

ISSN 0289-5285

林業と薬剤

No. 170 12. 2004

社団法人 林業薬剤協会



世界の除草剤の現状と展望

竹内 安智*

目 次

| | | |
|---|-------|----|
| 世界の除草剤の現状と展望 | 竹内 安智 | 1 |
| 松くい虫被害対策について | 伊藤 博通 | 10 |
| 松くい虫被害の研究および対策の今昔物語 (I) ——我が国の森林防疫研究の近代史をつらぬく特異な流れ—— | 小林 一三 | 15 |
| マツ類の主な病害虫 1. 針葉の被害 (3)赤斑葉枯病 | 陳野 好之 | 22 |

● 表紙の写真 ●

アカマツこぶ病

アカマツなどの枝幹がこぶ状に肥大する。さび病菌の一種によって発生する。春季に患部から銹胞子が形成、飛散し、中間寄生のナラ類の葉に感染し、ここで、夏胞子、冬胞子世代を過ごし、秋に冬胞子が発芽して松に感染する。

—陳野好之氏提供—

世界の農薬の総販売額は1997年をピークに下降した。2002年の総額は251億ドルで、その内訳は除草剤50%、殺虫剤25%、殺菌剤22%であるが、1997年に比較してみると除草剤3.6%減、殺虫剤2.8%減、殺菌剤0.7%減、総額で3.7%減となった。しかしながら、1996年に始まった遺伝子組み換え作物種子とその関連技術のビジネスは37.6%増の33億ドルとなった。農薬の販売額は今後横ばいか、ごくわずかの増加が予想されているが、トウモロコシ、ダイズ、ワタなどのバイオテク作物（除草剤抵抗性作物）などのビジネスは急増が見込まれている。バイオテク作物はアメリカではトウモロコシ34%、ダイズ75%及びワタ79%に達し、世界的には、16ヶ国で600万戸の農家に採用され、その面積は2002年には5,870万haに、2003年には6,770万haに達した。

全農薬の50%を占める除草剤では、近年の土壤保全型耕起法の普及やバイオテク作物の栽培が高コスト選択性除草剤から低コスト非選択性除草剤への移行を推し進めるなど除草剤の動向に様々な影響を与えている。全除草剤の中でアミノ酸系除草剤のグリホサートが約30%を占め、次いでアセトアミド系、スルホニルウレア系、トリアジン系の売上げが大きい。薬剤別に見ると、グリホサート28億5,000万ドル、パラコート3億9,000万ドル、次いでアセトクロール3億6,000万ドルである。グリホサートの売上げは土壤保全型耕起法である不耕起・少耕起栽培の普及とグリホサート抵抗性作物の作付け増加による。パラコートの売上

げ増もその栽培方法の普及に負うところが大きい。グリホサート抵抗性ダイズの普及はダイズの選択性除草剤であるイミダゾリノン系除草剤の売上げを著しく減少させている。除草剤を作物別にみると、トウモロコシ18%、ムギ類17%、ダイズ15%、果樹・野菜12%、イネ7%、ワタ4%、テンサイ3%、ナタネ3%、サトウキビ2%、ヒマワリ2%、その他（非農耕地含む）17%である。アメリカでは、ダイズ、トウモロコシ、ワタを中心に使用される除草剤が全農薬の70%を占め、世界の除草剤の40%を占めている。

I. 化学構造別の除草剤動向

1. アミノ酸系除草剤

総販売額は32億4,000万ドルで、内訳はグリホサート (glyphosate) (1972年上市、以下同じ) 88%、sulfosate ('89) 7%、グルホシネート (glufosinate) ('86) 4%、ピアラホス (biflufosinate) ('84) 1%以下となっている。グリホサートは当初高価なためパラコートと競争することはできなかったが、1980年代中頃からグルホシネート、ピアラホスが実用化され、その後グリホサートの特許切れによるジェネリック品の登場もあって価格が下がり、一年生雑草をも対象にして不耕起・少耕起栽培に広く普及した。さらに非農耕地、道路などにも使用されるようになった。1996年以降、グリホサート抵抗性遺伝子組み換え作物の導入に伴い、その使用面積が一層拡大した。グルホシネートも不耕起・少耕起栽培地、果樹園、プランテーション、非農耕地に広く利用されている。ピアラホスも含めてこれらの除草剤は土壤に落下後吸着

* 宇都宮大学 野生植物科学研究センター、
雑草制御システム開発部門 TAKEUCHI Yasutomo

や分解を受け、除草活性を示さない。

今後これらの除草剤使用面積は一層増加するが、ジェネリック品の登場によって売り上げ額ではそれほど伸びないと予想されている。

2. アセトラクテート合成酵素 (ALS) 阻害除草剤

<スルホニルウレア系>

総販売額は12億6,800万ドルで、内訳は nicosulfuron ('91) 14%, bensulfuron-methyl ('84) 10%, metsulfuron ('84) 10%, rimsulfuron ('91) 6%となっている。多くは20-60g/haの少量で有効である。1982年に chlorsulfuron がムギ類に、その後は多くの作物を対象に関連化合物が開発され、現在50種以上が実用化されている。

イネには、bensulfuron-methyl ('82) を初め多くのスルホニルウレア系除草剤が開発され、日本で一発処理剤を構成する重要成分として今日に至っている。しかし今後売り上げの減少が予想されている。ダイズにも多くのスルホニルウレア系除草剤が開発された。Thifensulfuron ('85), chlorimuron ('85) はダイズに薬害のない茎葉処理剤として不耕起・少耕起栽培ダイズに広く普及した。遺伝子組み換え技術に因らないスルホニルウレア抵抗性ダイズ品種 (Reliance STS) が開発、普及されたが、グリホサート抵抗性ダイズとの競合により使用が減っている。トウモロコシにも多くの薬剤が開発されたが、グリホサート抵抗性トウモロコシの普及拡大に伴い、使用はそれほど増えていない。一方、ムギ類には多くの薬剤が西ヨーロッパを中心に広く実用化されている。その他、テンサイ、ナタネや非農耕地にも使用され、現在も重要な薬剤になっている。近年スルホニルウレア系除草剤の使用はグリホサート抵抗性作物の栽培面積増加に伴って減少しているが、それ以外の地域でも徐々に減少している。なお、本系統除草剤は抵抗性雑草が大きな問題になっている。

<イミダゾリノン系>

総販売額は3億2,000万ドルで、内訳は imaza-

thapyr ('87) 52%, imazapyr ('85) 16%, imazaquin ('86) 11%, imazamethabenz ('86) 9%, imazamox ('97) 10%となっている。

ダイズに広く利用された imazaquin ('86), imazathapyr ('87), imazapic ('96) はグリホサート抵抗性ダイズの普及により使用が激減している。

Imazapyr は工場敷地や林地、非農耕地やトウモロコシにも広く使用されている。コムギ対象の imazametabenz やトウモロコシ、サトウキビを対象にした imazapic などは現在も広く使用されている。遺伝子組み換え以外の手法で開発されたイミダゾリノン抵抗性作物 (Clearfield-ナタネ、イネ、ヒマワリ、コムギ、サトウキビなど) はグリホサート抵抗性作物が採用されない国での普及が期待されている。

<他の系統>

総販売額は2億8,100万ドルで、内訳は flumetsulam ('92) 32%, floramsulam (2000) 13%, metosulam ('94) 10%, cloransulam ('98) 9%, diclosulam ('98) 9%となっている。

1990年代に sulfonamide 類, dimethoxypyrimidinyloxy および thiobenzoate 類や triazolinone 類が開発された。pyriminobac-methyl を初め比較的新しい薬剤にはムギ類やイネに使用できるものや、さらにグリホサート抵抗性作物にも使用できるものもあり、今後の展開が期待されている。

3. トリアジン系除草剤

総販売額は8億4,200万ドルで、内訳は atrazine ('57) 37%, metamitron ('75) 13%, hexazinone ('74) 10%, metribuzin ('71) 9%, terbutylazine ('66) 9%, simazine ('56) 8%である。

Simazine ('56) の後、次々と薬剤が開発されてトウモロコシ、ダイズ、一部はムギなど、多くの作物を対象に長く使用された。その後不耕起・少耕起栽培の導入や、土壌残留・地下水汚染対策、あるいはイミダゾリノン系除草剤の普及などに伴い、使用減少が続いている。一方ではジェネリッ

ク品の登場もあり、安価であるために、グリホサート抵抗性作物に対抗できる慣行栽培に、あるいはグリホサート抵抗性作物の初期剤に利用されている。非農耕地用の hexazinone は今後もそれほど減らないと予想されている。

4. アセトアミド系除草剤

総販売額は11億3,300万ドルで、内訳は acetochlor ('85) 32%, metolachlor ('75) 25%, alachlor ('66) 8%, butachlor ('69) 8%, dimethenamide ('93) 8%となっている。

アセトアミド系除草剤は chloracetanilide 類, acetamide 類, oxyacetamide 類および chloracetamide 類に分類され、いずれもトリアジン系除草剤とともにほぼ同時代に土壌処理剤として長く使用されてきた。新剤の登場と不耕起・少耕起栽培の普及などによって acetochlor, napropamide, dimethanamide を除いて減少している。イネを対象に butachlor, pretilachlor, thenlychlor, mefenacet なども長く使用されたが、次第に減少している。

5. アリロキシフェノキシ系除草剤

総販売額は6億6,500万ドルで、内訳は fenoxaprop ('84) 29%, clodinafop ('91) 24%, fluazifop ('80) 20%, haloxyfop ('86) 12%, cyhalofop ('86) 6%となっている。

いずれも脂質生合成阻害剤である。広葉作物中のイネ科防除剤として開発されたが、作用性、対象作物が同じであるシクロヘキサジノン (cyclohexanedione) 系除草剤とともにダイズなどの不耕起・少耕起栽培に適う茎葉処理剤として普及した。ムギ類用の fenoxaprop や clodinafop, イネ用の cyhalofop などはイネ科雑草防除剤として今後とも重要な除草剤であるが、多くはダイズ、ワタなどのグリホサート抵抗性作物の普及により減少しつつある。本系統除草剤は抵抗性雑草の出現の問題も抱えている。

6. ウレア系除草剤

総販売額は3億4,200万ドルで、内訳は isopro-

turon ('75) 28%, diuron ('54) 23%, fluometuron ('60) 13%, linuron ('60) 12%, tebutiuron ('74) 9%, chlortoluron ('69) 6%となっている。diuron, isoproturon, linuron などがムギ類、ワタ、サトウキビ、野菜に長く使用されたが、不耕起・少耕起栽培、土壌残留・地下水汚染対策、新剤の登場やグリホサート抵抗性作物普及の影響を受け、近年使用が激減している。しかし、非農耕地対象の薬剤は大きな減少はないと見込まれている。

7. カーバメイト系除草剤

総販売額は4億ドルで、内訳は phenmedipham ('68) 26%, triallate ('60) 15%, molinate ('65) 10%, benthicarb ('70) 9%, butylate ('62) 4%, asulam ('65) 8%などである。

土壌混和処理剤は新剤の登場と不耕起・少耕起栽培への変化に伴い、激減した。しかし、phenmedipham, desmedipham はヨーロッパのテンサイに、asulam はサトウキビ、プランテーション、シバに、carbetamide がナタネに使用されているが、これらは今後も減少しないと見込まれている。イネを対象に長く使用された molinate, benthicarb, esprocarb, pyributicarb などは新剤の登場や作付面積の減少に伴い、急速に減少している。

8. ビピリジル系除草剤

総販売額は4億2,000万ドルで、内訳はパラコート (paraquat) ('62) 92%, ダイコート (diquat) ('58) 8%である。

Diquat, paraquat・diquate が初め乾燥・落葉剤として使用された。そのあとプランテーション、果樹園、野菜、非農耕地で一年生雑草を対象に長く使用され、特に不耕起・少耕起栽培の普及により一層拡大した。しかし、グリホサートの低コスト化とその抵抗性作物の普及に伴い急速に減少している。

