

ISSN 0037-4091

植物防疫

昭和六十一年九月十五日
印刷
第三十九卷
（每月一回）
第二十七号

1985

10

VOL 39

特集 害虫防除と生態学

りんごの病害防除に！

＊適用拡大になりました。

＊赤星病／黒点病／＊黒星病
斑点落葉病／＊すす点病／＊すす斑病

パルノックス 水和剤



大内新興化学工業株式会社
〒103 東京都中央区日本橋小舟町7-4

共立

強力4駆にシンプルライン。新登場。



でっかいタンクで！ 小回り抜群！

タッチ操作の薬液電磁クラッチ、便利なホース収納室など機構も斬新。整流機構から送り出される直進性のよい強力な風で微粒子化された薬液は徒長子まで確実に圧展固着、優れた散布効果を発揮します。またコンパクトなシャーシーとハイパワー4駆で急傾斜地や軟弱地にも小回りのきいた安全走行と安定した散布作業をお約束します。

魅力のSSシリーズがさらに充実。SSV-641Fはデザイン一新、乗用車感覚のシンプルラインで新登場しました。安全作業を一目でチェックするOKモニターをはじめワン

共立スピードスプレーヤ SSV-641F

●寸法(長さ×幅×高さ):3,090×1,320×1,210mm ●重量:935kg ●走行用エンジン排気量:566cc ●送風用エンジン排気量:764cc
●走行部形式:4輪-4駆 ●薬液タンク容量:600ℓ ●噴霧用ポンプ吐出量:73ℓ/min ●送風機風量:405m³/min ●ノズル個数:16



株式会社 共立



共立エコー物産株式会社
〒181 東京都文京区下池田7-5-1 ☎03-22-49-5041(代表)

育てる心、大切に。デュポン農薬



豊かな収穫に貢献するデュポン農薬

長い時をかけ、額に汗して育てあげる。

そんな苦労を無駄にできません。

よりよい品質を…

よりたくさんの農作物を…

デュポンジャパンはみなさまの収穫を技術で支えます。

殺菌剤 —— ベンレート* / ベンレート*-T / ダコレート / スパグリン

殺虫剤 —— ランネート*45 / ホスクリン / バイデート*

除草剤 —— ロロックス* / レナバック / ハイバー*X / ソーバー*

デュポン ジャパン リミテッド 農薬事業部

〒107 東京都港区赤坂1丁目11番39号 第2興和ビル



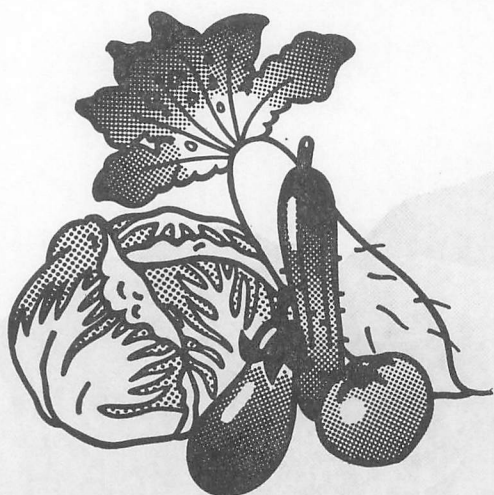
●デュポン農薬のお問い合わせは……

Tel.(03)585-9101

デュポン ジャパン



ホクコーの野菜農薬



取扱い
農協・経済連・全農



北興化学工業株式会社
〒103東京都中央区日本橋本石町4-2

●灰色かび・菌核病に卓効

スミレックス®水和剤
FD くん煙顆粒

●うどんこ・さび病に卓効

® **バイレトン** 水和剤5

●細菌性病害に卓効

カスミンボルドー
水和剤・FD

●効きめの長い低毒性殺虫剤

オルトラン®水和剤
粒 剤

●合成ピレスロイド含有新殺虫剤

ハクサップ®水和剤

●コナガ・アブラムシ類に新しいタイプの殺虫剤

オルトランナック
水和剤

お近くの農協でお求めください。

確かな明日の
技術とともに...

サンケイ化学の誘引剤

ミバエ用誘引剤

適用害虫

サンケイ プロテイン20	ミバエ類
ガードベイト水和剤	ミカンコミバエ
ユーゲ"サイド"	ミカンコミバエ
ユーゲサイドD	ミカンコミバエ
キュウルアD8	ウリミバエ

侵入警戒用誘引剤

ユーゲルアD8	ミカンコミバエ・ウリミバエ
サンケイ ゴドリングコール	コドリング
メドフライコール	チチュウカイミバエ

ベイト剤

適用害虫

サンケイ
デナホン5%ベイト ネキリムシ・
ダンゴムシ・コオロギ

ナメクジ・カタツムリ用誘引剤

ナメトックス ナメクジ・カタツムリ類
アフリカマイマイ
スネール粉剤 ウスカワマイマイ・
ナメクジ類

ナメクジ・カタツムリ誘引剤兼ベイト剤

クリーンベイト ネキリムシ・ダンゴムシ・コオロギ・
ナメクジ・カタツムリ類



サンケイ化学株式会社

鹿児島・東京・大阪・福岡・宮崎

本社 鹿児島市郡元町880 TEL.0992(54)1161(代表)
東京事業所 千代田区神田司町2-1 TEL. 03(294)6981(代表)



植物防疫

Shokubutsu bōeki
(Plant Protection)

第 39 卷 第 10 号
昭和 60 年 月 10 号

目次

特集：害虫防除と生態学

害虫防除と生態学——個体群生態学の過去と未来——	藤家 梓	1	
害虫防除と生態学——総合防除の定着を目ざして——	小山 重郎	7	
害虫防除と生態学——生態学に求められているもの——	大串 龍一	13	
害虫防除と生態学——森林害虫の総合管理——	小林富士雄	19	
イネの新細菌病「かさ枯病」	桑田 博隆	27	
ハウレンソウ斑点病の発生と防除	片岡 光信	31	
トドマツ枝枯病——発生現況とその防除——	田中 潔	35	
独立多試料標本の多重比較	高木 正見	39	
植物防疫基礎講座／昆虫行動解析法（9）			
音の記録とその解析	市川 俊英	45	
新しく登録された農薬（60.8.1～8.31）		18	
紹介新登録農薬		49	
中央日より	6, 54	学界日より	54
人事消息	30	次号予告	26



「確かさ」で選ぶ… バイエルの農薬

●さび病・うどんこ病に

® **バイレトン**

●灰色かび病に

® **ユーパレン**

●うどんこ病・オンシツコナジラミなどに

® **モレスタン**

●斑点落葉病・黒星病・黒斑病などに

® **アントラコール**

●もち病・網もち病・炭そ病などに

バイエルボルドウ
[クスラビットホルテ]

●アスパラガス・馬鈴しの雑草防除に

® **センコル**

●コナガ・ヨトウ・アオムシ・アブラムシ・ハマキムシ・スリップスに

® **トクチオン**

●各種アブラムシに

® **ア ril メート**

●アブラムシ・ネダニ・キスジノミハムシなどに

® **ダイシストン**

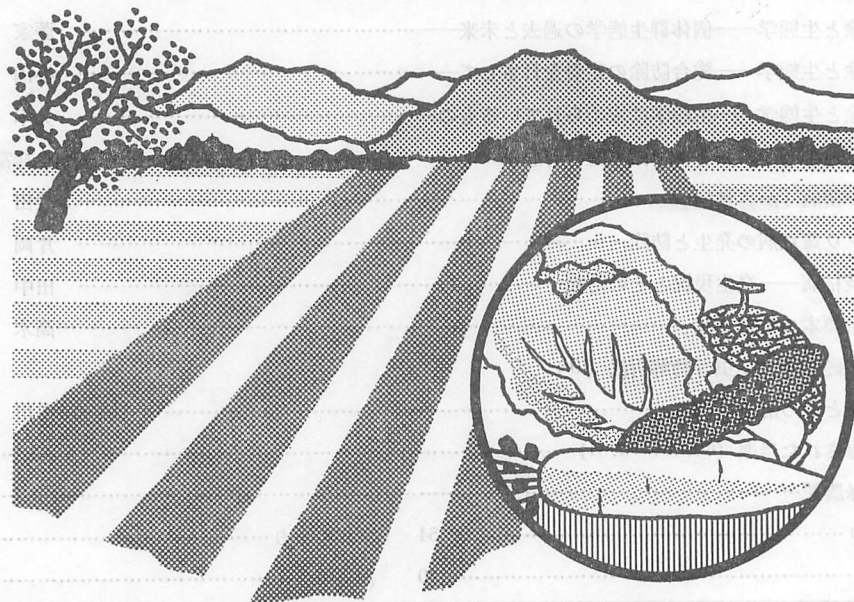


®は登録商標

日本特殊農薬製造株式会社

東京都中央区日本橋本町2-4 ☎ 103

武田の野菜農薬



- キャベツ・はくさいのコナガ防除に

パダン[®] 水溶剤

- とうもろこしのアワノメイガには……

パダン[®] 粒剤 4

- 園芸作物害虫の基幹防除に

武田 **オルトレン[®]** 水和剤
粒 剤

- メロン・スイカのハダニ類に

武田 **オサダン[®]** 水和剤 25

- キャベツのハスモンヨトウに

ランネート[®] 45 水和剤
「タケダ」

- 速効性のアブラムシ防除剤

武田 **ピリマー[®]** 水和剤

- 新しい園芸作物殺虫剤

武田 **アクテリック[®]** 乳剤

- だいこんの亀裂褐変症に

バリダシン[®] 粉剤

- レタスすそ枯・いちご芽枯病に

バリダシン[®] 液剤

- 野菜の灰色かび病・菌核病に

武田 **ロブロール[®]** 水和剤

- 園芸作物病害の基幹防除に

武田 **ダゴニール[®]**

- 園芸作物の病害に

デュボン **ベンレート[®]** 水和剤

- メロン・きゅうりのうどんこ病防除に

武田 **ミルカーフ[®]** 液剤

- 畑の雑草防除に

武田 **トレファルサイド[®]** 乳剤

特集：害虫防除と生態学〔1〕

害 虫 防 除 と 生 態 学

——個体群生態学の過去と未来——

千葉県農業試験場

藤

家

あずさ
梓

は じ め に

ここ数年、社会生物学を初めとして行動生態学や進化生態学に関する議論が盛んである。個体群生態学は影を潜めた感があるが、時代の経過とともに学問の流れが発展的に変わるのはやむを得ないことである。また、基礎学としての個体群生態学は、「適応」を前面に押し出した学問分野を取り込んで大きくなろうとしており、現在はその過渡期とみなすこともできる。

個体群生態学は、「生物の種を個体群として取り扱い、時間的空間的な生活様式を定量的に把握する学問」と定義することができる。個体数変動機構の解明や空間分布様式の研究を通して、歴史的に害虫防除と深くかかわってきた個体群生態学は、もともと応用学としての側面を強く持っていると言える。害虫防除は基本的には生態学的な問題で、その方面からのアプローチが必要であり、特に個体群生態学の成果は、害虫防除の理論と実践にとって重要であると考えられてきた。

しかし、最近ではかつてのように両者の結び付きが強調されることも少なく、また個体群生態学的成果に基づいた害虫防除に関する論文や発言も減った。これが、過渡期に見られる一過性の現象であるならやむをえないことであるが、個体群生態学の成果が害虫防除研究のバックボーンになりえなくなってきたこと、そのため両者が離れつつあるなら、今後の害虫防除にとって重大問題である。

害虫防除担当者は、学問の成果をどれだけ害虫防除に生かせるかに大きな関心を持っている。そこで、わが国の個体群生態学が、全国津々浦々で行われている害虫防除にどのような役割を果たしてきたかを振り返り、さらに今後研究を進めていくうえでの問題点を考えてみたい。

本文に入るに先立ち、多くの御教示をいただいた中村和雄（農林水産省農業研究センター）、志賀正和（沖縄県農業試験場）両博士に厚くお礼を申し上げる。

Pest Control and Ecology — The Past and the Future of Population Ecology — By Azusa Fujie

I 害虫の個体群生態学的研究

害虫の野外個体群の研究としては、有名な Green River Project が MORRIS らを中心として 1947 年から実施されたのを初めとして、1950 年代以後多くの研究がなされた。MORRIS らによるトウヒノシントメハマキを対象にした大規模な研究は、生命表分析やシステム分析などの研究手法の発展ももたらした。

わが国でも、1960 年代に桐谷らによるミナミアオカメムシの研究、伊藤らによるアメリカシロヒトリの研究、久野によるツマグロヨコバイの研究を初めとして、野外個体群を対象にした多くの研究がなされた。

また、 I_0 指数や蔽らの $m-m^*$ 関係に基づく動物の空間分布の解析法やサンプリング法などは、害虫の野外個体群の研究に広く用いられた。河野・杉野 (1958) や SHIYOMI (1978) によって提案された簡易密度推定法なども野外調査で大いに役だった。

生活史戦略に関する議論が盛んに行われた。PIANKA (1970) は、 r 淘汰— K 淘汰 (MACARTHUR and WILSON, 1967) の概念を用いて生物の生活様式を理解しようと試みた。桐谷 (1975) や伊藤 (1975) もこの概念を用いて害虫の特徴を説明しようとした。SOUTHWOOD (1977) は、 r 選択種・ K 選択種と有効な防除手段との関係を示した。

害虫相とそれを取り巻く天敵の問題を考える場合、「多様な群集ほど、それを構成する個体群は安定である」というのが MACARTHUR (1955) や ELTON (1958) 以来の常識であったが、これに否定的な理論的研究も行われた (MAY, 1976 など)。

このように害虫個体群を取り巻く野外研究や理論研究は、きわめて盛んに行われてきた。

II 生命表研究

戦後、わが国における害虫防除は有機合成農薬を中心に行われた。農薬の防除効果は顕著で、農薬中心の防除は栽培体系の中へ急速に取り入れられた。そのため、それ以後の防除研究は、農薬の効果試験を中心に行われる

ようになった。ところが、1960年代に入ると“Silent Spring” (CARSON, 1962) に象徴されるように農薬の多用による弊害が人々の関心を引くようになった。その結果パラチオン、DDT、BHC、ドリノ剤といった主要農薬も使用禁止となり、防除研究も新たな方向が模索されていた。このような状況の中で行われたミナミアオカメムシやアメリカシロヒトリの野外個体群の研究、特に生命表アプローチはカナダにおける研究などとともに害虫研究の新たな方向を示すものとして注目された。当時、殺虫剤の多用に対する反省から、防除要否の判定の必要性が認識されだしており、そのためには発生量の予察ということが重要で、それを経験や勘に頼らずに行う必要があった。生命表アプローチは、害虫の個体数変動機構を解明し、それをモデル化する手法として大いに期待された。

ところが、これまでにわが国で行われた生命表研究のほとんどは、農薬の影響を除いたところで行われてきた。調査技術上の問題もあったが、先に述べた時代背景から生まれた研究姿勢でもあった。

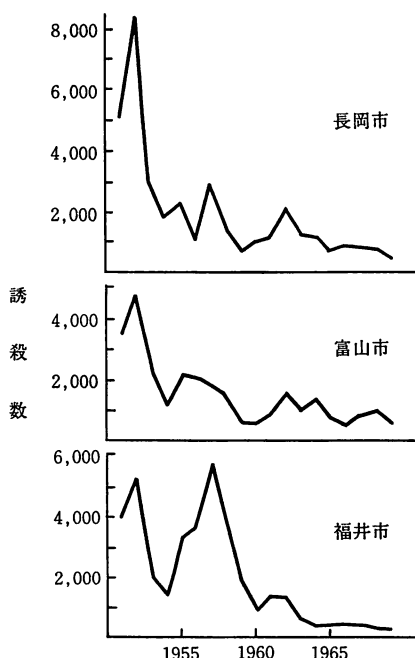
害虫は多くの場合、農地という人工的にコントロールされた環境下で、頻りに散布される農薬の淘汰圧を受けながら繁栄してきた昆虫である。特に戦後の害虫にはその傾向が著しい。したがって、農薬という要因だけを取り除いても人工環境を排除したことにならないし、そのようにして得たデータは、農地における害虫の現実の生活を反映していない。

III 農薬が害虫個体群に及ぼす影響

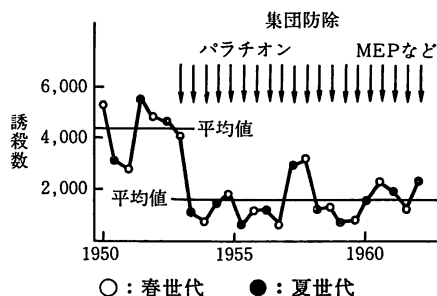
1975年に行われた日本応用動物昆虫学会第19回大会において、「ニカメイガの過去・現在・未来」というテーマでシンポジウムが開催された。第1図は、このとき紹介されたニカメイガの減少傾向を示したデータである。この減少原因は、農薬よりもむしろ水稻の品種、肥料、栽培時期、収穫方法の変化といった耕種的なものであると推定された。

しかし、宮下 (1982) は「ニカメイガの生態」という本の中で、ニカメイガの減少傾向にはそのバックグラウンドにあった農薬による淘汰圧の役割も見逃すことはできないことを指摘した。第2図は、集団防除開始前後のニカメイガの誘殺数の変化の事例である。パラチオンの集団防除が開始された時期から誘殺数のレベルが半分以下に低下した。

農薬が害虫個体群の密度レベルに大きな影響を与えることは、害虫相の変遷という形でも知られている。サンカメイガやシクイムシ類の減少、ツマグロヨコバイ、



第1図 ニカメイガの誘殺数の年次変動 (腰原, 1975)



第2図 静岡県田原村でのパラチオン散布前後のニカメイガの誘殺数の変化 (宮下, 1971)

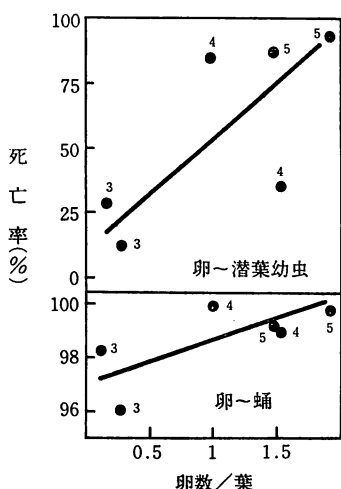
ハダニ類、果樹ハモグリガ類の増加などがよい例である。

大串ら (1977) は、ヤノネカイガラムシ越冬個体群に及ぼすマシン油乳剤の影響を調べた。第1表に示したように、マシン油乳剤散布樹において生き残った雌成虫の産子数や産子率は、無散布樹における雌成虫に比べて大きく低下した。したがって、殺虫率からだけではマシン油乳剤のヤノネカイガラムシ個体群に及ぼす影響を正確に判断することはできなかった。

第3図は、農薬の散布回数の異なるナシ園6か所におけるナシビガの卵密度と死亡率の関係を示したもので

第 1 表 マシン油乳剤散布区のヤノネカイガラムシ
雌成虫の産子数と産子虫率 (大串ら, 1977)

薬剤の倍数 (油分濃度)	産子雌成虫 1 個体 当たり産子数			雌 成 虫 の うちの産子虫 の 比 率
	雄	雌	計	
40倍 (2.38%)	0.6	4.6	5.2	52.4%
50 (1.90)	11.8	6.5	18.3	54.5
60 (1.58)	4.4	4.4	8.7	64.7
70 (1.36)	0.4	4.6	5.0	62.5
90 (1.06)	45.2	10.2	55.4	84.6
無 散 布	50.4	16.9	67.2	95.7



第 3 図 ナシチビガの卵密度と死亡率の関係
(藤家, 1978)

図中の数字は、ナシ園ごとの殺虫剤の
散布回数を示す。

あるが、高密度園ほど死亡率が高まる傾向が認められた。一般に農業による死亡率は、密度に依存しないと考えられている。しかし、農家の防除行為というものは本来密度に依存的で、その結果密度に依って死亡率は高まるのである。

