

ISSN 0289-5285

林業と薬剤

No. 179 3. 2007

社団法人 林業薬剤協会



目 次

アレロパシー
 —他感物質は農薬になりうるか—……………谷田貝光克 1
 薬剤注入によるモウソウチクの反応……………伊藤 孝美 9
 木登りと鳥の進化……………藤田 祐樹 15

● 表紙の写真 ●

ヒノキ林に侵入し、ヒノキを
 枯らし始めたモウソウチク
 池田市のお寺の裏山（ヒノキ林）にモ
 ウソウチクが侵入し、約45年生のヒノキ
 の劣勢木が枯れ始めている。
 —伊藤孝美氏提供—

アレロパシー
 —他感物質は農薬になりうるか—

谷田貝光克*

1. はじめに

野原に草がはびこり、雑木林に下草、灌木が所狭しと生い茂る光景をよく見かける。わが国のような温暖多湿の環境は植物にとっては繁殖するのに格好の場所である。空き地や荒地にあつという間に雑草がはびこっていく。一見、草や木は場所や気候条件などの生長に適した条件がそろえば無秩序にはびこっていくように思えるが、しかし、必ずしもそうではない。そこには草や木の生長を抑え、繁殖を制御する要因がある。その一つがアレロパシーである。

2. アレロパシーと他感物質

アレロパシーはギリシャ語の Allelo (相互の) と Patheia (被害) から作られた造語である。1937年¹⁾にその術語が作られて以来、その意味するところは時代によって、そのときの科学者によって解釈が少しずつ異なり今日に至っている。すなわち、植物が生成する化学物質の異種植物に対する有害作用のみならず、有益な作用も含み、また、異種植物だけでなく同種に対する作用、さらには動物に対する有害、有益な作用をも含むとらわれ方をしたこともあった。しかしながら今日のアレロパシーに対する概念は、植物が分泌する化学物質の、異種、同種を含めた他の植物に対する有害作用と解釈するのが一般的である。アレロパシーは日本語では他感作用と訳され、アレロパシーを起こす物質は他感物質、あるいは他感作用物質と

呼ばれる。

アレロパシーの術語が作られてまだ100年にも満たないが、植物成分の分離、構造決定技術、生物検定技術など科学技術の急速な進歩によってそれまでは未知であった植物の生態系での働きが徐々に明らかにされつつある。さらにアレロパシーを作物栽培時の雑草防除や農薬開発、生態系のコントロールに利用しようという研究も行われるようになってきた。今までは複雑で踏み込みずヴェールに包まれていた植物の世界での不思議が明らかにされつつあるのである。

アレロパシーが造語されるより前にそのような現象がまったく知られていなかったわけではない。わが国ではおよそ300年前の江戸時代、当時の学者、熊沢蕃山によってアカマツ林の下には耕地にみられるような一年生雑草がみられないことが指摘され、アカマツの葉から落ちる雨滴や朝露が、地上の雑草の生育を抑えるのだらうということが予測されている。その原因が雨滴や朝露に溶け出す化学物質であることまでは想像できなかったにしても近代化学の考え方が無かった時代にすでにアレロパシーの概念が出されていたことは驚きである。この化学物質がp-クマル酸であることが明らかにされたのはその後200年も経過してからのことである²⁾。

今ではアレロパシーの学問分野は一つの研究分野を形成し、年々、研究報告の数も増え、成書も数多く出されている³⁾。

3. 生態系をコントロールするアレロパシー

最も身近にみられるアレロパシーはセイタカア

*秋田県立大学木材高度加工研究所 YATAGAI Mitsuyoshi

ワダチソウである。荒地や住宅街の空き地などにいつの間にもどこからとも無く侵入し芽を出し、あっという間に繁殖する。空き地いっぱいに広がる黄色の花はその勢力の強大さを物語っている。荒地や開けた場所に最初に侵入するのはブタクサなどの一年生草本である。その後にセイタカアワダチソウが侵入しブタクサを追いやり、繁殖する。その繁殖の武器は他感物質である。しかし、背高く繁殖していたセイタカアワダチソウも数年後には矮小化し、次第にクズなどの植物に置き換わっていく現象がみられる。自分の出す他感物質に影響されるからである。過剰の繁殖を自己抑制してい

る現象とも考えることができる。最近では空き地などに密生するクズの中に黄橙色の花を開くキクイモがはびこっていくのをよく見かける。アレロパシーは植物の遷移をコントロールする一つの要因でもある。

他感物質の放出あるいは分泌は植物によって多様であり、その成分も多種に及ぶ。中でも多いのはテルペンなどの揮発性物質、フラボンなどを含むフェノール類、配糖体などである。

揮発性物質は大気中に放出され、周囲の植物の発芽、生長を抑制する。精油含量の高い植物にこの種のアレロパシーがよく見られる。ハッカ、サ



写真-1 アレロパシーのあるユーカリ

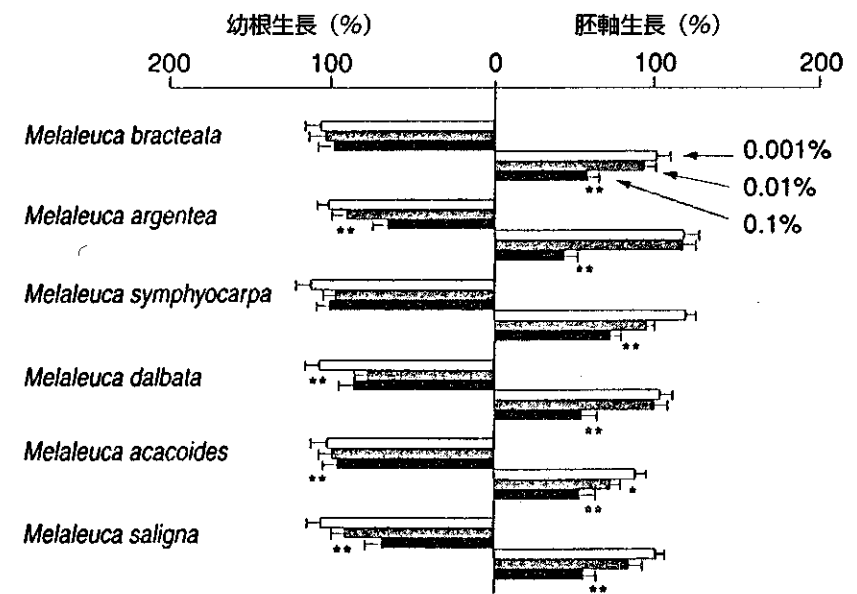
ルビア属灌木、ユーカリなどである。田んぼのあぜ道にハッカを植え、雑草を防いでいる例も見られる。サルビア属灌木が牧草地に侵入していく例が知られている。この場合にはカンファー、1, 8-シネオールといった揮発性テルペンが他感物質となっている。ヨモギ属芳香性灌木でも同様な例が見られ、この場合もカンファーなどのテルペン類がアレロパシーを発揮する。

ユーカリは強いアレロパシーで知られている。その原因は葉から放出される揮発性テルペンである。暑い日差しの下では強いにおいが漂うくらいにユーカリは揮発性物質を放出する。しかし600数十種もあるユーカリのすべてが、においが強く、また、アレロパシーを発揮するわけではない。むしろ、報文でアレロパシーのあることを記載されているユーカリの樹種は、*Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis*, *E. delegatensis* など十数種に過ぎない。これらの樹種の周囲には雑草が少なく、また、生育している下草、灌木等の種類も少ない。

これらの現象が土壤水分や土壤養分不足、日照不足によるもので無く、アレロパシーによるものであることが実証されているが、ユーカリのアレロパシーには異論を唱える人もいる。

ユーカリと同じくフトモモ科の早成樹種で、繁殖力の強いメラルーカ属樹種もアレロパシーを有することが明らかにされている。しかしこの場合も250種以上存在するといわれているメラルーカ属樹種の中でアレロパシー現象が化学的に把握されているのは十種以下である。*Melaleuca saligna*, *M. bracteata*, *M. dealbata*, *M. acacoides* はその一例だが、その多くは主要な葉油成分である1,8-シネオールが主たる他感物質として考えられている。*M. bracteata* 葉油ではメチルイソイゲノール、エレミシン、2, 3-ジメトキシ-5-プロペン-2-イルフェノールなどのフェノール化合物が主要な成分となっており、これらがアレロパシーを引き起こすと考えられている⁴⁾。

コーヒーの木の葉、根の分泌物もアレロパシー



対照を100%とする。濃度は0.1% *p<0.05, **p<0.01

第1図 *Melaleuca* 葉のメタノール抽出物のハツカダイコン種子に対する生長制御作用

の作用がある。これらの分泌物や抽出物はイネ科の雑草などの発芽、生長を阻害する。その主たる他感物質はアルカロイドのカフェインやフェノール成分のカフェイン酸で、幼苗の時にはカフェインの含まれる割合が高く、木が生長するにしたがってフェノール類が増していき、それらが雨露に溶け出して土壤中に落下して蓄積し、雑草の生育を阻害する。

秋に田んぼの畦道や土手に鮮やかな赤い花を群生させるヒガンバナは鱗茎に猛毒のいくつかのアルカロイドを含んでいて、食べると中枢神経の麻痺を起こすが、それらの中にはフェノール性のアルカロイドが含まれ、カラスムギやイネの幼苗の生長を抑える働きもある。

クレス発芽種子からはヒモゲイトウ、トマト、レタスなどの下胚軸の伸長を著しく促進し、逆に幼根の伸長を阻害する物質が単離され、レビジモイドと名づけられている。レビジモイドは糖が二

分子ついた二糖類である。その後、種々の植物の発芽種子の分泌液を調べたところ、ヒマワリ、アペナ、トウモロコシ、エンドウ、ダイコンなどにもレビジモイドが含まれており、クレス同様の作用をすることが明らかにされている⁵⁾。

タデ科、カタバミ科、アカザ科、シユウカイドウ科、パショウ科の比較的高濃度でシユウ酸塩を含むことが知られている植物種の乾燥葉から滲出する物質のレタス初期生育に対する活性が調べられた。その結果、総シユウ酸含量とそのレタス幼根伸長の間には有意な負の相関が認められ、アレロパシー活性の一因が体内のシユウ酸であることが示唆された。タデ科ヒメスイバ、カタバミ科カタバミは特に幼根伸長阻害が強かった⁶⁾。

ヒマワリもアレロパシーを持つことで知られている。米国に生育する野生ヒマワリの根からの分泌物が他の植物の生育を阻害し、また、ヒマワリ自身の生育にも害を及ぼし、忌地現象を起こす。



写真一 湿地に生えるメラルーカ

最近ではわが国でもいくつかの種類の小型のヒマワリが家庭の庭などに観賞用に植えられている。ここでもヒマワリの忌地現象が観察されている。

夏に紅紫色の小さな花を咲かせるアカツメクサ(レッドクローバー)は、シロツメクサに似た草だが、これはクローバー病といわれる忌地現象を起こす。葉と茎にアカツメクサの発芽を阻害する物質、フェノール類の一種イソフラボンの配糖体が含まれる。

同じクローバーの仲間ではシロツメクサや牧草として用いられるタチオランダゲンゲも上記の物質によって生育が阻害されるが、アカツメクサの場合に比べてかなり弱い。また、クローバーと同じく牧草として用いられるカラスノエンドウに対しては上記物質は全く阻害しない。このように植物に含まれる他感物質は、ある特定の植物には阻害活性が強いが、あるものには全く活性がないか、あったとしても極く弱いという具合に、植物に特異的に働くことが少なくない。このような現象をうまく使い分けられれば、アレロパシーを利用して、雑草防除に活用するようなことも可能である。

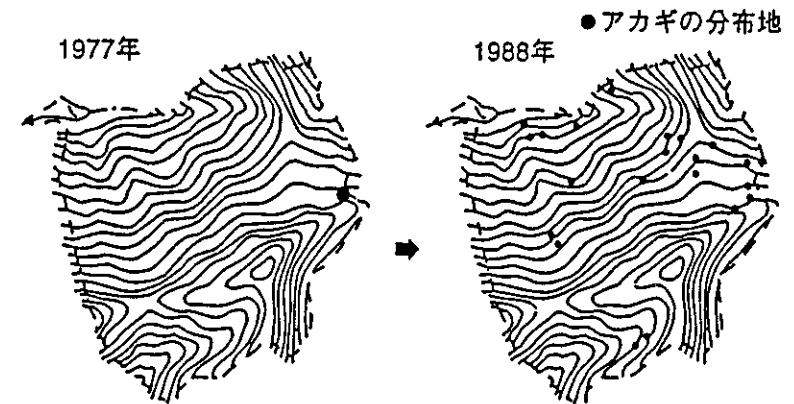
4. 樹木のアレロパシー

一年生草本のようにその現象は明確には見えないものの、樹木にもアレロパシーは存在し、周

囲の植物の生長に影響を及ぼす。クルミは生長が早い、その周囲には雑草が少ない。アメリカに生育するクログルミは根から強力なキノン型の他感物質ユグロンを分泌する。実はユグロンは体内にあるときにはフェノール性の配糖体で存在し、それが土中に分泌されると微生物などの作用により加水分解を受け、フェノールになり、それがさらに酸化されキノンとなってアレロパシーを発揮する。配糖体の形では毒性はない。わが国に生育するオニグルミ、テウチグルミ、ノグルミなどもアレロパシーを発揮することが実験で確かめられている。