9. ピリジン系除草剤

総販売額は5億4,800万ドルで、内訳は picloram

('63) 26%, fluroxypyr ('85) 18%, cyclopyralid ('75) 17%, diflufenican ('85) 15%, triclopyr ('79) 12%である。picloram と triclopyr は効力持続期間が長く、一年生を初め、深根性雑草木防除に有効で非農耕地に使用される。多くは依然として重要な除草剤であるが、ジェネリック品は少ない。

10. フェノキシ系除草剤

総販売額は4億6,300万ドルで、内訳は2,4-D ('45) 60%, MCPA ('45) 16%, mecoprop ('57) 10%である。2,4-D は有機除草剤の嚆矢であった。これらの薬剤は今もイネやムギ類、非農耕地の広葉雑草防除剤として使用されている。ジェネリック品も多く、安価で今後も広く利用されるであろう。

11. ジフェニルエーテル系除草剤

総販売額は1億9,900万ドルで、内訳は oxy-fluorfen ('79) 25%, lactofen ('84) 20%, fomesafen ('82) 16%, aclofen ('87) 5%である。かつては chlornitrofen などの土壌処理剤が主なものであった。1980年代にダイズ、ワタ、ムギ、野菜に広く使用された莖葉処理剤はスルホニルウレア系除草剤などの新剤や除草剤抵抗性作物の普及によって激減している。

12. シクロヘキサジオン系除草剤

総販売額は2億4,100万ドルで、内訳は clethodim ('87) 40%, tralkoxydim ('86) 20%, sethoxydim ('81) 15%, cycloxydim ('87) 8%, tepraloxydim (2001) 8%である。いずれも脂質生合成阻害剤である。アリロキシフェノキシピロピオネート系除草剤とともに広葉作物のイネ科雑草防除に有効な莖葉処理剤として不耕起・少耕起栽培に広く使用されたが、グリホサート抵抗性作物の普及に伴い、激減している。しかし、除草剤抵抗性作物が栽培されない国では依然として重要な除草剤である。

13. ヒドロキシベンゾニトリル系除草剤

総販売額は1億4,000万ドルで、内訳は brom-

oxynil ('62) 64%, ioxynil ('62) 21%, diclobenil ('60) 15%である。前2剤はトウモロコシ、ムギ類に使用されたが、近年激減している。一方 diclobenil は広い殺草スペクトルを有し、しかも難防除性多年生雑草防除に有効で、果樹園、非農耕地で使用されるが、今後も重要な薬剤と見込まれている。

14. ピリダジン系除草剤

総販売額は1億3,500万ドルで、内訳は chloridazon ('64) 41%, norflurazon ('79) 26%, pyridate ('79) 33%である。chloridazon はテンサイに、norflurazon はワタ、ダイズ、柑橘類に、pyridate はトウモロコシ、果樹を対象に使用されて来たが、暫減している。最近、fluthiacet, flufenpyr がワタ、ダイズ、トウモロコシ、サトウキビなどを対象に開発されているが、グリホサート抵抗性作物普及のために使用はそれほど増えないと見込まれている。

15. ジニトロアニリン類除草剤

総販売額は4億5,500万ドルで、内訳は pendimethalin ('76) 46%, trifluralin ('64) 41%, ethafluralin ('70) 8%である。これらは長期持続型土壌処理剤として長年、使用されてきた。Trifluralin は揮発性が高く土壌混和処理により使用された。耕起法の変化に伴う莖葉処理剤への移行やスルホニルウレア系除草剤の登場、その後のグリホサート抵抗性作物(ダイズなど)の普及、拡大により、この系統の除草剤の使用が激減している。

16. その他の除草剤

その他の除草剤の販売額は13億9,600万ドルで、内訳は dicamba ('65) 10%, bentazone ('75) 8%, mesotrione (2001) 7%, isoxaflutole ('96) 6%, propanil ('60) 5%, clomazone ('86) 5%, quinmerac ('91) 5%, ethofumesate 4% ('74), quinclorac ('88) 4%である。Dicamba (MDBA) はトウモロコシ、ムギ類や非農耕地の広葉雑草木の防除に使用されて来たが、

除草剤抵抗性作物の普及などのため急減している。Bentazone はダイズ、トウモロコシ、ワタ、ムギ類やイネなどの広葉雑草防除剤として使用されて来たが、グリホサート抵抗性作物(ダイズ)の普及によって減少している。Mesotrione は混合剤としてグリホサート抵抗性トウモロコシに対抗すべく使用されている。Propanil は主にアメリカでイネに使用される。Clomazone はイネとダイズに、quinmerac はナタネ、テンサイなどに混合剤として使用される。

世界的に、ダイズ、トウモロコシなどの作物を対象に開発された除草剤が、その後他の畑作物や芝生にも普及した。一方、水田用の除草剤は日本を中心に独自に歩んで来た。非農耕地の除草剤では、特に土壌処理剤は独自に歩んで来たが、莖葉処理剤のグリホサートはバイテクの発達で農耕地の選択性除草剤としても発展した。土壌保全型耕起法の導入は莖葉処理除草剤の開発によって可能になった。

II. 除草剤抵抗性(バイテク)作物の開発動向

バイテク作物の技術は1996年から導入され、2002年には33億ドルに達した。内訳は除草剤抵抗性作物種子67%、害虫抵抗性作物種子20%、その両者の機能をもつ種子13%である。国別にみるとアメリカ70%、カナダ6%、ラテンアメリカ21%、東アジア2%である。作物別にみるとダイズ50%、トウモロコシ34%、ワタ13%、ナタネ4%である。アメリカでは2003年には、除草剤抵抗性作物がダイズの85%、ワタの30%、除草剤抵抗性と害虫耐性を組み合わせたワタが30%栽培された。グリホサート抵抗性(Roundup Ready)作物、グルホシネート抵抗性(Liberty Link)作物、ピアラホス抵抗性作物、セトキシジム抵抗性作物のほかに、培養細胞の選抜により得られたイミダゾリン抵抗性(Clearfield)作物やスルホニルウレア

抵抗性作物などがある。

遺伝子組み換え除草剤抵抗性作物はナタネ、タバコ、テンサイ、ムギ類、イネや芝草をも対象に開発されているが、農産物輸入国の拒否反応もあり、普及にはさらなる年月を要するであろう。遺伝子組み換え作物の栽培は北アメリカ、カナダ、アルゼンチンと一部中国とオーストラリアに限定されているが、間もなくブラジル、パラグアイやウルグアイでも正式に認められるものと見られている。一方除草剤抵抗性(Clearfield)コムギは2001年にはオーストラリアで、2003年にはアメリカ、コロンビアで作付けされた。ヨーロッパでも除草剤抵抗性作物は、間もなく受け入れられるものと予想されている。除草剤抵抗性と害虫抵抗性の両方の機能をもつバイテク作物も栽培されているが、将来病害抵抗性をも組み合わせたバイテク作物も開発されるであろう。

III. 除草剤抵抗性雑草

特定の作用機構の除草剤を連用することによって除草剤抵抗性雑草が増加してきた。ALS 阻害除草剤は極めて低薬量で有効であり、環境負荷が小さい。これは植物体内での ALS 量が少ないことに加えて、これらの薬剤が ALS に不可逆的に結合するためである。光合成光化学系II阻害型除草剤も結合部位の変異によって抵抗性が起き易い。そのような抵抗性はアリロキシフェノキシピロピオネート系やシクロヘキサジオン系の除草剤でも同様に起こる。これに対して PPO 阻害剤では、ターゲットサイトミューテーションはほとんど起きないので抵抗性雑草出現の可能性は低い。

現在、様々な除草剤に対して抵抗性雑草バイオタイプ(生物型)が出現している。世界的には ALS 阻害除草剤には84種、光合成阻害除草剤には65種、ACC 生合成阻害除草剤34種、合成オーキシニン類24種、パラコート類22種、ウレア系及びアミド系(光化学系II阻害剤)20種であり、これらを含めて全体で300種近い。グリホサートにも

抵抗性雑草出現の報告が増加するようになった。一方日本ではパラコート、シマジン、スルホニルウレア系除草剤に抵抗性の雑草の出現はあるが、外国に比べると数ははるかに少ない。なお、除草剤に抵抗性のある雑草としてイネ科9種、ヒユ科6種、キク科4種、ナス科2種、アカザ科2種が挙げられている。除草剤抵抗性雑草の出現は新規の化学構造、特に新規の作用機構を有する除草剤の開発が困難な今日、将来の雑草防除に大きな脅威となっており、抵抗性雑草出現を避ける種々の対策が必要である。

IV. 日本での除草剤使用

2003年の除草剤の使用延べ面積は730万haで、内訳は水田306万ha、水田畦畔48万ha、畑・野菜・花き196万ha、果樹園73万ha、芝地30万ha、非農耕地（林業地含む）82万haである。

1. 水田

除草剤の延べ使用面積は土壌処理剤と茎葉処理剤による体系処理が定着した1975年頃は栽培面積の2.3倍に及んだが、その後は一発処理剤（一発剤）が普及・定着し、2003年には栽培面積の1.8倍に減少した。しかも、この間作付面積も著しく減少した。1975年頃は chlornitrofen, benthio-carb が、1985年頃は butachlor, pyrazolate, naproanilide が、その後 pretilachlor, mefenacet, thenylchlor, cafenstrole が、近年は oxaziclo-mefone, pentoxazone, fentrazamide, pyrimino-bac-methyl, clomeprop, bromobutide, indanofan や benzobicyclon などが使用されるようになった。単位面積当たりの有効成分量の使用量は1988年に比べて半減している。この10年間でイネ科防除剤で顕著な新旧交代が目立つ。広葉防除剤として1995年頃からスルホニルウレア系除草剤が広く利用されるようになり、現在では混合剤の60%に使用されている。水田除草剤が全除草剤の50-55%を占め、また世界の水田除草剤ビジネスの50%を占める。

2. 畑地

土壌処理剤と茎葉処理剤はほぼ同じ50%ずつ使用されている。茎葉処理剤はグリホサートが主なものであるが、土壌処理剤はトリアジン系、ウレア系、ジニトロアニリン系、カーバメート系やアミド系の除草剤が主なもので、それぞれの使用に大差はない。

3. 果樹園

除草剤が果樹園の94%に使用され、茎葉処理剤はその91%を占めており、内訳はグリホサート61%、ダイコート・パラコート13%、グルホシネート4%である。

4. 芝地

土壌処理剤が主体で、茎葉処理剤もそれに近い面積に使用されている。除草剤使用面積は1998年以降減少しているが、特にカーバメイト系、ジニトロアニリン系が減少した。一方、スルホニルウレア系除草剤の使用割合が増加している。

5. 非農耕地

非選択性茎葉処理剤の使用が多いが、パラコート・ダイコートの使用が減少し、グリホサートが著しく増加している。

6. 林業地

除草剤使用面積は1972年にはおよそ24,500haであったが、その後増加をたどり、1981年に47,000haに達した後は漸減し、2001年には5,400haになった。これまで使用された除草剤は、1972年には塩素酸系が14,600ha、スルファミン酸系700ha、脂肪酸系1,800ha、ピリジン系7,200haなどであったが、1981年には、塩素酸塩4,500ha、スルファミン酸系1,400ha、脂肪酸系15,800ha、ピリジン系21,900ha、その他3,700haであった。2001年の内訳は、塩素酸系500ha、テトラピオン1,000ha、ピクロラム400ha、トリクロピル200ha、カルブチレート10ha、グリホサート1,800ha、MDBA 290ha、テトラピオン混合剤1,000haである。この中でグリホサートが全体に占める割合は33%と高く、MDBA と合わせると茎葉処理剤が40%に及び、さら