このように農業は、害虫個体群に対して量的にだけでなく質的にも大きな影響を与える。さらにその影響は、防除行為からくる密度依存性を持っている。しかし大串 (1973) も指摘しているように、従来の生命表研究などの害虫の野外個体群研究では、農業の影響が単純に考えられすぎてきたきらいがあった。これは、害虫研究上の大きな問題である。

IV 総合的害虫管理

カリフォルニア大学の STERN et al. (1959) によって提唱された「総合防除」は、今日では防除理論「総合的害虫管理」(IPM) として確立されたが、これには個体

群生態学が大きなかわりを持っている。IPM は世界的にも認められており、1980 年に京都で開催された第 16 回国際昆虫学会議では IPM のセッションが設けられ、65 題の発表が行われた。また、第 17 回の Hamburg での会議でも 86 題の発表が行われた。桐谷 (1981) は、1980 年代の害虫防除は IPM 志向で進められるであろうとしたが、その根底には「農薬のむだな使用を避ける」という考えかたがあり、方向としては適切であった。

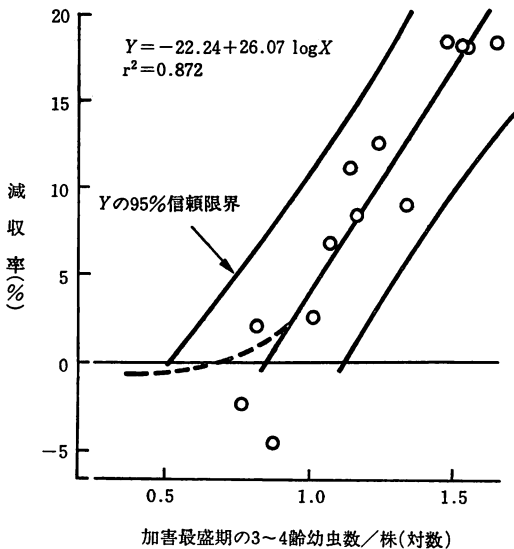
IPM 研究はアメリカが先進国であると言われているが、農業先進国のアメリカには農業による防除の弊害から、IPM 志向にならざるをえなかった事情があったものと思われる。そのためか研究は進展し、害虫個体群の動態だけでなく、作物の現存量もダイナミックにとらえた研究なども行われた。中村 (1980) によって詳しく紹介されているが、その好例を、ワタとそれを取り巻く害虫を対象にして行ったカリフォルニア大学の GUTIERREZ らの研究に見ることができる。

わが国の農業は、小規模な家族経営が中心であるため、防除要否の決定は心情的なものによって左右されることが多い。今日のわが国における防除実態は、水稻栽培面積の 60% 以上が航空防除、それ以外の水稻や果樹のほとんどが防除暦や防除基準などによる防除と、スケジュール防除が主体である。野菜や花でも状況は似たようなものである。そのような状況の中で、害虫防除担当者は総論としては IPM に賛同しつつ、各論では農業によるスケジュール防除を指導するというをやってきた。

しかし、ジレンマを感じながらも、IPM 的な考えかたに基づいた実的な害虫防除体系確立に関する研究は、各地で着実に行われてきた。

V 実的な防除体系確立に関する研究

防除現場に密着した IPM 的研究例として、イネクビソハムシとニカメイガの仕事が注目される。江村・小嶋 (1978, 1979, 1980) は、新潟県においてイネクビソハムシを対象に防除体系確立のための研究を行った。第 4 図に示したように、ここでは減収率 0% の密度を被害許容密度とし、さらに要防除密度を設定した。小山 (1973, 1975a, b, 1977) は、秋田県においてニカメイガを対象に同様の研究を行った。両種とも生命表研究を行っているが、害虫個体数の変動と被害の形成をダイナミックにとらえるには至っていない。筆者 (1978, 1979, 1982) も同様の研究をナシチビガを対象に行ったが、個体数変動の予測などには生かせなかった。



第4図 ニカメイガ加害最盛期の3~4齢幼虫密度と水稻の減収率の関係(江村・小嶋, 1978)

イネクビソハムシやニカメイガの研究成果は、きわめて簡単な形で現場に下ろされているが、そこに苦勞の跡を感じる。研究成果を現場の栽培体系の中に取り入れるためには、それを技術化する必要がある。例えば千葉県では、研究成果を現場に下ろす手段として、普及カードに登録して普及に移す方法、防除暦や防除基準に成果を盛り込む方法、成果発表会などを通して直接普及する方法などが公式に用意されている。第2表は、ナンチビガの防除要否に関する研究成果を普及カード化したものであるが、これを生かすには、生態学的な防除という考えかたも同時に普及しなければならない。

外国においても現実的な IPM 研究がなされてきた。キャベツ (WYMAN et al., 1977; CHALFANT et al., 1979; WORKMAN et al., 1980), ワタ (FRISBIE et al., 1976), ダイズ (KOGAN et al., 1977), ブドウ (JUBB et al., 1978), リンゴ (PROKOPY, 1980) など多くの研究事例がある。そのほとんどは“economic threshold”や“damage threshold”とは場のモニタリングによって得た情報との比較によって、農業散布の要否を決定するという簡単なものであるが、農業のむだな使用を減らすという点では成果を挙げているようである。

しかし、GEIER (1981) は IPM の大切さを認めながらも、農家にとって IPM はスケジュール防除に比べて効果をはっきりしないことが、IPM を魅力のないものにしてしまった。この指摘は、今後の研究にとってきわめて示唆に富んでいる。IPM 先進国のアメリカでも、

第2表 千葉県の試験研究成績普及カードの例

課題名	ナンチビガの寄生がナシの落葉時期、光合成能力に及ぼす影響からみた防除の要否
実施研究機関名	(主 査) 農業試験場発生予察研究室 (協力機関) (実施年度) 昭和 50 年度～昭和 54 年度
成績の概要	ナンチビガがナシに寄生すると落葉時期は早まる。第 2, 3 世代の一葉あたりの 2 令幼虫脱出孔数 (N_2 , N_3) と 8 月 15 日から 50% 落葉日までの日数 (D_{50}) とのそれぞれの対数値の間には次のような直線関係が認められた。 $\log D_{50} = 1.89 - 0.17 \log (N_3 + 1)$ $r^2 = 0.82$ $\log D_{50} = 1.89 - 0.29 \log (N_2 + 1)$ $r^2 = 0.66$ 光合成速度 (P_n) は一葉あたりの 2 令幼虫脱出孔 (N) の増加とともに直線的に減少する、その関係は次の式で示された。 $P_n (\text{CO}_2 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2/\text{hr}) = 14.60 - 0.09N$ $r^2 = 0.67$
発関表連及文び献	1. 昭和 54 年度落葉果樹に関する試験研究打合せ会議病害虫部会資料 2. 昭和 54 年度日本応用動物昆虫学会大会
普及に移す技術内容	2 令幼虫の脱出孔密度が一葉あたり第 2 世代で 0.5, 第 3 世代で 1.0 以下の場合、落葉時期の早まりはわずかである。また、光合成能力の低下率も極めて低い。 従って、 1. 7 月中旬に 2 令幼虫脱出孔の存在葉率 30% (一葉あたりの脱出孔数 0.5) 以下の場合、その月の本種を対象にしたスミチオン散布は控えてもよい。 2. 8 月中旬に存在葉率 40% (脱出孔数 1.0) 以下の場合、収穫直前の本種を対象にした DDVP 散布は控えてもよい。
普及対象地及区	東葛飾地域、印西町、白井町、市原市、木更津市
普及及び上の留意事項	1. 干ばつ年には本種の寄生による落葉時期の早まりはゆるやかになる。 2. 存在葉率や密度を調査する場合、短果枝、徒長枝等からまんべんなく 100 葉以上みる必要がある。
行政措置	

研究成果を普及させる段階では農家の理解を十分得られないなど多くの問題を抱えているようである (VAN DEN BOSCH, 1978)。

VI 今後の問題点

個体群生態学の応用的側面は、このままでは今後薄れていくと考えられる。その大きな原因は、個体群生態学の研究者の多くが「適応」には興味を示すが「防除」には興味を示さないところにある。川本 (1984) は個体群生態学に関連した IPM の問題点を整理し、さらに大学と応用研究機関の研究姿勢に言及した。応用研究機関に関する指摘は、必ずしも賛成できるものではないが、個体群生態学に関するこの種の議論がなされたことはきわめて有意義である。多くの研究者によって今後も議論される必要があり、さらにその議論は実践によって試されなければならない。

わが国では発生予察体制が整備されている。発生予察技術の確立には、これまで個体群生態学は大きな役割を果たしてきた。IPM にとって発生予察は必須であるが、現在これに取り組んでいる研究者は、県立農業試験場以外には少ない。

今後もっとも望まれるのは、害虫の個体数変動の予測技術の確立である。予測のためのモデルとしては回帰モデルでもシステムモデルでもよいが、農薬の散布要否の意志決定の場合には中心となる技術でなければならない。しかし、これがうまく機能するためには、研究成果の蓄積だけでは不十分で、モニタリング体制が整っている必要がある。これは研究そのものの問題ではないがきわめて重要である。現在発生予察体制やその要領と基準の見直しが行われているが、モニタリング体制が揺らぐことがあってはならない。また、モニタリング技術としてきわめて有望なフェロモン利用なども個体群生態学的検討を加える必要がある (発生予察などにおける調査へのフェロモン利用については大竹 (1985) が詳しくまとめている)。

おわりに

農業生産にとって、害虫防除はきわめて大切である。したがって、われわれは現在問題になっている害虫を防除するための研究はもちろんのこと、将来かくあるべきという防除を目標とした研究もしなければならない。

個体群生態学の成果は、後者のバックボーンにはなったが、前者に対しての役割にはあいまいな点が多かった。防除現場での個体群生態学的研究は、農薬一辺倒時代に対する反省から生まれ、これにより防除研究といえ

ば農薬の研究といった状況は、大きく改善された。しかし、農薬中心の防除を背景にできている栽培体系の中で、研究成果が十分生かされたとは言えない。

農薬は多くの欠点を持っているにもかかわらず、きわめて優れた性質も持っている。多発した害虫を前にしたとき、農薬ほど頼もしいものはない。現場の防除研究者はそのことをもっともよく知っていたため、当面する問題には農薬中心の研究で対応した。一方で、かくあるべきという姿を追い求めて虫そのものを強く意識した研究も行われた。この状況は今日も変わらないが、両者が結び付いたときに真の防除研究が生まれる。

かつて、伊藤と桐谷 (1971) は「動物の数は何でできるか」という個体群生態学的立場で書かれた著書の中で、「基礎的であることが最も応用的である」と述べた。この言葉は、当時大変感動的であった。しかし、この言葉は基礎をやる研究者の心が応用のほうを向いていなければ生きてこない。

害虫を研究材料とだけみなし、応用には将来にわたって関係しないだろうという研究が多い一方、基礎などどうせ役にたたないと考え、それと関係ない所で行われている防除研究も多い。現在の害虫防除研究でもっとも欠けているものは、応用の心を持った基礎研究と基礎の心を持った応用研究である。両者のはざまを埋められる研究者はきわめて少ない。今後、発生予察や防除を目的とした「害虫の個体群生態学」とでも言うべき研究分野に多くの研究者が興味を持つことが望まれる。

主な引用文献

- CARSON, R. (1962): 生と死の妙薬, 青樹繁一訳 (1964), 新潮社.
 CHALFANT, R. B. et al. (1979): J. Econ. Entomol. 72: 411~413.
 ELTON, C. S. (1958): 侵略の生態学, 川那部浩哉訳 (1971), 思索社, 東京, pp. 246.
 江村一雄・小嶋昭雄 (1978): 応動昆 22: 260~268.
 ——— (1980): 同上 24: 150~156.
 FRISBIE, R. E. et al. (1976): J. Econ. Entomol. 69: 211~214.
 藤家 梓 (1978): 昆虫 46: 485~497.
 ——— (1979): 応動昆 23: 156~161.
 FUJIE, A. (1982): Appl. Ent. Zool. 17: 188~193.
 GEIER, P. W. (1981): The Ecology of Pests—Some Australian Case Histories—, Chapter 6, R. L. KITCHING & R. E. JONES eds., CSIRO, Australia, pp. 254.
 伊藤嘉昭 (1975): 動物生態学 (上) (共著), 古今書院, 東京, pp. 266.
 JUBB, G. L. et al. (1978): J. Econ. Entomol. 71: 913~916.
 川本 均 (1984): 個体群生態学会報 39: 96~102.
 桐谷圭治 (1975): 日本農業学会学会設立記念号, pp. 69~75.
 ——— (1981): 関東東山病虫研報 28: 3~5.
 KOGAN, M. et al. (1977): J. Econ. Entomol. 70: 659~663.
 小嶋昭雄・江村一雄 (1979): 応動昆 23: 1~10.
 河野達郎・杉野多万司 (1958): 同上 2: 184~187.

- 小山重郎 (1973) : 応動昆 17 : 147~153.
 — (1975 a) : 同上 19 : 63~69.
 — (1975 b) : 同上 19 : 125~132.
 — (1977) : 秋田農試研報 22 : 1~27.
 MACARTHER, R. H. (1955) : Ecology 36 : 533~536.
 — and E. O. WILSON (1967) : The theory of island biogeography, Princeton Univ. Press, pp. 203.
 MAY, R. M. (1976) : Theoretical ecology : principles and applications, R. M. MAY ed., Blackwell Sci. Publ., pp. 317.
 宮下和喜 (1982) : ニカメイガの生態, 自費出版, pp. 135.
 中村和雄 (1980) : 植物防疫 34 : 9~16.
 大串龍一 (1973) : 生物的综合防除, 共立出版, 東京, pp. 81.
 — (1977) : 応動昆 21 : 15~22.
 大竹昭郎 (1985) : 果樹害虫の分布と発生調査への性フェロモン

- 利用, 農水省果樹試保護部虫害研資料.
 PIANKA, E. R. (1978) : Evolutionary ecology (2nd ed.), Harpar and Row Publ, pp. 397.
 PROKOPY, R. J. (1980) : J. Econ. Entomol. 73 : 529~535.
 SHIYOMI, M. (1978) : Bull. Natl. Inst. Agr. Sci. Ser. A 25 : 33~57.
 SOUTHWOOD, T. R. E. (1977) : Entomology and mankind, Proc. 15th Int. Congr. Entomol., Washington.
 STERN, V. M. et al. (1959) : Hilgardia 29 : 81~101.
 VAN DEN BOSCH, R. (1978) : 農業の陰謀「沈黙の春」の再来, 矢野宏二訳 (1984), 社会思想社, 東京, pp. 211.
 WORKMAN, R. B. et al. (1980) : J. Econ. Entomol. 73 : 757~758.
 WYMAN, J. A. et al. (1977) : ibid. 70 : 327~331.

中 央 だ よ り

—農林水産省—

○昭和 60 年度病害虫発生予報第 6 号発表さる

農林水産省農蚕園芸局は昭和 60 年 8 月 30 日, 昭和 60 年度病害虫発生予報第 6 号 (60 農蚕 第 5066 号) を発表した。

内容は次のとおり

向こう約 2 か月間の病害虫の発生動向は次のように予想され, 特に稲のトビイロウンカ及びカメムシ類, 果樹のハダニ類及びカメムシ類, 野菜のアブラムシ類等害虫の発生が多目と見込まれます。都道府県が発表する発生予察情報にも留意し, 的確な防除の実施に努めて下さい。

稲 : 穂いもちの発生は平年並以下と予想されます。

紋枯病の発生は, 一部を除き平年並以下となっており, 今後もこの傾向が続くと予想されます。

トビイロウンカの発生は, 北陸, 近畿, 中国, 九州の一部でやや多く, 増殖に適した短翅型雌の比率が高くなっています。これらの地域では早急に防除を実施するとともに, 作期の遅い稲では今後の発生動向に十分注意し的確な防除を実施して下さい。

斑点米の原因となるカメムシ類の発生は, 関東の一部を除いてやや多くなっており, 今後もこの傾向が続くと予想されます。発生が多い地域では乳熟期から糊熟期にかけて的確な防除を実施して下さい。

ツマグロヨコバイの発生は各地の一部でやや多くなっており, 今後もこの傾向が続くと予想されます。

大豆 : 開花期以降は子実害虫及び紫斑病の重要な防除時

期に当たりますので, 今後の発生動向に注意して的確な防除を実施して下さい。

かんきつ類 : 黒点病, ミカンハダニの発生は全般にやや多く, ゴマダラカミキリ, ミカンハモグリガ及びチャノキロアザミウマの発生は平年並ないしやや多いと予想されます。

りんご : ハダニ類の発生は東南北部及び関東で平年並ないしやや多いと予想されます。

キンモンホソガの発生は関東の一部で多いと予想されます。

黒星病, 斑点落葉病の発生は一部を除き平年並と予想されます。

なし : ハダニ類の発生はやや多いと予想されます。

黒斑病の発生は平年並と予想されますが, 発生の多いところでは収穫後の防除を実施して下さい。

もも : モモハモグリガの発生は, 中国, 四国の一部でやや多いと予想されます。

ぶどう : チャノキロアザミウマの発生は一部でやや多いと予想されます。

果樹共通 : 果樹カメムシ類の発生は関東及び東海・近畿以西で多く, 今後も同様の傾向が続くと予想されます。今後, 特にかんきつ, かき園などでは的確な防除を実施して下さい。

茶 : カンザワハダニの発生はやや多いと予想されます。

チャノミドリヒメヨコバイの発生は一部を除きやや多いと予想されます。

炭そ病, チャノコカクモンハマキ, チャハマキ及びチャノホソガの発生は平年並以下と予想されます。

野菜 : 各種野菜のアブラムシ類及びナスのハダニ類の発生はやや多いと予想されます。

ネギのネギアザミウマの発生は一部でやや多いと予想されます。

ハスモンヨトウの発生は平年並と予想されます。

特集：害虫防除と生態学〔2〕

害虫防除と生態学

——総合防除の定着を目ざして——

農林水産省九州農業試験場 小 山 重 郎

害虫防除における「農業万能主義」への反省から、わが国で「総合防除」が叫ばれるようになったのは、1970年代からである（桐谷・中筋，1971）。以来、この問題への関心は高まり、例えば「植物防疫」誌の最近10年間を見ても、関連論文は109編に及ぶ。内訳は、天敵：45，生理活性物質：24，要防除水準：19，耕種的・物理的方法：11，耐虫性品種：8，不妊虫放飼：2，である。

農林水産省でも研究プロジェクトとして「害虫の総合防除法の確立に関する研究（1971～75）」、「生物的手法による病害虫新防除技術確立のための総合研究（1980～84）」が取り上げられ、植物防疫関係予算にも「生物利用防除技術促進事業費（チリカブリダニ，ハスモンヨトウ性フェロモンの利用，1976～78）」、「農業使用量節減化技術導入費（水稻とカンキツの病害虫防除要否，ヤノネカイガラムシ天敵導入，1983～84）」、「難防除病害虫特別対策費（ハスモンヨトウ核多角体ウイルス利用等，1984～）」が計上されるなど、総合防除は実用化の段階を迎えつつある。

しかし、翻えて殺虫剤の使用状況を見ると、第1図に見るように、その生産量は依然として1970年のレベルを維持しており、わが国の害虫防除法の主流が殺虫剤であることに変わりはない。これは殺虫剤の低毒性化や安全な使用法についての努力がなされてきたためでもあるが、総合防除の定着にはなお多くの年月がかかることを物語っている。定着の遅れは大きく言って新しい防除法の開発の遅れと、現場での定着の困難さに分けられるが、ここでは主として後者を中心に実例を挙げて考えてみたい。

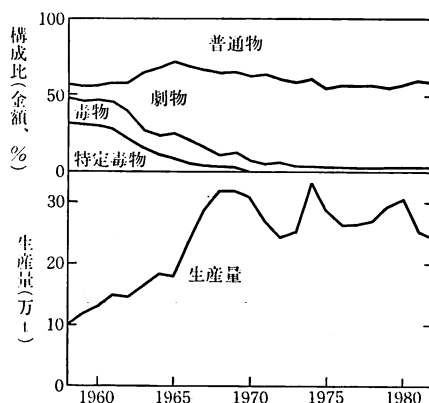
本稿は、総合防除を現場で推進しておられる研究者との討論から生まれたものであり、特に秋田農試 小林次郎，新潟農試 江村一雄，高知農研 松崎征美，宮崎総農試 永井清文，沖縄農試 志賀正和の諸氏には貴重な資料と御意見をいただいた。本文に先立ち謝意を表したい。