体内では毒性のない安全な形で所有し、体外に分泌されて毒性を発揮するような例は植物によく見られる現象である。たとえば、連作障害があることで知られるモモは樹皮にアミグダリンという青酸配糖体を含んでいる。この化合物には阻害作用はない。いったん野外に分泌されると土壤中の微生物や酵素によって糖がはずれ、さらにそれが分解、酸化などを受けて青酸とベンズアルデヒドになり、さらに安息香酸に変化する。そして安息香酸がアレロパシーを引き起こす。

リンゴの場合も類似の現象が起こる。リンゴはフロリジンというフェノール配糖体を含んでいるが、これが野外に放出された後に *Aspergillus*



第2図 小笠原の試験地におけるアカギの分布の変化

や *Penicillium* といった微生物によって加水分解され、フェノール体が生じ、さらに酸化されて p-ヒドロキシ安息香酸となりアレロパシーを引き起こす。

イチジクも忌地現象があるといわれているが、根皮や緑葉中にベルガプテンといったクマリンの誘導体を多量に含む。クマリンは桜餅の桜の葉のにおいであり、抗菌性や殺虫作用があることで知られている化合物である。これらの化合物がアレロパシーを引き起こしていると予想されている。

太平洋に浮かぶ小笠原諸島は大陸から離れ、島独自の植生をもち、島の固有種が多い。ところが明治時代に炭材として利用するために台湾から移植されたトウダイグサ科樹木アカギが繁殖し、固有植生を駆逐してはびこり問題になっている。葉の抽出物のハツカダイコンを用いた生物検定の結果、フリーデリンというトリテルペンに強い生長阻害活性が見出だされている⁷⁾。

イヌマキやナギ、フーブヤイン、スラッシュマツ、アカシア、ニセアカシアなどにもアレロパシーは観察されている。プラタナスの一種アメリカシカモアの葉と果実にはクマリンの一種のスコポレチンとフェノール化合物 p-クマリン酸が含まれ、雨で流れ落ちて周囲の草の生えるのを抑える。エノキ属のシュガーベリーの葉にもカフェイン酸と共にスコポレチンが含まれ、アレロパシーを引き起こす。

5. アレロパシーの作用機構

作物を同じ場所で毎年栽培し続けると次第に生長が悪くなり、収量も落ちてくることもある。いわゆる連作障害あるいは忌地現象である。作物ではウリ科、ナス科、マメ科など、樹木ではイチジク、モモなどで起こりやすい。忌地現象が起こると病虫害も多発し、生育も不良となる。

忌地現象の原因はいくつか考えられる。土壤養分の消耗、土壤物理性の悪化、センチュウや根きり虫、あるいは土壤微生物などの病虫害、植物の

根や葉などからの成分による生長阻害などである。それぞれにこれらの原因を取り除くために対応策が考えられている。土壤養分の消耗には施肥が行われたり、栽培する土地を変えたりし、病虫害に対しては薬剤の灌注が行われる。最近、作物の病虫害予防に使用されだしたのが製炭時の排煙を凝縮した木酢液である。木酢液はセンチュウ、根きり虫、アブラムシなどの害虫の忌避、ウドンコ病、立ち枯れ病、萎凋病などに効果がある。

土壤物理性の改善には最近木炭が使用されている。多孔性の木炭の細孔が土壤の透水性を改善することで木炭は地力増進法の土壤改良資材として認められている。

植物成分による忌地現象がアレロパシーによるものである。植物からの分泌物が作物の生長を阻害する。刈取り後の根や葉などの残渣が土に残され、分解して次に植えられる作物の生長に影響することもある。この場合には残渣を残さないようにすることで被害を少なくとどめることができる。樹木でも移植後に新たな樹木を植えると育ちが悪いことが観察されることがある。アレロパシーのある根などが土中に残されているためである。

ところでアレロパシーはなぜ起こるのか。アレロパシーの現象は近年、数多く報告されるようになり、さらにその現象は観察だけでなく、データを伴った裏づけが科学的になされたものが多いものの、作用機構についてはまだほとんど未解明のままである。*Rice*³⁾ は、アレロパシーの作用機構として他感物質の植物への影響について、1. 植物の細胞分裂、生長への影響 2. 植物ホルモンの作用への影響 3. 植物の膜の透過性への影響 4. 養分吸収、光合成、エネルギー代謝、呼吸などへの影響 5. 蛋白合成、脂質・有機酸代謝への影響 を挙げている。しかしながら、アレロパシーの現象は観察されてはいるもののその先あまり踏み込んでいないのが実情である。アレロパシーの現象を作物栽培、育林などに効率よく利用していくためにも作用機構の解明は不可欠である。

6. アレロパシーの利用—他感物質は農薬になりうるか？

植物に含まれる有用成分は、古くから私たちの生活の中で利用されてきた。香りとしての精油、染料、生薬などである。これらの成分は植物から取り出され、抽出物として利用されてきたものがほとんどである。取り出さないで植物が生きている状態でそのまま利用することはできないだろうか。それを可能とするのがアレロパシーである。

植物の有用成分を利用するには大きく分けて2通りある。その一つは取り出して利用する方法、すなわち精油や染料、薬としての利用であり、他の一つは植物が生きたまま植物の意のままに成分を分泌させて利用する方法である。いわば、生態系の中での利用である。抽出では人間の都合で植物を抽出し利用することができるが、生態系の中での利用は、植物の生理、生態を熟知してこそうまくいく。植物の意に沿った利用が必要になってくる。そういう点からも後者の利用法は取り出して利用することに比べれば難しい。今までは、理屈でわかっても意のままに動かぬ植物相手に難しく、手に負えなかったのだろう。しかし、科学技術の進歩と共に、植物の生理、生態も次第に明らかになってきている。生態系の中での利用が積極的に進められる時代はそれほど遠くはないことだろう。

アレロパシーを上手に野外で使用している例がある。それは制圧植物としての利用である。制圧植物には雑草を抑える働きがある。制圧植物が雑草を抑える要因には、雑草との競合によって光、水分、養分を制圧植物が奪取することや、アレロパシーが考えられるが、オオムギ、ライムギ、エンバク、ソバ、ソルガム、キビ、アワ、クローバ、アルファルファ、ムクナなどはアレロパシーによって制圧植物としての働きを発揮する。

エンバクが分泌する他感物質はスコポレチンという化合物であるが、米国農務省は世界各地から3,000種に及ぶエンバクを集め、その中から普通

種の3倍量程度のスコポレチンを含む種を見出した。さらに、この種がアブラナ科雑草の生育を阻害することを明らかにしている⁸⁾。

オオムギはグラミンというアルカロイドを地中に分泌する。この物質は10ppmでハコベの生育を80%阻害するが、ナズナ、タバコに対しては弱い阻害を示すだけで、コムギに対しては全く阻害しない。

ブラジルで緑肥として用いられているマメ科植物のムクナも雑草の生育を阻害する。その成分はドーパ (3, 4-ジヒドロキシフェニルアラニン) という化合物であるが、ドーパは発芽試験ではレタスなどの根の生長を阻害するが、イネ科植物に対しては阻害作用が小さい⁹⁾。

上記のようにアレロパシーは種特異的に作用することが多い。その性質をうまく使うことによってアレロパシーのある植物を作物の間に植えて雑草の生育を抑えるような利用は可能である。しかし、それには植物の性質をよく把握する必要があることはいかに及ばない。

他感物質に限らず、殺虫作用や薬理作用などの生理活性を持つ植物成分は、さらに強い活性を持つ物質を化学合成するモデル物質としてよく利用される。このようなモデル物質をリード化合物という。植物成分は、人間の考えでは及ばないような複雑な構造を持つこともあり、もしたとえ、比較的単純な構造にしても活性な構造がいかなるものかをわれわれ人間に教えてくれる。リード化合物はよりよいものを合成するための出発点となるものである。他感物質にしてもそうである。活性の強い農薬合成のためのリード化合物としての大きな役割を他感物質は担っている。

アレロパシーを有する植物は地域的に経験的にエゴマ、クズ、マコモ、シバチガヤなどのように作物を育てるときに畑に鋤きこみ、雑草防除に利用されてきたものがある。また、マルチとしても用いられてきた。すでに経験的にアレロパシーは実際に利用されてきたのである。

7. おわりに

アレロパシーという植物の生長を阻害する悪者ととられやすい。しかし、そう考えるのは、アレロパシーの実態を知らず、働きを十分に知らないことにほかならない。植物の働きをよく知ることではマイナスと思われていたこともプラスに転じる。アレロパシー、そして他感物質は近い将来の天然の農薬として注目されることになるだろう。

参考文献

1) H. Molisch, Der Einfluss einer pflanze auf die andere-Allelopathi, Gustav Fischer, Jena (1937)
 2) K. Lee and M. Monsi, Bot. Mag. (Tokyo), 76, 400 (1963)
 3) E. L. Rice, Allelopathy 2nd ed., Academic Press

(1984), A. R. Putnam and C-S. Tang ed., The Science of Allelopathy, John Wiley & Sons (1986)
 Inderjit, K. M. M. Dakshini, F. A. Einhellig ed., Allelopathy, ACS Symposium Series 582 (1995)
 4) M. Yatagai, T. Ohira and K. Nakashima, Biochem. Sys. Ecology, 26, 713 (1998)
 5) 長谷川宏司, 植物の化学調節, 28(2), 174-181 (1993)
 6) 猪谷富雄, 藤田琢也, 玉置雅彦, 黒柳正典, 藤井義晴, 雑草研究, 44(4), 316-323 (1999)
 7) 大平辰朗, 谷田貝光克, Mokuzai Gakkaishi, 38(2), 204-208 (1992)
 8) P. K. Fay and W. B. Duke, Weed Sci., 25, 224 (1977)
 9) 藤井義晴, 渋谷知子, 宇佐美洋三, 雑草研究 (第27回講演会講演要旨), 33 (別号), 107 (1988)

薬剤注入によるモウソウチクの反応

伊藤 孝美*

1. はじめに

農林業だけでなく里山の利活用の面からみても、竹林が拡大し、隣接林分が侵入した竹の増加によって竹林化してしまうことが大きな問題である。と同時に民家の庭まで竹が侵入してくるのも困った問題である。

竹とくにマダケやハチクは古来農具や家具、建家の部材、エクステリアの部材、その他数え切れないほどの用途に用いられた重要な資源の一つであった。しかし、生活スタイルの変化はこれらの用途を一掃してしまった。国産の竹材の用途がなくなると誰も竹を切りに行かなくなってしまい、竹林は荒れ放題となってしまった。

一方、タケノコを掘るモウソウチク林も荒れ放題となった。なぜなら、最初は安価なタケノコの水煮、次いで安価な生のタケノコが海外からどんどん入ってくるようになって日本のタケノコがあまり売れなくなり、タケノコを掘りに竹林に行かなくなったからである。

放置されて荒れ放題になった竹林は、外へ外へと地下茎をのばし、その地下茎の節から竹を発生させ、急激に隣接林分を竹林化していったのである。

タケノコは1ヶ月半から2ヶ月で10数mまで成長するが、伸長後葉を広げるまでは地下茎のデンプンによって成長し、光を必要としない。したがって林冠がうっ閉した人工林であれば、竹の高さが人工林の樹高を超えなければ竹は光合成できなく

なって衰弱するか枯れてしまうが、人工林の樹高より竹高が高ければ人工林の梢より頭を出して光合成を行うと同時に、人工林の梢を叩いて成長を止めたり、竹の密度が高くなれば光合成を阻害して枯らしてしまうのである。しかも里山の落葉広葉樹林に侵入した場合には、広葉樹林からの木漏れ日は結構あるので、どんどん竹稈を発生させて竹より低い亜高木以下の広葉樹は枯らされてしまつて、10年ぐらいで落葉広葉樹林を竹林化させてし



写真1 里山の落葉広葉樹林に侵入したマダケ



写真2 スギを枯らしたモウソウチク

*大阪府立食とみどりの総合技術センター ITOU Takami

地球温暖化防止に向けた森林の役割

みどりは地球を救うシリーズ No. 5
 「美しい森林に託す地球の未来」
 を発行しました

我が国は、1997年に採択された京都議定書による温室効果ガス6%の削減約束のうち、3.9%を森林の二酸化炭素吸収量で確保することとし、「地球温暖化防止森林吸収源対策10カ年対策」(2002年)を策定して森林の整備・保全、木材、木質バイオマス利用の推進等、総合的に取り組んでいます。