に増加の傾向が見られる。使用面積の93%は地上散布、7%が空中散布であるが、国有林での使用を目的別に見ると、地拵用20%、下刈用25%、つる切り用52%となっている。地拵用には塩素酸塩とテトラピオンが、下刈にはテトラピオンとテトラピオン混合剤が、つる切りにはピクロラム、トリクロピル、グリホサート、MDBA がそれぞれ使用されている。そして剤型は、ピクロラムが木針、トリクロピル、グリホサート及びMDBA が液剤で、その他が粒剤または細粒剤である。

次に筆者らが1960年代から林地現地実験で得た除草剤の知見について述べる。林業地は農耕地や一般の非農耕地とは異なり、土壌表層はA層やA₀層が著しく発達しており、土壌中の除草剤の下方移動が小さく、土壌処理剤の土壌表面からの流出、流亡の可能性は低い。一般の農耕地除草剤は林業地土壌中を1cmも下方移動しない。従って林業地で使用可能な土壌処理剤は通常の土壌では極大の移動性を示す物性が必要であろう。林業地の土壌処理剤の多くは土壌中5cmまで到達するには早いもので1ヶ月、遅いものでは数ヶ月を要する。しかし、テトラピオン、DPA、トリクロピルやMDBAのような水に溶けやすい薬剤は2週間位で移動する。春季、多年生雑草や雑灌木類は萌芽よりもやや遅れて新根を伸長させるが、梅雨期以降は深く根を張る。従って土壌処理剤が除草効果を発揮するためには、雑灌木類の根の伸長開始までに一定の深さまで移動していわゆる「処理層」を形成する必要がある。光合成阻害剤とイネ科細胞分裂阻害剤の適切な組み合わせは相乗効果を発揮する。根から吸収された光合成阻害剤は木の南側の葉に偏って移動、集積するためか、そこでの作用発現が大きい。脂肪酸系のテトラピオンやDPAもイネ科雑草のみに卓効を示し、観察上広葉植物に影響しないが、これら同士の組合せや光合成阻害剤との混合剤は広葉植物にも大きな阻害効果を発現する。さらに光合成阻害剤の効果を増強し、殺草スペクトルを拡大し、処理適

期幅をも拡大する。テトラピオンやDPAの作用機構は複雑であるが、単独でも多くの重要な代謝系に影響を与えるものと考えられる。林業地に使用される除草剤はいずれも外国でも長く使用されてきた安全性の高い薬剤で、今でも重要な薬剤として評価されている。

V. 最近の除草剤研究

現在使用されている除草剤は植物特有の機能、特に重要な代謝系を阻害するものが多く、一般的に薬量は少なく、動物毒性は低い。

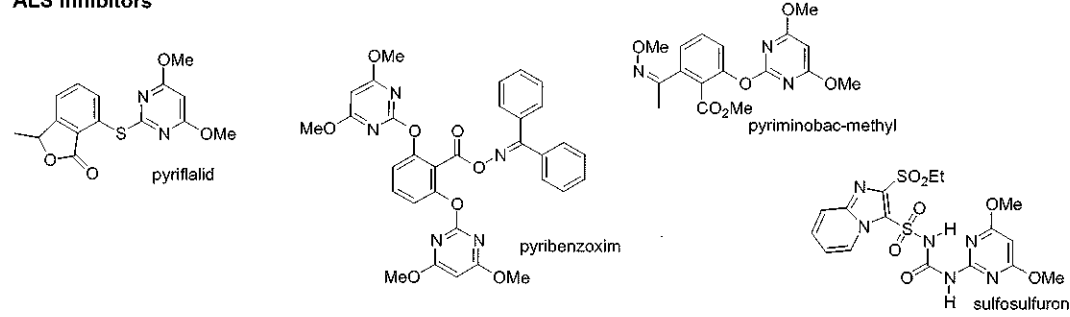
最近登録された除草剤の多くはフィトエンデサチユラーゼ（PDS）阻害剤、4-ヒドロキシフェニルピルベートジオキシゲナーゼ（HPPD）阻害剤及び長鎖脂肪酸生合成（VLCFA）阻害剤で、PDSとHPPDは色素生合成に関わるものである。

一方、最近でもいくつかのスルホニルウレア系除草剤が開発されているが、それらの新規登録剤に占める割合は極めて少なくなった。Pyrimidyl-oxy-benzoate型のALS阻害剤はスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草に対しても効果が期待される。

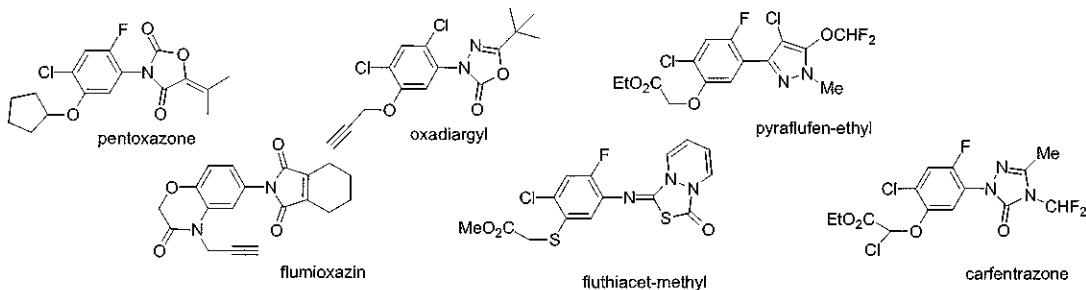
PDS阻害剤にはユニークな構造を持つものもある。VLCFA阻害剤は互いに構造がかなり異なっており、さらなる修飾によって新規剤開発の可能性があると考えられている。Thenylchlor, cafenstrole や indanofan はともに VLCFA の強力な阻害剤である。Benzobicyclon はそれ自身には除草活性がなく、加水分解物が強力な HPPD 阻害活性を示す。Oxaziclo-mefon はジベレリンと細胞壁の合成を阻害する。Triaziflam は光合成光化学系IIとセルロース生合成を阻害するという特異な作用を持ち注目される。

植物は他の生物と異なる特異な機能と構造を持っているので植物にのみ存在する機能を除草剤のターゲットサイトとすることができる。光合成電子伝達系、カロテノイド生合成系、アミノ酸生合成系、セルロース生合成系、二次代謝物生合成や植物ホ

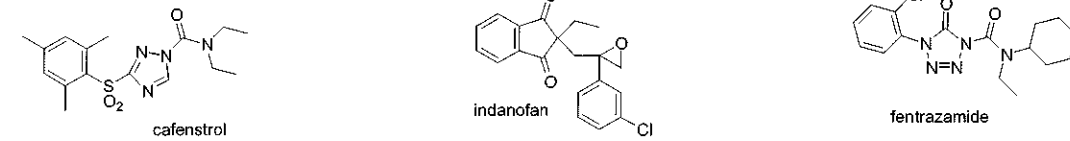
ALS inhibitors



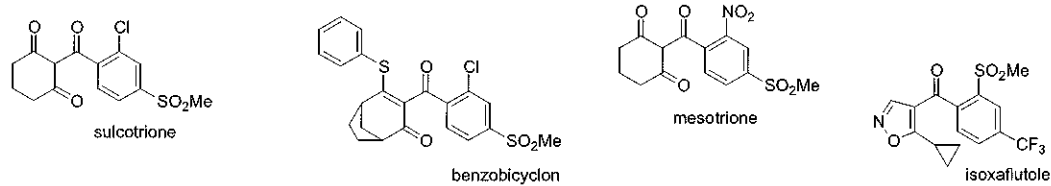
PPO inhibitors



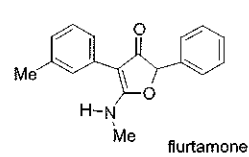
VLCFAs inhibitors



HPPD inhibitors



PDS inhibitor



Others

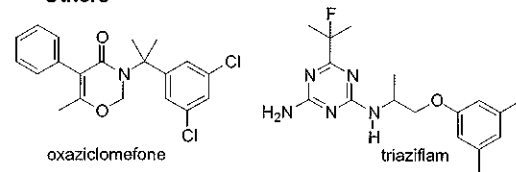


図1 近年開発された主な除草剤(米山2003に追加)。图中、ALS inhibitors は分枝アミノ酸生合成阻害剤、PPO inhibitors はクロロフィル生合成(プロトブルフィリノーゲン酸化酵素)阻害剤、VLCFAs inhibitors は脂質生合成阻害剤、HPPD inhibitors はカロテノイド生合成(4-ヒドロキシフェニルピルベートジオキゲネース)阻害剤、POS inhibitors はカロテノイド生合成(フェトエンデサチュラーゼ)阻害剤そして Others はその他の阻害剤を示す。

ルモンの制御などが挙げられる。

分子生物学は進歩したものの、遺伝子の全塩基配列が分かったシロイヌナズナやイネのゲノムに基づいて除草剤のターゲットサイトを直接探すという研究手法は未だ緒に付いたばかりである。特殊な生合成経路における一つの酵素が除草剤ターゲットになり得る。例えば、分枝アミノ酸生合成における ALS であり、シキミ酸経路における E P S P である。ジベレリンの生合成阻害剤は除草作用を示さないが、オーキシシンやサイトカイニンの生合成阻害剤は除草剤になる可能性が高い。アレロパシー研究や植物科学研究から新規剤開発の手がかりを得る努力も必要であろう。

VI. 今後の展望

除草剤開発の速度はこの10年間、著しく低下した。農業不振に加えて、土壌保全型耕起法の普及にともなう茎葉処理剤の使用、遺伝子組み換え作物の普及に伴いグリホサートなどの限定された薬剤の使用、ヨーロッパに於ける除草剤の使用規制、安価なジェネリック除草剤の増加や除草剤抵抗性雑草の出現などの問題が背景にある。今後も除草剤は雑草制御に必須の資材であることに変わりはないが、その使用方法の改善や新規剤の開発も一層重要である。茎葉処理剤では、葉に付着した全量の数%しか作用点(細胞)まで届かない。製剤、施用法の研究は今後とも一層必要である。根寄生雑草の防除には宿主作物種子への除草剤粉衣処理が有効との報告があり、その技術の遺伝子組み換え作物への応用は一層効果的であろう。今後、機械刈払いの際に雑草の茎切断面に除草剤溶液を塗布するような処理方法の開発も期待される。こ

の方法によれば、除草剤は飛散や土壌への落下がなく、少量で雑草の再生、成長を効率的に抑えられるであろう。

除草剤は最も効果が確実で効率的な雑草制御法である。今後は、環境に配慮しながら他の手段も取り込んだ雑草の総合管理の実践が重要な課題である。

参考文献

1. Douglas D. Buhler (2002). Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science*, 50: 273-280.
2. Herbicide Resistant <http://www.weedscience.org/in.asp> (アメリカ雑草学会ホームページ HR AC)
3. 平井憲次, 大野竜太 (2003). 除草剤・成長調節剤の動向 (山本出監修: 新農薬開発の最前線). シーエムシー出版, p. 135-339.
4. 伊藤一幸 (2003). 雑草の逆襲. 全国農村教育協会.
5. James R. Vyvyan (2002). Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron* 58 (2002) 1631-1646.
6. Koichi Yoneyama (2003). New herbicides and new application techniques. *Proceedings of 19th. Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, p. 33-39. Manila, Philippines.
7. Phillips MacDougall-AgriService, Products Section 2002-Market, Phillips MacDougall, Midlothian, UK, 2003.
8. 林地除草剤使用実績 (平成11, 12, 13年度) (2004). 林業薬剤協会.
9. 竹下孝史ら (2003). 除草剤・植物成長調節剤の変遷 (佐々木満ら編: 農薬開発の最前線). 日本農薬学会. p. 33-54.
10. 竹下孝史 (2004). 除草剤のこれまでの開発経緯と今後の展望. 植生制御シンポジウム2004 (宇都宮大学) 要旨集, p. 10-19.
11. 竹内安智 (2003). 除草剤 (佐藤仁彦, 宮本徹編: 農薬学). 朝倉書店 p. 153-186.
12. 竹内安智 (1999). 葉面微細構造物, エピクテラワックスの物理, 化学的性質. 33 (11). 421-432. 植調. 日本植物調節剤研究協会.