Ⅰ 水稻害虫の要防除水準

1 秋田県

米どころ秋田県の主要水稻害虫であったニカメイチュウ

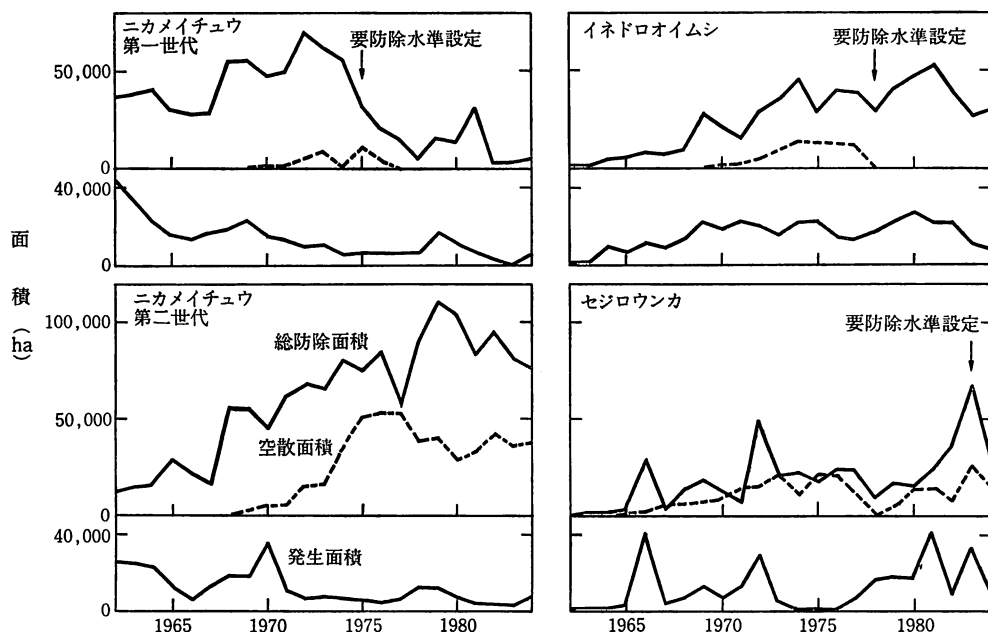
Pest Control and Ecology—Conditions for the Establishment of Integrated Pest Management in Japan—. By Juro KOYAMA



第1図 わが国における殺虫剤生産量の推移
（「農業要覧」による）

ウは、1970年ごろから減り始めたが、逆にこのころから殺虫剤の航空散布が急増した（第2図）。これは航空散布が、その年の虫の多少にかかわらず年度当初に計画されるためであるが、要防除水準の概念が無かったことも大きい理由であった。しかしこの航空散布は、一方で養魚，養蜂，養蚕への危害をもたらしたので、散布を必要最少限にとどめようという考えが、防除技術者の間に起こってきた。秋田県は小山（1975）のニカメイチュウの被害解析と被害予測の研究を基に1975年に第一世代の要防除水準（葉しょう変色基率12%）を設定した。イネドロオイムシについても KOYAMA（1978）を基に1978年に要防除水準（株当たり0.5卵塊）を決めた。一方、1971年から病害虫防除所による県内水田245点の抽出は場調査が始まり、主要病害虫の発生量が把握できるようになった（小林・小山，1977）。これらの結果を基にニカメイチュウ第一世代とイネドロオイムシに対する航空散布は必要がないものと判断され、第2図に示すように中止された。

ニカメイチュウ第二世代は被害予測が困難であったため、要防除水準が設定されず、また実態調査の結果、県内の一部の水田で被害許容限界を超える発生が認められたため、航空散布は続行された。最近、秋田農試（1985）は第二世代の要防除水準（7月下旬，1～4ha水田の平均心枯基率3%）を検討中である。セジロウソカについ



第2図 秋田県における水稻主要害虫の発生と防除 (秋田県および秋田県共済連資料による)
なお、総作付面積は、109,000~123,300ha

ては飯富ら(1983)が被害解析に基づき要防除水準(7月下旬~8月上旬肉眼で見える幼虫株当たり15頭)を設定し、これを基に病害虫防除所が発生量に応じて航空散布の要否を決定している(第2図)。

秋田県では航空散布の要否決定の主導権を技術者が握っているので、設定された要防除水準と発生実態調査の結果が航空散布に反映された。しかし農家の自由意志による地上散布では、これが必ずしもうまくいっていない。ニカメイチュウ第一世代が1979年にやや多発すると、地上防除面積は増え、虫が少なくなっても3年ほど散布面積は減らなかった。葉の食害が目だつイネドロオイムシの地上防除はむしろ増えている。後藤(1979)は請負防除班を指導して卵塊密度調査に基づく防除要否判定を試みたが、この方式は全県に広げることがなかった。秋田県ではその施用時期には防除要否判定ができないことを理由に、イネドロオイムシ用粒剤の田植え前苗箱処理を防除基準に採用していないが、この方法は農家の間に浸透しつつある。このように、要防除水準を決めて、防除基準に登載するだけでは、個々の農家によって受け入れられる保証はないのである。

2 新潟県

同じ稲作県の新潟県でもニカメイチュウは1970年ごろから少発生傾向になった。新潟県神林村では1971~73年、飯岡地区75haで第一世代を全域無防除とし、

その後の調査結果を基に1974年には全村2,120haの無散布に踏み切った。その根拠は第一世代加害最盛期の葉しょう変色株率5%以下、予察灯第1回総誘殺成虫100頭以下であったが、これは小林ら(1971)の要防除限界の1/5~1/10という低水準である。新潟県はニカメイチュウ第一世代の徹底防除によって第二世代も抑えるという防除方針をとってきたため、それをやめるには、これほどの安全度を見込む必要があった。この無散布の結果、実害はなく、防除経費約1,280万円が節約された(杵鞭ら, 1975)。

この経験は、その後新潟県全域へ広げられた。ここで特徴的なのは、安全度を十分とった低い要防除水準を決めたことと、防除要否判定のために発生実態調査を数多くのほ場で行ったことである。調査は主に病害虫防除員が当たったが、防除要否決定には必ず関係農家の同意を得た。その結果防除をしてもしなくとも、被害末期に再び調査を行い判定の当否を確かめた。小千谷市や柏崎市北条地区では、一歩進めて農家自身が調査に参加したが、1984年にはこれが9市町村に広がった。

このような活動は年々盛んになり、1984年にニカメイチュウ第一世代を調査して無防除にした地域は38市町村、53,606ha(調査点数2,501)、調査して防除したのは21市町村35,502ha(調査点数1,385)であった。これは新潟県の水田中、市町村数で51.8%、面積で

第1表 イネドロオイムシ防除のめやす (新潟県小千谷市病害虫防除協議会「防除のめやす」より)

予察時期	調査結果		防 除 の め や す
	程度	調査値 ^{a)}	
5.下 6.上 成虫数	無	0	防除の必要はない。
	少	1~2	今後の発生推移に注意する。
		3~6	雨天が続く場合は防除する。 (幼虫加害初期に防除)
	中	7~20	収量に影響するので必ず防除する。 (" ")
	多	21~40	(" ")
	甚	41 以上	(" ")
5.下 6.上 6.中 卵塊数	無	0	防除の必要はない。
	少	1~20	"
	中	21~30	雨天が続く場合は防除する。
		31~70	収量に影響するので防除する。 (幼虫加害初期に防除)
	多	71~100	収量に影響するので必ず防除する。 (" ")
	甚	100 以上	(" ")

a) 25 株当たり

61.3%に当たる(江村, 1981, 1982; 小嶋・江村, 1983)。江村(私信)によれば, 防除要否判定基準を作る要望は, 現場から提起され, 市町村, 農協, 共済組合はもちろん, 経済連や共済連など防除関係者すべての問題として取り組まれたという。研究者は, 要防除水準や調査方法の基準を作るだけでなく, その実証のために現場に足を運び, ときには茶わん酒を飲みながら, できるだけ多くの人と調査を行い, その成果を検討し合った。約 10 年間の地道な活動によって, 各階層の人々の認識が深まり, この方法の経済的効果が評価されるようになった。

ニカメイチュウで始まった実態調査に基づく防除要否判定活動は, その他の水稻病害虫にも広がりつつある。小千谷市病害虫防除協議会は 1980 年に主要病害虫 9 種についてわかりやすい「防除のめやす」(第1表)を作り, 発生実態調査の結果と併せてテレホンサービスによる地域的な防除要否情報を農家に伝達している(江村, 1981)。この「めやす」はイネドロオイムシの要防除水準のように研究の結果(江村・小嶋, 1978)で決めたもの

以外の害虫についても, 過去の経験にかなりの安全度を見込んで作られている。新潟県六日町病害虫防除協議会は 32 名の調査員を置き, 水稻主要病害虫 8 種について 162 地点 (12.5 ha に 1 点) の調査を年 7 回行っている。調査結果はすぐにコンピューターで病害虫発生地図として図形化され, 防除必要地域と防除法を添えた「病害虫情報」となって全農家に配られる。

このような地域的な活動は, 防除関係者の自発的な創意によって, さまざまに展開されているが, 現場の実態を踏まえて行われているだけに, 全県一本の発生予察情報ではなしえない「防除要否判定と結び付いた発生予察」を可能にしてきたのである。

II ミナミキイロアザミウマの総合防除

1978 年 11 月, 宮崎県西都市の施設栽培ピーマン生産団地で, 果実に汚斑や変形を起こし, 新葉展開が阻害される症状が見つかった(野中・永井, 1980)。その原因はわが国未記録のミナミキイロアザミウマで(工藤, 1981), 九州・四国を中心に露地を含めて急速に広がった。発生地の中でも宮崎県は, ピーマン生産全国 1 位(1983 年全国収穫量の 21.2%)で, 作付面積 485 ha 中 441 ha が施設栽培であり, そのほとんどで発生を見たので(第2表), ミナミキイロアザミウマはピーマン生産上の死活問題となった。同様に施設果菜の生産地である高知県でも 1981 年までにこの虫の発生面積はナス, ピーマンの作付面積の 50% を超えた(気賀沢ら, 1982)。

この虫は低密度でも果実に汚斑を付け, その商品価値を低下させるので, 被害許容密度はピーマンで 1 花当たり 0.5 頭(永井・野中, 私信), ナスでは 1 葉当たり 3~4 頭(松崎, 1983)である。しかし殺虫剤への耐性が強く, BPMC, DMTP が比較的效果があるものの不十分であった。そのためピーマンでは 1 作期(約 8 か月)に 40 回を超える散布を行っても十分な防除効果が挙げられない状態であった。ピーマン生産農家の間には, ワラにもすがる気持で, においの強い農薬をカンに入れてハウスの中につるしたり, 蚊取り線香をたいたりするものがあつたという。

この虫の原産地である東南アジアやインドでは重要害虫とみなされていなかったため, 当時その生態に関する知見はまったくなかった。農林水産省は, 「果菜類の新害虫ミナミキイロアザミウマに関する緊急調査(1981)」, 「ミナミキイロアザミウマの防除に関する研究(小事項, 1982~84)」を発足させ, また宮崎, 高知, 鹿児島, 熊本の 4 県で「果菜類におけるミナミキイロアザミウマの防除技術(総合助成一中核研究, 1982~84)」が行われ

第 2 表 宮崎県の施設ピーマンにおけるミナミキイロアザミウマの発生と被害 (宮崎県, 1985)

年 次 ^{a)}	発生面積 (ha)	被害面積 (ha)	損 害 額 ^{b)} (万円)
1979	305	153	5,099
1980	396	389	78,520
1981	424	285	17,152
1982	407	65	7,930
1983	363	20	4,200
1984	347	15	3,680
1985	306	7	—

a) 前年 10 月以降定植, 当年 12 月まで収穫

b) 損害額は生産物のみの減収推定額

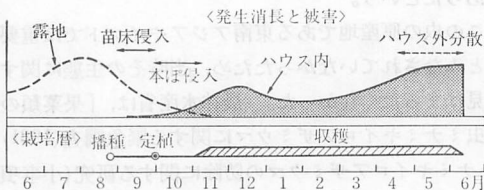
なお, 1983 年現在の施設ピーマン作付面積は 441 ha.

た。その結果, 次のようなことが明らかになった。

この虫の発生パターンは作物や地域によって若干異なるが, 第 3 図のピーマンの例で代表できる。本種は発育零点が 11.6°C (河合, 1985) で休眠せず, 沖縄を除く九州以北では露地で越冬できないので, 周年発生のためには冬のハウスの存在が不可欠である。またハウスのない夏期には, 周辺の露地果菜とともに, イヌビユ, スベリヒユなどの雑草で繁殖し, 秋に再びハウスに侵入する。

ミナミキイロアザミウマには強力な殺虫剤がないので, 水稻害虫のように, 害虫の密度が要防除水準に達してから薬剤を使うという防除法は成り立たない。そこで上述の周年発生環をなんらかの方法で断ち切ることと, 早期の殺虫剤散布によって密度をゼロに近い状態に保つことが防除法の基本となった。

まず, ハウスに虫を持ち込まない対策である。松崎 (1974) はすでに, ハウスキュウリのアブラムシ防除法として, 育苗期の寒冷しゃ被覆, 定植前のハウスへの灌水, 耕うん除草, 臭化メチルくん蒸, 定植後換気口に 20~24 メッシュの網を張るなどの方法で虫の侵入を防いでいた。ミナミキイロアザミウマでもこの方法が取り入れられた。そして少しでも虫がいれば, 比較的有效な薬剤の散布が行われた。そこで体長 1 mm 前後のこの微少な虫



第 3 図 ハウス促成栽培ピーマンにおけるミナミキイロアザミウマの発生長模式図 (永井・野中, 1983)

を発見するために, 多くの農家は虫メガネを持ち歩くようになった。

作物の生育調節やある種の病菌の繁殖を防ぐために, 400 nm 以下の近紫外光を除去するビニルフィルムが作られていた (本田, 1982)。これがハウス内の花粉媒介用に使われるミツバチやシマハナアブの行動を阻害することにヒントを得て, 永井・野中 (1982) は近紫外線除去フィルムを使ったハウスにはミナミキイロアザミウマ成虫の侵入が少ないことを見だし, これを防除に利用した。また近紫外光を反射しない白色粘着板や青色粘着テープ (青竜®) に成虫がよく誘引されることがわかり (北方・吉田, 1982), これが成虫密度のモニター用や, 防除 (野中・永井, 1984) に使われた。さらにアブラムシ成虫によって忌避される銀色のマルチ資材がミナミキイロアザミウマにも有効であることがわかり, これは特に露地栽培でも使える手段として利用された (鈴木・宮良, 1984)。

次に, 冬春期にハウス内で増殖した虫を収穫後にハウス外に出さない方法であるが, そのために通気窓を閉じて 40~50°C の高温状態を 1 週間~10 日続け, すべての虫を殺す「蒸し込み」が行われた。その後は虫の繁殖する雑草を抑えるため灌水したり, 水田化したりしたが, これは土壌病害や線虫の防除にも役だった。

宮崎県では, ピーマンハウスの間に露地ナスやキュウリが栽培されており, これが夏期のミナミキイロアザミウマの有力な繁殖源となっていることが推定された (第 3 表)。この県は, かつて早期稲 (4 月植え付け) と普通期稲 (5~6 月植え付け) の混在により多発したサンカメイチュウ, ツマグロヨコバイ, ミナミアオカメムシを, 植え付け期の地域的統一によって 1971 年ごろに制

第 3 表 栽培環境別団地におけるハウス促成ピーマンでのミナミキイロアザミウマ発生状況 (定植直後) (宮崎総農試, 1981)

団地別	調査ハウス数	発 生 数	被害 (葉の縮れ) 株数 (50 株当たり)			寄生虫数 (50 花当たり)		
			多	少	平均	多	少	平均
露地ナス交	7	7	50	4	19	247	5	73
露地キュウリ混交	8	8	18	3	8	78	8	29
混交なし	16	5	3	0	0.4	15	0	1.4
混交なし	10	3	2	0	0.1	3	0	0.6

調査月日: 1981 年 10 月 15~16 日, 薬剤散布: 育苗期 3~5 回, 本ば 0~1 回。

圧した経験を持っていた。この経験を生かして、ハウス団地内の露地栽培を取りやめる話し合いが行われた。ハウスと露地は異なる農家が栽培していたが、激しい虫の発生で露地栽培が事実上不可能であったこともあり、ハウス団地内で露地ものは一切作られなくなった。さらにハウスから 20~50 m 以内の雑草地には除草剤を散布して、繁殖源の雑草をなくす作業も行われた。

このような地域的な総合防除は効を奏し、ミナミキイロアザミウマの密度は地域的に低下し、宮崎県の施設ビーマンでの薬剤散布回数は 1 作期 15 回程度に減少し、被害も大幅に減った (第 2 表)。高知県やその他の県でも、ほぼ同様な総合防除によって被害は減少しつつある。1984 年に登録されたオキサミル粒剤とカルボスルファン粒剤は、定植前に使用して虫の初期密度を下げるのに利用されている。

III 総合防除定着の条件

1 農薬のメリット

総合防除が叫ばれたのは、農薬のデメリットからであることは言うまでもない。それにもかかわらず現実に農薬がこれだけ使われている理由を考えておくことは、総合防除の立場から見ても大切なことであろう。

農薬は一時的に被害を減らすためにはきわめて有効な手段である。殺虫剤は一般に害虫の密度、発育ステージ、生理的状态にかかわらず比較的安定した効果を挙げる。天敵や生理活性物質、不妊虫放飼法などが有効になるのは限られた範囲の密度、発育ステージ、生理的状态のときであることはよく知られている。また農薬は企業によって大量生産され、保存がきき、わが国では比較的安価である。例えば農業生産費の中で農薬費の占める割合を見ると、米で 5.1%、ミカンでも 7.4% である (1983 年度農林水産統計)。殺虫剤が害虫の多少にかかわらず習慣的に使われやすいのは、そのためではなからうか。

農薬には、個々の農家が共同化せずに、各自の経営面積の中で自由に使えるという利点もある。ハウスのように限られた環境を除けば、天敵やフェロモン、不妊虫などは広い地域で使わなければ効果が挙がらない。わが国の農業の兼業化や、都市と農村の混在という社会的条件は、このような広域防除を困難にしている。

こうしてみると、総合防除が定着するのは、農薬のメリットを上回るデメリットが現れるか、抵抗性害虫の出現などで農業自体の効果がなくなるときだと考えてよいであろう。しかしその時期は意外に近いかもしれない。現在では新しい農薬を開発し登録するには、安全性確認

に手間取るため、約 10 年、20~30 億円の投資を要するという。農業生産企業は収益性が無ければ、新農薬開発の意欲を失うわけであるから、抵抗性害虫に対して有効な新農薬が次々と出てくると考えるのは誤りである。今後、総合防除を構成する一手段として農薬の持つメリットを生かすうえでも、農業万能主義から早く脱却すべきであろう。

2 生態学的重要性

殺虫剤が主な防除手段であったとき、対象害虫に関する生態学的情報は限られたものでよかった。それは作物を加害する発育ステージの密度を減らして被害を少なくするには、どの時期に薬剤散布をすればよいかということである。新しい害虫が現れると、有効な薬剤の探索と同時に、その生活史や発育零点、発育有効積算温度、越冬の有無などが調べられる。そして加害ステージの出現時期を予測して、その少し前に害虫に殺虫剤を到達させる方法を考える。これで、個々の農家に普及できる技術が完成する。