このパンフレットは、地球温暖化の影響、温暖化防止のための森林の役割、役割を果たすための森林の取り扱いと現状について述べ、地球温暖化防止に向けた美しい森林づくりについて、みなさんの理解を深めたり、議論を進めたりすることに役立つよう作成しました。

地球や森林の未来を考えるための資料としてご利用いただけますようご購入をお待ちしています。(A4版、オールカラー表紙とも16ページ)

発行：社団法人 日本林業協会
 〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル3F
 TEL. 03-3586-8430, FAX. 03-3586-8434

定価1部300円(税込み、送料実費)

(100部以上購入される場合は、送料を当方負担いたします)



写真3 モウソウチク全伐1年後の状況

まう。
したがって、放置された竹林を適切に管理するとともに、侵入した竹林が不要な場合や侵入してきた竹は駆除しなければならない。本来、竹林と人間とは親しいつきあいをしてきたため、一方的に竹を駆除するというわけにはいかないが、本稿では竹（モウソウチク）を駆除するための方法および薬剤を用いたときの竹の反応について述べてみたい。

2. モウソウチクの駆除方法

モウソウチクを駆除する方法としては7～8月にかけて竹を全部伐ってしまうのが一番である。先に述べたようにモウソウチクは7～9月に光合成を行ない、その産物（糖類とデンプン）を竹稈の維管束（柔細胞）に貯蔵し、10月頃から柔細胞に貯蔵した産物を地下茎に移動させ、地下茎に貯蔵されたデンプンによって翌年のタケノコを発生させ、タケノコを成長させる。そのため、7～8月に伐れば地下茎へ行くデンプンがほとんど無くなって、翌年の竹は樹高3m未満、直径2cm未満の小さいものしか発生しなくなる。これを3～4年繰り返せばササ状の竹がまばらに出てくるようになって、跡地を他の植生に転換することが可能になる。

全部を伐れない場合は、侵入してきて困る場所との境界を掘り、地下茎も切った上でそこに遮蔽板（畦シート、波トタン板など）を埋設し、そこ

から先の竹を全部切ってしまうことである。しかし、山で距離の長い溝を掘り、遮蔽板を埋設することは不可能に近い。したがって、侵入してきて困る場所は毎年竹を伐るしか方法はない。私の試験した事例では、伐り残した竹から5mまではある程度太い竹は発生してくるがそれより先では小さな竹しか出てこなくなり、それも発生本数が非常に少なくなった。

一方、薬剤による枯殺が注目を浴びている。それは地上部の竹稈を枯らすだけでなく地下茎も枯殺できるからである。昨年（2005年）に、私たちがMON-96Aという供試薬剤名で試験をしてきた、商品名ラウンドアップハイロードが竹枯殺用薬剤として適用登録がなされた。しかし、地上部は枯れたのがわかるが地下茎への反応はまだ十分にはわかっていない。以下では薬剤によるモウソウチクの反応についてわかっている範囲で述べる。

3. 薬剤注入後のモウソウチクの反応

薬剤は竹稈に穴をあけて7月から10月にかけて原液を5～15ml注入する方法で処理した。表1は平成14年（2002）から平成17年（2005）にかけて、3種類の薬剤を用いて、処理月を変えて実施した試験の竹稈の枯死経過である。これを見ると、7月処理が2ヶ月未満で枯れ、10月処理になると翌年の初夏までかかって全てが枯死した。その間、傾向として8月処理、9月処理の順に枯死までの期間が長くなる傾向があった。

表1 これまでの薬剤注入による竹稈の枯死経過総括表

供試竹の現況			1月後		2月後		3月後		4月後	
処理日年月日	薬剤名	処理量 (ml)	葉 (%)		葉 (%)		葉 (%)		葉 (%)	
			変色率	落葉率	変色率	落葉率	変色率	落葉率	変色率	落葉率
平成14年7月31日	MON-96A	5	97.5	95.0	100.0	100.0				
平成14年7月31日	MON-96A	10	99.0	98.0	100.0	100.0				
平成14年7月31日	MON-96A	15	100.0	99.5	100.0	100.0				
平成15年8月24日	MON-96A	5	76.8	77.0	99.6	99.0	100.0	99.8		
平成15年8月24日	MON-96A	10	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
平成16年8月25日	NC-622	5	90.0	80.2	91.9	91.9	91.9	91.9	93.3	91.9
平成16年8月25日	NC-622	10	100.0	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0		
平成17年9月1日	AK-01	5	65.2	63.0	92.6	89.6	97.6	97.0	98.0	97.2
平成17年9月1日	AK-01	10	29.5	19.5	85.8	77.3	95.3	91.5	97.3	94.1
平成16年9月22日	AK-01	5	47.8	19.0	70.8	58.5	77.8	82.3		
平成16年9月23日	AK-01	10	60.0	14.4	81.9	72.8	84.7	80.6		
平成14年10月23日	MON-96A	5	0.0	0.0	18.5	0.5	30.0	9.5	34.5	12.5
平成14年10月23日	MON-96A	10	0.0	0.0	24.5	1.5	35.5	13.5	41.5	17.0
平成14年10月23日	MON-96A	15	0.0	0.0	19.0	6.0	26.5	12.9	30.5	15.4
平成17年10月31日	NC-622	5	1.5	0.0	31.7	1.5	60.8	15.0	66.3	19.0
平成17年10月31日	NC-622	10	2.0	0.0	57.0	5.5	77.0	24.8	89.3	37.9

処理日年月日	5月後		6月後		7月後		全落葉時稈変色状況			
	葉 (%)		葉 (%)		葉 (%)		稈 (数)		稈 (cm)	
	変色率	落葉率	変色率	落葉率	変色率	落葉率	上方	下方	上方	下方
平成14年7月31日							1.8	2.6	27.6	39.6
平成14年7月31日							2.4	3.6	43.7	59.5
平成14年7月31日							3.0	4.1	54.3	64.2
平成15年8月24日							5.1	5.8	139.3	85.3
平成15年8月24日							5.3	6.5	140.3	89.8
平成16年8月25日							2.1	2.7	46.3	44.4
平成16年8月25日							1.9	3.1	38.3	49.7
平成17年9月1日	98.4	97.5	98.4	97.7	98.4	98.6				
平成17年9月1日	97.5	94.3	97.5	94.3	97.5	95.8				
平成16年9月22日							3.1	3.6	89.4	54.5
平成16年9月23日							2.6	3.8	77.7	60.0
平成14年10月23日	38.0	16.5	76.5	45.5	98.0	94.0	3.6	3.9	66.6	59.2
平成14年10月23日	57.5	26.9	88.0	77.1	100.0	100.0	4.1	6.0	71.4	80.1
平成14年10月23日	39.5	20.4	86.0	60.2	100.0	100.0	5.1	7.2	91.5	88.8
平成17年10月31日	89.0	57.1	100.0	100.0			7.7	8.2	217.5	90.5
平成17年10月31日	93.0	72.0	100.0	100.0			9.4	9.6	276.5	107.9

※MON-96A（グリホサートアンモニウム塩、41%）、NC-622（グリホサートカリウム塩、48%）、AK-01液剤（グリホサートイソプロピルアミン塩、41%）

このことが何に起因しているのかを調べるため日平均気温に注目し、日平均気温から5℃を引いた値を90%以上の竹が枯れた日まで加えた積算温

度を計算した。その結果、表2に示すように、おおよそ1100日度で枯死に至ることが明らかとなった。しかし、

2005年に処理したAK-01に関しては飛び抜けて高い値となったが、この理由についてはよくわからない。多分気温だけに反応するのではなく、降水量などにも反応しているのであろう。

表一2 90%以上が枯死した暇での積算温度 (T)
($T = \sum(tn - 5)$ tn: 日平均気温)

MON-96A	02年夏 (7月31日) 処理	1,000度 (45日)
MON-96A	02年秋 (10月23日) 処理	1,150度 (213日)
MON-96A	03年夏 (8月24日) 処理	1,075度 (65日)
NC-622	04年夏 (8月25日) 処理	1,068度 (65日)
AK-01	04年秋 (9月22日) 処理	1,160度 (210日)
AK-01	05年秋 (9月1日) 処理	1,527度 (241日)
NC-622	05年秋 (10月31日) 処理	983度 (212日)

表一3 地下茎の成長量

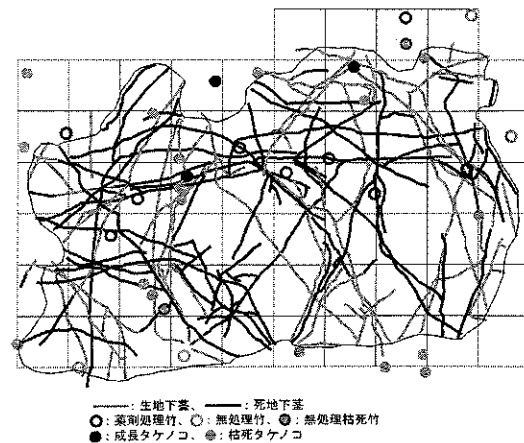
	根有部長 (cm)	根無部長 (cm)	合計	
			節数	長さ (cm)
モウソウチク ①	110	115	44	225
〃 ②	125	168	48	293
〃 ③	126	160	45	286
〃 ④	106	147	53	253
〃 ⑤	114	124	44	238
〃 ⑥	170	96	48	266
〃 ⑦	246	73	57	319
〃 ⑧		98	31	98
〃 ⑨		132	37	132
〃 ⑩	114	131	50	245
〃 ⑪	309	195	76	504
〃 ⑫	158	79	37	237
〃 ⑬	301	53	67	354
〃 ⑭	189	95	55	284
〃 ⑮	189	164	62	353
平均			50.3	272.5
モウソウチク ~第1分岐				350
分枝先端				225
~第2分岐				110
~第3分岐				526
~第4分岐				394
モウソウチク ~第1分岐				265
~第2分岐				63
~第3分岐				215
分枝先端				170
~第4分岐				525
平均				284.3

4. モウソウチクの地下茎

ここで、モウソウチクの地下茎について述べてみたい。

モウソウチクの地下茎の年間成長量は、大阪府立食とみどりの総合技術センターの二つのモウソウチク林において調査した結果、表一3のよういづれの竹林でも平均3m弱という結果になった。一つの竹林では全く無傷の地下茎の分岐部から分岐部までの長さを測定した結果で、もう一つの竹林ではその年に伸びた新地下茎を15本測定した結果である。その地下茎において、竹稈は前年および前々年に伸びた地下茎からは発生しておらず、3年以上前に伸びた地下茎から発生していた。

一方、4年ほど前から侵入したモウソウチク林と20年ほど管理されずに放置されたモウソウチク林の地下茎をそれぞれ20㎡ほど掘って観察してみた。最近侵入した竹林では、タケノコを掘るときに傷ついた地下茎と薬剤を注入した竹稈につながっている地下茎が枯損しており、薬剤注入に基づく地下茎の枯死は10%程度であった。しかし、放置された竹林では、図一1に示すように、タケノコ掘りで傷ついて枯れた地下茎と古くなって枯れた地下茎とで40%ほどが枯損し、薬剤注入によって枯損した地下茎が10%程度で、生きている地下茎



図一1 地下茎の分布と処理竹、タケノコなどの分布

は50%程度であった。

したがって地下茎への薬剤の影響を調べるには、地下茎のほとんどが生きている竹林が必要で、そのような竹林は竹が侵入してから数年程度で、かつ、なるべくタケノコを採取していない竹林を用いて行うことが明らかな結果を導き出すために必要である。

なお、地下茎が枯損してから1~2年は黒褐色に変色するが、枯損してから年月が経つと灰褐色に変色して脆くなっていく。

4. 薬剤は地下茎にどのように浸透するのか

竹稈に薬剤を注入すると、ときどき注入していない竹まで枯れることがある。表一4は2002年と2003年にMON-96A (商品名ラウンドアップハイロード) の薬剤処理した試験区内あるいは試験区外で枯れた無処理竹と注入処理竹の最短距離を測定した値である。これを見ると最大で2.05mとなっており、地下茎を薬剤が2m以上移行したも

のとみて差し支えない。

表一5は、2005年の9月1日と10月6日に、竹稈の1mほどの高さにラウンドアップハイロード原液10mlを注入したとき、さらに2004年8月24日に切り株にNC-622 (グリホサートカリウム塩) 原液を10ml注入したときの地下茎への影響を調べた結果である。