松くい虫被害対策について

伊藤 博通*

1 松くい虫被害の現状と対策

(1) 松くい虫被害について

我が国においては、多様な機能を発揮し人々の生活と密接に結びついている大切な松林が各地に分布している。これは、潮風や飛砂から周辺住民の生活や農業生産等を守っている松林、良好な景観を形成している松林、民家の裏山にあって土砂崩れなど山地災害から住民の生活を守っている松林などがあり、数百年も前から先人により築き上げられてきた松林もある。

現在、これらの大切な松林が松くい虫により枯損する被害が全国的に発生しており、これらの松林の維持が危惧されている。

このため、林野庁においては、都道府県、市町村及び地域住民等と連携し、様々な被害対策を実施しているところである。

(2) 松くい虫被害の現状

我が国で発生している激しい松枯れは、マツノマダラカミキリが運ぶマツノザイセンチュウという体長1mmにも満たない線虫により引き起こされることが科学的に明らかにされている。

そもそも病原体であるマツノザイセンチュウは、もともとは日本には分布しておらず、我が国の松は抵抗性をもっていない。マツノザイセンチュウはマツノマダラカミキリによって運ばれ新たな松の樹体内で繁殖し松を枯れさせる一方、マツノマダラカミキリは枯れた松に産卵し繁殖する共生関

○ 被害発生都府県の推移

| | 52年度 | 53年度 | 54年度 | 56年度 | 57年度 | 58~15年度 |
|------------|------|---|-------------------|-----------|-----------|---------|
| 被害発生都府県数 | 36 | 41 | 43 | 44 | 45 | 45 |
| 新規発生県数(県名) | 0 | 5 (群馬) (埼玉) (新潟) (福井) (山梨) | 2 (岩手) (山形) | 1 (長野) | 1 (秋田) | 0 |

(注) 被害未発生地は、青森県、北海道である。

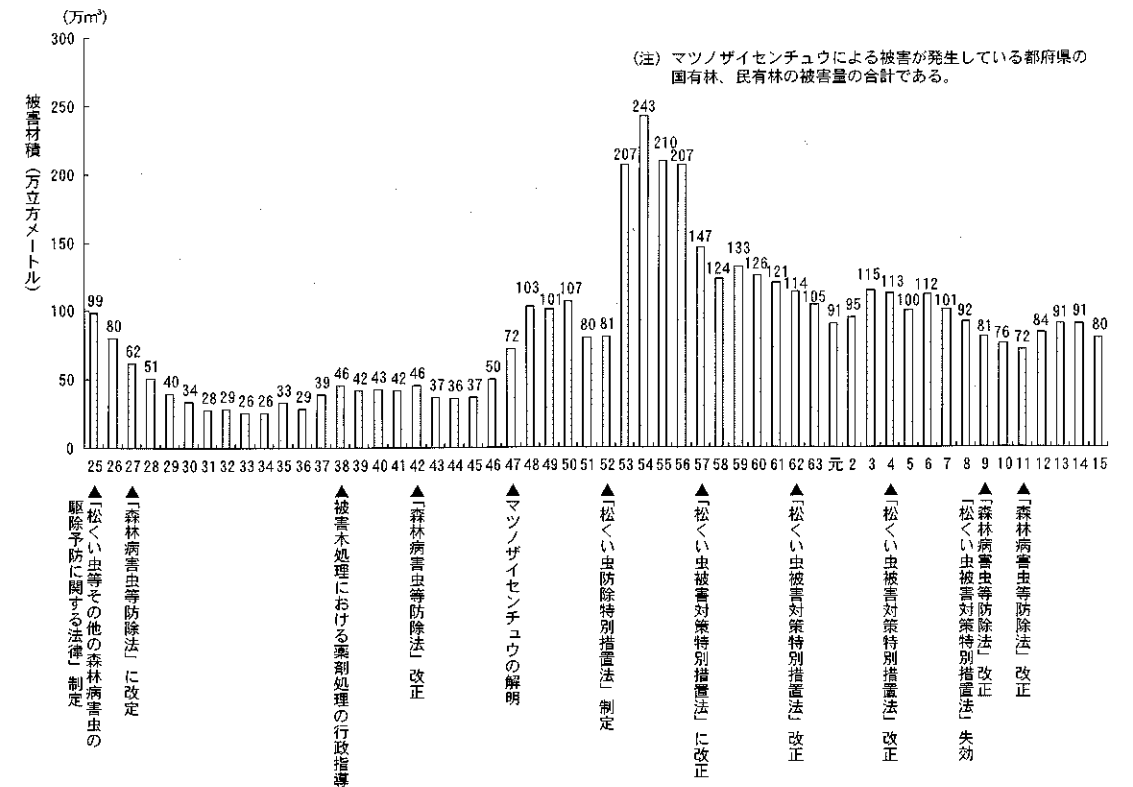
係により、その被害は全国各地に拡がっていった。

このように、外来性の移入生物による森林被害は、激しい被害を引き起こすのが特徴である。松くい虫被害以外では、北アメリカで流行した五葉マツ発疹さび病、北アメリカとヨーロッパで流行したクリ胴枯病及びニレ立枯病が、世界三大樹病と呼ばれ、いずれも壊滅的な森林被害を引き起こしている。

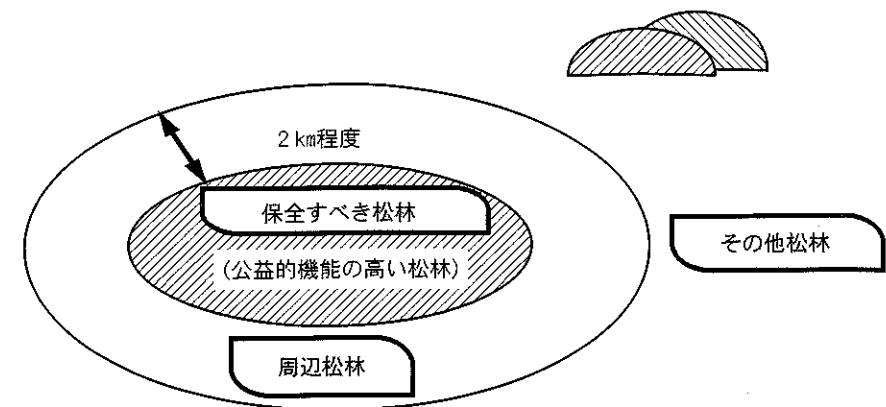
松くい虫の被害の歴史は、明治38年頃に北アメリカから輸入された松材とともに長崎に上陸したと考えられており、それ以来今日まで1世紀に及ぶ間に北海道、青森県を除く45都府県にまん延してきた。

被害量は、昭和54年度の243万³をピークに減少傾向で推移し、近年はピーク時の1/3程度の状況となっている。平成15年度の被害量は、約80万³となっている。近年は、東北地方での被害量が増加傾向にある。

○ 松くい虫被害量の推移



○ 松林区分のイメージ



(3) 松くい虫被害対策

全国の民有林においては172万haの松林があるが、被害対策の実施に当たってはその効果的かつ重点的な実施の観点から、34万haを対策対象林として、防風保安林や潮害防備保安林等の公益的機

能の高い松林を「保全すべき松林」に、その周辺に位置する松林を「周辺松林」に指定し、総合的な対策を実施することとしている。

保全すべき松林においては、被害を終息させることを目標に、特別防除や被害木の伐倒駆除、特

* 林野庁森林保全課森林保護対策室 ITO Hiromichi

別伐倒駆除等の防除対策を実施し、周辺松林は、保全すべき松林を守るためのバッファーとして、将来的には保全すべき松林と一体的な防除を行いつつ、計画的にマツ以外の樹種に転換をすることとし、これにより保全すべき松林への松くい虫の被害の拡大を防止することとしている。

また、松くい虫の被害対策については、森林病害虫等防除法等に基づき

- ① 保全すべき松林における特別防除、伐倒駆除等による的確な防除
- ② 松くい虫被害の早期発見、徹底した防除等を推進する地域の団体や住民等が主体となった森林の保全体制の整備
- ③ 被害木等の除去・処理を行う衛生伐等の実施とその周辺における樹種転換等による保護樹林帯の造成や林床整備等による松林の健全化の推進
- ④ 線虫に対する抵抗性を付与するための技術など、新たな防除手法技術の開発・実証等防除手法の多様化・普及

の4項目を柱として総合的に実施している。

○ 松林の区分別面積（民有林）

| | 対策対象松林 | | | その他松林 | 合計 |
|---------|---------|------|-----|-------|------|
| | 保全すべき松林 | 周辺松林 | 計 | | |
| 面積（万ha） | 24 | 10 | 34 | 138 | 172 |
| 比率（%） | 14% | 6% | 20% | 80% | 100% |

資料：林野庁業務資料

（注）平成14年4月1日現在の面積である。

○ 松くい虫防除に係る薬剤使用状況

| 防除方法 | 特別防除 | | 地上散布 | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|----------|--------|
| | MEP 乳剤 | MEP MC | MEP 乳剤 | MEP MC | チアクロプリド水和剤 | アセタミプリド液剤 | プロチオホス乳剤 | MPP 乳剤 |
| 使用回数 | 26 | 10 | 33 | 2 | 17 | 12 | 9 | 2 |

| 防除方法 | 樹幹注入 | | | | |
|------|------------|---------------|-----------|------------|-----|
| | 酒石酸モランテル液剤 | エマメクチン安息香酸塩液剤 | ミルベメクチン乳剤 | 塩酸レバミゾール液剤 | その他 |
| 使用回数 | 29 | 13 | 9 | 4 | 3 |

※特別防除31県、地上散布42都府県（15年度実績）、樹幹注入34都府県（16年度計画）

(4) 松くい虫防除に係る薬剤使用状況

松くい虫防除に当たっては、特別防除や地上散布、樹幹注入等において薬剤を使用しているが、使用薬剤が明らかな42都府県の薬剤の使用状況は下表のとおりである。

使用薬剤は、特別防除、地上散布とも MEP（フェニトロチオン）を使用している県が最も多く、MEPのみ使用しているのが11都県で、MEPが使用されていた。また、特別防除、地上散布とも MEP 乳剤を使用している県も8県あり、西日本の中国地方を中心に使用されていた。

特別防除は、使用薬剤は MEP の乳剤、MC 剤（マイクロカプセル剤）の2種類であり、依然として乳剤を使用している県が多いものの、MC を使用している県も10県あり、最近では増加傾向にある。

地上散布は県により使用薬剤が多数あるが、やはり MEP が33県で最も多く使用されている。そのうち2県は MC も使用している。

MEP の次に多かったのが、チアクロプリド水和剤で次いでアセタミプリド液剤と続いた。これらの薬剤は比較的新しいネオニコチノイド系の薬剤であり、有機リン系の MEP に比べ環境への影響もより低いことから、今後の使用増加が見込まれる。

その他にプロチオホス（混合薬剤を含む）や MPP についても一部の県で使用されている。

また、樹幹注入は34都府県で6種類の薬剤を使

用していた。一番多かったのは、酒石酸モランテル液剤で28都県が使用、次いでエマメクチン安息香酸塩液剤、ミルベメクチン乳剤、塩酸レバミゾール液剤と続いている。

2 特別防除について

(1) 特別防除の実施について

特別防除は、マツノマダラカミキリを防除対象とした航空機を利用して行う薬剤による防除でその防除効果も高く、海岸防風林や景観上重要な松林等の保全を図っていく上で重要な防除方法ではあるが、薬剤を空中から散布することから、その実施に当たっては、周囲の自然環境及び生活環境の保全、農漁業等に危被害を及ぼさないよう十分留意して実施している。また、地域住民等に対しては、あらかじめ事業計画や特別防除の必要性等を説明するとともに、住民等の意見を十分踏まえ、さらに、周辺地域の病院や関係機関等とも十分連絡調整を行うこととしている。

