮します。
- ◆薬剤の飛散がなく、散布が難しい場所でも安心して使用できます。



井筒屋化学産業株式会社

〒860-0072 熊本県熊本市西区花園1丁目11番30号
TEL (096)352-8121 FAX (096)353-5083

樹幹注入剤(殺虫剤)

ウッドスター

ナラ枯れ防止用樹幹注入剤

ウッドキング DASH

伐倒木・枯損木用くん蒸処理剤

キルパー40

- ・ケムシ・吸汁性害虫・クビアカツヤカミキリ幼虫に効果
- ・小径孔での注入で樹木への負担が小さい
- ・公園、街路樹でも安全に処理が可能

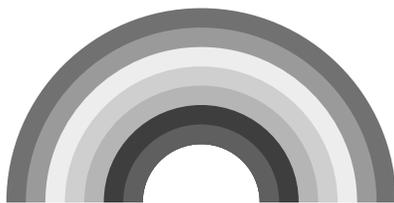
- ・ナラ枯れに対して高い予防効果
- ・2年間の残効
- ・微量の注入で省労力

- ・ガスが拡散し材内部まで消毒
- ・ナラ枯れ・松くい虫・クビアカツヤカミキリの防除に
- ・切株処理でザイセンチュウの根系感染防止

サンケイ化学株式会社

本社	〒891-0122	鹿児島市南榮2丁目9	(099)268-7588
東京本社	〒110-0005	東京都台東区上野7-6-11 第1下谷ビル3F	(03)3845-7951
東京営業部	〒366-0032	埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1	(048)551-2122
大阪営業所	〒532-0011	大阪市淀川区西中島2丁目14-6新大阪第2ビル	(06)6305-5871
九州北部営業所	〒841-0025	佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3	(0942)81-3808

効率的な緑地管理に!



家庭園芸薬品、ゴルフ場・森林関連薬剤はレインボー薬品へご相談ください。



SCC GROUP
住友化学 アグログループ



緑地管理の未来をひらく

レインボー薬品株式会社

東京都台東区上野1-19-10

☎ 03(6740)7777 FAX 03(6740)7000

少薬量と殺センチュウ活性で 松をガード。

少薬量の注入で効果を発揮
防除効果が6年間持続

60mlそのまま
自然圧で注入

60ml(ノズルなし)・180ml
加圧容器に移し替え、ガス加圧で注入。



自然圧注入用



移し替え専用



移し替え専用

有効成分のミルベメクチンは微生物由来の天然物で普通物^{*}
「有機JAS」(有機農産物の日本農林規格 農林水産省)で使用が認められた成分です

※「毒物および劇物取締法」(厚生労働省)に基づく、特定毒物、毒物、劇物の指定を受けない物質を示す。

松枯れ防止樹幹注入剤

マツガード[®]

農林水産省登録 第20403号

- 有効成分：ミルベメクチン…………… 2.0%
- 60mL×10×8 ○180mL×20×2
- 60mL×10×8(ノズルなし移し替え専用) 容量×入数

マツガードは三井化学アグロ(株)の登録商標です。



株式会社 エムシー緑化



三井化学
グループ