これをみると、9月1日注入の場合は1ヶ月半ほどで竹稈は枯損し、地下茎の枯損は平均で先方(成長進行方向)89.3cm、後方(反成長進行方向)22.3cm、6ヶ月後には先方206cm、後方187cm以上となった。これに対して10月6日注入の場合は3ヶ月半ほどでようやく地下茎の枯損が先方61cm以上、後方96cmとなり、5ヶ月弱では先方

表一4 枯死した無処理竹の処理竹からの直線距離

2002年夏処理:	0.60m	0.20m			
2003年夏処理:	2.05m	2.00m	1.70m	1.60m	1.40m
	1.25m	1.05m	1.05m	0.85m	0.73m
	0.72m	0.68m	0.47m	0.30m	

表一5 竹稈への薬剤注入による地下茎の変色

(薬剤はラウンドアップハイロード原液を1本当たり10ml注入)

竹稈番号	直径 (cm)	薬剤注入日	12月13日						1月24日				2月28日				
			葉変色率 (%)	落葉率 (%)	稈変色長 (cm)	地下茎変色 (cm)		葉変色率 (%)	落葉率 (%)	稈変色長 (cm)	地下茎変色 (cm)		葉変色率 (%)	落葉率 (%)	稈変色長 (cm)	地下茎変色 (cm)	
						先方	後方				先方	後方				先方	後方
1-1	9.7	9月1日	100	100	300	210	61	100	100	300	260	375	100	100	300	260	375
1-2	6.2	9月1日	100	100	300	93	91	100	100	300	208	110	100	100	300	208	115
1-3	6.8	9月1日	100	100	300	70	33	100	100	300	150	70	100	100	300	150	70
平均値			100	100	300	124.3	61.7	100	100	300	206	243	100	100	300	206	187
2-1	10.7	10月6日	40	0	18	0	0	50	0	20	0	60	50	0	20	155	60
2-2	6.5	10月6日	30	0	10	0	0	50	0	10	30	187	50	0	10	30	192
2-3	4.4	10月6日	40	0	36	0	0	30	10	48	152	41	30	60	48	169	80
平均値			36.7	0	21.3	0	0	43.3	3.3	26.0	61	96.0	43.3	20	26	118	110.7

(薬剤はNC-622 (グリホサートカリウム塩) 原液を1株当たり10ml注入)

竹稈番号	薬剤注入日	2004年				2005年8月			
		葉変色率 (%)	落葉率 (%)	稈変色長 (cm)	地下茎変色 (cm)	葉変色率 (%)	落葉率 (%)	稈変色長 (cm)	地下茎変色 (cm)
3-1	8月24日							55	40
3-2	8月24日							165	160
3-3	8月24日							60	148
3-4	8月24日							233	196
3-5	8月24日							?	206
3-6	8月24日							190	127
平均値								140.6	146.2

118cm以上、後方110.7cmとなったが、竹稈の枯死にはいたらなかった。2月28日以降は地下茎をそれ以上掘り進めなくなったので中止したが、竹稈への薬剤注入によって竹稈の位置から地下茎3m前後薬剤の影響によって枯損する可能性が示唆された。またNC-622の8月24日注入の場合、約1年後の地下茎の枯損状況は先方140.6cm、後方146.2cm以上で、最大値からみると前後方ともに2m以上の値となった。

5. 薬剤注入による翌年新筍への影響

タケノコは地下茎の節にある芽子が成長したものである。地下茎が何らかの影響により枯損すると枯損した部分の芽子も枯れて黒く変色する。したがって、薬剤注入によって地下茎が枯損すると枯損した部分からはタケノコは発生してこない。

2004年夏に竹の切り株に薬剤（NC-622：グリホサートカリウム塩）を注入し、2005年の夏に地下茎を掘った場所で2005年に出たタケノコが竹に成長したのは4本あったが、全て薬剤注入した切り株とつながっていない地下茎からのものであって、黒褐色に変色した、枯損した地下茎からのタケノコの発生は皆無であった。しかし、4月下旬に高さ30cmまで成長したタケノコ1本が枯れてしまった。その部分の地下茎を掘ってみると、ちょうどタケノコの着いている位置まで地下茎が黒褐色斑状になっており、その先は明褐色の元気な地下茎であって、その境界部分にタケノコが発生していた。多分4月中旬ぐらいまでは地下茎の枯損がタケノコまでとどいていなかったのではないかと考えられ、成長を始めたところに薬剤の影響が出てタケノコの枯損に至ったものと考えられた。

なお、薬剤注入処理を行わなかった場合でもタ

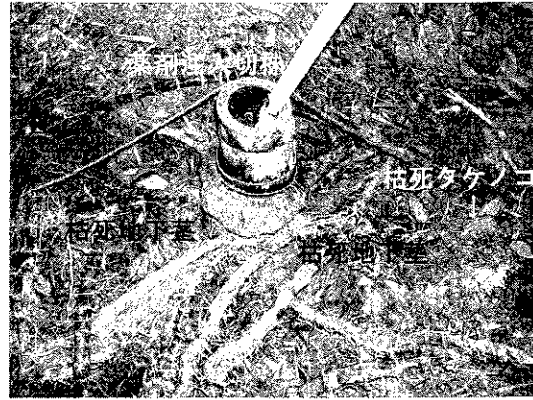


写真4 高さ30cmまで伸びて枯れたタケノコ

ケノコの半分ほどは10cmほどになって成長をやめてしまい枯損に至るものが発生する。この原因はよくわからないが、同じ地下茎から大きなタケノコが1～2本発生すると他の成長し始めたタケノコのために使われるデンプン量が少なくなってしまうためではないかと思われる。また、何らかの理由で地下茎へのデンプンの蓄積が少ない時にも同じことが起きるのではないかと思われる。

6. おわりに

以上、筆者が大阪府立食とみどりの総合技術センター内のモウソウチク林で行った調査から得たデータを基に薬剤を注入したときのモウソウチクの反応について述べた。土壌環境や気象環境の異なる別の竹林などでは異なったデータが出るものと考えられる。しかし、このような調査例はほとんど無いため、各地で調査する必要があると思われる。そのときの参考になれば幸いである。（この記事の一部は、第57回日本森林学会関西支部大会において発表したものである）

木登りと鳥の進化

藤田 祐樹*

はじめに

動物が森林を利用する方法は様々である。例えば樹上や樹洞に巣を作る、ねぐらとして利用する、木の実や花の蜜、昆虫などを採食するといったことが考えられる。樹上を利用する動物も、哺乳類、爬虫類、両生類、昆虫など、さまざまな分類群にわたる。そのなかでも鳥類は、樹上への依存度をもっとも高い分類群といえよう。

樹上を利用する動物の多くは、樹上利用に便利な何かしらの体の特徴を備えている。樹木で採食や営巣を行なう場合には、樹幹や枝などの上で移動したりとまったりする必要があり、これは、平らな地面の上で立ったり歩いたりすることとは、条件がかなり異なっているからである。本稿では、樹上の利用とそのための運動、形態適応に関して、鳥類を中心に紹介していく。

樹上で必要な立体視

まず、動物全般を広く見てみると、樹上生活と形態適応の関係が最も研究されているのは、おそらく霊長類である。霊長類は、私たち人類に最も近い動物であることから学問的、社会的な注目度が高く、もっとも研究の進んだ動物群のひとつとなっている。その霊長類が、樹幹利用のための様々な適応的形態をもっていることは、よく知られている（例えば Napier & Tuttle, 1993; Freagle, 1999）。樹上で生活をする場合には、三次元的に不連続に分布する枝をつかんで移動することにな

る。そのためには、まず個々の枝の位置を正確に認識し、次いで、その枝をしっかりとつかむ必要がある。

枝の位置を正確に認識するための適応と考えられているのが、霊長類の場合には両眼視である。多くの哺乳類の目が横を向いてついているのに対し、私たちの目は前を向いている。目が前を向いていると、左右の視野の重なる範囲（両眼視野）が大きくなるため、左右の目で同じものや景色を見ることになる。同じものを左右の目で同時に見ると、奥行き方向の位置を、正確に把握しやすくなる。片目をつぶってボールペンのキャップをしめようとする時、うまくしめられないという遊びがある。片方の目だけで見ると、奥行きの間隔がうまくつかめないため、ボールペンとキャップの位置を合わせたつもりでも、ずれてしまうことが多いのである。反対に、両方の目で見ると、奥行き知覚が正確になるため、ボールペンとキャップを合わせることは容易である。このような遊びをすると、両眼視による奥行き知覚の重要性が体験的によくわかるだろう。

両眼視野が大きいこと以前に、そもそも視覚そのものが発達していることも、樹上での生活にとって重要なことである。奥行き、距離をきちんとつかむのに、視覚は重要な感覚である。物の位置を認識する方法としては、他にも例えばコウモリ類や、鳥でもヨタカなどが行っている、エコーロケーション（反響定位）という方法がある。これは、一定の音波を出して、その音波が物体にあたって跳ね返ってくる時間の違いから、物体への距離などを感覚する方法である。視覚も、光の反射をと

* 東京大学大学院農学生命科学研究科生物多様性科学研究室
科学技術振興特任研究員 FUJITA Masaki



図1：サンコウチョウを正面から見たところ。大きな目が横向きについている。目が正面を向いている霊長類に比べると、左右の視野の重なりは小さくなる。頭のサイズの割に目が大きいことは、鳥が視覚を重要なセンサーとして使っていることの証である。

らえている点で、エコーロケーションと類似の方法といえるかもしれないが、光は音波よりも波長が短く、伝達速度も速く、到達距離も長いので、情報を得る手段として優れているといえる。いずれにせよ、霊長類や鳥類は、一部の種を除けばもっぱら視覚情報に頼っている。

鳥類の立体視

さて、霊長類の場合は両眼視によって奥行き知覚を得て、三次元的に分布する不連続な木の枝の位置をとらえていると先に述べた。では、鳥の場合はどうだろうか。鳥は、霊長類と違って目が横をむいている(図1)。それでもある程度の両眼視野を持っているが、霊長類に比較すると大部分の鳥の両眼視野ははるかに小さい。それでは、どのように奥行き知覚を得るのだろうか。

実は、奥行き知覚を得る方法は、両眼視だけではない。例えば、遠くに見えるものほど小さく見えるのは、誰もが経験的によく知っている通りである。そこで、物の相対的な大きさも、奥行き知覚の重要な手がかりになる。また、移動したとき

に遠くにあるものと近くにあるもので、位置関係が変わることも重要である。電車やバスの窓から遠くの景色が流れるのを見ていると、近くの景色は早く流れ、遠くの景色はゆっくり流れている。そのため、遠くの建物が手前の看板に隠れて…という具合に、移動に伴って物の位置関係が変化することも、やはり奥行き知覚の手がかりとなるのである(例えばGibson, 1979)。

鳥は、これらの情報を使って奥行きの情報を得ていると考えられる。例えばハトは、飛んでいるときは首を振らないが、着地の直前には頻りに首を振る(Davies & Green, 1988; Green et al., 1998)。これは、着地直前に様々な位置から目標を見て、着地点の奥行きに関する情報を得ているためである。また、ツルの仲間も採食の直前に色々な角度から地表を眺め、距離を測っている(Cronin, 2006)。

枝をつかむ構造

次に、枝をしっかりとつかむための構造を見ていこう。樹上で枝から枝へ移動する場合、枝をしっかりとつかむ必要がある。そのための適応のひとつが、霊長類に見られる拇指対抗性である。私たちの指を曲げてみると、親指と人差し指が向き合う形になる。これは物をつかんだりつまんだりするために重要な動きである。この拇指対向性を持った指は、枝をしっかりと把握するのに役立つ(例えばNapier & Tuttle, 1993)。ところが、多くの哺乳類は、実はこのような動きができない。イヌやネコ、ネズミはもちろん、木登りをするリスの仲間でも、拇指対向性は持っていないのである。この拇指対向性に加えて、霊長類に特徴的なのは、掌紋や指紋である。これは、人間の社会では個人の特典のために利用されることが多いが、そもそもは「すべりどめ」としての役割があると考えられている。

やはり樹上を利用するリスの仲間では、対向性のある指や指紋、掌紋はない。彼らはその代わり



図2：樹幹を登る台湾リス。リスの仲間をはじめ、霊長類を除く樹上性哺乳類は、一般に樹幹に爪をひっかけて登るため、するどい鍵爪を持っている。撮影：藤原岳浩。

に鍵爪を持っており、これを樹肌にひっかけて木登りを行なう(図2, 3)。トカゲの仲間も木登りをするものが多くいるが、やはり鍵爪を持っている(図4)。また、アマガエルなどのカエルの仲間は、指先に吸盤を持っており、この吸盤によって樹幹やガラスなど、いろいろな垂直面に張り付くことができる。同じ垂直面に張り付く動物でも、ヤモリの仲間は非常に変わっている。彼らは鍵爪も持っているが、ガラス窓のような場所にも張り付くことができる。その理由は、彼らの手や足の表面に、非常に小さな突起が無数にならんでいることによる。小さな突起を無数に作ることで、ガラス面への手や足の接着面積を増やし、分子間力という分子レベルで働く微弱な引力を利用しているらしいのである(Autumn, 2000)。