(2) 特別防除実施後の調査について

特別防除を実施している地域においてはその事業効果や環境等への影響を把握するため、現在、効果調査と自然環境等影響調査の2つの調査を実施している。

平成9年の森林病害虫等防除法一部改正時においては、特別防除の効果のほか、生活環境及び自然環境に及ぼす影響について、引き続き必要な調査を行う旨、国会の付帯決議が行われている。

① 平成15年度松くい虫特別防除の効果調査について

a 調査方法の概要

特別防除事業の実施地域における被害状況を調査することにより、その防除効果を把握するため、特別防除を実施している28県において効果調査を実施している。調査区は、面積1ha程度の特別防除を実施している「特別防除区」を1県につき1箇所、対照区として特別防除区に近接する特別防

除を実施していない「非特別防除区」を1県につき2箇所設定し、毎木調査により被害本数及び被害本数率の推移等を調査した。

調査集計に当たっては、特別防除以外の防除方法が特別防除区と同一の調査地をその対象としている。

b 調査結果の概要

平成15年度の被害本数率の平均値は、特別防除区の1.4%に対し、非特別防除区は4.7%で特別防除区の方が1/3程度の低い数値となった。被害本数率の分布は、被害状況の程度を被害本数率により微害（被害本数率が1%未満）、中害（被害本数率が1%以上5%未満）、激害（被害本数率が5%以上）に3区分し、特別防除区は、微害の箇所が約7割となった一方、非特別防除区は、激害の箇所が約4割と被害状況は悪かった。

このように、特別防除区の被害本数率の平均値は、非特別防除区に比較して低く、また、各県の調査区ごとの比較でも、特別防除区の方が被害本数率が低くなっている等の差が認められた。このことから、特別防除の効果は高いものと考えられる。

○ 被害本数率の平均値

| | 特別防除区 | 非特別防除区 |
|------|-------|--------|
| 14年度 | 1.5% | 8.8% |
| 15年度 | 1.4% | 4.7% |

② 平成15年度松くい虫特別防除の自然環境等影響調査について

a 調査方法の概要

特別防除の実施に伴う自然環境及び生活環境に及ぼす影響について調査し、特別防除の適正かつ円滑な推進に資することを目的としている。

平成15年度は岩手、千葉、新潟、兵庫、広島、山口、福岡、宮崎及び鹿児島等の9県で実施しており、効果調査と同様に調査区を設定し、傾斜度、地質、土壌等の地況、林齢、樹種構成等の林況、

気象条件等の環境条件、林木・下層植生の変色等の有無、野生動植物等の種類別個体数の推移等の自然環境への影響、土壌や河川水及び大気における薬剤の残留濃度について調査を実施している。

b 調査結果の概要

① 林木及び下層植生

一部の県で、葉に斑点状の変色等があったが、その後の生長に影響はなかった。

② 野生鳥類、昆虫類、土壌動物、水生動植物

薬剤散布の影響と考えられる個体数等の変動があったが、個体数等は散布2ヶ月後までに概ね回復している。

③ 土壌、河川水及び大気中における薬剤残留

土壌の調査では、一部の県で散布前に薬剤が検出され散布後に濃度が上がったが、その後経時的に低下している。

河川水や大気の調査では、一部の県で厚生労働省による指針値又は環境省による気中濃度評価値を超える薬剤濃度が検出されたが、散布2日後までに本指針値等未満の濃度に低下している。

④ まとめ

特別防除の実施による自然環境等に対する影響

は、一時的または軽微であり、許容できる範囲と考えている。

なお、平成16年度からは、植物を除く自然環境への影響の調査について経年的な生息状況の変化等を統計的に分析、また、昆虫類等の調査については指標昆虫を選定しその経年的な生息状況の把握に重点をおいた調査方法により実施している。

3 終りに

松くい虫による被害量は近年減少傾向にあるとはいえ、被害地域の北上や高標高地域への被害拡大が見受けられ、東北地方等では被害量が増加していることもあり被害先端地域等への対策の重点化が必要である。

また、「白砂青松」といった日本を代表する景勝地等、地域住民の生活環境に密接に関わっている主要な海岸松林の保全・再生対策の強化、さらに、環境保全に対する国民の意識の高まり等を踏まえ、薬剤防除のみに頼らない防除手法の多様化等により被害対策を一層推進し、都道府県はもとより、市町村、森林所有者、地域住民等幅広い合意の下に的確な対策を推進していく必要がある。



松くい虫被害の研究および対策の今昔物語(1) —我が国の森林防疫研究の近代史をつらぬく特異な流れ—

小林 一三*

1. はじめに

我が国の森林防疫に関する本格的な研究は大雑把には20世紀とともに開始されたといえる。今日までの約百年の時の流れにつれて日本の社会は変化し、それにつれて森林に対する社会的ニーズも変わり、森林に生息する昆虫や鳥獣などの動物(消費者)および微生物や菌類などの生物(分解者)に関する研究の対象や研究方向にも変化があった。そのなかでとりわけ顕著なふたつの現象がある。そのひとつは、第二次大戦後の大規模な造林事業の進展にともなって、苗畑や針葉樹人工林の林分成立段階・若齢段階の林分に多発した多種多様な生物害への緊急対応的な研究の推進であり、多方面にわたる成果の蓄積が今日の森林防疫の基礎を作り上げた。もうひとつは1980年代からいかに活発になり今日まで続く生物多様性とその保全、および森林生態系の中における消費者・分解者の働きや生物間相互作用に関する研究の推進である。

このような森林に対する社会的ニーズの変化とはほとんど無関係に20世紀初頭から今日まで連続と我が国の森林防疫関係者を悩まし続けているのが松くい虫問題である。まさに我が国の森林防疫の歴史を貫く特異的な存在となっている。今から約百年前に突如として九州の片隅に異様なマツの集団枯損現象が発生し、これが強烈な感染症の態様を示して、原因不明のままに松くい虫被害と呼ばれて、先の大戦前に西日本の松林に蔓延していっ

た。1970年代に国立林業試験場の研究者達によってようやく枯損原因の解明がなされ、病原生物としてマツノザイセンチュウ (*Bursapherenchus lignicolus*)、媒介者としてマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus*) が特定された。線虫がマツを激しく枯死させるという事実の発見は世界の森林病虫害研究者の関心を呼んだ。そして、マツノザイセンチュウは北米大陸を原産地とする生物であること、日本のマツは北米から侵入したこの病原体に対して抵抗力を持たないままに、激害を被っていることが明らかにされた。その後、マツ材線虫病は台湾、中国、韓国のマツ林にも発生し、1999年にはポルトガルでもその発生が確認された。

それまではニレ立枯病 (Dutch elm disease)、クリ胴枯病 (chestnut blight)、五葉松発疹さび病 (white pine blister rust) が世界の三大樹木病害として知られていた。これらはいずれも外来の病原体が新天地に侵入して抵抗力のない宿主に激害を及ぼしている。これに新たにマツ材線虫病 (pine wilt disease) が加わって、今日では世界の四大病害と呼ばれるようになってきた。

長い間、関係者を悩ませた松くい虫被害の原因解明がなされ、マツ材線虫病という新たな学問上の名前が付き、各種の防除法の開発がなされてからでも今日までに約30年が経過した。日本のマツにとってマツ材線虫病はまさしく難防除病害であって、関係者の懸命な努力にもかかわらず、被害の発生は拡大・北上を続け、現在では秋田県と青森県の県境にまで蔓延した。その一方で、30年間という年月の中で温暖な地域から冷涼な地域に被害

* 秋田県立大学

KOBAYASHI Kazumi

が進展するにつれて、マツ材線虫病の発生の有様に変化が見られるようになってきた。この変化に着目して、冷涼な地に適した防除対策システムを策出すべき時となっているように思われる。このことに関しても後ほど言及したい。

百年前に日本の片隅に端を発し、20世紀を通じて社会的関心を集め、関係者を悩まし続け、いまでは世界の「マツ材線虫病」にまで変貌した松くい虫被害であるが、21世紀を通じても関係者を悩まし続ける存在となることであろう。我が国のマツと人々の暮らしとの関係はこれからも密接なものであり、アカマツ林やクロマツ林がマツ材線虫病に対して抵抗力を増強できるのは、いくら人間が応援しても、今後百年以上は掛かると思われるからである。百年にわたるマツ材線虫病の来し方を振り返って、今後の百年においても悩ましい存在となるであろうマツ材線虫病の対策を考える参考材料としたい。

2. 有史以来明治時代までの人の暮らしとマツ林

長い間、松くい虫に人々の関心が向き続けているひとつの原因は、マツが古くから日本人の生活に深く結びついてきたためであろう。まずは日本のマツ類に強烈な病原力を持つ外来の病原体（マツノザイセンチュウ）が我が国に姿を現す前の時代におけるマツと日本人の暮らしとの関係に思いを巡らすことから始めたい。20世紀後半の顕著な工業化社会への変貌以前において、日本は基本的には稲作を中心とする農耕社会であった。その社会を支えた熱・光エネルギーの直接の源として、また、ヒトの暮らしを含めたランドスケープ単位での生態系における物質・エネルギー循環の一要素として、マツが大活躍をしている姿を思い浮かべることができる。

マツ類は典型的な先駆樹種であって、土壌の富栄養化にともなう広葉樹との競争関係の下では、マツ林は次第に衰えていって単木化していく。マ

ツ類のもともとの住み処は尾根筋などの瘠せ地である。縄文人にとってマツはなじみの少ない樹種であったであろう。魏志倭人伝には十種を越える樹種名が出ているが、「松」は出てこない。松（アカマツ）は稲作農耕社会の発展にともなう里山からの有機物の採取が進む1500年前頃から、里山の土壌の貧栄養化につれて山頂・尾根部から次第に人の生活圏に自分の方から勝手に近づいてきた樹種である。ただし、飛砂防止のための海岸クロマツ林造成のように無毛の砂丘地に人が積極的にマツの植栽に励んできた例もある。それに対してスギやヒノキは昔から有用樹種として人が積極的に里山地帯に育林してきた樹種である。石油の無かった長い時代を通じて、重要なエネルギー源（金属、陶磁器、塩、灯、暖房、煮炊き）や農用・建築・土木資材として、マツは日本人の生活と文化を支えてきた（渡邊定元，1997）。

1900年に本多静六は「我国地力ノ衰退ト赤松」という論文を東洋学芸雑誌に発表した。その内容は「松は瘦せ地に生じ易く、さらに地力が衰えると松林変じてはげ山となる。松林の跋扈は全国に及ぶ。松は目出度ものにあらず。」というものであった。人口増加と富国強兵政策にともなう里山からの有機物の過度な収奪による森林の退行遷移を論じたもので、江戸末期から明治初期における森林荒廃に国民の目を向けさせ、地力豊かな国土の保全の必要性を訴えた「赤松亡国論」として日露戦争前当時の論壇で有名になった（渡邊定元，1997）。今日よりもはるかに深くマツが人々の暮らしと関わっていた当時の世相を伝える話である。

3. 1905年はマツの異様な集団枯損（松くい虫・マツ材線虫病・松枯れ）の出発点

1905年といえば、東郷平八郎率いる連合艦隊がバルチック艦隊を撃滅して、日本中が歓喜に沸きかえていた年である。この年にマツの急激な集団枯損現象の発生があったことが記録されている。

これ以前にはこのような記録はない。当時の国立林業試験場技師・矢野宗幹（森林昆虫学）の記録によると、長崎軍港の裏山のマツが1905年から1906年にかけて大量に枯れた。その特徴として次ぎのようなことが指摘されている（松枯れ問題研究会，1981）。