しかし、殺虫剤の使用を必要最少限にするために、ひとたび要防除水準を決めようとするれば、これまでのような害虫の生活史にかかわる情報だけでは不十分である。少なくとも被害解析と被害予測という、作物の生育と害虫の個体群動態にかかわる情報が必要になる。さらにこの水準を基に防除要否の判定を行うためには、適切な密度調査法と、多くの地点での調査が必要である。秋田県や新潟県では、ここまでの研究と組織的な調査が行われ、初めて不必要な殺虫剤散布が減らされつつある。

殺虫剤以外の防除手段を取り入れようとする場合は、これでも足りない。異なる生息場所での害虫の増殖と、相互の移動についての情報が必要である。ミナミキイロアザミウマの場合、その繁殖場所となっているハウスと露地の相互関係を明らかにしたことから、物理的遮断や、地域全体で夏期の繁殖場所をなくすという生態的方法が効果を挙げたのであった。その結果、害虫の密度が要防除水準に達するのを遅らせることができ、殺虫剤散布回数が軽減された。

殺虫剤以外の新しい防除手段を開発するために、昆虫の生理学、行動学の研究はもちろん大切である。しかし同時にこれらの手段が農業現場で総合防除の一手段となりうるためには、対象害虫の野外での生態学が不可欠である。天敵やフェロモン、不妊虫などを、いつ、どのような面積で使用したらいいか、また殺虫剤といかに組み合わせるべきかを知るための生態学的研究は、捕食性ダニ (真梶, 1981; 矢野・東, 1982)、天敵ウイルス (岡田, 1980; 志賀・中沢, 1980)、性フェロモン (柳沢, 1979;

大泰司, 1984), 不妊虫(岩橋, 1977; 小山, 1982) などで始まったばかりである。

3 現場での研究の重要性

かつて大学や国立農試は基礎研究をやり、公立農試や防除所、普及所はこれを応用すればよいのだと言われたことがあった。昆虫生理学や行動学については確かにそうかもしれない。しかし上述の生態学についてはどうか。数学的基礎理論はともかく、総合防除に必要な生態学的情報を手に入れることは、現在の大学や国立農試ではむしろ困難である。

ハウスと露地栽培を含む地域的なミナミキイロアザミウマの動態の研究は、農家の協力を得た公立農試だからこそできたと言える。現場に近い研究機関の常として、じっくり研究を深める余裕はなかったかもしれないが、研究プロジェクトに参加した国立農試や害虫分類専門家との協力によって、この種の害虫問題としては異例の早さで解決の方向に向かったのであった。

これは公立農試と農業現場との関係にも当てはまる。公立農試といえども、一つの県で何千地点もの水田の調査によって害虫防除の要否を判定することはできない。新潟県では農家を含む現地の防除関係者の協力によって、広域に殺虫剤散布をやめてもニカメイチュウは増えないということが実証された。このとき、公立農試は、調査法の開発や、要防除水準の決定を受け持ったのである。

これらの事例は、総合防除を現場で実現するために、いろいろな立場の研究者・技術者が目的意識的に協力し合うことがいかに大切であるかをよく表している。

4 社会・経済的問題

害虫防除は、農業を取り巻く社会・経済に深くかかわっている。岡田ら(1983)は中国で天敵利用が盛んである理由の一つとして、農産物の外観への要求度が低く、天敵の餌として必要な程度の害虫の存在が許されることを挙げている。わが国では、例えばミカンの表面に消費者ですら気がつかないヤノネカイガラムシの介殻が

1~2 個ついているだけで商品価値が下がる。これを防ごうとすれば殺虫剤散布が必要で、この虫に有効な導入天敵の寄生蜂は、無防除の放任園対策に取り上げられているという(志賀, 私信)。ミナミキイロアザミウマの場合でも、もしナスやピーマンの選果基準がもう少し緩められるならば、殺虫剤の散布回数はさらに減らせるはずである。わが国では、農業問題が社会的にはその安全性の面や環境問題として取り上げられる傾向が強かった。そのため、殺虫剤の安全性の点ではかなりの改善が行われた。しかし、殺虫剤の使用を増やしている農産物の品質、特に外観への要求度は、この間ほとんど緩められていない。この点についての社会的見直しが、もっと真剣に考えられてもよいのではないだろうか。それは総合防除の定着を促進するに違いない。

おわりに

限られた紙面の中で、総合防除のあらゆる局面に触れることは不可能である。筆者の目的は、ややもすると観念的に論じられがちなこの問題を、具体的に考えてみようとするところにあった。総合防除の定着に向けて、本稿が論議の糸口になれば幸いである。

引用文献(「植物防疫」登載論文以外)

- 秋田農試(1985): 昭和 59 年度試験成績概要書。
江村一雄(1981): 北陸病虫研会報 29: 52~55。
———・小嶋昭雄(1978): 応動昆 24: 150~156。
後藤 久(1979): 農業秋田 30(6): 62~65。
飯富暁康ら(1983): 北日本病虫研報 34: 6~8。
河合 章(1985): 応動昆 29: 140~143。
気賀沢和男ら(1982): 四国植防 17: 23~28。
桐谷圭治・中筋房夫(1971): 農業技術 26: 105~110。
杵野章平ら(1975): 北陸病虫研会報 23: 34~37。
小林 尚ら(1971): 応動昆 15: 121~131。
小林次郎・小山重郎(1977): 北日本病虫研報 28: 30~37。
小嶋昭雄・江村一雄(1983): 新潟農試研報 33: 73~80。
小山重郎(1975): 応動昆 19: 63~69。
Koyama, J. (1978): Appl. Ent. Zool. 13: 203~208。
野中耕次・永井清文(1980): 農業研究 27: 7~11。
———(1984): 九農研 46: 125。
大泰司 誠(1984): フェロモン実験法(2), 日本植物防疫協会, 東京, pp. 141~156。
鈴木 寛・宮良安正(1984): 九病虫研会報 30: 135~139。

特集：害虫防除と生態学〔3〕

害 虫 防 除 と 生 態 学

——生態学に求められているもの——

金沢大学理学部生態学講座 おお ぐし りょう いち
大 串 龍 一

は じ め に

今回、本誌が“害虫防除と生態学”というテーマで特集を組まれるにあたって、私にも、生態学を専攻するものの立場からの原稿を求められた。

私が長崎県総合農試果樹部（現在の長崎県果樹試験場）から金沢大学に転任し、病害虫防除の現場を離れてからもう 15 年近くなる。理学部で生態学講座を担当しており、農林業の中で現在行われている害虫防除の実態に触れる機会があまりなく、また、ふだん読む文献などの方面もかなり変わってしまった私には、この問題を論じる資格があるかどうか、少し疑問に思う。さらに、このテーマ“生態学に求められているもの”は、立場や見かたによって非常にいろいろな取り上げかたがあるから、今、私の考えていることが、本誌の読者の多くのかたがたの期待しておられるものと、ずれているかもしれない。

しかしまた、こうして農業の現場から離れることによって、農業と関係の薄い多くの人たち（主として都会の人たち）が、現在の農業についてどのようなところから知識を得、どんなイメージを持っているかを、別の角度から知ることができるようになった。これは私にとっては、大きな体験であった。ここでは、このような私の立場から考えていることを述べさせていただくこととした。

I 生態学と害虫防除

生態学がその応用として害虫防除の問題とどのようにかかわってきたかを考えてみよう。作物保護の分野で、害虫防除、病害防除、雑草防除、気象災害防止、環境有害物質の影響防止のそれぞれが、生態学と独自のかかわりを持っていた。この問題にはそれ自体、応用生態学のありかたとして大変興味はあるが、ここでは害虫防除の問題に限って考えてみる。

生態学とはどのような学問かと定義しようとすれば、

Pest Control and Ecology—Comments from the
Viewpoint of an Ecologist— By Ryoh-ichi
OHGUSHI

これまでに数限りもなく繰り返された不毛の論議に陥るおそれがあるので、ここではいちおう、生物学の中で個体以上のレベルで見られる現象を扱う分野としておこう。したがって行動科学のかんりの分野は含まれる。よく言われるように“集団の生物学”とは定義しないのは、個体レベルの生活史の知見が、害虫防除にあたって特に重要な役割を持つからである。

害虫防除は、生態学の応用のうちでももっとも重要な分野の一つとされてきた。天敵利用を主体とする生物的防除は、生態学と特に密接な関係にあった。例えば最近の生態学の教科書の中でも最良のものと思われる KREBS (1972, 改訂版 1978 および 1984) の本では、応用生態学として適正収量の問題とならんで、害虫の生物的防除を取り上げている（改訂版のほうでは生物的防除の中にいわゆる遺伝的防除も含めている）。その反面、農業使用を主とする化学的防除は、生態学的な視点は必要としないと漠然と考えられることも多かった。耕種的防除も、あまりに農業に密着しすぎているために、生態学的な立場からの関心を引くことが薄かった。このような感覚は今でも残っている。

こうした見かたからすれば、今世紀初めからのいくつかの天敵利用の防除の成功例、わが国でいえばベダリアテントウムシによるイセリアカイガラムシの防除、シルベストリーコバチによるミカントゲコナジラムシの防除、ルビーアカヤドリコバチによるルビーロウムシの防除などは、生態学の応用としての害虫防除の理想を実現したものであったと言えるかもしれない。

しかし実際には、これらの天敵利用の成功例は、近代生態学の応用の成果というよりも、寄主—寄生虫関係あるいは餌生物—捕食者関係という自然史的知見の集積の中から、いわば偶然に生まれてきたものであった。その成功は、やや極端な言いかたをすれば、“まぐれ当たり”であり、生態“学”以前の問題であったと言える（もちろんこれは自然史的研究の価値を低く見るものではない）。そのことは、わが国の植物防疫の歴史に残るこの 3 種の天敵だけが、ほ場と同じ害虫を攻撃している他の多くの捕食者、寄生者の中で、なぜこのように目ざましい防除効果を挙げえたのかという理由が、現在に至るま

でほとんど解明されていないことから明らかである。そのためか、わが国でこれらの成功例の後を追って行われたズイムシアカタマゴバチやジャガイモトビコバチの利用に関するしごとは、多大の労力を費やしたにもかかわらず、害虫防除のうえではっきりした成功と言えるような結果はもたらさなかった。もし、天敵利用の技術と理論が生態学的に確立されたものであったならば、その成功、不成功の見通しは、より早く得られ、それからも天敵利用の試行錯誤の過程はより少なかったのではなからうか、と思わざるをえない。

一方、農薬の目ざましい発達はこうした生物的防除の成果の多くを、実質的に無用にしてしまった。そうしてここでは生態学はほとんど問題にされなかったように思える。

しかし化学的防除は生態学とは無関係だろうか。しばしば誤解されているのとは反対に、化学的防除にも害虫やほ場とその環境条件についての生態的知識は不可欠であった。どのような性質、剤型の薬剤を、いつ、どのようにして使用すればもっとも効果が大きいかということは、対象害虫とその生息する環境についての生態的知識を十分に持ったうえでなければ決められない。わが国の害虫の種の生態についての多くの知見は、このための作業の中で得られた。ただし、これもいわば生活史学と環境生理学の協力の成果ということもできる。それは生態学的研究と事新しくいう必要もないほど、当然のことであった。応用昆虫学者であると同時に生態学者としてもよく知られる CHAPMAN (1931) の研究などは、ここに位置づけることもできる。

このような状況の中で、生態学が害虫防除の基礎として説得力を持ち始めたのは、個体群研究の発展以来ではなからうか。

害虫防除を、ほ場や植林地における害虫の種個体群の制御であると考えたとき、個体群生態学が害虫防除理論の基礎になりうることは、だれの目にも明らかなように思われる。その方向に沿って推進された、カナダのトウヒノハマキ防除のための研究計画 Green River Project は、生態学の基礎、応用両方の面からよく知られている (MORRIS, 1963 など)。

1960年代から1970年代前半にかけての個体群生態学の最盛期には、農学の分野でも生態学の分野でも、個体群の研究を進めることが、害虫防除の方法論を確立することに直結すると素直に信じられているところがあった。その具体的な方法として、繁殖能力の調査、自然死亡要因の検出と生命表の作成、移動分散の実態調査などのさまざまな面についての野外調査と、当時から急速に

発達し始めていたコンピューターの活用による個体群モデルの研究とそれによる個体群の動きについての思考実験が、世界各国で進められた。

この個体群生態学の発展は、各種の害虫をはじめとする動植物の自然個体群について、非常に多くの知見をもたらした。同時に、これからの害虫防除の目指すべき方向とみなされるようになった害虫の総合防除は、それを支える2本の柱の一つを、この個体群制御理論と、それから作られた技術においているといえよう。

II 経済的被害水準と総合防除

前節で述べた総合防除を支えるもう一つの柱は、いわゆる経済的被害水準 (EIL) である。防除をすることが農業経営上有利になる限度を示すこの水準は、防除の実施とその方法の選択にあたっての意志決定の決め手になる。この分野が個体群制御の研究に比べてはるかに遅れていることが、総合防除の推進のうえでの大きな障害になる。この方面の研究が遅れている理由は、農作物害虫の場合いろいろとあるだろうが、わが国の場合は特に、米を除く農産物価格の不安定さ、さらには農産物の輸入自由化問題をはじめとする日本の社会の中における農業の位置のめまぐるしい変転にあるとも言える。しかし種種の困難の中でも、経済的被害水準についての実証的な研究は徐々に進んでいる。そうしてこの分野の中の生物学的側面は生態学の貢献できる部分が大きい。植物生理生態学あるいは生産生態学と病害虫防除技術との協力がよりいっそう期待される。

しかし害虫の加害のしかたが多様であるうえ、害虫による被害が単に食害による植物体の損失という単純なものではなく、植物の反応特に個体レベルと個体群レベル

第1表 害虫の被害解析の1例—ミカンハダニによるミカン成葉 (硬化直後) の被害程度と光合成能力との関係 (西野・大串, 1977)

葉の被害程度	測定葉		見かけの同化量 (lx)		呼吸量	真の同化量 (lx)	
	葉数	面積 (cm ²)	8,000	30,000	暗黒	8,000	30,000
被害程度 40	5	82.5	3.64	5.24	3.07	6.71	8.31
〃 60	5	83.5	3.60	5.18	3.16	6.76	8.34
〃 80	7	92.9	2.73	5.05	4.03	6.76	9.08
〃 0 (健全葉)	6	102.5	2.88	6.07	3.24	6.12	9.31

1) 被害程度は被害指数で示す。これはミカンハダニの吸収による葉の白化程度を指数0 (無被害) から100 (全面白化) まで6段階に分けて示すもので、外見上の被害の程度を表す。

2) 供試葉は春葉で、光合成量は 100 cm² 当たり1時間に同化する CO₂ の量を mg 単位で示す。

での補償作用なども加わって複雑な様相を呈する。このような問題こそ、植物生態学が長年にわたって研究してきた植物個体群や群落の生産問題の応用である。そうして作物や林木の個体群や群落の成長や収穫にかかわる諸問題の解析が、まず被害の形式が単純な食葉性害虫を中心にしだいに解明されてきている（立花・西口，1968ほか；第1表もその一例）。これを収穫物の価格変化と結び付けて農家の収入を推定し、一方で防除経費の推算と組み合わせて防除の経済性を判定する過程にはまだ種種の困難はあるが、あえてこの問題に立ち入った研究例あるいはその実用化の例も、若干見られるようになった（ARMBRUST, 1978 など）。

こうして設定された経済的防除水準と、害虫の個体群制御技術を組み合わせたものが、よく言われる総合防除である（深谷・桐谷，1973；大串，1974；桐谷，1981）。

農業、天敵、耕種の方法などの各種の防除手段を適切に組み合わせて、害虫の密度を経済的被害水準より低いところにとどめておくという総合防除の考えかたには、異論のある人はあまりいないだろう。しかしながら、この定義は非常に弾力性のあるものであるために、逆に見れば理想的な害虫防除は、どんなものであってもなんらかの形でこの定義に合わせることができる。したがって害虫防除の究極の形を、この総合防除システムの完成といっても、それだけではあまり意味がないようにも感じられる。

III 害虫防除に生態学はどんな貢献をしたか

ここで今までの問題を振り返ってみよう。害虫防除技術の発展のうえで、生態学はこれまでにどのような貢献をしてきたのだろうか。

ここで私は——私だけの主観かもしれないが——なんとなく苦い反省の気持ちにとらわれる。生態学、特にここ20年余りその発展の中心となり、農業技術の方面からも大きな期待をかけられてきた個体群生態学は、具体的にどのような役にたったのだろうか。

もちろん、この間にも害虫防除の研究はいろいろな面で成果を挙げてきた。従来からの重要害虫の大きな被害を抑える一方、イネミズゾウムシをはじめとする新害虫の防除対策を立て、チャノキイロアザミウマをはじめ不明だった虫害の原因を解明してきた。不妊法やフェロモン利用をはじめ有効な新技術も開発され、活用されるようになった。発生子察の方面でも、防除所の統合など以前と違ってきたシステムの中で、また対象病害虫の範囲の広がった中で、病害虫の発生動向の監視が続けられている。そうして害虫の生息密度は一般的には低下し、大

きな問題となる発生は少なくなっている。カメムシによる斑点米のように、どちらかといえば自然条件よりも社会条件の変化によって問題化した虫害もあるが、わが国の害虫防除技術はいちおうその責任を果たしていると言ってもよいのではなかろうか。

しかしこれらの成果は、主として農業の開発とその使用法の改善、野外における各種害虫の生活史と生息条件の解明を中心とする自然史的知見の進展ならびに大型農業機械の導入によって成し遂げられたものではなかろうか。個体群生態学は確かに若干の重要害虫の密度推定や個体数変動の説明には有用であったが、予測と防除にはどのくらい役だったのだろうか。そうして個体群研究を害虫防除に実際に役だたせるためにさらに推進してゆく前に、生態学界では個体群研究の時代は去って、あるものは自然群集における種の多様性の意味を問うために生物群集について種々のモデルを考え、また他のものは行動と社会の問題への関心の高まりの中で行動生態学（あるいは社会生物学）の方面へ移ってしまったのではなかろうか。

個体群ブームが去るとともに、総合防除もなんとなく影が薄くなった印象を受ける。もちろんこの問題の研究者や現地技術者の間では今も研究と実用化への努力が続けられているように思われるが、その成果が社会の人たちに伝えられることが少なくなった。このようにじみで労力と費用のかかる分野を着実に発展させる前に、日本の社会に、農業の将来について二つの極端な見かたが育ってきたように思われる。その一つがバイオテクノロジーへの性急な期待であり、もう一つが自然農法に対する独得の信仰である。これらはいずれも、この20年間の病害虫防除技術とは別の基盤に立っているように思われるが、無視することはできない。

その中でも最近のバイオテクノロジーに対する期待の過熱状態は、広い視野に立ってバランスのとれた発達をしなくてはならない害虫管理の研究をゆがめはしないかとの不安を抱かせる。そのようなゆがみがなければ、現在の生物工学は総合防除のシステムの中で活用できる有力な防除手段を多く作り出す可能性を持っている。また自然農法は個々の技術よりも、単に病害虫防除だけにとられない農業経営の考えかたの面で聞くべきものを多く持っているが、この運動は個々の実践者の特殊性が強く、その中からより広く共通な害虫管理の方向を探るには、まだ時間がかかるように思われる。

総合防除技術をいかに推進するか、生物工学の新展開をどう取り入れてゆくか、現在の技術の方向に反省を迫る自然農法の主張にどう答えるか、このいずれもが今の

ところ現在の生態学の主流と別の世界で行われているように見えることは、害虫防除の面からも、生態学の面からも不幸なことに感じられる。

以上のように考えてみると、この 20 年来、害虫防除の方面で大きな期待をかけられてきた生態学からする防除技術の推進は、どうも期待されてきたような進展を見せなかったように思われる。なぜそうなったのか、これについてさらに考察することが、生態学を専攻する側のわれわれの責任であろう。