このように、樹上で枝をつかむ、あるいは垂直面に張り付く方法はいくつかある。鳥類の場合には、樹上を利用するために把握能力の高い、対向性のある足を持っている。また、その先には鍵爪が備わっており、木登りなどの場合には、この鍵爪を樹肌の凹凸にひっかけて移動する(例えば

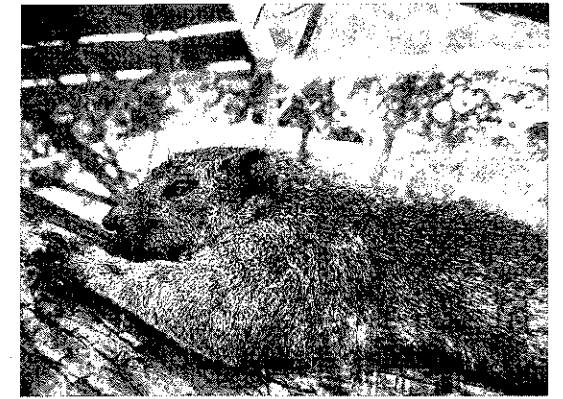


図3：枝にしがみついて昼寝をする台湾リス。寝るときも鍵爪で樹肌につかまっている。撮影：北村亘。

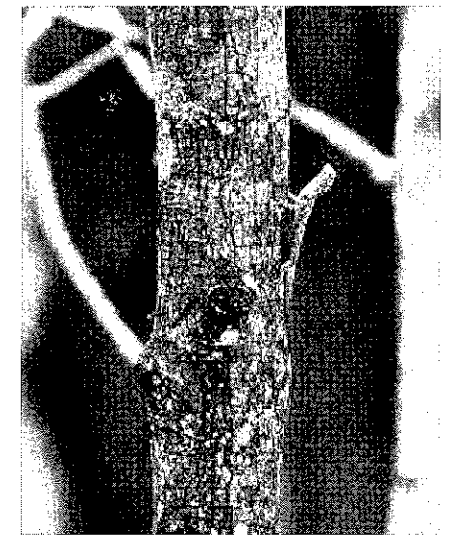


図4：樹幹を登るトビトカゲ。トカゲの仲間も、鍵爪を樹肌にひっかけて樹幹を登る。撮影：藤原岳浩。

Norberg, 1986)。次節では、鳥類の足の構造と多様性について、詳しく触れていく。

鳥類の足いろいろ

鳥類の前脚は翼になっているため、彼らが樹上で移動するときに使うのは、主に後脚である。鳥の後脚を見てみると、第1趾と他の趾が向きあっている。鳥の場合には、この向き合った形の足を「対趾足」と呼ぶ。ちなみに、「趾」は訓読みでは「あしゆび」、音読みでは「し」と読み、足のゆび



図5：樹幹にとまるドングリキツツキ。鋭い爪で樹幹をしっかりとつかんでいる。第4趾が外側下方に向いていることに注意。羽軸の太く頑丈な尾羽で体を支える点も、キツツキ類の特徴である。撮影：藤原岳浩。

を意味する言葉である。一般的な鳥の足では、第2, 3, 4趾が前に向いていて、第1趾が後に向いている。このような足を、対趾足あるいは三対趾足^{トリプル}といい、鳥の足の最も基本的な形態である（例えば Proctor & Lynch, 1993）。身近な鳥ではスズメ、カラスや、ハトの仲間、サギ類など、多くの鳥がこのような足を持っている。

より把握に適した形態の足が、例えばオウム、インコの仲間や一部の猛禽類などに見られる。これらの鳥では、第1趾だけでなく、第4趾もうしろに向いている。つまり、前に第2, 3趾、うしろに1, 4趾が向いていることになる。このような形態の足だと、前後とも二本ずつの趾で、しっかりと枝などを把握することができる。

また、木登りをして樹幹で採食をするキツツキ類の場合には、第4趾が外側をむいている（図5；Bock, 1999）。おそらく、第4趾が外側をむいていると、樹幹をジャンプして移動する際に、前方（上方）だけでなく左右にも移動しやすくなり、都合がよいのだろう。実際、キツツキ類は樹幹を

ぐるりと回り込みながら樹幹を登ることが多いとされている。つまり、彼らは常に斜め上に移動しているらしいのである。樹幹利用種では、基本的に爪をひっかけて移動するため、もし趾が全て前方を向いていると、推進方向の力を加えるのには都合がよいが、側方への力を加えるには不向きである。そこで、キツツキ類は第4趾を外側に向けて、側方へも力を加えやすくしているのかもしれない。

一方、把握に適していない足の形態もある。カモの仲間やカモメの仲間を見ても、第1趾が非常に小さくなっており、把握のためにはまったく役立たない。そして、第2, 3, 4趾は前方を向いており、各趾の間に水かきがあるのである。チドリ類も、水かきはないが第1趾が非常に小さくなっている。こういった足を持つ鳥たちは、基本的に枝などにとまることがない。水面に浮かんでいるか、比較的平坦な地面におり、営巣も地上や建物の上などの平坦な場所で行なわれることが多い。

もっとも、第1趾が退縮しているからといって、まったく把握ができないわけではない。例えば東京都台東区の上野公園などでは、冬場にユリカモメが飛来するが、ここのボート池の端にはられたロープの上にユリカモメがとまっていることがある。もちろん、第1趾は非常に小さく、把握のためには役立たないので、この場合には第2 - 4趾でロープをつかんでいる。また、カモの仲間でもオシドリのように樹上に営巣する種もいる。当然、樹上で枝などを把握する必要があるだろうが、オシドリで特に第1趾が発達しているということはない。また、オオミズナギドリという海鳥は、やはり第1趾が非常に小さいが、木登りをする（Warham, 1996）。オオミズナギドリは翼が細長く、風に乗って長距離を飛翔するのに適しているが、羽ばたいて飛び立つのは不得手あるため、木に登って高いところから飛び降りる。もっともこの場合には、足だけでなく嘴も使い、必要に応じ

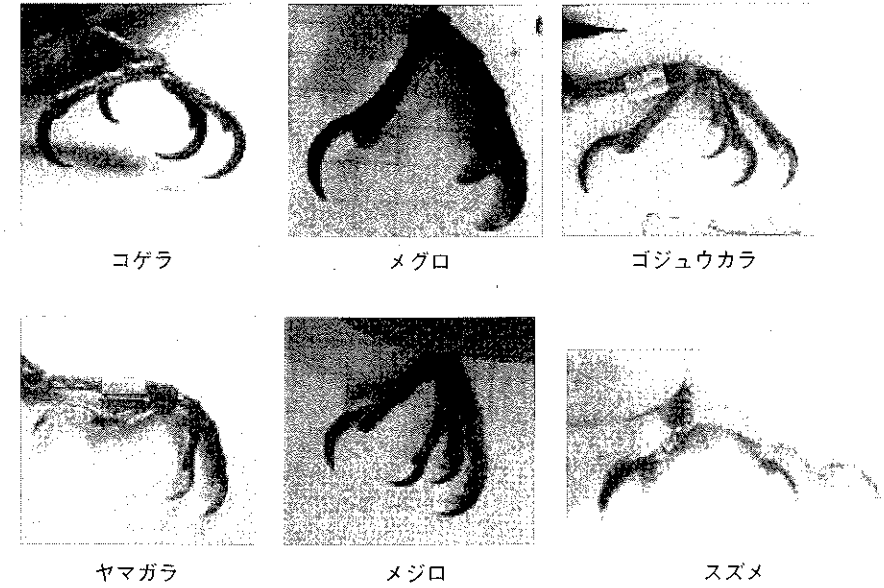


図6：いろいろな小鳥類の足。樹幹利用を頻繁に行うゴジュウカラやメグロでは、爪は長く、湾曲が強い。キツツキ類であるコゲラは、木登りへの適応形態が著しく、極端に長く湾曲した爪を持っている。樹幹利用をしないスズメやメジロでは、爪は短く湾曲も弱い。メグロ写真撮影：川上和人。

て翼も羽ばたかせてバランスをとりながら、不器用そうにのぼっていく。これらの例を見ると、第1趾がほとんどなくても、枝などの細い物体を把握できるし、木登りすらできる。しかしながら、第1趾が他の趾と対向していた方が把握に適していることは、間違いない。

樹上生活と爪の形

趾がどのような方向を向いているかで、枝の把握しやすさが変わるとい話をここまでしてきたが、もうひとつの木登りと関連した重要な特徴が、爪の形態である。簡単に言えば、樹上性の強い鳥では、長く、湾曲の強い爪を持っている（図6）。樹幹などの垂直面にしがみつくとカラ類や、垂直面にしがみついて木登りをするキツツキ類のように、樹幹を利用する種ほど長く湾曲の強い爪を持っており、反対に、キジ類やハト類、地上性の強いツグミ類などの小鳥では、爪は短く湾曲が弱い。後で述べるように、この傾向はそれほど単純ではないが、大雑把に言えば、樹上ないし樹幹をよく利

用するか、あるいは地上をよく利用するかという行動の特徴と、爪の長さや湾曲は、関連性がある（Feduccia, 1993）。

この関係性から、鳥類の祖先とされている始祖鳥 Archaeopteryx の行動について、興味深い見解が述べられている。Feduccia (1993) によれば、始祖鳥の爪の湾曲は、樹上性のものと同じであるという（図7）。そこで、単純に考えると、始祖鳥は樹上性であったと言える。この推論は、飛翔の進化を推測するに当たっても重要である。羽ばたき飛翔を完全に獲得する前の鳥の祖先は、樹上からグライディングしたのか、それとも地上を走っている状態からジャンプして飛び上がったのか、という問題がある。もし始祖鳥が樹上性の強い鳥であったならば、前者の可能性が高くなり、鳥類の進化を考えるうえで大きなヒントになる。

ところが近年、この問題はそう簡単ではないことが示された。Pike & Maitland (2004) によれば、木登りを行なう鳥や猛禽類では体が大きい種ほど爪の湾曲が強くなり、地上性の鳥では体が大

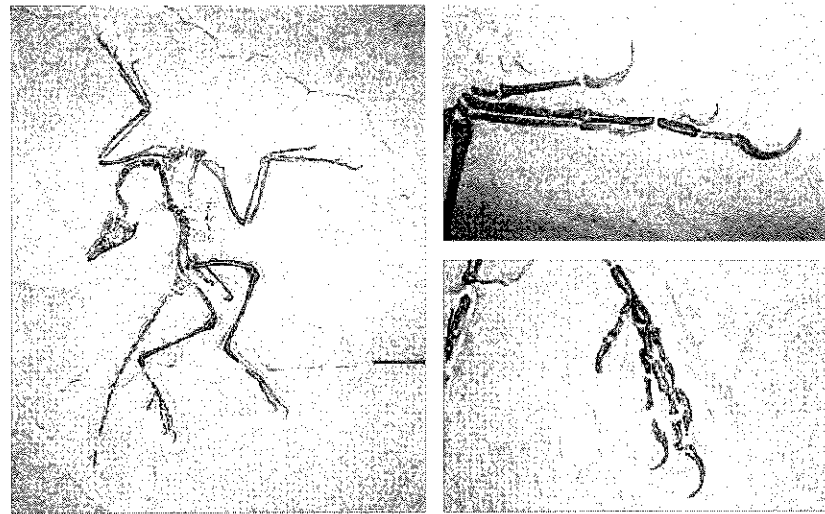


図7：始祖鳥 Archaeopteryx の化石（御船恐竜館収蔵のレプリカ）。前後肢の爪は、強く湾曲していることがわかる。

きいほど爪の湾曲が弱くなるという傾向はあるものの、それ以外の鳥では明確な傾向はなく、爪の湾曲や長さだけから、絶滅種の生態を復元するのは難しいようである。さらに最近になって、始祖鳥の第一趾は前を向いていたという研究発表がなされた (Mayr et al., 2005)。これらの結果からすると、始祖鳥が樹上性であったかどうかについて、まだ結論を出すのは難しそうである。

飛翔の進化：飛び降りたか飛び上がったか

飛翔の進化についてもう少し述べると、近年では、樹上からグライディングをしたという仮説の方が、どちらかといえば有利であった。その理由はいくつかある。直感的な理由としては、羽ばたき飛翔はしないがグライディングはするという動物は、鳥類以外の動物にも少数ながらいる。例えばモモンガやムササビがいるし、ヘビヤトカゲにも、グライディングをするものがあるそうである。そのため、高所からのグライディングはイメージしやすい。