- ① アカマツ，クロマツともに被害を受ける。
- ② 針葉の変色は急激で1ヶ月以内で赤褐色になる。
- ③ 老・壮・若齢木に関係なく被害を受ける。
- ④ 孤立木，優勢木，林縁木に被害が出やすい。
- ⑤ 前年に枯れた木の付近に集団的に発生することが多い。
- ⑥ 樹皮下穿孔虫としてはマツノシラホシゾウムシとマツノマダラカミキリが多い。ただし、この2種昆虫は、他の樹皮下昆虫と同様に、健全木を枯死させる可能性は低い。

この記録は現在のマツ材線虫病の特徴とよく一致する。大正・昭和初期を通じてこの奇妙なマツの集団枯損は九州、山陽地方に拡大した。西日本で多発する異常なマツの集団枯損は、原因不明ながら社会的な関心と呼んで、1941年頃に新聞記者が「松くい虫」という言葉を使い始め、この言葉が自然と一般的に広く使われるようになっていった。太平洋戦争末期・終戦直後の混乱期に千葉県以西で大発生状態になって、1948年に総被害量は123万立方メートルに達した。

4. 1970・71年に「松くい虫」の正体は「マツ材線虫病」と判明

国立林業試験場保護部は1965年7月、9月、10月に房総半島の被害発生マツ林で大規模な伐採を行って、マツ樹皮下昆虫（カミキリムシ科、ゾウムシ科、キクイムシ科）が産卵・寄生する前に、切り株断面からのヤニ滲出が停止していることを確認した。樹皮下昆虫がマツを直接殺すのではなく、昆虫が寄生する前に、マツ樹は何らかの原因でヤニ分泌異常・水分通導阻害を起していること

が実証された。その後の林業試験場の総力を挙げた特別研究によって、1970・71年に日本のマツに対して強力な病原力を持つマツノザイセンチュウを病原体とし、マツノマダラカミキリを媒介昆虫とするマツの感染症「マツ材線虫病」であることが判明した。それに伴って、それまで「松くい虫」という言葉で表現されていたアカマツ・クロマツの異常枯死現象は学問的には「マツ材線虫病」と呼ばれるようになった。ただし、「松くい虫」という言葉には歴史的背景があって、法律用語としても使われており、今日でも広く一般的に使われている。しかし、この言葉には「マツクイムシ」という特定の昆虫の種が存在するかのような誤解を与える欠点があり、最近では単に「松枯れ」と呼ばれることが多くなりつつある。

5. マツノザイセンチュウの原産地は北米だった

線虫が元気なマツを短期間に殺すという事実は世界中に驚きを持って迎えられ、多くの追試がなされた。そしてアメリカの研究者によって1977年に米国ミズリー州のヨーロッパクロマツの枯死木からマツノザイセンチュウが発見された。その後の調査で、1934年に米国でダイオウショウから採取され、新種記載されていた線虫と同一種であることが確認され、学名は *B. xylophilus* に戻された。後に DNA 分析によっても日本と北米のものは同一種であることが確かめられた（4）。

北米にはこの線虫が広く分布するものの、北米原産のマツ類の多くはこの線虫に抵抗性を持っており、北米のマツ林では日本のような流行病にならない。なんらかの原因で新しく衰弱・枯死したマツ樹に、*Monochamus* 属のカミキリムシに運んでもらい、主としてその産卵行動を通じてマツ樹体内に侵入して生存しているのであろう。今から百年少し前に人間がそのようなマツ材を北米から日本に運び、それにともなうマツノザイセンチュウが日本に侵入したのと思われる。抵抗性

を欠くマツが多い中国では1982年に、台湾では1985年に、また韓国では1988年にマツ材線虫病の発生が確認され、いずれも流行病となってその防除に苦慮している。マツ材輸入禁止などの厳重な検疫体制をとっていたヨーロッパでも、ポルトガルで1999年に突如マツ材線虫病の発生が確認された。

6. 現代は日本のマツの「受難の時代」、本当にマツにサヨナラしてよいのか？

先の大戦直後の一時期、マツ材はパルプ原料として人気が高く、また坑木等としての需要も活発で全国的にマツ造林が盛んであった時期があった。若い造林地が増えるにつれて、マツカレハ、マツノシンマダラメイガなどの芯くい虫類、マツバナタマバエなどの虫食い昆虫等の全国的な大発生があった。しかし、その後のパルプ材の広葉樹材化、化石燃料の普及、農業技術の近代化、安い外材の大量流入などによって日本のマツ林は急速に経済的価値を失うとともに、かつての里山としての人間社会との密接な繋がりも急速に薄れていった。もはやマツ林からヒトが有機物を取り去る必要はなくなった。山の土壌は富栄養化し、マツタケは出なくなり、マツは次第に広葉樹との競争に勝てなくなった。その上に「放置すれば必ずマツ林生態系の破壊をもたらすマツ材線虫病」の蔓延で日本の松林は大打撃を受けつつある。現代はまさにマツにとっての「受難の時代」にあるといえる状態になっている。

このような状況にあって、長く続いた人間による有機物収奪によって疲弊していた里山地帯の森林の土壌が、ようやくそのくびき(軛)から逃れて、自然の成り行きとして富栄養化の方向に進んできた結果としての広葉樹林の復活・マツ林の衰退が起きているとして、これを喜ばしい現象と捉える意見も一部に強い。過去におけるマツの人間の生活への功績に感謝しつつも、今はマツにサヨナラを言うべき時代になった、かつての本多静六

の赤松亡国論の危惧がようやく解消される好ましい現象がおきつつある、というわけである。

過去の経緯だけを見つめれば、たしかにその通りであろう。しかし、日本の国土に暮らす人々の未来を見つめながら、なぜこのような現象が起きたかを考えると、にわかにかこの意見に賛意を表するわけにはいかない。日本の森林が人為的な収奪から逃れたのはもっぱら化石燃料の大量使用と安価な外材の大量輸入を伴った工業化社会への変貌による。このようなことが今後とも末永く続くわけがない。地球生態系の物質・エネルギー循環の外のある地下資源は枯渇型であって、その大量使用は大量の廃棄物を伴う。そして生物資源のような持続可能性を欠いている。持続可能な地域社会を築こうとすれば、再び生物資源に軸足をおく生活に戻らざるを得ない。大量の外材輸入も安価な石油あつてのことであるし、木材産出国の環境への心配もある。今はマツにサヨナラするのではなく、新たな持続可能な社会の実現を目指して、マツ林を含めた日本の森林といかに親密で長続きする付き合いをするかについて考えるべき時代のはずである。今後とも日本列島に暮らす人々はマツと親しい関係を持ち続けることになるであろう。

松くい虫被害の原因解明はたしかに国立林業試験場の画期的な研究成果であり、その成果は適切な防除手法の開発に貢献してきた。しかし、マツ材線虫病は在来の樹木病害と異なり、侵入病害に特有の激しい病原性を示す難防除病害である。四次にわたる「松くい虫防除特別措置法」(5年間の時限立法、1977-1997年の20年間)などによる懸命の防除によって被害総量は最盛期よりも減少したものの、被害発生地域は拡大・北上を続けた。

7. マツ材線虫病の最近の変化(冷涼な地での温量不足による病原・伝播力の衰え)

マツ材線虫病が長崎軍港の裏山に初めて姿を現してから丁度百年を経た今日、被害発生地が東北地方にまで拡大した。未だ青森県には入っていない

表1 秋田県下24カ所の気象観測所における過去10年間のMB指数

| 年 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 平均 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 八森 | 23.8 | 26.3 | 22.9 | 21.8 | 17.0 | 28.5 | 22.8 | 22.2 | 23.1 | 27.0 | 23.5 |
| 能代 | 24.8 | 27.5 | 24.3 | 22.9 | 17.5 | 30.1 | 22.9 | 22.2 | 24.6 | 27.2 | 24.4 |
| 鷹巣 | 22.2 | 24.7 | 18.7 | 20.1 | 15.1 | 27.7 | 20.7 | 20.4 | 22.3 | 22.7 | 21.5 |
| 大館 | 20.5 | 23.6 | 20.7 | 18.7 | 15.1 | 26.3 | 19.6 | 19.8 | 24.3 | 24.7 | 21.3 |
| 鹿角 | 21.0 | 23.7 | 21.0 | 18.3 | 13.0 | 25.7 | 18.3 | 18.1 | 20.4 | 20.7 | 20.0 |
| 湯瀬 | 18.5 | 19.8 | 16.3 | 15.7 | 10.9 | 23.4 | 16.0 | 16.4 | 18.0 | 19.3 | 19.4 |
| 八幡平 | 9.2 | 11.1 | 8.4 | 8.6 | 3.5 | 15.3 | 9.1 | 8.1 | 9.3 | 10.4 | 9.3 |
| 男鹿 | 22.6 | 26.0 | 22.6 | 21.6 | 17.0 | 28.3 | 21.4 | 20.8 | 22.2 | 23.6 | 22.6 |
| 大湯 | 23.9 | 26.3 | 23.6 | 22.0 | 17.0 | 28.2 | 21.4 | 20.7 | 22.3 | 23.3 | 22.9 |
| 五城目 | 23.7 | 26.3 | 23.9 | 21.9 | 17.6 | 29.2 | 21.4 | 21.9 | 23.4 | 25.1 | 23.4 |
| 阿仁合 | 21.4 | 24.2 | 22.0 | 19.4 | 16.4 | 26.6 | 18.9 | 19.5 | 21.1 | 22.7 | 21.2 |
| 秋田 | 26.0 | 29.6 | 26.5 | 25.0 | 20.4 | 32.9 | 26.2 | 25.5 | 26.5 | 30.4 | 26.9 |
| 石見 | 23.7 | 26.4 | 24.0 | 21.1 | 17.0 | 29.0 | 21.0 | 20.9 | 22.6 | 24.2 | 23.0 |
| 角館 | 24.8 | 27.3 | 25.4 | 20.4 | 17.8 | 30.1 | 22.0 | 22.6 | 24.2 | 26.5 | 24.1 |
| 田沢湖 | 20.8 | 23.3 | 20.5 | 17.9 | 13.4 | 25.7 | 17.5 | 19.0 | 20.0 | 21.3 | 19.9 |
| 大正寺 | 23.0 | 26.0 | 23.6 | 21.1 | 16.7 | 28.3 | 21.0 | 20.3 | 22.0 | 24.5 | 22.7 |
| 大曲 | 25.5 | 27.6 | 24.7 | 22.9 | 18.4 | 30.6 | 22.6 | 23.7 | 24.9 | 27.3 | 24.8 |
| 本荘 | 25.1 | 27.4 | 24.5 | 22.9 | 18.2 | 30.7 | 23.9 | 23.4 | 24.8 | 28.9 | 25.0 |
| 東由利 | 23.6 | 26.8 | 23.6 | 20.8 | 17.0 | 29.3 | 22.5 | 21.0 | 23.1 | 25.6 | 23.3 |
| 横手 | 26.0 | 29.5 | 26.5 | 23.9 | 18.6 | 31.5 | 22.8 | 24.1 | 25.8 | 28.3 | 25.7 |
| 象潟 | 28.5 | 32.7 | 29.0 | 27.0 | 21.8 | 34.2 | 28.5 | 26.4 | 26.8 | 31.4 | 28.6 |
| 矢島 | 23.3 | 30.1 | 27.6 | 24.7 | 20.5 | 32.7 | 23.5 | 24.1 | 25.5 | 28.9 | 26.1 |
| 湯沢 | 23.6 | 27.1 | 24.7 | 21.8 | 17.6 | 30.4 | 21.9 | 22.2 | 24.6 | 27.2 | 24.1 |
| 湯沢 | 18.3 | 25.7 | 19.3 | 16.1 | 11.8 | 24.2 | 16.9 | 17.1 | 18.0 | 19.7 | 18.7 |
| 平均 | 22.7 | 25.8 | 22.7 | 20.7 | 16.2 | 28.3 | 21.0 | 20.9 | 22.5 | 24.6 | 22.6 |