IV 生態学に何が期待できるか

これまでの害虫防除と生態学とののかわりを述べてきて、今後の問題を検討する段階に及んだ。標題にあるように、生態学に期待されるものは何かということである。

この、期待される、ということには二つの意味がある。このごろよく使われる言葉を借りるならば、“戦略的”に役だつことが期待される場合と、“戦術的”に役だつことが期待される場合である。言い換えれば、生態学の研究上作り出された手法が害虫防除技術に応用されて効果を上げるような場合、例えば野外個体群の密度推定技術とか、自然個体群の変動モデルが害虫に適用されて発生予測を正確にし、防除上有効であったとすれば、“戦術的”に役だったと言えよう。

それに対して、生態学の立場から耕地生態系（あるいは農生態系 Agro-ecosystem）という概念に基づくプランをまず立てて、ほ場の害虫—作物系の諸要素をそのプランによって組み立てた系を仮定し、その系を人間に有利なように操作してゆこうとするのは、いわば“戦略的”な応用と言える。この過程では必ずしも直ちに害虫が減ることはないが、究極的には虫害の問題も環境汚染の問題も解消することを理想とする。このような場合、生態学は直接に害虫を減らすための有用な技術を出したわけではないが、害虫防除の目的には大きく役だったことになる。

害虫防除上有効な個々の技術を作り出すことももちろん大切であるが、生態学は今のところこの方面ではあまり役にたっていない。むしろ生物学の他の分野、遺伝学や発生生理学、行動生理学から引き出された技術が有用性を示すことが多い。そうしてまた、生態学の本来の分野であるところの、野外（ほ場）における防除技術の使用法の改善の場合も、特に生態学を意識しない農業技術改良の努力の中でおのずから作り出されることが多い。このような点が、害虫防除に従事する技術者の間での生態学に対する失望あるいは不満として現れることも

あるように思われる。しかしこれはいささか早合点で、害虫防除の仕事の中における生態学の役割は、また別のところにある。それは、生態学の中で形成されてきた自然観に従って、現在の害虫防除の問題を見直すことである。

生態学といってもさまざまな方面を含んでいるが、少なくとも特定の応用分野に限定されていない研究者が対象として見ている生物と自然とは、農業技術者の見ているものとはかなり違っていることを、この両方の分野にかなり長期にわたって身を置いたことのある私は、切実に感じる。どちらが悪いとか良いとかいうのではなく、それぞれの立場で仕事に集中すればどうしても避けられない視点の違いである。

農業技術者にとっては、農作物とその立地であるほ場が世界である。ほ場の周りの自然はその世界とは無関係ではないが、それ自体はいわばブラックボックスであって、ほ場との間に起こる入出力だけが問題である。一方、野外の自然を対象とする多くの生態学者にとっては、この関係が逆になる。つまり自然の中に入り込んできているほ場（場合によっては植林地なども）がブラックボックスになり、そこから自然の中へ出て来るもの、例えば農業の飛散や肥料の流出だけが問題になってくる。こうして農林業の活動と自然保護運動との間の、絶えることのない対立が生じる。もちろん、この問題は農耕地や植林地と自然環境の間ばかりではなく、自然環境と都市、工業地域、レクリエーション地域などとの間でも、あるいはそれらの相互の間でも生じているが、農耕地と周りの自然環境との場合、一般にはどちらも生物を大きな構成要素としている関係上、特に複雑な問題を引き起こすように思われる。そうしてこの問題が、今後さらに人口が増え、狭くなってゆく地球上で農業を続けてゆくうえに、ますます重大なことになってゆくだろう。この問題を、農業と自然環境の両面から見つめてバランスをとってゆく仕事は、生態学にもっとも期待されるところではなかろうか。

V 個体群管理から群集管理へ

ここで私は、これまで害虫防除にあたって取り上げられることの少なかった一つの見かた、耕地生物群集あるいは耕地生態系について検討してみたい。これは害虫の防除が、現在言われている総合防除の多くの部分も含めて、問題となる害虫の種個体群の制御であるという暗黙の了解を見直すことである。

害虫個体群を制御することによって虫害を防止しようということ自体は、その防除作業が周辺の人間生活や自

然環境へ悪影響を及ぼさないように十分配慮されたものであれば、別にまちがったことではない。そうしてこの問題を解明するためには、まず防除の対象となる単一種の害虫とその環境としての寄主作物とは場という単純な系を取り出して研究することも、科学の方法としては当然である。しかしそれを実際の野外に適用する際に生じる問題点が、予想以上に複雑であったと言えるのではなからうか。それは個体群の研究を積み上げてゆくのでは不十分で、初めから生物群集あるいは生態系の問題として取り上げる試みも必要であったのではなからうか。もちろん、そのような試みはどちらかといえば個体群研究が急速に発展し始める前には、ある程度行われていた。しかし、そのような研究は単なる種名の羅列と記録だけの（しかも不完全な）ものであって、防除のうえになんの役にもたたぬもののように思われた。実際そう思われてもしかたのないものだった。いまさら、そのようなレベルのしごとを始めることは、科学技術の退化でしかないと感じる人も多いだろう。

そうしてまた、現在の群集生態学の研究にあたって、群集を構成する全部あるいは大半の種を取り上げることは、種の同定の問題一つを考えても非常に困難であって、實際上不可能に近い。そこで群集の中の一つまたは少数の種類だけを取り上げて研究するのが現実的な群集研究の有効な方法と考えるものもある。そうして、自然群集の中にも、このように比較的単純な少数の種の組み合わせを分離して研究しても、よくその動きを解明できるものもある。総合防除についてみても、このように少数（あるいは単一）種個体群を対象として成功するような場合もある。しかし、すべての種がそうとはいえない。

例えば、自然のシミュレーション・モデリングの初期の協力研究を集めた島津ら（1975）の本の中に挙げられた総合防除の2例、ツマグロヨコバイとヤノネカイガラムシの防除システムの成功は、これらの種が野外の害虫としては比較的単純な系の中に置かれているということ抜きにしては考えられない。ヤノネカイガラムシの場合についてみると、この種類の寄主選択の幅の狭さ、日本に侵入してから期間が短く自然環境の中での複雑な種間関係が成立していなかったこと、増加すると密度効果の働く前に寄主植物を枯死させるという暴走型の生態を持つことなどが、この害虫と寄主植物だけの単純な系の独立性に影響していると考えられる。このことはほぼ同時期の侵入害虫で、同じ寄主植物につくルビーロウムシと比べてみるとよくわかる。

ここに、総合防除の将来を考えるうえでの重要なヒン

トがあるように思う。それは、害虫を巡る系が比較的単純で独立性の高いものと、複雑で自然の生態系に深く組み込まれているものがあることである。前者では総合防除のシステムも考えやすく、効果もあがる。しばしば言われるように、侵入害虫に対して導入天敵を用いて防除すれば効果があがることが多いのに対して、在来害虫に在来天敵を用いても容易に防除効果があがらないということも、この問題の一面を示したものであろう。いわばその地域の生態系に深く根を下ろしている害虫に対しては、従来の個体群アプローチでは解明できないところが多いのではないと思われる。

そこで最後に、害虫を中心とした耕地生物群集の制御の問題に入る。

自然群集（あるいは生態系）がその構成要素の有機統合体であるのか、あるいは単に多くの種の偶然の集合であるのかということは、現在も生態学の中で論じられている。すべての生物群集をこの両方に分離することは無理だが、少なくとも、成立してからある程度の年月のたった群集では、その構成種の間にかなり相互依存的な種間関係が成立していると考えることができる。

こうした生物群集の中では、1種の害虫だけを制御しようとしても、影響が他の多くの種に及ぶことは避け難い。農薬散布が対象害虫以外のものに及ぼす影響はいろいろな形で報告されている（例えば、大串ら、1965 など）。そうしてそれを、群集内の害虫、天敵、一般生物などの各種の個々の個体群レベルで把握することはほとんど不可能である。これまでとは違った形で群集の受ける影響またはその反応を表す指標を考案する必要がある。

これは見かたを変えれば、環境の生物指標の問題である。そうしてここ 20 年余り、環境問題が社会に大きく取り上げられるとともに、さまざまな形で生態学あるいは広く環境科学の中で研究され、あるいは実施されてきた。農林業の方面では水や大気汚染との関係が進められてきたが、害虫防除の方面とはあまり関係がなかった分野である。このような環境資源の価値の変動という形で、病虫害とその防除対策の影響を総合的に判断し、虫害防除の方針を立ててゆくことが、今後の生態学と害虫防除との結合の基本的なものと私は考えている。

引用文献

- ARMBRUST, E. J. (1978): Pest Control Strategies (SMITH & PIMENTEL eds.), Academic Press, New York & London, pp. 85~100.
 CHAPMAN, R. N. (1931): Animal Ecology with Especial Reference to Insects., McGraw-Hill Book Company, New York & London, pp. 464.

深谷昌次・桐谷圭治 (1973): 総合防除, 講談社サイエンティフィック, 東京, pp. 415.
 桐谷圭治 (1981): 関東東山病虫研報 28: 3~5.
 城所 隆・桐谷圭治 (1982): 植物防疫 36: 5~10, 49~54.
 KREBS, C. J. (1972): Ecology, The experimental analysis of distribution and abundance, Harper & Row Publ., New York, Evanston, San Francisco, London, pp. 698.
 MORRIS, R. F. ed. (1963): Mem. Ent. Soc. Canada 31:

1~332.
 西野敏勝・大串龍一 (1977): 九大・えびの高原野外生物実験室研究業績 2: 1~9.
 大串龍一 (1974): 生物的総合防除, 共立出版, 東京, pp. 86.
 ———ら (1965): 九州病虫研報 11: 68~70.
 島津康男ら (1975): 自然の数理, 筑摩書房, 東京, pp. 310.
 立花親二・西口親雄 (1968): 森林衛生学—森林昆虫学の進むべき道—, 地球出版, 東京, pp. 233.

新しく登録された農薬 (60.8.1~8.31)

掲載は, 種類名, 有効成分及び含有量, 商品名(登録年月日), 登録番号〔登録業者(会社)名〕, 対象作物: 対象病害虫: 使用時期及び回数などの順。ただし, 除草剤については, 適用雑草: 使用方法を記載。(…日…回は, 収穫何日前まで何回以内散布の略。(登録番号 16080~16093 まで計 14 件)

『殺虫剤』

リン化アルミニウムくん蒸剤
 リン化アルミニウム 55.0%
 エピヒューム, エピヒューム小球 (60. 8. 9)
 16080 (帝人化成), 16081 (帝人化成)
 穀物類・豆類・飼料(倉庫・サイロ・船舶): コクゾウ・ヒラタコクヌストモドキ・マメゾウムシ類: くん蒸
プロチオホス・マシン油乳剤
 プロチオホス 3.0%, マシン油 90.0%
 シルビーワン乳剤 (60. 8. 23)
 16082 (トモノ農業), 16083 (日本特殊農業製造)
 なし: ハダニ類: 休眠期
ダイアジノン・ピリダフェンチオン・BPMC 粉剤
 ダイアジノン 2.0%, ピリダフェンチオン 2.0%, BPMC 2.0%
 ダイオフパッサ粉剤 DL (60. 8. 23)
 16084 (サンケイ化学), 16085 (北興化学工業)
 稲: ツマグロヨコバイ・ウンカ類・コブノメイガ: 21日 3回
マラソン・BPMC・IBP 粉剤
 マラソン 2.0%, BPMC 2.0%, IBP 2.0%
 ホップメート粉剤 DL (60. 8. 23)
 16087 (クミアイ化学工業)
 稲: ツマグロヨコバイ・ウンカ類: 21 日 4回
クロルピリホスメチル・NAC 粉剤
 クロルピリホスメチル 2.0%, NAC 2.0%
 レルダンナック粉剤 (60. 8. 27)
 16092 (日産化学工業), 16093 (北興化学工業)
 稲: ニカメイチュウ・コブノメイガ・ツマグロヨコバイ・ウンカ類・イネドロオイムシ・イネツトムシ: 45日 2回

『除草剤』

メチルダイムロン・2,4-PA 水和剤
 メチルダイムロン 50.0%, 2,4-PA 12.5%
 スタッカーD水和剤 (60. 8. 27)
 16088 (エス・ディー・エス バイオテック)
 日本芝(こうらいしば): 一年生広葉雑草及びハマスゲ: 雑草生育期
メチルダイムロン・DCMU・2,4-PA 水和剤
 メチルダイムロン 25.0%, DCMU 30.0%, 2,4-PA 15.0%
 ファンタックスA水和剤, クサノンS水和剤 (60. 8. 27)
 16089 (エス・ディー・エス バイオテック), 16090 (武田薬品工業)
 公園・庭園・堤とう等: 一年生及び多年生雑草: 雑草生育初期
カルブチレート・2,4-PA 水和剤
 カルブチレート 56.0%, 2,4-PA 27.0%
 タンデックスD水和剤 (60. 8. 27)
 16091 (エス・ディー・エス バイオテック)
 公園・堤とう・駐車場等: 一年生雑草及び多年生雑草: 雑草生育初期~中期(草丈50cm以下)

『誘引剤』

サーフルア 剤
 (Z)-9-テトラデセニル=アセタート 0.90mg/1個
 (Z)-11-テトラデセニル=アセタート 0.10mg/1個
 リンゴコカクモンハマキ性フェロモン剤 (60.8.23)
 16086 (武田薬品工業)
 りんご・もも・なし: リンゴコカクモンハマキ雄成虫: 誘引

特集：害虫防除と生態学〔4〕

害 虫 防 除 と 生 態 学

——森林害虫の総合管理——

農林水産省林業試験場関西支場 小 林 富 士 雄

害虫管理 pest management の概念が、その方法論とともに 明りょうに 意識されるようになったのは 20~30 年前からと思われるが (GEIER, 1966), 森林における害虫管理のほう芽は前世紀の半ばごろからすでにあったと言ってよい。森林昆虫学の父と言われているドイツの RATZBURG の Die Forstinsekten (1937 年初版) にもそれをうかがうことができる。もちろんこの著書の大部分は、当時の系統分類学の潮流に沿って発展した森林昆虫の natural history の記述にさかれている。当時ドイツでは針葉樹林の害虫発生が問題となり始め、その実態を調査することが森林経営のうえで必要であるという機運が生まれつつあったものと考えられる。ちなみに、中部ドイツのマツ林での 3 種の食葉性蛾類 *Dendrolimus pini*, *Panolis flammea*, *Bupalus piniarius* の 1 世紀にわたる有名な年間密度変動調査が開始されたのは 1881 年である。

害虫発生と被害の問題が研究の対象として意識されたのは今世紀に入ってからであり、多くの先駆的研究が行われた。この知見を基にアメリカの S. GRAHAM (1929) は名著 Principles of Forest Entomology において、森林の取り扱いによって害虫発生を制御するという方法論—施業的防除 silvicultural control—を整理した。GRAHAM の施業的防除論は多分に経験的知識に基づくものであったが、VOÛTE, KLOMP, MORRIS など近代生態学の研究成果によって科学的に裏づけられた。一方、今世紀初頭に行われた果樹害虫の天敵導入の成功例に刺激され、アメリカでは特に外来害虫の天敵導入の試みが繰り返された。第二次大戦後には航空機の利用による薬剤散布が森林害虫にも行われ、カナダのトウヒノシントメハキに対する大規模な薬剤散布は 1952 年以降現在に至るまで続いている。そのほか、微生物・フェロモンの利用が各地で試みられ、特に多角体病ウイルスや BT 剤による食葉性害虫の防除技術は各地で定着し、またクイムンの集合フェロモンの研究はアメリカと北欧諸国で華々しく発展している。

一方、農業害虫の薬剤中心の防除体系への反省として

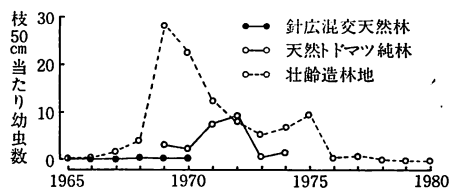
Pest Control and Ecology—Integrated Forest Pest Management—. By Fujio KOBAYASHI

起こった総合防除 integrated control の潮流は、森林害虫防除に対しては強い影響を与えたとはいえない。それは森林害虫防除に占める薬剤の比重が低かったことと、施業的防除の理念が確立していたことによる。最近はまだ森林という特有の構造と機能を持った生態系の特質に基づく害虫管理を指向する傾向にある。

I 森林と森林管理の特質

森林生態系を農地生態系と比較すると、空間構造・現存量・一次生産力が大きく、より自己肥培系が確立していることが挙げられる。何層にも分かれている上木樹冠のほかに灌木、下草、地下はそれぞれに応じた動物に餌と生息場所を提供している。このことは同時に、動物の特定種の個体数の収容力 carrying capacity が大きいことのほか、生活型の類似した多数の種の存在を可能にしている。森林生態系の原型である多くの天然生林では、植物相の多様性と同時に植物を餌とする一次消費者である昆虫相の多様性も高く、昆虫の特定種の大発生は異常な現象である。このような安定性は種内要因や天敵の働きに基づく密度調節作用でも説明できるが、基本的には食物、生息場所の量的・質的異質性に対する動物種の生活の対応の結果として生じたものと考えられる (山口, 1976)。

確かに、多数樹種の混交した天然林では、単純な人工林に比べ害虫が大発生しにくいことは経験的にも、また実験的にも (古田・小泉, 1975) ある程度認められる事実である。北海道のトドマツ壮齢造林地に 1965 年ごろから大発生したコスジョビハマキ *Choristoneura diversana* はその好例である。第 1 図に示すように、トドマツ人工



第 1 図 コスジョビハマキ幼虫密度の年次変動 (鈴木, 1979; 上条, 1980 より作図)

造林地では大発生が数年間続いたのにもかかわらず、隣接する広葉樹・トドマツ天然生混交林では低密度で推移した。また広葉樹を伐採しトドマツのみになった天然林では、害虫密度は高くなったが人工林ほどではなかった(鈴木, 1979; 上条, 1980)。

もう一つの例として、前種と同属である北米・カナダのトウヒ・モミ天然生林の大害虫トウヒノシントメハマキ *C. fumiferana* について述べる。カナダ東部では多くの寄主のうちバルサムモミが 50% 以上に優占すると本種の大発生の頻度が高くなる (MORRIS et al., 1963)。好適な餌であるバルサムモミが成熟してくるころ、暖かい乾燥した春が数年続くと個体群の増殖が始まり、捕食者からのエスケープが起こり爆発的な高密度となりモミの葉を食い荒し、その後個体群は元の低密度にまで崩壊する。このように、天然生林であっても害虫の大発生は起こるのであって、天然林、人工林を問わず樹種構成や年齢構成が基本的に重要である。

人類が森林生態系の一員として生活していた時代はもちろんのこと、森林の外に定住し農耕生活を始めてからも、森林は自然物であり、破壊の対象とはなっても管理の対象とはならない期間が長く続いた点が農耕地と異なる。管理の対象として意識され始めたのは数世紀前からのことであり、最初の森林管理は中世の封建領主が狩猟を主目的として始めたものである。木材生産を主目的として森林が管理されるようになったのはその後しばらくたってからである。森林と農耕地は自然生態系として見れば共通点も少なくないが、管理という視点から見ればかなりの違いがある。