それに対し、走って飛び上がる動物は、鳥類以外ではおそらく知られていない。しかも、走行から飛び立つためには、クリアしなければならぬ大きな問題があった。それは、始祖鳥 Archae-

opteryx が走って飛び立つためには、最低でも秒速 6 m の速度が必要であるということである。ところが、脚の長さなどから推測される最高走行速度は秒速 2 m であったため、走って飛び上がるという仮説の旗色が悪くなった。しかし近年、羽ばたきを走行時に行えば、推進力を得る助けとなり、飛び上がるのに十分な速度を得られるという計算結果が発表された (Bugers & Chiappe, 1999)。この仮説の優れている点は、走行速度の問題を解決したことに加えて、羽ばたき飛翔には十分でない程度の未発達な翼が、進化の過程でどのように使われていたのか、という点をも説明することである。

もちろん、グライディングの方でも、機能の不十分な翼を滑空に用いていたと考えている。しかし、個人的には羽ばたいて走行速度を上げていたと考える方が優れているように思う。なぜなら、この仮説であれば、羽ばたくための筋骨格系の進化も同時に説明できそうだからである。

中途半端な翼は何の役に立つ？

飛翔の進化に関わる謎のひとつは、羽毛の進化、なかでも風切羽根を持った翼がどのように獲得されたかである。ダーウィン進化論では、簡単に言

えば突然変異と自然選択により進化が徐々に起こると考える。ところが、不十分な風切羽根を持った翼に、どんな役割があれば、それが徐々に進化しうるのだろうか。例えば、原始的な翼を捕虫網のように用いて虫を捕食したのではないかという仮説もある (Ostrom, 1979)。アイデアとしては斬新であるが、あまりありそうでない。この仮説だと、初期の翼は前方に向けられる必要があり、これだと関節の形や向きが、現在の鳥とはかなり異なった形態になる点で、無理がある。

関節の形や向きというのは、関節の動く範囲をかなり制限する。私たち人間の肩関節は、自由度が大きく、どの方向にも比較的によく動く。しかし、膝関節や肘関節は、一軸方向の曲げ伸ばししかできない。その理由は、関節の形にある。鳥の肩関節は、人間のものよりも動く範囲が狭く、死体などで鳥の肩関節を動かしてみると、背腹方向へはよく動くが、頭方向へはほとんど動かない。つまり、羽ばたく動作の方向にはよく動くが、腕を頭の方に持ってくることはできないのである。鳥の肩関節は、羽ばたき飛翔に必要十分なように、動く範囲が制限されているのである。言い換えれば、羽ばたき飛翔は、肩関節への負荷が大きいかを示していると言えよう。ここで再び、捕獲のために翼を用いたという仮説を考えてみると、翼を前方に向けられるような肩関節をしており、しかも羽ばたきによる負荷にも耐えていた時期がなければならぬ。そのような危険極まりない腕の使い方が、果たして進化の過程で選択されただろうか？あまり推論を重ねるのは危険であるが、少なくとも可能性が高いとは考えられない。

よりもっともらしいのは、先に述べた、原始的な翼を羽ばたかせて、走行時に速度を高めていたとする仮説である。これならば、現在の羽ばたき飛翔と、基本的には同じ動きをすればよく、羽ばたき飛翔の進化を説明するのに無理がない。そう考えると、この羽ばたき走行説が非常に有力であるように思える。ところが、実は最近になって、

第三の仮説とも言うべき新たなアイデアが発表されたのである。

飛翔の進化に関する第三の仮説 ——木登りと飛翔の進化——

それは、羽ばたきながら、斜面や木を登ったとする説である (Dial, 2003)。これは、第一と第二の仮説の融合と考えることもできるが、原始的な翼を持った動物が、羽ばたくことで推進力を得る、あるいは体を木や斜面に押し付けることで、木や斜面を駆け上がったというのである。この仮説だと、羽ばたきの動きも行なうし、樹上からは滑空を行なってもよい。この第三の仮説は、それまでに述べられていた仮説のよいところを組み合わせているようにも思える。

実際、南米の山地に生息するイワシャコの仲間は、羽ばたきながら斜面を駆け上がり、オーバーハングした斜面でさえも登ることができる (Dial, 2003)。しかも、Dial (2003) は実験的に鳥の風切羽根を切除し、登坂能力が風切羽根の長さとの正の相関関係にあることを示した。この結果から、進化の過程において不十分な長さの風切羽根をもつ動物が仮にいたと考えても、羽ばたくことで登坂能力を向上させたと、無理なく推論できる。

もっとも、木登りに限定して使用する必要はない。その意味では、第三の仮説というのは少々大げさである。しかしながら、羽ばたきによって登坂能力を向上させた可能性は、飛翔の進化を考えるうえで、グライディング仮説と走行仮説を融合させる可能性もあり、新たな光を与えたと言えよう。

現生の鳥が行なう木登り

ここまで鳥類の飛翔の進化に関する話題を紹介し、木登りが鳥の進化に深く関わっている可能性があることを見てきた。ここからは、現生の鳥類が行なう木登りを紹介しよう。現生の鳥類で木登りを行なう鳥の代表とも言えるのが、キツツキ類

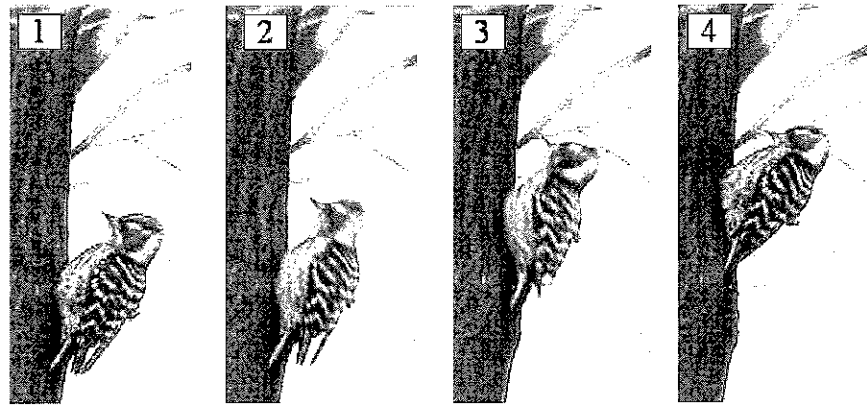


図8：樹幹をジャンプで登るコゲラ。1～2で尾羽を腹側に曲げて樹幹に押し付け、体を前傾させている。キツツキ類の尾羽の羽軸は強く頑丈なため、「つかい棒」としての機能を持つ。

である。キツツキは、足に木登りのための適応が見られることは既に述べた。足のほかにも、尾羽に木登りへの適応形態があることは、よく知られている。キツツキ類の尾羽は、羽軸が太く頑丈になっているのである。キツツキ類は、垂直面にとまるとき、この尾羽を「つかい棒」のように使って体を支える（図5, 8; Spring, 1965; Winkler & Bock, 1976; Bock, 1999; Fujita et al., in press）。

キツツキとキバシリに見る収斂進化

キツツキ類とならぶ、木登りを行う代表種に、キバシリがいる。キバシリは、スズメ目キバシリ科に分類される小型の鳥である。一方、キツツキ類はキツツキ目キツツキ科であり、キバシリとは系統的にはかなり遠い関係にある。ところが、このキバシリにおいて、キツツキ類と非常によく似た形態学的特徴が見られるのである。

例えば前節で、キツツキ類は長く湾曲した爪と、羽軸が太く硬い尾羽を持っていると述べたが、このような構造がキバシリにもある。そして、キバシリも尾羽をキツツキ類とまったく同様に用いることが知られている（Norberg, 1986）。また、キツツキ類は脚を屈曲させる筋肉が発達しているが、キバシリでも若干の違いはあるものの、やはり脚の屈筋群が発達している（Moreno, 1991）。

類似の形態適応は、スズメ目オニキバシリ科の鳥でも認められる（Raikow, 1993, 1994）。このように、系統的に異なる分類群で、類似の形態進化が独立に生じることを、収斂進化と呼ぶ。これらの樹幹利用種に見られる収斂現象は、木登りの力学的負荷が大きいことを物語るものといえよう。

ゴジュウカラはなぜ垂直面をさかさまに下りるのか？

もうひとつの木登りをする代表的な鳥類として、ゴジュウカラがあげられる。ゴジュウカラは、スズメ目の鳥であり、樹幹や岩場などの垂直面を上り下りする。ところが、キツツキやキバシリのような形態適応は、ゴジュウカラには見られないのである。さらにゴジュウカラの特徴として、頭を下に向けて、さかさまに垂直面を下りていく運動がある。このような運動は、頻繁に観察され、図鑑などにもよく記載されている。なぜ、ゴジュウカラはこのような運動を行なうのだろうか？

この疑問に関する学術的に明確な回答は、残念ながら今のところない。しかし、ゴジュウカラの運動は、普通の動物の運動であると私は考えている。どういう意味かという、動物は一般的に頭の方に進むものだからである。頭には重要な感覚器官である目があり、鳥は私たちと同じく、視覚によって情報を集める動物である。常識的に考

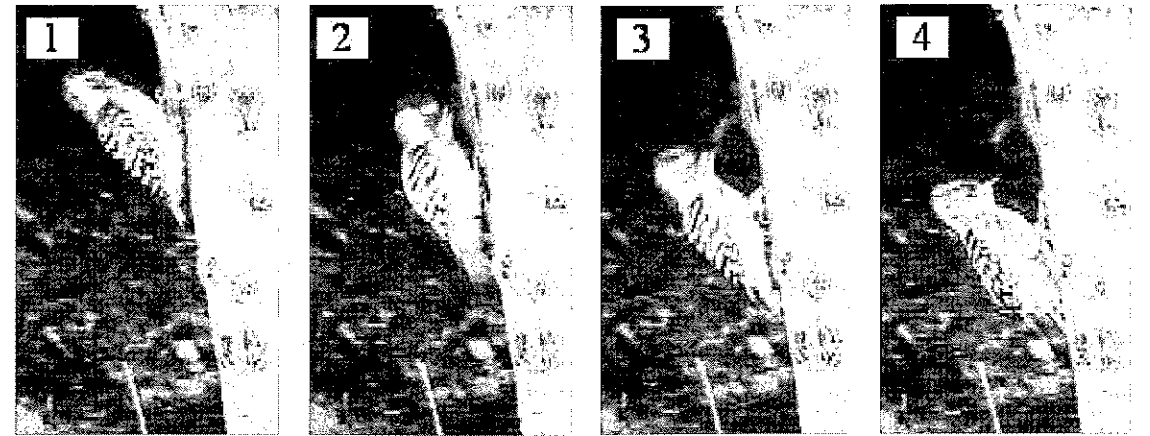


図9：頭を上に向けたまま樹幹をおりるコゲラ。後ろ向きに進む動物は、あまり多くない。1～2で体を前傾させてからジャンプする。2では、尾羽の先端が樹幹から離れ、樹幹の凹凸に尾羽がひっかからないようにしている。

えると、情報収集を行なう頭部を前にして、情報を集めながら移動していくのがもっとも危険が少ない。実際、私たちも普段は、目の向いている方向にしか移動しない。よほどの事情がない限り、動物は後ろ向きには移動しない。

鳥類の場合にもこれはあてはまり、私たちが実験的に細長い箱に鳥を入れて垂直にしてみると、登るときもおりるときも、頭の方に進もうとした。もちろん、多くの鳥は垂直面をおりることはできず、頭からおりようとした後に、結局は羽ばたいて飛び降りていた。いずれにしても、お尻の方からおりようとするのは、キツツキ類だけであった（図9）。こういった事実からすると、頭を下に向けて下りること自体は、それほど不思議な行動ではない。むしろ、ゴジュウカラの特徴は、頻繁に垂直面を下におりることと言ってよさそうである。そもそも、樹幹利用種の多くは、木登りをすることは多いが、おりることは少ない。キツツキでも小型のコゲラでは、下におりる動作が比較的観察しやすい。それでも、コゲラが下に移るものはごく稀で、上や左右に移動するほうが、圧倒的に多い。

ゴジュウカラがなぜ頻繁に樹幹を下りるのかについては、残念ながら科学的に納得のいく説明は提案されていない。私見を少しだけ述べておくと、

ゴジュウカラは、おそらく脚の筋力が全体的に強いのではないかと思う。多くの鳥は、垂直面をのぼるときには、羽ばたきによって推進力を得て、脚も動かしながらのぼっていく。この事実からすると、脚だけで垂直面をのぼるだけの脚力を、普通のスズメ目の鳥は持っていない可能性が高い。