いものの、日本海岸沿いでは秋田県最北の八森町での発生が確認されており、また最近の情報によると、岩手県では盛岡市に南接する町にまでの被害発生の上上が伝えられている。

筆者は1972年から1985年にかけて関西地方に勤務したことがある。関東以西の古くからの被害発生地では、当時は海岸沿いや低海拔高のマツ林に被害が集中していた。しかし、現在では低海拔高の場所よりも中国山地などの比較的高海拔高の地域での被害が問題視されるような状況になっているようである。西日本においても被害は冷涼な気温の地域に拡大している。

松くい虫被害の発生メカニズムの解明とその成果に基づいた各種の防除法が開発され、被害発生現場で実践されるようになってからもすでに、約30年が経過した。この30年間に被害発生地が関東以西の低地の温暖な地帯から次第により冷涼な高緯度地域、または高海拔高地帯へと拡大してい

た。そして今、東北地方では、関係者による懸命の防除努力にもかかわらず、マツ材線虫病の被害が拡大・激化しつつある。30年前には冷涼な東北地方では、つちくらげ病などの在来の病虫害等による通常のマツの枯死は起きてても、マツ材線虫病による大量の集団枯死現象が起きる確率は小さいだろうと想定されていた。それなのに、何故このような事態になってしまったのかを温量の面から探してみたい。

昆虫の発育に必要な温度条件を表示する指数として発育ゼロ点と有効積算温度があり、また、森林の分布などへの温度の影響を表示する指数として暖かさの指数が知られている。マツ材線虫病については竹谷ら(1975年)は月平均気温が15℃を超えた数値の年間累積値(温量)をその地域のMB指数として提示し、この指数が大きい地域ほど激害が起きやすいとした。当時激害が多発した近畿以西各地でのMB指数は40を越えている。

表2 1999年発生時のマツ材線虫被害木から2000年と2001年に脱出したマツノマダラカミキリ成虫数とその材線虫保持数(秋田県立大構内)

| | 総数 | 2000年脱出(1年1化) | 2001年脱出(2年1化) |
|------------------------------------|-----------|--|---------------------------------------|
| 脱出成虫数 脱出期間 | 371頭 | 233頭(63%) 6月24日—7月28日 | 138頭(37%) 6月28日—7月21日 |
| 総線虫保持数 1頭当り平均 最高保線虫数 保線虫率 | 3,678,411 | 3,514,868(96%) 15,085 128,200 89% | 163,543(4%) 1,185 50,300 69% |

一方、秋田県下24カ所の1989年から1998年までの10年間のMB指数は、表1のように、年により、また場所にとってばらつくものの、平均値では23前後であり、温暖な地方の約半分程度の少なさになっている。

マツ材線虫病が北上し、または低海拔地から高海拔地に移行するにつれて、年間の温量不足によるマツ材線虫病の病原力・伝播力の衰えが最近では目立つようになってきた。具体的な現象としては下記の3点である。

- ① マツ生立木がマツノザイセンチュウに感染してから発病・枯死するまでの期間は温暖な地方ほど短く、冷涼な地域ほど長くなる。東北地方ではこの期間が延びて被害木は年中発生する。
- ② 温量不足はマツノマダラカミキリの生活環にも影響し、産卵期の後半(8月中旬以降)に産卵された個体は2年1化の生活環をたどり、その材線虫保持数は1年1化成虫に比べると大幅に減少する(表2)。
- ③ 温暖な地域ではほとんどの被害木にマツノマダラカミキリの寄生がみられるのに対し、冷涼な地域では年間を通じて発生する被害木のなかでの、翌年の被害発生源となるカミキリ寄生被害木の出現率が大幅に低くなっている。

冷涼な地におけるこのような変化は、温暖な地におけるマツ材線虫病の発生に較べると、被害発生のにくい要因として働くはずである。確かに

冷涼な地でのマツ材線虫病は温暖な地での強烈さを欠いている。しかし、冷涼な地でも未汚染地域にひとたび侵入すると、マツノマダラカミキリが生息できる場所では人による完全な排除がないと確実に定着することは確

かである。微害状態で定着したマツ材線虫病が激害化する過程に温暖な地とのかなりの差異があるのであろう。

8. 温量不足による病原・伝播力の衰えがあるのに東北地方で被害が増加したわけ

マツノザイセンチュウは冬の低温で凍死するようなことはない。また、マツノマダラカミキリは幼虫態で越冬するが、これも休眠状態になっているので低温のために凍死することはない。したがって冷涼な地域に進出したマツ材線虫病が寒さのために消滅する可能性は考えられない。

冷涼な地域に進出・定着したマツ材線虫病は、前項で述べたような温量の不足による病原力・伝播力の衰えから通常の条件下では温暖な地域での凶暴さを発揮できないが、より穏やかなかたちで被害を出し続ける。そして温暖な地と同様の何かの好条件が起きると、その条件を利用して温暖な地域と同様の凶暴さを発揮してマツ林を壊滅させるのであろう。秋田県でその様子を見てみよう。

秋田県では1982年に初めて山形県に接する象潟町の海岸マツ林にマツ材線虫病が発生した。山形県側の発生状況からして、自然な被害の北上と考えられる。しかし、その後の被害発生の拡大には人為による被害木の移動を疑わせるケースもいくつか見られる。冷涼な地にあっても被害材の未汚染地域への移動はきわめて危険である。

1998年12月に秋田県南部の海岸マツ林で大雪害が発生した。きわめて大量の雪害木がでたので、

その始末に長期間を要し、これが1999年の夏にマツノマダラカミキリに大量の産卵場所を提供した。秋田における1999年の夏は極端な高温・少雨であった。マツノザイセンチュウは短期間にマツを衰弱・枯死させ、マツノマダラカミキリに好適な産卵場所を例年よりも多く提供した。このようなふたつの好条件によって1999年に幼虫の密度を急激に増加させたマツノマダラカミキリは2000年の夏には大量の成虫となって脱出して、この地方のマツ林を激害状態にした。さらに2000年の夏も高温・少雨となって、2年連続の高温・少雨というまれな現象がマツノマダラカミキリの密度増加を加速させる要因となった。これによって2001年にも被害

の拡大と激化が進行した。

このような被害を防ぐ側の人間にとっては、不幸な気象条件の偶然の重なり、マツ材線虫病にとっては好適な条件によってもたらされた大量の被害木の発生は効果的な全量伐倒駆除の実質的な限界を超えるものであったといえる。関係者の懸命の努力にもかかわらず、このようなマツ材線虫病に味方する異常な気象条件が頻発したことが秋田県におけるマツ材線虫病を勢いづけた。そして実態にそぐわない全国画一的な伐倒駆除法の実施がその勢いを加速させた一面もあるものと推察される。

(No.171. 3.2005に続く)

[ご案内]

改訂 林木・苗畑の病虫獣害

——見分け方と防除薬剤——

林木と苗畑の主要病害や害虫・害獣を対象として、その被害の見分け方、生態などをわかりやすく解説し、それぞれの防除方法と登録された薬剤の名前と使用方法をあげてあり、病虫獣害と防除薬剤を関連させた特色のある図書であります。また、農業についての知識も平易に記載されております。

平成8年2月20日初版の第1刷とその後増刷を発行し、多くの関係各位にご利用いただきましたが、増刷分の在庫もなくなり、ご不便をお掛けしました。このたび、初版後、病虫獣害によって登録薬剤の変動(新規の登録または取り止め)を加えて改訂版を刊行いたしました。

森林保護に従事されている人はもちろん、樹木に関係されている方々にも、きっとお役に立つと思います。

内 容：Ⅰ 樹木の病害虫
Ⅱ 苗畑の病害虫
Ⅲ 伐採地・貯木場などの伐倒木の虫害
Ⅳ 林木の鳥獣害
(付)栽培きこの類の登録薬剤一覧表
A-5版 118ページ(索引含む) 写真-64, 表-27(領価1,000円 送料実費)

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
☎ 03-3851-5331 FAX 03-3851-5332

マツ類の主な病害虫

1. 針葉の病害

(3) 赤斑葉枯病

陳野 好之*

本病は1917年頃にアメリカ合衆国で最初に発見されたといわれるが、病原菌は1940年代にオーストラリアマツで記載されている。その後世界各地の多くのマツ類、特にアメリカ合衆国から東部アフリカやニュージーランドに導入されたラジアータマツに激害を与えていることが報じられ、本病が世界的に分布する重要な病害として注目されるにいたった。

わが国においては1950年代に福井、広島県から当時の農林省林業試験場樹病研究室に本病類似の鑑定標本が届いた。しかし、この結果では本病の病原菌は同定されなかった。

本病の被害が林地で観察されたのは1960年秋、山梨県南都留郡鳴沢村のアカマツ天然生林（樹高約2m）に発生した集団的な葉枯れ症状、翌年3月に長野県小諸市関東林木育種場内の10年生アカマツ約1,200本に発生した激しい葉枯れ症状である（写真—1, 3—A）。

両被害地とも筆者が現地観察を行ない、ただちに伊藤・陳野はこれらの患部に形成された病原菌の形態を調査し、カナダ、アメリカ合衆国等に本病標本の送付を依頼して病原菌を比較検討した結果、筆者らの菌がすべての外国標本と同一菌であることを確認した。これによってわが国における本病の発生が確認され、本病の和名が赤斑葉枯病と命名された（伊藤・陳野 1972）。その後、本病の林地における発生は比較的少ないが、島根県のクロマツ庭園木で激発した例（写真—2, 周藤、



写真—1 アカマツ造林木の被害状況（長野県）



写真—2 クロマツ庭園木の被害（島根県）

* (株)林業薬剤協会

ZINNO Yoshiyuki

2000)をはじめとして、北海道、岐阜、広島、福井その他の地域の、どちらかといえば寒冷地域の公園、庭園、神社・仏閣、街路樹などのクロマツ、アカマツ、外国産マツ類に発生が報じられている（Ito *et al.* 1975）。

1. 病徴と標徴

秋期に当年生の針葉の先端部を中心として小さな退緑斑点が形成され、次第に大型の褐色斑（壊死斑）に発達して越冬する。クロマツ病樹ではこの時期に多数の病斑を形成した旧葉が激しく落葉する。筆者が早春に観察した上記長野県下でのアカマツ被害例では地上に近い針葉ほど激しく発病して、残雪上に多数の病落葉が観察された（写真—1）。越冬後翌春3月頃になると壊死斑の周辺が鮮やかな赤褐色を呈する。病斑から先は赤褐変して枯死することが多い。間もなく病斑の中心付近の表皮が裂壊、隆起し、その内部から小黒点粒が現われる（写真—3 A～C）。

2. 病原菌とその生態

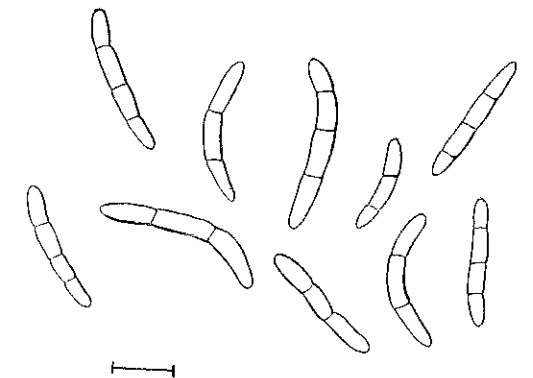
病原菌は糸状菌の仲間、不完全菌類に属する *Dochistroma septosporum* Morelet と呼ばれる菌である。病斑内に形成された小黒点粒は病原菌の子座で顕微鏡で観察すると表皮下に散生または群生し、連続して形成されることもある（写真—4, 5）。成熟した子座は黒色、表皮を破って突出し、幅120～400 μ m、高さ110～260 μ mでその表面に単条、無色～淡色の分生子柄と分生子を多数形成する。分生子は無色で棍棒状または長円筒状、真直またはやや湾曲し、1～4個の隔膜を有し、大きさは17～34 \times 1.5～2.5 μ m（図—1）である。この分生子から分離、培養した菌糸の成長と分生子の形成は20 $^{\circ}$ C付近が適温で、比較的低温条件下で生育する菌のようである（Ito *et al.* 1975, 伊藤ら 1975, 岸国平 1998）。