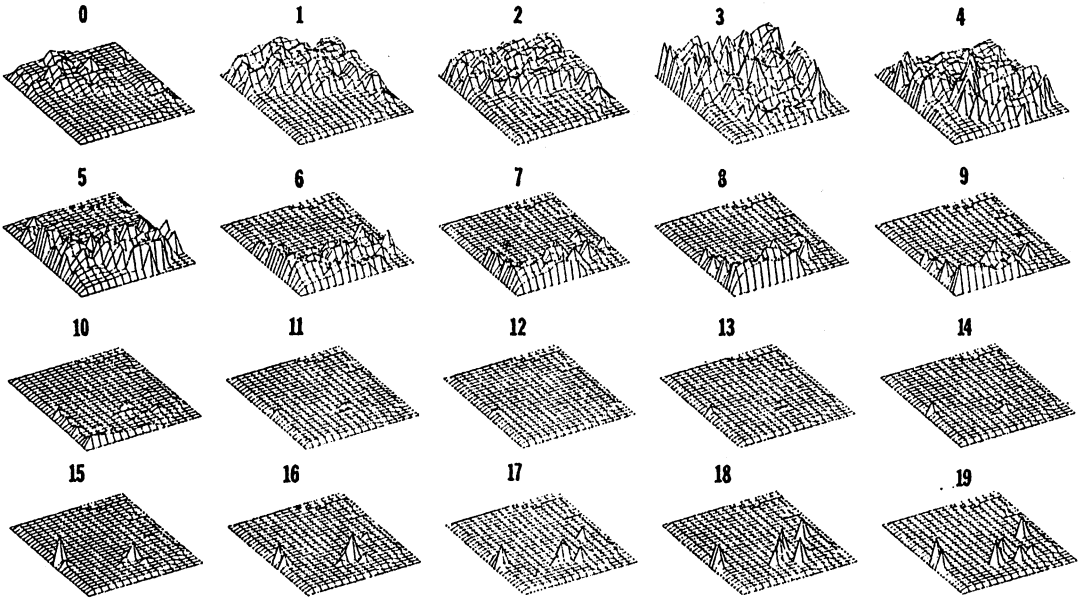
森林を管理する営為(これを広義の林業と考えてよい)の特質を、収穫までの時間、空間的な広がり、多様な用途(目的)の3点で整理してみる。この3点は後述する害虫管理の考えかたの基本となるからである。今ここで、育苗から始まる人工造林に限定して考える。収益を上げるまでに2年(マツ・スギ・カラマツ)、3年(ヒノキ)、4年(トドマツ)、5年(エゾマツ)程度のサイクルで回転する苗木生産業は、農業生産とほぼ同じと見てよい。10年前後のサイクルで収穫するクリスマスツリー、門松、ポプラなどの超短期林業から20年前後の小丸太(足場用丸太やパルプ材)の生産を目的とする短期育成林業は、一様な立木間隔と単一樹種という点で農業特に果樹栽培と似ているが、収穫が1回だけという点が基本的に異なる。構造材生産を目的とする標準的な人工造林地の収穫期は日本では50年前後であるが、最近では良質材生産を旨として100年以上の長伐期を指向する傾向が強くなっている一方、地力維持のためと連続し

た収穫を得るため他樹種と組み合わせてカラマツ・トドマツ、アカマツ・ヒノキ、スギ・ヒノキのような二段林(一般的には複層林)を作る試みが行われている。

このように林業は種子から成熟または収穫に至る時間が農業に比べると超長期の業である。40~100年という長い間、生長段階に応じた害虫群の攻撃にさらされるほか、火災・乾燥・洪水・降雪・強風・雷などの環境変化によって木の抵抗力が弱まりキクイムシなど二次害虫の攻撃を受けて枯死し、この枯死木で繁殖したキクイムシが健全木を攻撃し枯死木を増やすこともある。このように、森林における害虫管理は常に長期的なスパンで対処しなければならない。

森林が存在する位置と空間の広がりも管理上の制約である。一般に森林は道路も少ない過疎地帯に存在するため、頻繁な見回りや手入れは不可能である。航空機・集材機などの利用によるサーベイや林内作業の技術が向上してきたとはいえ、農地での作業能率とは比較にならない。また作物がこま切りに栽培されている農地に比べ、森林では同一の優占樹種が連続しているのが普通である。このため森林害虫の地域個体群の動態を、自然分布域内の広い範囲での個体群動態と連動して考えなければならないことが多い。カナダの New Brunswick 州で行われたトウヒノシントメハマキの個体群動態の例を示す (CLARK et al., 1978)。州全体を66平方マイル(17,000 ha)の地域ごとに分割し、それぞれの地域における19年間の個体群動態をシミュレートした。その結果は第2図のとおりで、それぞれが連動していることがよくわかる。地域個体群の動態は気象・森林条件、捕食者、成虫の移出入などに支配され、実際の大発生のサイクルともよく一致した。このような広域性は、後述するヨーロッパアルプスのカラマツ害虫ハイイロアミメハマキの例でも見られる。対象となった面積は、トウヒノシントメハマキでは約4万平方 km、ハイイロアミメハマキではその約2倍である。

時間・空間の問題のほか、森林管理の特性のもう一つ重要な問題は、森林の用途(管理目的)が複雑なことである。農業の主目的が自家用にしろ商品にしろ、作物生産を最大限にすることであるのに対し、森林管理の主目的は作物(木材)生産のみにとどまらず、治山・治水・水源かん養・防風・防災・野外レクリエーション・騒音防止・野生動物管理などにわたる。国民生活上特にこれらの諸機能を維持する必要がある森林については、各国とも保安林などに指定し各種の施業制限を課しているほか、指定を受けない森林でも国や地方自治体の森林計画制度によって伐採時期・伐採面積の制限を課している国



第2図 トウヒノシントメハマキの個体群動態のシミュレーション (CLARK, W. C. et al., 1978; BERRYMAN, 1981 より引用)

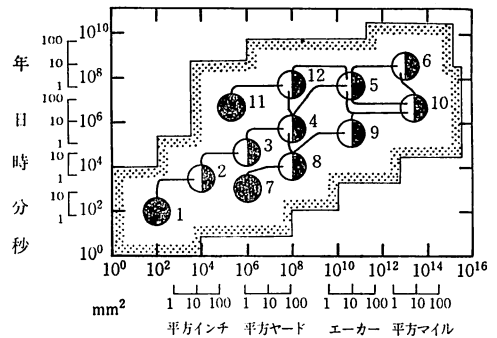
平面軸は分割された地域 (それぞれ 66 平方マイル) を, 縦軸は害虫密度を示す。

が多い。ちなみにわが国の保安林は全森林面積の約 30 % に達している。以上のほか, 最近は特に大衆社会の定着化とともに, 森林の管理について地域住民の同意を必要とするようになってきている。

翻えてわが国の森林について見ると, 国土面積の 68% という高い森林率を持ちながら, 人口 1 人あたりでは 0.2ha にすぎない。森林の内容できわめて特徴的なことは人工林率が各国に比べ圧倒的に高いことである。現在, 人工林面積は約 1,000 万 ha に達し, 森林面積の約 40% を占めている。これら人工林の大半は, 第二次大戦後営々として続けられてきた植栽造林によるものであるため, 全体的にはいまだ生育途上にあるといつてよい。林齢別に見ると, 現在なお 35 年以下の林が全体の 88% を占めている。人工林以外の森林の多くは奥地に点在し, 管理の対象となっていないものが多い。したがって, 現在の森林管理は生育途中の人工造林地を中心に行うものであり, 害虫管理の中心もこのような森林が主たる対象となると考えてよい。

II 林分の動態と生長予測

以上述べたように森林生態系は時間・空間的な広がりを持つため, 森林害虫を管理するためには森林生態系の時間・空間変動の特徴を把握し予測することが必要である。森林生態系の時間・空間関係は第3図のようなシ



第3図 森林害虫管理の時間・空間関係のシエマ (STARK and WATERS, 1985 より引用)

マで示すことができる。このシエマは, 時間と空間が交互に作用し合い閾値や飽和点を数多く持ち, また状況に依存する時間のズレを持つため, 一次的な関係にならないことを示している。western pine beetle (*Dendroctonus brevicornis*) の管理を考える場合の生態系の範囲は, 面積で 10^{14} (1,000 平方 km), 時間で 10^{10} (3,000 年) に及ぶ (WATERS et al., 1985)。このような広範なシステムは概念的で複雑すぎるため, システムを時間・空間的に細分割し, 小規模なモデルを使わなければ実用にならない。害虫管理を考える場合の基本単位としては, 時間的には標準的な伐期齢, 空間的には次に述べる林分を

用い、これを害虫の種に応じて縮小または拡大してゆくのがよい。

実際の森林管理が行われる空間の基本単位としては林分 (stand, Bestand) が用いられる。林分は生態学的には樹種・樹齢構成、土地条件がほぼ均質で周辺の森林と区別できる樹木群の単位をいうが、経営的にはこのほか、作業種 (更新・手入れ・伐採のやりかたの組み合わせ) や生産目標なども加味される単位である。わが国では普通 1 ha 以上であり、それ以下は小林分として分けることが多い。一つの林分の特性は、昆虫個体群と同様に、種構成、密度、樹齢・大きさの分布、出生・生長・死亡率などであるが、これを数量的に表す母数は胸高直径、樹高、材積のほかときにより樹冠投影面積とそれらの時間変化率であり、それぞれは平均値と偏差で集約される。害虫管理の場合には、このほか害虫および被害の発生に関与する立地条件、遺伝的特性、材質などが重要である。

森林管理の例として、特徴的な三つのスギ林業地について述べる (第4図)。超密植、軽度間伐の繰り返し、長伐期による良質大径材生産の吉野林業 (奈良県) の対極にあるのが、超疎植、大径材早期生産の飫肥林業 (宮崎県) であり、密植、短伐期によって小丸太生産をするのが西川林業 (埼玉県) である。歴史的、地理的に異なる経営条件がこのような特徴ある保育形成を育ててきたものであり、これに応じて林分の特性値が変わるのは当然

である。

立木密度 (ρ) と単位面積当たり幹材積 (V) との間には、次のような式で表される密度効果が認められている。

$$V = k\rho^{1-a} \quad (k, a \text{ は定数})$$

密度効果によって、樹齢や土地条件に関係なく、樹種によって決まる最多密度曲線のあることがわかっている。最多密度を超えると自然間引による密度調節が起こる。保育管理はこの曲線の内側で行われ、その形はすでに述べた生産目標によって異なる。このように生態学の密度理論から発展した林分密度管理図が作られ、間伐指針の決定のほか、材の収量や形質の予測もある程度可能になっている。

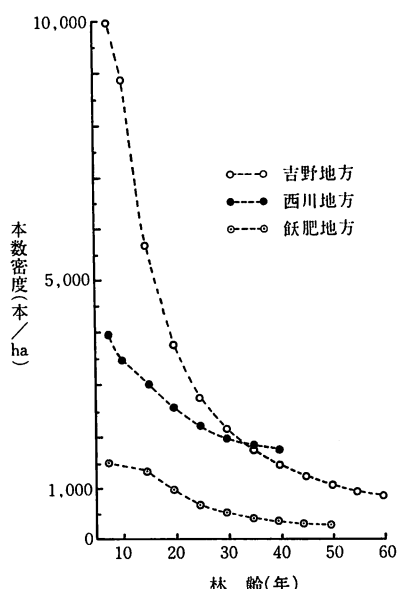
林分の生長は密度のほか数多くの立地環境要因に支配される。1960年代からコンピューターと数量化理論によって、数多い立地環境要因の要因分析が行われ、従来経験によっていた地位指数の推定がかなり高い精度で可能になった (西沢ら, 1966)。このような推定地位指数や林分密度管理図などのほか、リモートセンシング技術の発達により、林分の動態を数量的に把握し予測することが可能となってきた。

III 森林昆虫の個体群動態

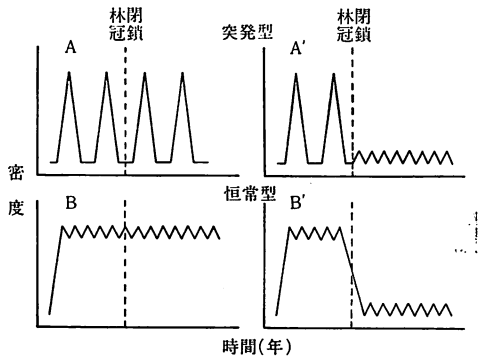
森林昆虫の個体群動態は、野外の昆虫個体群の変動理論の研究対象として扱われた例も少なくないが、害虫管理という実用面でも重要である。害虫管理上必要とされる個体群動態の調査は、当面の防除要否を決定するために役だつと同時に、長期性を持つ森林にあっては特に、長期変動の予測に役だつものであることが要請される。

森林に生息する昆虫の多くは、環境に大きな変化がないかぎり、自然調節による平衡密度の前後を変動しながら推移する。これが被害許容限界内にとどまっていれば害虫ではないが、このような潜伏型のものでも環境の大きな変化、特に人為によって新しい環境系が作られたため害虫化することがある。例えばスギハマキ *Homona issikii* は、かつては寄主植物が不明であったほどまれな種であったが、昭和30年代に始まった林木育種事業に伴って、スギの接ぎ穂を能率よく採取する目的で、低木仕立て・密植の採穂園を作ったために異常発生したと考えられる。

森林害虫の発生パターンは、密度の急激な増加と消滅を繰り返すもの (突発型) と、高い平衡密度が長期間続くもの (恒常型) とに大きく分けることができる (第5図)。前者はマツカレハ、マイマイガ、スギドクガなど食葉性害虫に多く、後者はスギノハダニ、トドマツオオア



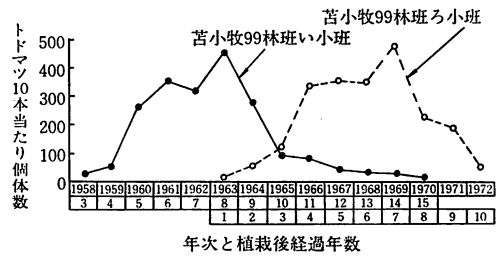
第4図 有名林業地におけるスギの本数密度管理 (安藤ら, 1968)



第5図 人工植栽林における害虫密度の年次変動のシエマ

ブラムシ、スギタマバエなど吸取性害虫に多い。せん孔性害虫のうち二次性の高い種類は、ときにより突発型となったり恒常型となったり不定であるものが多い。これは強風や乾燥などによって生ずる餌（倒木や衰弱した立木）の量の増減が不定であることによる。突発型であれ恒常型であれ、樹冠の閉鎖時期を境として密度が変化する種とそうでない種がある。植栽後ある時期まで恒常型発生をするトドマツオオブラムシは場所や年次が異なっても同一の発生パターンをたどる（第6図）。従来欧米での森林昆虫の長期密度変動の研究は、餌量があまり変化しない天然林または択伐林で行われたものであるが、植栽によって成立した人工造林地の多いわが国では、餌量が幾何級数的に増加する樹冠閉鎖までの時期と、これを境として急激に変化する下層植生や林内微気象が昆虫の個体群動態とどのような関係にあるかを明らかにすることが必要である。

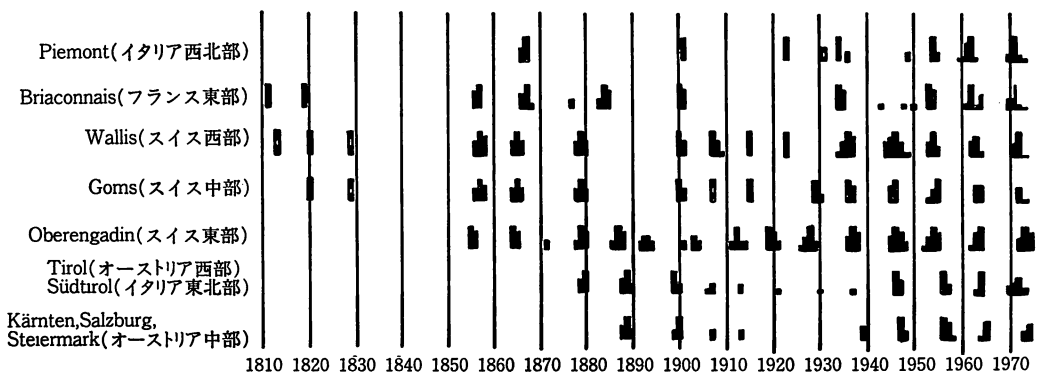
恒常発生型の害虫管理のためには平衡密度の高さとそれを決める要因を、突発発生型の害虫管理には発生の頻



第6図 トドマツオオブラムシ密度の年次変動 (山口, 1976)

度と発生密度の高さを決める要因を知り、予察のためのモデル化をすることが必要である。よりよいモデルを作るためには、さらに要因の働きかたを知ることが求められるが、生命表に基づく変動主要因の分析や密度依存性の検出法はモデル化の有力な武器となる。

次に、森林昆虫の個体群動態にとって分散の問題はきわめて重要である。ヨーロッパアルプスのカラマツ害虫ハイロアミメハマキ *Zeirafra diniana* はほぼ8~9年の周期で大発生を繰り返している。過去150年以上の記録や資料から推定して作られた第7図 (BALTENSWEILER, 1978) に見られるように、大発生はフランスアルプスからスイスアルプスを経てオーストリアへと常に西から東へ向かって移動してゆく。この機構は必ずしも長距離移動だけで説明できるわけではないが、成虫の最大飛しょう距離が実験的には1日に50 kmに達することから、その可能性は否定できない。このような長距離の移動は別としても、個体群動態に果たす分散の役割とそのしかたを知ることが、周辺の林分の配置計画による害虫管理を行うのに役立つ。



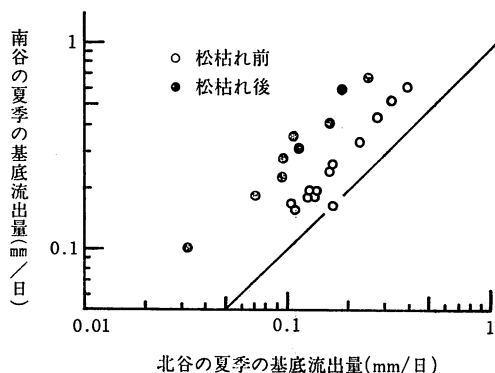
第7図 ヨーロッパアルプスにおけるハイロアミメハマキの大発生による被害推移 (BALTENSWEILER, 1968)
縦軸は被害度を示す。

IV 森林害虫のインパクト

森林の害虫管理の目的は、対象とする森林の被害を軽減することであるが、森林の被害をどのように評価するかはきわめて複雑である。特に公益的機能は評価が難しいし、また害虫による影響はマイナスばかりでなくプラスの場合もある。したがって、被害というより影響力 impact という用語のほうが適切である。特に公益的機能へのインパクトは機能に与える影響量で評価すべきものであって、その意味では農業害虫という経済的被害水準の概念とは異なる。

森林の公益的機能のうち代表的な理水機能に与えるインパクトの例を述べる。第8図は岡山県下の二つの隣接した量水試験地において松枯れの前後の流量変化を測定した結果である。南谷は 1975~82 年に松くい虫のため松がほとんど枯れたのに対し、北谷はもともと松がほとんどないため同期間に著しい植生変化の起こっていない集水域である。図の基底流出量（無降雨が続いた場合の流出量）は夏の場合だけを示してあるが、南谷の基底流出量は松枯れ後、冬 1.5 倍、夏 2.0 倍、年間を平均すると 1.7 倍に増加している（阿部・谷, 1985）。植生の減少が蒸発散量の低下をもたらしたためと考えられる。このように、渇水期での水供給量が増加したので松くい虫はプラスのインパクトを与えたことになるが、一方、降雨後のピーク流量は松枯れ後 1.2 倍に増加しているのでマイナスのインパクトを与えたということになる（阿部・谷, 1985）。他方、野外レクリエーションや風致機能を重視する森林にあっては、数本の松枯れが重大なマイナスインパクトを与えることもありうる。

生産林でのインパクトは害虫の加害様式によってかな



第8図 松枯れ前後の基底流出量の変化(阿部・谷, 1985)

南谷は松枯れの激害を受けた集水域、北谷は松枯れのない集水域。

りの幅がある。インパクトは立木の枯死、生長遅滞、木材の変型・変質、種子生産量の低下の4種である。このうちインパクトの数量化がほぼ完成しているのは食葉性害虫による枯死と生長遅滞である。これは人工摘葉などのモデル実験が容易であるためである。林木の場合、明らかな生長遅滞は失業率 50% 以上で起こることが一般に認められている。

マツカレハ 1 頭当たりの摂食量（食い落とし量を含む）は約 40 g であり（古野・大村, 1971），成林したアカマツ林の葉量は、1960 年代に行われた森林生産力調査によると 4~10 t/ha とされているので、アカマツ成林を 50% 失業させるマツカレハの密度は ha 当たり 5~12.5 万頭であり、この密度が木材生産林での要防除密度の下限である。このような食葉性害虫とは異なり、せん孔性害虫は最終生産物である木材への直接加害をするのでインパクトは大きい。例えばスギカミキリは立木を枯らすことはまれであるが、材内への加害によって、伐期に達したスギ・ヒノキ材の商品価値を著しく低下させる。被害林分内の成虫密度は ha 当たり多くて 2,000、一般に 200 前後であり（小林（一）ら, 1982），これでも大きなインパクトを与える。