一方、キツツキ類やキバシリ、オニキバシリといった樹幹利用種では、先述の通り木登りをするために脚を曲げる筋が発達している（Moreno, 1991; Raikow, 1993, 1994）。木登りの動作を考えると、とまっている状態で重心が脚より下方にあるため、脚をまげて体を支えることになる。そして、ジャンプのときには、まず脚を曲げて体を引き上げ、次に脚を伸ばして体を上方に押し上げる（Norberg, 1986; Fujita et al., in press）。このうち、脚を曲げて体を支えた状態から、さらに強く曲げて体を引き上げるという動きは、木登りに特有の動きである。そのため、キツツキ類などでは、脚を曲げる筋肉が、極端に発達しているのである。

脚の屈筋の発達は、キツツキ類ほどではないにしても、いくつかのカラ類でも見られる（Moreno & Carrascal, 1993）。ところが、ゴジュウカラでは、このような特殊化は知られていない。では、なぜゴジュウカラが木登りをできるのかというと、

今後の研究を待たねばならないが、ゴジュウカラは脚の筋肉が全体的に発達しているのだというのが私の予測である。曲げる筋だけが特に発達するのではなく、曲げる筋も伸ばす筋も全体的に発達すれば、下における運動が普通に行なえるようになるという点も説明ができるからである。

ゴジュウカラはウォーキングか？

ゴジュウカラの運動でもうひとつ、興味深い話題がある。それは、ゴジュウカラは垂直面でウォーキングを行なっているという話である。一般的にもよく聞く話で、鳥の研究者からこのような話を聞くことも少なくない。しかし、ゴジュウカラが垂直面でウォーキングをするという確実な報告は、Zippelius (1973) だけである。他にもゴジュウカラがウォーキングをしているという記述はあるものの (例えば Daanje, 1953), 科学的根拠に乏しい。一方、ゴジュウカラが垂直面で「ジャンプ」をしていると書いてある本も、多くはないがある。そこで私は、共同研究者とともにゴジュウカラの観察を行なった (Fujita et al., in prep.)。その結果、飼育下と野生個体の両方で、ゴジュウカラが行っていた運動は「ジャンプ」のみであり、ウォーキングはまったく見られなかった。

ただし、このジャンプには、キツツキ類などとはいくつか異なった特徴がある。もっとも大きな違いは、足を前後に大きく開いていることである (Winkler & Bock, 1976; Fujita et al., in prep.)。これは、ゴジュウカラの尾羽が短いことと関係がある。キツツキ類やキバシリでは、尾羽の羽軸が硬くなり、垂直面にとまるときに尾羽を樹幹に押し付けて「つかい棒」として使う (図5, 8)。ところが、ゴジュウカラの尾羽は非常に短く、しかも羽軸も普通の小鳥類と同じで頑丈ではないため、尾羽で体を支えることができないのである。そこで、ゴジュウカラの場合には、足を前後に開き、前に出した足を曲げて体を引っ張り、後に出した足を伸ばして体を支える (図10)。このよう

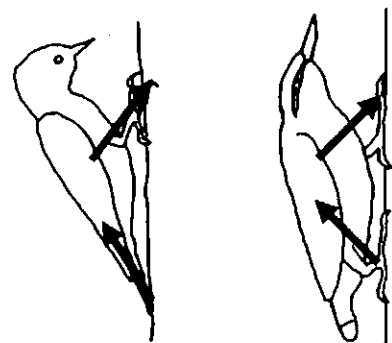


図10: 樹幹にとまるコゲラ (左) とゴジュウカラ (右) の模式図。矢印は、力の加える方向を示している。コゲラは脚で体を樹幹に引き寄せ、尾羽で体を押し上げている。一方、ゴジュウカラは尾羽が短いため、左右の肢を前後に開いてとまる。これは、尾羽のかわりに、後ろに伸ばした脚で体を押し上げるためである。

な姿勢がゴジュウカラの基本姿勢であるため、ここからジャンプする場合にも、左右の足が少しずれた状態でジャンプしていくことになる。

ゴジュウカラがウォーキングをしているという話は、この足を前後に開いた姿勢から出てきたのかもしれない。この姿勢は、ウォーキングの両脚支持期の姿勢とよく似ている。加えて、ゴジュウカラのような小鳥類は運動が素早いので、実際にウォーキングを行なっているのかジャンプしているのかは、よほど注意して見ないと判別できない。そこで、静止時のウォーキングに類似した姿勢を見て、「あれはウォーキングだ」と誤解してしまうのだろうか。

さらに、樹幹利用の鳥類の中で、ゴジュウカラだけが頭を下にして樹幹をおりするという「変わった」行動も、この誤解を促進しているようだ。ゴジュウカラだけが変まっているのだとすれば、そこに何らかの原因を追求したくなるのが、自然な発想である。キツツキなどはジャンプするが、ゴジュウカラはウォーキングだとすれば、何となく、説明ができるような気分になる。

しかし、ジャンプして垂直面をおりすることは可能であるし、ゴジュウカラは実際にそれを行なっ

ている。一方、垂直面でウォーキングを行なうことを考えると、これはジャンプよりも難しい可能性がある。ウォーキングの場合には、推進力を加えるのは主に足を蹴りだすときであり、推進力を加えていない時間帯がある。平地の場合には、慣性の力でこの時間帯にも苦もなく前進を続けることになるが、垂直面であると重力が体を後にひっぱるため、よほど大きい力で推進していないと、この間に減速し、場合によっては後退してしまうことになる。ところが、ウォーキングでは片足ずつ交互に蹴りだすため、大きい力を加えることが難しいのである。

このように考えていくと、ゴジュウカラが垂直面でウォーキングをするという話は、どうもありえなさそうである。過去に記載された例は、一個体の数歩の降りである (Zippelius, 1973)。私達の観察では降りでもゴジュウカラはホッピング的な動きしかしていなかったが、重力に逆らって移動する必要がないぶん、降りの方が降りよりも力学的な制約は小さくなるため、時にはウォーキング的な動作を行うこともあるかもしれない。科学的記載における観察例数の重要性を物語る例といえよう。

おわりに

本稿で述べてきたとおり、木登りは、現生鳥類の生活において重要なだけでなく、鳥類の進化を考えるうえでも興味深い運動である。現生の鳥類はさまざまな形で樹上を利用するし、今はあまり樹上を利用しないキジ類やカモ類なども、足の形態に樹上生活の名残を残している。鳥類の祖先であった動物は、樹上を利用していた可能性も高い。このように、樹上というのは鳥類にとって大きな意味を持っているのである。コゲラやアオゲラといったキツツキ類や、他の樹上性、地上性の鳥を見ながら、鳥類の進化に思いを馳せるのも一興ではなかろうか。

また、本稿で紹介したゴジュウカラの例に見る

ように、一般的に言われていることには、実はあまり根拠のない誤解であることもしばしばある。こういった誤解を、丁寧に検証し、正しい知識を広めるのは科学の重要な役割のひとつである。世の中で言われていることを全て疑ってかかると、人間ずさんでしまいそうだが、あまり人の言うことを鵜呑みにしないで、自分の目でよく見るということは、研究者でなくとも重要である。そのときに大切なのは、バックグラウンドとなる知識をしっかり持っていることである。本や論文をよく読み、日頃から考えを深めておくことで、ゴジュウカラの運動にある真実を見極めたり、ただの木登りから鳥類の進化まで想像を膨らますことができるのである。現代は、身の回りに様々な情報が氾濫している。その中には、役に立つものから、不要なもの、場合によっては有害なものまで含まれる。自分自身で丁寧に観察し、よく考えるということは、科学的なものの考え方を養うことであり、世に氾濫する情報の信頼性を判断する能力を培うことになるだろう。このような姿勢と能力を身につけるためのトレーニングとして、木登りを観察するのも楽しいのではないだろうか。

引用文献

Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W. P., Kenny, T. W., Fearing, R., Full, J. 2000. Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature* 405: 681-685.
 Bock, W. J. 1999. Functional and evolutionary morphology of woodpeckers. *Ostrich* 70(1): 23-31.
 Burgers, P., Chiappe, L. M. 1999. The wing of Archaeopteryx as a primary thrust generator. *Nature* 399: 60-62.
 Cronin, T. W., Kinloch, M. R., Olsen, G. H. Head-bobbing behavior in foraging whooping cranes favors visual fixation. *Current Biology* 15: R243-R244.
 Daanje, A. 1951. On locomotory movements in birds and the intention movements derived from them. *Behaviour* 3: 48-98.
 Davies, M. N. O. and Green, P. R. (1988). Head-bobbing during walking, running and flying: re-

- lative motion perception in the pigeon. *J. Exp. Biol.* 138, 71-91.
- Dial, K. P. 2003. Wing assisted incline running and the evolution of the flight. *Science* 299: 402-404.
- Feduccia, F. 1993. Evidence from claw geometry indicating arboreal habitats of Archaeopteryx. *Science* 259: 790-793.
- Freagle, J. G. 1999. Primate Adaptation and Evolution. Second edition. Academic Press, London.
- Gibson, J. J. 1979. The ecological approach to visual perception. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, New Jersey. (邦訳: ギブソン J.J. 1985. 生態学的視覚論. 古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬曼共訳, サイエンス社, 東京)
- Fujita, M., Kawakami, K., Higuchi, H. in press. Hopping and climbing gait of Japanese Pygmy Woodpeckers (*Picoides kizuki*). *Comparative Biochemistry and Physiology A*.
- Fujita, M., Kawakami, K., Moriguchi, S., Higuchi, H. in prep. Locomotion of the Eurasian Nuthatch *Sitta europaea* on vertical and horizontal substrates.
- Green PR, Davies MNO, Thorpe PH 1998 Head-bobbing and orientation during landing flights of pigeons. *J Comp Physiol A* 174: 249-256.
- Mayr, G., Pohl, B., Peters, D. S. 2005. A well-preserved Archaeopteryx specimen with theropod features. *Science* 310: 1483-1486.
- Moreno, E. 1991. Musculature of the pelvic appendages of the treecreepers (Passeriformes: Certhiidae): myological adaptations for tail-supported climbing. *Can. J. Zool.* 69: 2456-2460.
- Moreno, E., Carrascal, L. M. 1993. Leg morphology and feeding postures in four *Parus* species: an experimental ecomorphological approach. *Ecology* 74: 2037-2044.
- Napier, J., Tuttle, R. H. 1993. *Hands*. Princeton University Press, New Jersey.
- Norberg, R. A. 1986. Treecreeper climbing; mechanics, energetics, and structural adaptations. *Ornis Scandinavica* 17: 191-209.
- Ostrom, J. H. 1979. Bird flight: how did it begin? *American Scientist* 67: 46-56.
- Pike, A. V. L., Maitland, D. P. 2004. Scaling of bird claws. *J. Zool. Lond.* 262: 73-81.
- Proctor, N. S., Lynch, P. J. 1993. *Manual of ornithology. -Avian structure & function*. Yale University Press, New heaven and London.
- Raikow, R. J. 1994. Climbing adaptations in the hindlimb musculature of the woodcreepers (Dendrocolaptinae). *Condor* 96: 1103-1106.
- Raikow, R. J. 1993. Structure and variation in the hindlimb musculature of the woodcreepers (Aves: Passeriformes: Dendrocolaptinae). *Zool. J. Linn. Soc.* 107: 353-399.
- Spring, L. W. 1965. Climbing and pecking adaptations in some North American woodpeckers. *Condor* 67: 457-488.
- Warham, J. 1996. Locomotion. In: *The Behaviour, Population Biology and Physiology of the Petrels*. London, UK: Academic Press.
- Winkler, H., Bock, W. J. 1976. Analyse der Kraftverhältnisse bei Klettervögeln. *Journ. f. Ornith.* 117: 397-418.
- Zippelius, H.-M. 1973. Das Kopfabwartsklettern des Kleibers (*Sitta europaea*). *Bonn. Zool. Beitr.* 24: 48-50.