病針葉上に分生子が形成される時期は4月下旬～8月中旬であるが、6月頃が多い。成熟した胞

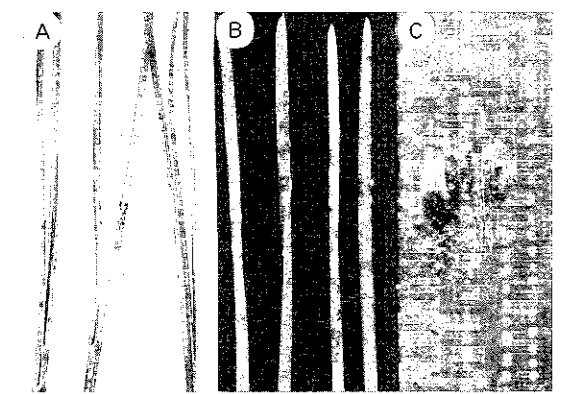
子は雨天日に、雨しぶきによって分散されて感染する。針葉上に発病が観察されるのは数カ月を経た秋以降である（周藤ら 1994）。

3. 病原性

6月の感染期にアカマツ、クロマツ、スギ、ヒノキなどの苗木に対して本菌を人工接種した場合約5カ月の潜伏期間を経て11月にアカマツとクロマツ針葉に初期病斑が認められ、10月上旬に接種しても12月には発病した。いずれも、翌春3～4月になると病状が進み、本菌の子実体が形成され、成熟する。針葉に軽い傷を与えてから人工接種すると無傷葉に比して被害はより激しかった。スギ、ヒノキでは全く発病しなかった。また外国産マツ



図—1 病原菌の分生子（— 10 μ m）



写真—3 病針葉上に形成された病原菌の子実体

- A アカマツ針葉（小黒点が子実体）
- B クロマツ針葉（小突起が成熟した子実体）
- C Bの拡大（表皮が破れ、小黒点が形成）

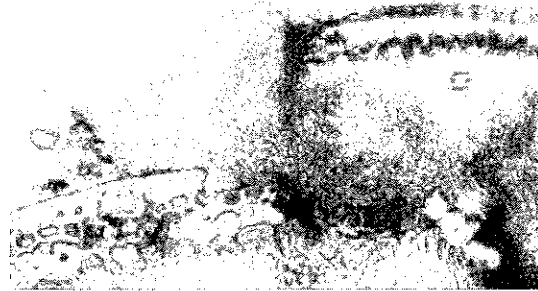


写真-4 クロマツに形成された病原菌の子座、分生子柄

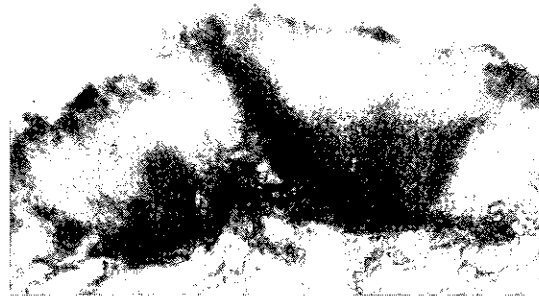


写真-5 コントルトマツに連続して形成された病原菌の子座

3類ではテーダマツ、ラジアータマツ、フランスカイガンショウなどの有傷接種で発病が認められている (Ito *et al.* 1975, 周藤 2000)。

4. 防除法

上記のように本病は針葉に赤褐色の病斑が多数形成され、やがて落葉するのが特徴である。庭木、盆栽など貴重なマツでは早めに病葉を摘み取り、落葉も集めて焼き捨てること。これらの作業は本病の感染時期(3~6月)前に実施することが望ましい。なお、本病の予防法として5~6月に銅、マンネブ水和剤などを2~3週間間隔で散布することも報告(周藤 2000, 周藤ら 1994)されているが、現在のところ、いずれの薬剤も本病防除薬剤としては農薬登録されていない。

本稿を草するに当たって御助言を賜り、貴重な写真の掲載をご了承いただいた元鳥根県林業技術

センター 周藤靖雄博士に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 伊藤一雄・陳野好之 (1972). 本邦におけるマツ赤斑葉枯病(ドシストロマ葉枯病)(新称)の発見. 森林防疫, 21, 5, 86~89.
- 伊藤一雄・陳野好之・周藤靖雄 (1975). 日本におけるマツのドシストロマ葉枯病(赤斑葉枯病). 日植病報, 41, 1, 116.
- Ito, K., Zinno, Y. and Suto, Y. (1975) *Dothistroma* Needle Blight of Pines of Japan Bull. Gov. For. Exp. Sta. 22: 123~140.
- 周藤靖雄 (2000). *Mycosphaerella* 属菌によるマツ類の葉枯性病害-被害, 診断, 防除-森林防疫, 49, 1, 4~12.
- 周藤靖雄・井ノ上二郎・金森弘樹・周藤成次 (1994). 原色図鑑 鳥根県樹木病虫獣害-診断と防除-, 鳥根県農林水産部, 103pp.
- 岸国平 (1998). 日本植物病害大事典. 全国農村教育協会, 1,276pp.

禁 転 載

林業と薬剤 Forestry Chemicals (Ringyou to Yakuzai)

平成16年12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 スキルプリネット

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」



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

安全、そして人と自然の調和を目指して。

中広い適用害獣

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、降雨による流出がなく、食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。

松の葉ふるい病の防除に!!!

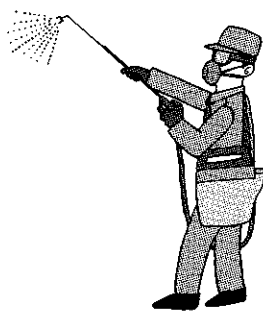
ドウグリン 水和剤

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日おきにていねいに散布



アグロ カネショウ株式会社
東京都港区赤坂4-2-19

林野庁補助対象薬剤

新発売

林野庁補助対象薬剤

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤

普通物で使いやすい

マツグリーン液剤 **マツグリーン液剤2**

農林水産省登録第20330号

農林水産省登録第20838号

- 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があります。
- 使いやすい液剤タイプで、薬液調製が容易です。
- 散布後、いやな臭いや汚れがほとんどなく、薬液飛散による車の塗装や墓石の変色・汚染がほとんどありません。
- ミツバチや魚介類に影響が少なく、土壌中や河川水中でも微生物等で速やかに分解され、周辺環境への影響も少ない薬剤です。



株式会社 ニッソーグリーン

〒110-0005 東京都台東区上野3丁目1番2号 TEL. (03) 5816-4351
●ホームページ <http://www.ns-green.com/>

新発売

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤

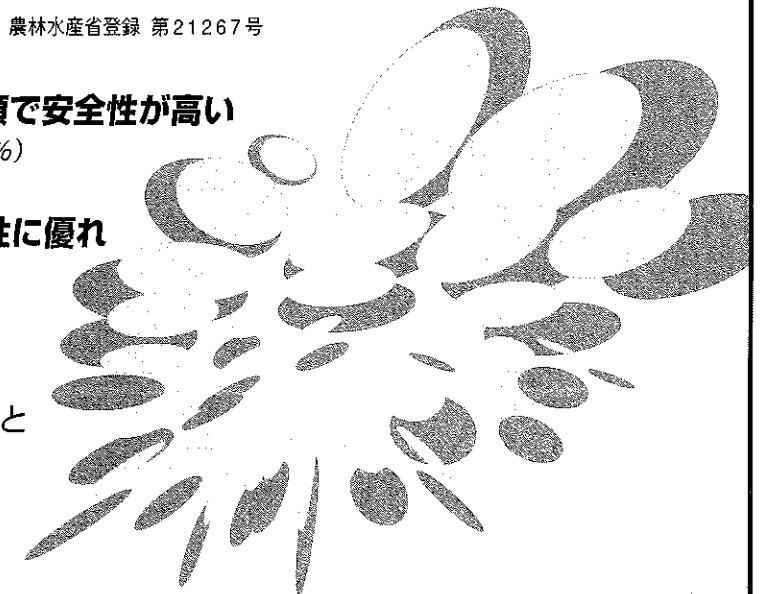
殺虫剤 **モリエートsc**

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%)

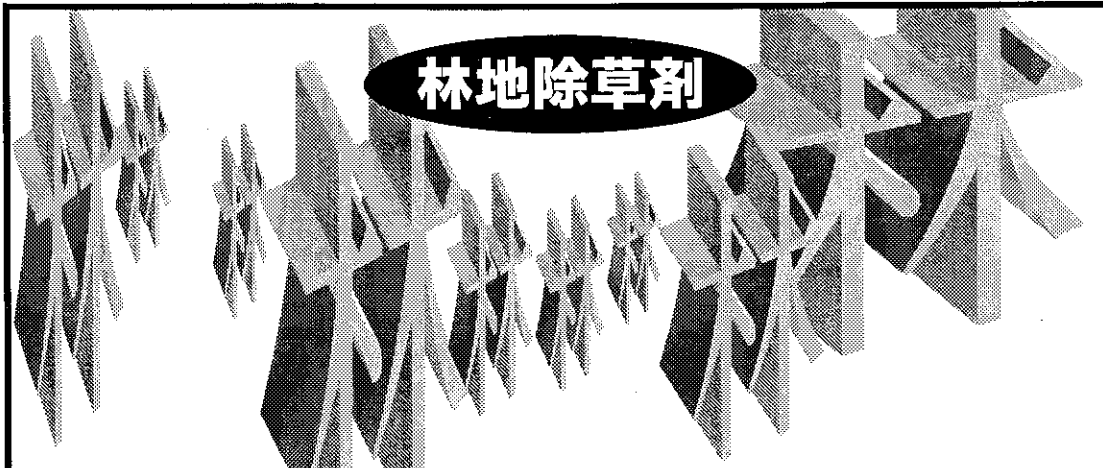
1,000倍使用で希釈性に優れ
使いやすい
(水ベースの液剤タイプ)

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：住友化学工業株式会社 販売：サンケイ化学株式会社 ヤシマ産業株式会社

林地除草剤



すぎ、ひのきの下刈りに。

シタガリン[®]T 粒剤

製造 株式会社 **イスデー・イスバイオテック** 販売 丸善薬品産業株式会社 大同商事株式会社

多目的使用(空中散布・地上散布)が出来る

スミバイン[®] 乳剤

樹幹注入剤 **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[®]

林地用除草剤

ザイト[®] 微粒剤

マツノマダラカミキリ誘引剤

マダラコール[®]

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。

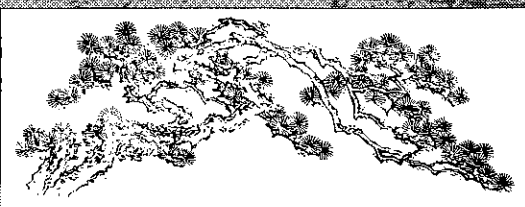


マツノマダラカミキリに高い効果

新発売【普通物】

エコワン3 100~200倍希釈
フロアブル (チアクロプリド水和剤3%)

農林水産省登録 第20897号



エコワンフロアブル 1500~3000倍希釈
フロアブル (チアクロプリド水和剤40.0%)

農林水産省登録 第20696号

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

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
〒108-8572 東京都港区高輪4-10-8 ☎ 03-3280-9379

 Bayer Environmental Science

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(巣退治)
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

ヤシマスミバイン乳剤
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）



60ml そのまま自然圧で注入

180ml 加圧容器に移し替え、
ガス加圧で注入。

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：ミルベメクテン…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テ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