V 森林害虫の制御技術

害虫管理を行うためには、密度を制御できる技術がなければならないが、森林の場合には、長期性や経営条件の制約のため、直接的な密度制御よりも自然制御に重点が置かれる。自然制御をより効果的に働かせる技術は長期的かつ省力的な効果のある場合が多い。今まで森林昆虫学が trial and error で追究してきた施業的防除法 silvicultural control, 森林衛生 Waldhygiene がこれである。施業的防除法とは森林の造成・保育・収穫のために森林に人為を加える機会を利用して、樹種・立地選定法、林分構成・配置法、伐採・更新法などをくふうして害虫の自然制御が働きやすい条件を作るものである。

山口（1973）はこれを種間関係（特に天敵）、食物条件、微気象の3要因の調整に分類し、自然制御のポテンシャルを高めるためには、森林の構成を複雑にして異質性を高めることが必要であると論じている。しかし、いずれの要因も固定的なものではなく、人為や時間・空間の広がりとともに変動することに注意しなければならない。大気象の変化や汚染大気循環に伴う食物条件・微気象のかく乱、大量移動に伴う種間関係のかく乱、異郷土からの侵入害虫による食物条件・種間関係のかく乱など外圧による変化のほか、森林の生長に伴う森林生態系内部の自己運動など、害虫密度の調節作用が森林生態系

の自然制御の限界を超えて大発生に至る機会はいすますます増加している。

したがって、森林害虫密度を制御するためには、施業的防除によるだけでは一定の限界がある。また個別経営上あるいは国民経済上の要請によって今後ますます森林生産量の増大が計画的に計られるすう勢にあり、特にわが国の林業経営の大半を占める若齢人工造林地にあっては、主として自然制御に待つという狭い意味の施業的防除技術のみでは十分ではない。そのため殺虫剤、行動制御物質、天敵など化学的あるいは生物的手法のほか、水・熱処理など物理的手法などを積極的に開発し利用することが必要である。

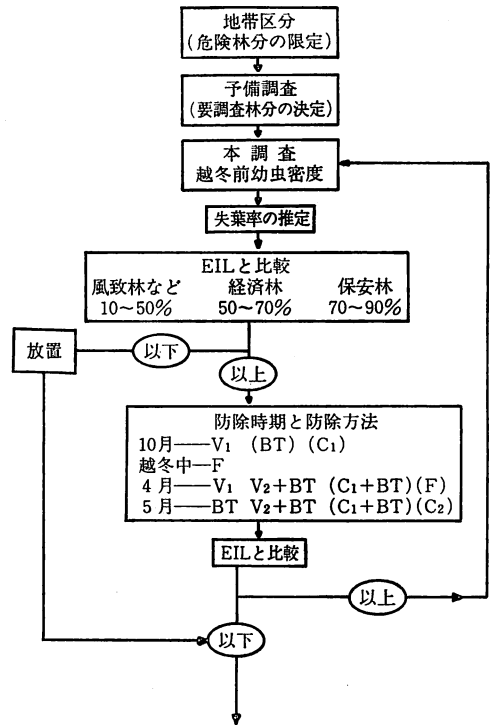
行動制御物質のうちキクイムシの集合フェロモンの研究は近年急速に進んでいる。アメリカでは *Dendroctonus* 属、北・中部欧州諸国では *Ips* 属のフェロモンによる大量誘殺の大規模な野外実験が行われているが、今までの結果では低密度時での密度増殖を抑える効果は認められるようである (BAKKE, 1983; PAYNE et al., 1985 など)。わが国ではマツノマダラカミキリのカイロモンが利用段階に入っている (池田ら, 1980)。

天敵昆虫の利用としては、害虫に遅れて発生する寄生性昆虫を早めに点々と放飼し、次世代以降の密度制御効果を期待する接種的放飼が、トドマツオオアブラムシ、マツバノタマバエのような恒常発生型の害虫には有望であり、マツカレハ、マイマイガのような突発発生型の害虫にエスケープが起こった場合には、ウイルス・糸状菌と BT の組み合わせが効果的である (農林水産技術会議, 1979)。

防除法を害虫管理システムに組み込むためには、それぞれの効果、コスト、環境に対する安全性の3点を中心に評価し、問題点を整理しておくことが必要である。

VI 森林害虫の総合管理を目ざして

森林害虫の大発生が起こるたびに、森林昆虫の専門家は緊急避難的な答案の提出を迫られる一方、自然調節機能を持つ森林を“かく乱”した林業経営者ないし森林行政担当者をひそかに非難するという、みずからの二重人格性に悩まされてきた。1960年代から登場した総合防除の概念と方法論はその有力な突破口であるように考えられ、1971年から5年間行われた国の別枠研究「害虫の総合的防除法に関する研究」の中で森林害虫の総合防除の研究が精力的に行われた。その一例としてマツカレハの総合防除のモデルを示す (第9図)。この例が示すように、いずれのモデルも基本的には防除要否を決定するためのオープンシステムであって、森林管理を含んだ総

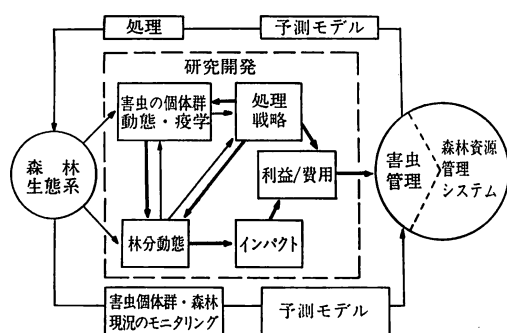


第9図 マツカレハの総合防除の手順 (小林・片桐, 未発表)

V_1 : ウイルス標準量散布, V_2 : ウイルス標準量の1/10の散布, C_1 : 低濃度の殺虫剤, C_2 : 標準濃度の殺虫剤, F: 黄きょう病菌 ()は特殊な目的の場合、または試験データのないもの。

合的なシステムモデルとはいえない。森林は長期的かつ多用途な資源であるから、一つの林分がこのモデルどりの手順によって防除が行われた後も、その結果が有効に利用されたり、ほかの林分にも有効に利用されるようなシステム、つまりフィードバック機能を持ったシステムでなければならない。

第10図はアメリカにおいてキクイムシの総合管理のために作られたシステムモデルを概念化したものである (WATERS and COWLING, 1976)。図の内側の枠内にある太線は、分析、シミュレーション、意志決定を行うための最初の情報のフローを示し、細線はフィードバックのフローを示す。ここで注目すべきは、利益/費用比のサブモデルに直接インプットされるのはインパクトと処理戦略の二つのサブモデルである点と、害虫個体群モデルと処理戦略モデルは林分動態モデルを通じてのみフィードバックされる点である。つまり林分動態 (具体的には林分動態を示す統計値) を通じてのみインパクトが評価



第 10 図 森林資源管理の一環としての森林害虫管理システム (WATERS and COWLING, 1976)

される。

このようなシステムを完成させるためには、多くのサブ (サブサブ) モデルの作成、入力するデータの収集・分析・管理・利用など、膨大な作業を伴うものであるが、これも最近発達著しいリモートセンシング技術、大容量のコンピューター、および端末機の普及によって現実のものとなってきた (WATERS and STARK, 1980)。アメリカではダグラスモミドクガ *Orgyia pseudotsugata*, マイマイガ, 2種のキクイムシ *Dendroctonus ponderosae* と *D. frontalis* ではすでに実用段階に入り、森林経営者は端末機での指示に従って行動を起こすことができるようになってきている。さらにアメリカ・カナダ共同によるトウヒノシントメハマキの管理システムも完成に近い。

現在わが国でインパクトがもっとも大きい森林害虫問題は、松くい虫による松枯れと、せん孔性害虫によるスギ・ヒノキの材質劣化である。前者については、定性的とはいえ総合管理の提案がなされているが (小林ら, 1981), 後者については、被害の全容もいまだ明らかではなく防除法の研究が整理されつつある段階にすぎない (小林, 1985)。幸いにして日本は世界に誇る森林計画制度を持っているので、森林害虫管理のシステム化は進めやすいと言えよう。各林分の現状が森林簿によって把握

でき、一部の府県ではコンピューター情報化されているので、当面は林分ごとの危険度区分 risk-rating を行うだけでも有用性は高い。

以上述べたように、森林害虫管理の最終目標は森林の機能を長期的・安定的に最大限に利用することであるから、害虫管理を森林資源 (機能) 管理の一環として位置づけること、すなわち総合管理に向かって一步を進めることが必要である。

引用文献

- 阿部敏夫・谷 誠 (1985): 日林誌 67: 261~270.
 安藤 貴ら (1968): 林試研報 210: 1~76.
 BAKKE, A. et al. (1983): Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 38: 1~35.
 BALTEWSWEILER, W. (1978): Allg. Forst- u. J.-Ztg. 149: 168~172.
 BERRYMAN, A. A. (1981): Population Systems, Plenum Press, New York, pp. 222.
 古野東洲・大村寿郎 (1971): 京大演報 42: 27~36.
 古田公人・小泉 力 (1975): 日林誌 57: 432~435.
 GEIER, P. W. (1966): Ann. Rev. Entomol. 11: 471~490.
 池田俊弥ら (1980): Appl. Entomol. Zool. 15: 358~361.
 上条一昭 (1980): 昆虫と自然 15: 10~14.
 小林富士雄ら (1981): 松が枯れてゆく—この異常事態への提言— (共著), 山と溪谷社, 東京, pp. 251.
 ——— (1984): Z. Ang. Entomol. 99: 94~103.
 小林一三ら (1982): スギ・ヒノキの穿孔性害虫—その生態と防除序説— (共著), 創文, pp. 166.
 MORRIS, R. F. et al. (1963): The Dynamics of Epidemic Spruce Budworm Populations, Mem. Entomol. Soc. Canada, pp. 332.
 西沢正久ら (1966): 林試研報 176: 1~54.
 農林水産技術会議 (1979): 害虫の総合防除法に関する研究, pp. 206.
 PAYNE, T. L. et al. (1984): Z. Ang. Entomol. 99: 39~43.
 鈴木重孝 (1979): 光珠内季報 39: 18~22.
 WATERS, W. E. and E. B. COWLING (1976): Integrated Pest Management (J. L. APPLE and R. F. SMITH eds.), Plenum Press, New York, pp. 149~177.
 ——— R. W. STARK (1980): Ann. Rev. Entomol. 25: 479~509.
 ——— et al. (1985): Integrated Pest Management in Pine—Bark Beetle Ecosystems, J. WILLEY and Sons, New York, pp. 256.
 山口博昭 (1973): 総合防除 (共著), 講談社, 東京, pp. 432.
 ——— (1976): 林試研報 283: 1~102.
 ——— (1978): 森林学 (共著), 共立出版, 東京, pp. 552.

次号予告

次11月号は「イネ縹葉枯病」の特集を行います。
 予定されている原稿は下記のとおりです。

1 イネ縹葉枯病をめぐる諸情勢と問題点

新海 昭

2 イネ縹葉枯病ウイルス

鳥山 重光

3 イネ縹葉枯病ウイルスの血清診断

大村 敏博

4 イネ縹葉枯病抵抗性品種

江塚 昭典

5 ヒメトビウンカの生態

伊藤清光・岡田斉夫

6 イネ縹葉枯病の流行機構

岸本良一・山田佳廣
 岡田斉夫・松井正春・伊藤清光

7 ヒメトビウンカの発生予察

高山 隆夫

8 関東地方におけるイネ縹葉枯病の発生と防除

村上 正雄

定期購読者以外の申込みは至急前金で本会へ

定価 1部 550 円 送料 50 円

イネの新細菌病「かさ枯病」

青森県農業試験場 桑 田 博 隆

は じ め に

青森県ではイネに発生する細菌病として白葉枯病、もみ枯細菌病、葉しょう褐変病、株腐病があり、時として大害をもたらしてきた。1983年、本県の一部稲作地帯で、イネの葉身に黄色で大型の病斑を形成する症状が認められ、関与菌の分離・接種により、細菌の一種による病害であることが判明した。この罹病標本を東北農業試験場栽培第一部病害第2研究室へ送付し鑑定を依頼したところ、同試験後藤孝雄主任研究官（現在 四国農業試験場）より未記載の細菌病である旨の回答を受けた。

その後病原細菌の分離・接種を繰り返し、多数の菌株を集め、これらについて西山¹⁰⁾の「簡易同定法」に従って同定作業を進めた。病原細菌はいずれもグラム陰性で好気性、グルコースを酸化的に分解し、黄緑色蛍光色素を産生した。また 40°C で生育できず、アルギニンジヒドロラーゼ・オキシダーゼ活性は陰性で、スクロースから酸を生じたが酒石酸は利用せず、レバンを産生し、ジャガイモ塊茎を腐敗させず、タバコ過敏反応は陽性であった。以上の結果から、本細菌は *Pseudomonas syringae* グループに属すると認められた⁹⁾が、簡易同定法の枠内のみでの同定では不十分であるとの指摘がなされた。そこで細菌学的諸性質についてさらに検討を重ねるとともに、pathovar 決定のために本菌の寄主範囲も検討した。その結果、本細菌は *P. syringae* の新しい pathovar とするのが妥当であろうとの結論に達した^{10,11)}。ここでは新 pathovar name を提唱するに至った経過を記述する。

本研究に際して、静岡大学教授 後藤正夫博士には病原細菌の同定ならびに pathovar 決定に際し、終始懇切な御指導を賜った。農業環境技術研究所 西山幸司博士には対照細菌を分譲していただき、かつ御助言をいただいた。また農業研究センター 梶原敏宏博士、東北農業試験場 山口富夫博士、四国農業試験場 後藤孝雄主任研究官、果樹試験場 高梨和雄博士には種々御指導を賜り、草地試験場 佐藤 徹博士には牧草の種子を分譲していただいた。心よりの謝意を表する。

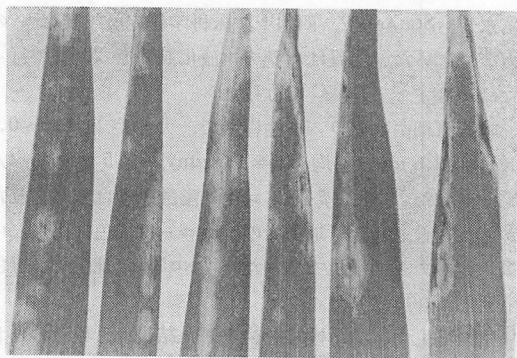
Halo Blight, a New Bacterial Disease of Rice Plant, Caused by *Pseudomonas syringae* pv. *oryzae* pv. nov. By Hirotaka KUWATA

I 発生状況および病徴

本病の発生が確認された地点は青森県内の7町村に及び、主に津軽半島一帯に見られたが、太平洋沿岸の百石町でも認められている。2か年間で発生の認められたイネ品種は、6品種3系統に及んだ。発生時期はいずれも分けつ期～幼穂形成期で、この時期にほぼ一斉に発病が見られた。しかしその後の病勢進展は両年次ともに認められず、出穂期までには病斑は消失した。

本病は、イネの葉身に黄色で円～長円形的大型病斑を形成するのが特徴である（第1図）。初め淡い黄緑色のちに黄～黄褐色となり、健全部との境界は明りょうで、病斑の周辺部は淡い黄緑色のハローとなる。病斑の中心には褐点、褐条を生ずる。病斑は大きいものでは径 10 mm を超え、また多数の病斑が融合して不規則形となり、それから先の葉身は枯死する。病斑形成の過程で水浸状とはならない。中心の褐点、褐条の部分切片として鏡検すると、細菌粘塊の漏出が観察される。以上の病徴から、イネ科牧草などの例にならって、「かさ枯病」の病名を提唱した。

自然発病では葉しょうおよびもみには病徴が現れないが、人工接種すると、葉しょうには葉身に現れるものと類似の病斑が、もみでは軽度の褐変が生じた。また本病斑はプラストサイジンSによる葉斑と類似するが、この葉斑では中心に褐点がなく、またハローを生じない点で明らかに区別される。



第1図 イネかさ枯病の病徴

II 菌の分離および接種

普通寒天培地を用いた希釈平板流し込み法によって、2地点、2採集時期、3品種の42病斑より計137菌株を分離した。これらをPPGA¹⁶⁾平板培地に画線し、25°Cで1日培養した菌苔について3%KOH¹⁶⁾によりグラム反応を試みた。同時に菌苔を0.1%ツィーン20を含む滅菌水に懸濁し、菌濃度約10⁹CFU/mlの接種源とした。これを出穂期前後のポット栽培イネ(品種:アキヒカリ)に無傷で噴霧し、20°C・暗黒下で多湿に保った。1日後に除覆し、ガラス室内に搬入し、病斑形成を観察した。

その結果、普通寒天培地上で白色円形コロニーを形成するグラム陰性細菌80菌株に病原性が認められ、自然発病と同様の病斑が形成された。グラム陰性でコロニーの性状が上記と異なる菌株、および陽性菌株には病原性は認められなかった。発病株の病斑部からは接種菌と同一の細菌が高頻度に分離され、再分離菌の接種によっても同様の病斑が形成された。以上の結果より、本菌株を病原細菌と認めた。

III 病原細菌の同定

1 細菌学的性質

イネに対する接種試験で病原性の認められた全80菌株を供試し、細菌学的諸性質を調べた。本細菌は前記予備実験により *Pseudomonas syringae* グループに属すると考えられたので、西山幸司博士(当時 農業技術研究所)より、ライグラス類かさ枯病菌 *P. syringae* pv. *atropurpurea* NIAS 1309 菌株およびエンバクかさ枯病菌 *P. syringae* pv. *coronafaciens* NIAS 1314 菌株を分譲していただき、対照細菌として供試した。べん毛染色は変法中山氏法¹⁹⁾、ポリ-β-ヒドロキシ酪酸顆粒染色は BURDON²⁾の方法によった。生理・生化学的諸性質の検査は富永²¹⁾、SCHAAD¹⁸⁾、西山¹⁶⁾、医科学研究所学会⁵⁾の方法によった。培養はゼラチン液化試験を20°Cで行ったほかはすべて25°Cで行った。

本病原細菌はグラム陰性桿菌で、大きさは0.5~0.9×1.2~2.6 μm (平均0.5×1.7 μm)、1~5本の極べん毛を有した。ポリ-β-ヒドロキシ酪酸顆粒は認められなかった。普通寒天培地上でのコロニーは白色、円形、中高、全縁で表面平滑であった。KING'B培地上で黄緑色蛍光色素を産生した。

生理・生化学的諸性質を検査した結果は、以下のとおりであった。

反応陽性検査項目: 運動性, グルコースの酸化的分

解, 好気性, セラチン液化, アンモニア・レバン産生, リトマス牛乳のアルカリ化, エスクリン・アルブチン・ツィーン80加水分解, カタラーゼ・チロシナーゼ・ウレアーゼ活性, タバコ過敏反応, 基質利用性: グルコース・L-アラビノース・D(+)-キシロース・D(-)-フルクトース・D-マンノース・ガラクトース・スクロース・ラフィノース・グリセリン・D-マニトール・ソルビトール・イノシトール・エリトリトール・ベタイン・L-ロイシン・クエン酸・マロン酸, L-ヒスチジンは菌株により反応が異なった。

反応陰性検査項目: 発育因子要求性, 40°Cでの発育, 硝酸呼吸, 硝酸塩の還元, 硝酸塩・グルコースからのガス産生, V. P. 反応, M. R. 試験, インドール・硫化水素・3-ケトラクトース産生, グルコン酸酸化, 牛乳の凝固, デンプン・マーガリン加水分解, アルギニンジヒドロラーゼ・オキシダーゼ・レシチナーゼ・フェニアラニンデアミナーゼ活性, ジャガイモ塊茎腐敗, 基質利用性: L-ラムノース・マルトース・ラクトース・トレハロース・デキストリン・デンプン・イヌリン・サリシン・ズルシトール・アドニトール・DL-ホモセリン・酒石酸・D-酒石酸・L-酒石酸・乳酸・L-乳酸・馬尿酸・キナ酸・アントラニル酸・グルタル酸・安息香酸。