禁 転 載

林業と薬剤 Forestry Chemicals (Ringyou to Yakuzai)

平成19年3月20日 発行

編集・発行/社団法人 林業薬剤協会

〒101-0032 東京都千代田区岩本町2-18-14 藤井第一ビル8階

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

印刷/株式会社 スキルブリネット

定価 525円



松枯れ防止に関するホームページ

www.greenguard.jp

樹幹注入剤で唯一 原体・製品ともに 「普通物」、「魚毒性A類」



...だから安心



松枯れ防止・樹幹注入剤

グリーンガード®・エイト

Greenguard® Eight

ファイザー株式会社

〒151-8589 東京都渋谷区代々木3-22-7

農産事業部 TEL (03) 5309-7900

松を傷つけない土壌灌注タイプ

農林水産省登録
第20346号

三石・Ⅲ・火気厳禁
無機ジカルボン・ジメチルエステル

松枯れ防止土壌灌注剤 石原アオバ液剤

ネマバスター

ホスチアゼート……30%

毒性：劇物 魚毒性：A類相当

● 特 長 ●

- ★ まつを傷つせずマツノザイセンチュウを防除します。
- ★ 樹の周りに土壌灌注処理する簡便な薬剤です。
- ★ 浸透移行性に優れており、根系から樹体内に速やかに吸収移行し、マツノザイセンチュウの運動を阻害し、増殖を阻止します。
- ★ まつの樹脂量に影響を受けず処理ができます。
- ★ 庭園松等の強剪定された松に対しても使用できます。
- ★ 本剤の効果持続期間は1年まで確認されています。



マツノザイセンチュウの写真

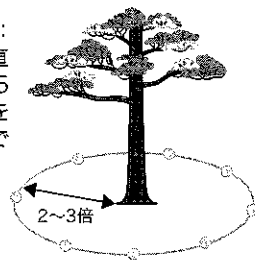


機械灌注処理



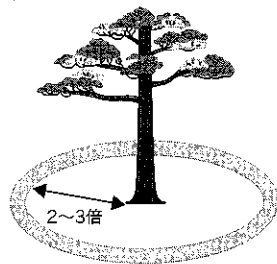
施用溝処理

土壌灌注器(2MPa,圧力:20kg/cm²目安)を用い胸高直径の約2~3倍離れた、深さ15~20cmの位置に所定薬量を1穴当たり2ℓを目安に等間隔で土壌灌注する。



① 胸高直径の約2~3倍離れた位置に深さ15~20cm、幅20cm程度の溝を掘り、所定薬量をジョウロ、柄杓などで均一に土壌灌注する。

② 灌注後、薬液が土壌に浸透した事を確認し溝を埋め戻す。



石原テレホン相談室 **0120-1480-57**

T&N推進部:06-6444-1454 <http://www.iskweb.co.jp/ibj/>

【製造】 **ISK 石原産業株式会社** 本社:大阪市西区江戸堀1丁目3番15号
【販売】 **ISK 石原バイオサイエンス株式会社** 本社:東京都千代田区富士見2丁目10番30号

タケを枯らせるのは ラウンドアップハイロードだけです!

登録適用拡大:竹類へ使用できます。

使い方[注入処理方法]

処理適期: 6~8月

2~3cm
地上
30~
100cm

- ① 節から2~3cm下に穴を開けます。
- ② 原液10mlを穴から注入します。

- ③ 穴をガムテープ等でしっかりと蓋をします。

注意事項: 処理竹から15m以内に発生した竹の子を食用に供さないこと。また、縄囲いや立て札により、竹の子が採取されないようにすること。

夏期が
チャンスです!
(もっとも早く枯れます)

処理時期

夏処理(6~8月) 完全落葉までの期間 2~5ヵ月	秋処理(9~11月) 完全落葉までの期間 8~11ヵ月
---------------------------------	-----------------------------------

**完全落葉すれば、その後
処理竹の根まで枯れます。**

*竹の葉が全て落ちた状態、この時期であれば伐採可能です。

農林水産省登録: 適用の範囲及び使用方法

作物名	適用場所	通用雑草名	使用時期	希釈倍数	使用量	使用方法
林木、畑作物	林地、放置竹林、畑地	竹類	夏~秋期	原液	5~15ml/本	竹稈注入処理

竹の防除法について、詳しくは下記窓口までお問合せください。



0120-209374 <http://www.roundupjp.com>

ラウンドアップホームページでも同等の内容がご覧になれます。

安全、そして人と自然の調和を目指して。

巾広い適用害獣

ノウサギ、カモシカ、そしてシカに忌避効果が認められた初めての散布タイプ忌避剤です。

散布が簡単

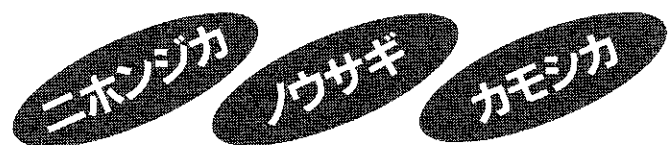
これまでに無いゾル剤で、シカ、ノウサギの樹幹部分の皮剥ぎ被害に予防散布が行えます。

長い効果

薬液は素早く乾燥し、降雨による流亡がなく、被害を長期にわたって防止します。

安全性

有効成分のジラムは、殺菌剤として長年使用されてきた低毒性薬剤で普通物です。



野生草食獣食害忌避剤

農林水産省登録第17911号

ユニファース水和剤

造林木を野生動物の食害から守る

販売
DDS 大同商事株式会社
本社/〒105-0013 東京都港区浜松町1-10-8 野田ビル
☎03-5470-8491

製造
株式会社日本クリーンアンドガーデン

カタログのご請求は、上記住所へどうぞ。

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤 林野庁補助対象薬剤

農林水産省登録第20330号

マツグリーン®液剤

- 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。

農林水産省登録第20838号

普通物 **マツグリーン®液剤2**

- 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

農林水産省登録第13411号

トップジンM
ペースト

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 本社 〒110-0005 東京都台東区上野3-1-2
☎03-5816-4351 <http://www.ns-green.com/>

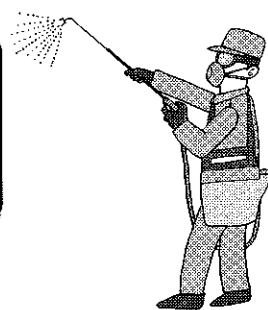
松の葉ふるい病の防除に!!

ドウグリン 水和剤

効果が高く、調合の手間もいらず、しかも最も薬害の少ない銅剤です。



使用方法
1,000倍
新葉生育期と9月頃
10~15日おきにいていねいに散布



CERTIS 販売 セルティスジャパン株式会社
東京営業所 〒359-0024 埼玉県所沢市下安松852
電話:04-2951-7261 FAX:04-2944-8251

新発売

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤

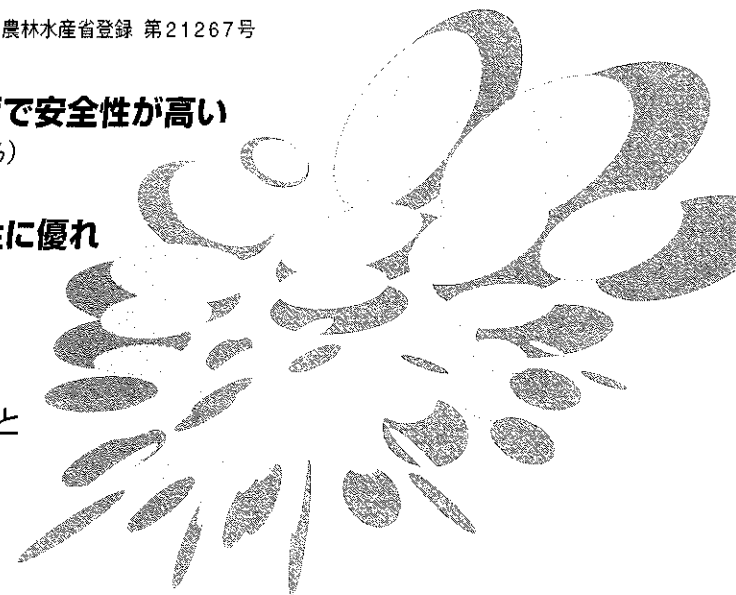
殺虫剤 **モリエート®sc**

農林水産省登録 第21267号

有効成分は普通物・A類で安全性が高い
(クロチアニジン水和剤 30.0%)

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)

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。



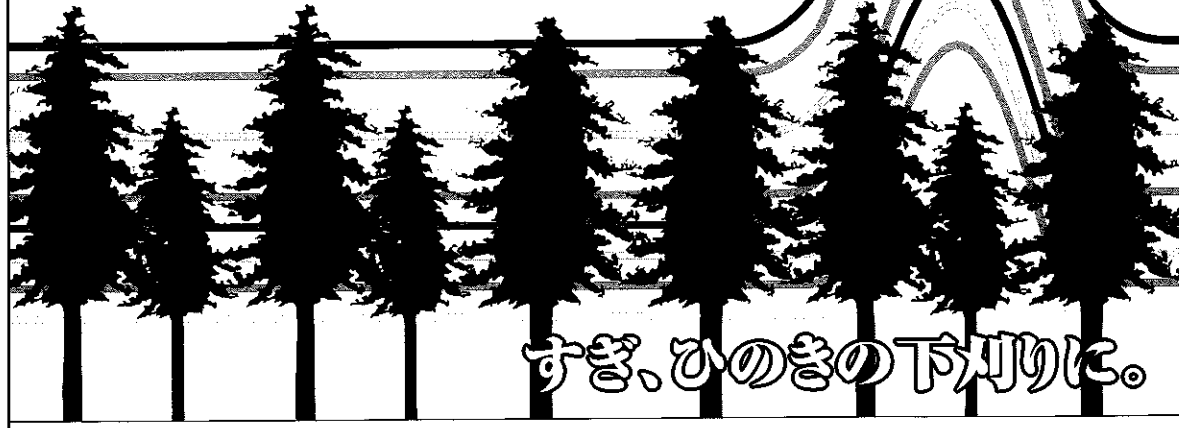
製造:住友化学株式会社 販売:サンケイ化学株式会社 ヤシマ産業株式会社

農林水産省登録 第11912号

クレートS (粒剤)

農林水産省登録 第12991号

クレートSL (水溶剤)



すぎ、ひのきの下刈りに。

製造  株式会社 **Eisai Bio-Technology** 販売 **丸善薬品産業株式会社** アグリ事業部

〒110-0004 東京都中央区東日本橋1-1-5 日華東日本橋ビル TEL.03(5625)5522 FAX.03(5625)5501

〒101-0044 東京都中央区銀座町2丁目9番12号 TEL.03(3256)5561 FAX.03(3256)5570

多目的使用(空中散布・地上散布)が出来る

スミパイン® 乳剤

グリーンガード®・エイト メガトップ® 液剤

伐倒木用くん蒸処理剤

キルパー®

マツノマダラカミキリ誘引剤

マダラコール®

林地用除草剤

ザイトDF® 微粒剤

スギノアカネトラカミキリ誘引剤

アカネコール®



サンケイ化学株式会社

〈説明書進呈〉

本社 〒891-0122 鹿児島市南栄2丁目9 TEL (099)268-7588
 東京本社 〒110-0015 東京都台東区東上野6丁目2-1 信興上野ビル TEL (03)3845-7951(代)
 大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島4丁目5-1 新栄ビル TEL (06)6305-5871
 九州北部営業所 〒841-0025 佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3 TEL (0942)81-3808

緑豊かな未来のために

人や環境にやさしく、大切な松をしっかりと守ります。

マツノマダラカミキリに高い効果

新発売 (普通物)

エコワン3フロアブル

農林水産省登録 第20897号

100~200倍希釈
(チアクロプリド水和剤3%)

エコワンフロアブル

農林水産省登録 第20696号

1500~3000倍希釈

(チアクロプリド水和剤40.0%)



バイエルクロップサイエンス株式会社

エンバイロサイエンス事業本部 緑化製品部
〒100-8262 東京都千代田区丸の内1-6-5 ☎ 03-6266-7365

 Bayer Environmental Science

井筒屋化学産業株式会社

本社/熊本市花園1丁目11番30号
〒860-0072 TEL.096-352-8121(代) FAX.096-353-5083

野生獣類から大切な
植栽木を守る

ツリーセーブ
ヤシマレント
ヤシマアンレス

蜂さされ防止

ハチノックL (薬退治)
ハチノックS (携帯用)

大切な日本の松を守る
ヤシマの林業薬剤

ヤシマスミパイン乳剤
グリーンガードエイト
パークサイドF
ヤシマNCS

くん蒸用生分解性シート

ミクスト


Yashima
豊かな緑を次代へ

自然との調和

私達は、地球的視野に立ち、
つねに進取の精神をもって、
時代に挑戦します。

皆様のご要望にお応えする、
環境との調和を図る製品や
タイムリーな情報を提供し、
全国から厚い信頼をいただいております。



 ヤシマ産業株式会社

本社 〒203-0002 神奈川県川崎市高津区二子6-14-10 YTTビル4階 TEL.044-833-2211 FAX.044-833-1152
工場 〒308-0007 茨城県下館市大字折本字板堂540 TEL.0296-22-5101 FAX.0296-25-5159 (受注専用)

低薬量と高い効果で 松をガード。

普通物で環境にやさしい天然物（有効成分）
少量の注入で効果抜群
効果が長期間持続（4年）



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% ○人畜毒性：普通物
○包装規格：60ml×10×8 180ml×20×2

マツガードは、三共（株）が開発したミルベメクチンを有効成分とする松枯れ防止樹幹注入剤です。



株式会社 **三共緑化**

〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町4-20 三共神田佐久間町ビル3F
TEL. (03) 5835-1481 FAX. (03) 5835-1483

®登録商標