上記諸性質のうち, *P. syringae* pv. *atropurpurea* NIAS 1309 とは蛍光色素産生およびエスクリン・アルブチン加水分解の点で, また *P. syringae* pv. *coronafaciens* NIAS 1314 とはL-ロイシン利用性の点で, それぞれ異なっていた。

2 寄主範囲

病原細菌 No. 1-2 菌株を用い, 各種植物に対して接種試験を行った。PPGA 平板培地に画線し, 25°Cで1日培養した菌苔を, 0.1%ツィーン20を含む滅菌水に懸濁し, 菌濃度約10⁹CFU/mlの接種源を得た。供試植物は殺菌土を詰めた丸型ポリポットに播種し, イネ科植物は草丈10~30cm時に, その他は本葉展開後に接種した。一部の樹木類では市販のポット栽培株を用いた。各植物はすべて無傷として, 接種源を十分量噴霧したのち, 25°C・暗黒下で多湿に保った。1日後に除覆し, ガラス室内に搬入して発病状況を調査した。

本細菌の無傷噴霧接種により多数の植物に葉斑様の病徴を生じたが, 形成された病斑組織切片を鏡検して細菌粘塊の漏出の有無を観察し, 漏出の認められないものは菌の毒素による葉斑と判定して寄主範囲から除外した。漏出の見られたものではさらに病斑組織から接種菌の再分離を行い, 再分離できたもののみを本菌の寄主植物と判定した。

その結果、本菌の接種によって病斑を生じ、しかも病斑組織から菌が再分離された植物(品種名)は、イネ(アキヒカリ)、オオムギ(ホテイ)、エンバク(渡辺種苗系)、およびインゲン(ブルービーチ)の4種であり、これらは本菌の寄主植物と判定された。

葉斑様病徴を生じたが、菌が再分離されなかった植物(品種名)は、コムギ(キタカミコムギ)、スームズブroomグラス(雪印種苗系)、イタリアンライグラス(渡辺種苗系)、ペレニアルライグラス(ヤツガネ)、ケンタッキー 31 フェスク(渡辺種苗系)、ケンタッキーブルーグラス(渡辺種苗系)、リードカナリーグラス(パンテージ)、コロニアルペントグラス(ハイランド)、チモシー(センボク)、オーチャードグラス(アオナミ)、テオシント、ダイズ(ヒメユタカ)、ルーサン(渡辺種苗系)、クズ、ダイコン(青味)、ハツカダイコン(コメット赤丸)、ハクサイ(スタート 60 日)、キュウリ(北星)、メロン(アスコット)、ゴボウ(山田理想)、シュンギク(中葉)、ホウレンソウ(朝霧)、ライラック、モモ、ブンゴウメ、リンゴ、であった。したがってこれらは寄主植物とは判定されなかった。

病斑のまったく形成されなかった植物(品種名)は、ハトムギ(中里在来)、トウモロコシ(ハニーパンタム)、アワ、タイヌビエ、バヒアグラス(ナンゴク)、ダリスグラス(ナツグモ)、エンドウ(グリーンパワー)、アズキ(大納言)、タバコ(ブライトイエロー4号指宿系)、ジャガイモ(メークイン)、トマト(強力米寿)、ナス(千両2号)、ピーマン(ニューエース)、トウガラシ(札幌大長)、ブロッコリー(緑)、キャベツ(初秋)、カボチャ(日本海)、スイカ(縞王)、ユウガオ(FR 相生)、レタス(トップマーク)、ヒマワリ(ベレドビク)、オクラ(ベターファイブ)、食用テンサイ、ニンジン(四季四寸)、シソ(青ちりめん)、タマネギ(札幌黄)、ネギ(金長葱)、イチゴ、であった。

対照細菌2菌株(*P. syringae* pv. *atropurpurea* NIAS 1309 および pv. *coronafaciens* NIAS 1314)は、イネ(品種:アキヒカリ)に対してまったく病原性を示さなかった。

3 Pathovar name

イネかさ枯病の病原細菌は、グラム陰性桿菌で極毛を有し、好気性で、グルコースを酸化的に分解し、白色コロニーを形成することから、*Pseudomonas* 属細菌と認められる¹⁴⁾。また蛍光色素およびレバンを産生し、タバコ過敏反応は陽性であるが、オキシダーゼ・アルギニンジヒドロラーゼ活性およびジャガイモ塊茎腐敗は陰性であることなどから、本細菌は *P. syringae* グループに

属する^{1,4,12,16,18)}と認められる。

イネに寄生する *Pseudomonas* 属細菌としては *P. avenae*^{6,22)}、*P. glumae*^{8,21)}、*P. fuscovaginae*^{14,15)}、および *P. oryzae*^{3,7)} が知られている。本細菌はこれらのうち前三者では、40°C での生育、硫化水素産生、レバソール産生、リパーゼ・アルギニンジヒドロラーゼ・オキシダーゼ活性などの重要な性質で異なり、しかもイネに現れる病徴もまったく異なる。*P. oryzae* がイネに現す病徴は、本細菌によるものとはまったく異なり、むしろ *P. fuscovaginae* によるものに近い。また *P. oryzae* は最近になって、細菌学的性質およびモモ、ライラックに対する病原性に基づいて、*P. syringae* pv. *syringae* の synonym とされた¹³⁾。また、*P. syringae* pv. *atropurpurea* および pv. *coronafaciens* はイネに対して病原性を示さない^{17,20)}。

本細菌はイネ葉身にきわめて特徴的な病斑を形成し、またその寄主範囲はイネのほかオオムギ、エンバク、インゲンに限られていた。この宿主特異性は、従来までに知られている *P. syringae* pathovars のいずれとも異なると認められ、本細菌を *P. syringae* の新 pathovar とするのが妥当と考えられた。以上の結果から本細菌に対して、学名 *Pseudomonas syringae* pv. *oryzae* pv. nov.^{10,11)} を提唱した。

IV 今後の問題点

イネかさ枯病はつい最近発見された新しい病気であり、多くの問題が未解決のまま残されている。それらのうち2,3の点について、これまでに得られた実験結果に基づいて整理してみたい。

自然発病ならびに人工接種によってイネに現れる病徴はきわめて特徴的で、しかもイネ以外にも多くの植物の葉に葉斑様症状を生ずる。本細菌の液体培養液の噴霧によって、イネ葉に自然病斑に類似するクロロシスが生ずることから、これらは本菌の毒素によるものと推測されるが、その本体ならびに作用性の解明は今後の検討課題である。

第一次伝染源など、本病の伝染環については不明の点が多い。発生は場周辺の雑草の伝染源としての役割についてはまだ確証が得られていない。また少数例ではあるが、自家採種農家の同一は場に2年連続して発生した事例があり、種子伝染の可能性も否定できない。本病は過去2か年とも7月中旬ごろに一斉に発生したが、1983年の6~7月中旬は「ヤマセ」により極端な低温多湿であったのに対し、1984年の同期間は高温多照であった。しかし、両年とも7月上旬に3~4日間の連続した降雨

があり、これが発病に直接結び付いたものと考えられる。この傾向は 1985 年にも認められた。

現地は場の発生状況や人工接種試験結果から、本病に対するイネの品種間差はないものと考えられる。現在イネに登録のある 2, 3 の抗菌剤を供試し、*in vitro* で本細菌の発育に及ぼす影響を検討した結果、ストレプトマイシン・オキシテトラサイクリン複合剤のきわめて高い発育阻害効果が認められた。また本剤を散布したポット栽培イネに対する人工接種試験でも防除効果が見られたが、現地は場での防除効果は現在検討中である。

病原細菌密度の増高に伴い、発生分布の拡大が懸念され、今後の発生動向に注意する必要があると思われる。

引 用 文 献

- 1) BRADBURY, J. F. (1979): Rev. Pl. Path. 49: 213~217.
- 2) BURDON, K. L. (1946): J. Bacteriol. 52: 665~678.
- 3) COTTER, E. J. (1974): Plant Dis. Repr. 58: 1126~1129.
- 4) DOUDOROFF, M. and N. J. PALLERONI (1974): Genus 1. *Pseudomonas* Migula 1984. In Bergey's

Manual of Determinative Bacteriology, 8th ed. (Buchanan, R. E. and Gibbons, E. eds.), The Williams & Wilkins Co., Baltimore, pp. 214~243.

- 5) 医科学研究所学友会 (1958): 細菌学実習提要, 第 2 版, 丸善, 東京, pp. 478.
- 6) 門田育生・大内 昭 (1983): 日植病報 49: 561~564.
- 7) KLEMENT, Z. (1955): Acta Microbiol. 2: 265~274.
- 8) 栗田年代・田部井英夫 (1967): 日植病報 33: 111.
- 9) 桑田博隆ら (1984): 同上 50: 423~424.
- 10) ——— (1985): 同上 51: 67~68.
- 11) KUWATA, H. (1985): Ann. Phytopath. Soc. Japan 51: 212~218.
- 12) LELLIOT, R. A. et al. (1966): J. appl. Bact. 29: 470~489.
- 13) LUKETINA, R. C. and J. M. YOUNG (1975): N. Z. J. Agric. Res. 22: 349~353.
- 14) MIYAJIMA, K. et al. (1983): Int. J. Syst. Bacteriol. 33: 656~657.
- 15) 宮島邦之 (1983): 道立農試報 43: 1~74.
- 16) 西山幸司 (1978): 植物防疫 32: 284~288.
- 17) ——— (1981): 農技研報 C35: 1~55.
- 18) SCHAAD, N. W. ed. (1980): Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria, American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, pp. 72.
- 19) 白田 昭・後藤正夫 (1981): 植物防疫 35: 325~326.
- 20) 田部井英夫 (1964): 日植病報 29: 20~24.
- 21) 富永時任 (1971): 農技研報 C25: 205~306.
- 22) ———ら (1983): 日植病報 49: 463~466.

人 事 消 息

(7月16日付)

持田 作氏 (熱研センター研究第一部付主任研究官) は派遣職員 (フィリピン, IRRI)・期間延長

(9月1日付)

浅賀宏一氏 (技会事務局研究開発官) は技会事務局研究開発課長に

寒川一成氏 (北陸農試環境部付派遣職員 (インドネシア)) は期間延長

名城大学の住所は、区画整理により町名が下記のとおり変更になった。電話番号は従来どおり。

〒468 名古屋市天白区塩釜口 1 丁目 501 番地

八洲化学工業株式会社東北営業所は、9月2日付けで下記へ移転。

これに伴い、宮城県駐在事務所を統合。

〒980 仙台市本町 2 丁目 3 番 10 号 朝日生命本町ビル

電話 0222-65-3777 (代表)

本 会 発 行 図 書

農 薬 用 語 辞 典 (改訂版)

日 本 農 薬 学 会 監 修

「農薬用語辞典」(改訂版)編集委員会 編

B 6 判 112 ページ 1,400 円 送料 200 円

農薬関係用語 714 用語をよみ方、用語、英訳、解説、慣用語の順に収録。他に英語索引、農薬の製剤形態および使用形態、固形剤の粒度、液剤散布の種類、人畜毒性の分類、魚毒性の分類、農薬の残留基準の設定方法、農薬希釈液中の有効成分濃度表、主な常用単位換算表、濃度単位記号、農薬関係機関・団体などの名称の英名を付録とした必携書。講習会のテキスト、海外出張者の手引に好適。

お申込みは前金 (現金・振替・小為替) で本会へ

ホウレンソウ斑点病の発生と防除

京都府農林水産部農産普及課 片岡光信

はじめに

ホウレンソウ斑点病は、1980 年ころから京都府亀岡市の秋冬作ホウレンソウ産地を中心に発生し問題となったり。その後、年々発生地域が拡大し、大部分の栽培は場で発生が認められるようになった。また、発生程度も年々激しくなり、収穫を放棄するほ場も多く見られ、ホウレンソウ価格の低迷ともあいまって、栽培面積が激減し、指定産地を維持するうえで大きな問題となっている。

本病の発生については、後藤ら²⁾が最初に報告しているが、その後詳しい研究はなされておらず、その発生生態や防除法については、不明な点が多い。

そこで、本稿では筆者らが行った若干の調査研究を基に、本病の発生実態や防除方法について述べ、諸兄の参考に供したい。

なお、全国の農業試験場を対象に、本病についてのアンケートを実施したところ、多くの先生がたから貴重なデータや御意見をいただいたことを、この場をお借りしてお礼申し上げる。また、本研究を遂行するにあたり、御指導いただいた京都府農業総合研究所福西 務氏、病原菌の同定などについて御教示いただいた財団法人発酵研究所横山竜夫博士、発生調査に御協力いただいた京都府丹波病虫害防除所福井正男氏、佐々木博之氏、亀岡農業改良普及所長鈴木久弥氏、植村一夫氏、上田康司氏に感謝の意を表する。

I 発生実態

1 全国の発生状況

全国の農業試験場を対象にアンケートを実施したところ、45 の道府県から回答があり、北海道から福岡県にかけて 18 の道府県で本病が発生しており、特に 9 府県で多発していることがわかった。

本病は最近発生し始めたところが多く、今後の発生拡大が懸念される。発生地域としては、地域的に発生が見られる場合が多いが、全県的に発生している場合も 4 府県あった。発生している品種は、ソロモン、パレード、

アトラスなどが多く、パイオニア、次郎丸、グローバル、オーライなどにも発生が認められた。栽培様式としては、ハウス栽培で多発する例が多いようである。発生時期としては、どの府県も 11~4 月にかけて発生が見られるようであった。

2 京都府における発生状況

2 年間、現地農家は場を対象に、1 ほ場当たり 300 葉について程度別に発病調査を行った。その結果、斑点病の発生がまったく見られないほ場は、調査ほ場 31 筆中 4 筆のみで、ほとんどの栽培ほ場で発生が認められた(第 1 表)³⁾。

斑点病の発生は 10 月中旬ころから見られ、その後徐々に増加し、低温時でも発生し続ける。そして、初春播きホウレンソウの終わる 4 月下旬ころまで見られる。

II 病徴および病原菌

斑点病は、最初葉の表面に乳白色の円形小斑点を生じ、後に拡大して淡褐色に変わり、やや陥没する。特に初期は除草剤による葉斑のような状態を呈する。症状が進むと病斑は互いに融合して大型となり、病斑は古くなると表面に緑黒色のかびを生じ、中央がせん孔する。なお、炭そ病と酷似しており、区別は難しい(第 1 図)。

病原菌は *Heterosporium variable* COOKE で、不完全菌類に属するが、最近では、分類上 *Cladosporium variable* (COOKE) DE VRIES としている場合が多く、病原菌名について今後検討が必要と思われる。CMI 記載の斑点病菌と比較すると、京都府で発生している菌は 3~4 細胞の分生胞子が少ないこと、分生胞子の大きさがや



第 1 図 ホウレンソウ斑点病

Occurrence and Control of Spinach Leaf Mold Caused by *Heterosporium variable* COOKE. By Mitsunobu KATAOKA

第1表 京 都 府 に お け る 発 生 状 況

(1) 58 年度発生実態—1

調 査 地 名	発 病 度		
	58 年 12 月 14 日調査	59 年 2 月 29 日調査	3 月 6 日調査
亀岡市旭 町印 地	27.3		27.7
〃	18.6	44.9	
〃 杉	9.6		47.8
〃 美濃田	6.2	41.7	
〃	17.3		
〃	31.3		50.9
〃	3.1	26.2	
〃 宮前町神 前	0.1	0.8	

(2) 58 年度発生実態—2

調 査 地 名	発 病 度	調 査 地 名	発 病 度
	59 年 3 月 7 日調査		59 年 3 月 7 日調査
京都市右京区嵯 峨	8.2	京都市伏見区淀	0
〃	1.9	〃	8.7
〃	4.1 (44.9) ^{a)}	京都市久世郡久御山町	0
〃 西京区牛ヶ瀬	9.6	〃	6.9
〃 大原野	8.5 (54.0) ^{a)}	〃	2.2
〃	9.0	〃	1.5

(3) 59 年度発生実態

調 査 地 名	発 病 度			調 査 地 名	発 病 度
	59年11月7日調査	59年12月7日調査	60年2月7日調査		59年12月19日調査
亀岡市千歳町中 村	1.7	12.6	収 穫	京都市西京区大原野	0.5
旭 町美濃田	1.4	27.9	76.9	〃	1.3
〃	7.1	45.8	収 穫	〃	1.5
〃	0.4	11.3	54.0	〃	0.1
〃 郷の口	2.0	収 穫		〃	0.3
〃 山 階	16.2	74.7	収 穫	〃	4.5
〃	1.1	29.3	77.2	〃	0.9
〃 杉	3.9	41.8	65.7	〃	0
〃	4.4	収 穫		〃	2.2
〃 印 地	0.8	12.3	8.4	〃	1.4
〃	0.1	7.2	10.4		

^{a)} () は農ポリトンネル栽培

や小さいこと、PDA 培地上の培養菌に渦巻状の気中菌糸が認められないことなどの相違点が見られ、今後その異同について検討する必要があると思われる (第2図)。

Ⅲ 発 生 生 態

1 伝染方法

(1) 種子伝染

初作地でも多発する例も見られることから、種子伝染するのではないかと考えられるが、その証拠は得ていない。

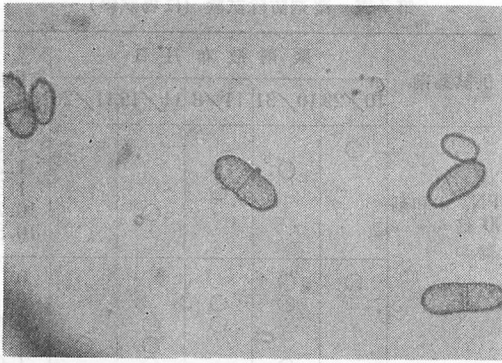
(2) 土壌伝染

一度発生すると、毎年発生するようになる場合が多い

ため、罹病残渣中の病原菌が発生源になるのではないかと考え、若干の試験を行った。1/2,000a のワグネルポット中の土壌に罹病植物残渣を混和し、ハウレンソウを播種し栽培したところ、水の跳ね上げによる感染が起こることがわかったが、混和後1か月程度までであり、1年後では無発病であり、土壌伝染するかどうかは明らかでなかった。

2 発病温度および湿度

本病の発病温度範囲は 5~35°C で、20°C 付近が最適温度と考えられる。12~2 月の低温期でも発病が増加することや、夏期には斑点病がほとんど見られなくなることから、やや低温性の病害と考えられる。



第2図 ホウレンソウ斑点病菌分生孢子顕微鏡写真

湿度と発病の関係については、野菜試験場の方法⁴⁾に準じて調査した。その結果、湿度が発病に密接に関係しており、湿度が高いほど多発し、比較的低湿な区(75~94%)ではかなり少発生であった(第2表)。これはハウス栽培やトンネル栽培で多発することからもうかがえる。

なお、発病しやすい条件では、病原菌が宿主に感染するためには12時間以上を要し、潜伏期間は7日間程度である。

3 施肥と発病

施肥と発病の関係では、極端に肥料切れしている場合は発生しやすい傾向が認められる。しかし通常の施肥量の範囲では、大差はなく、むしろ生育旺盛で過繁茂となり、畝内湿度が高くなっている場合に多発(病斑数の増加)しやすい傾向が認められる。肥料切れの場合は、病斑数の増加よりも1病斑の大きさが大きくなる傾向が観察された。

4 栽培法および栽植密度と発病

栽培法と発病との関係では、ビニルハウス栽培>農業用ポリフィルムトンネル栽培>露地栽培>雨よけハウス栽培の順で多発した。また、栽植密度と発病との関係を調べたところ、密植になるほど多発した(第3、4表)。

5 品種と発病

市販の22品種を供試し、本病に対する品種間差を調査したところ、八千種2号のみがやや強かった。しかし、接種すると、他の品種とほとんど差がないことから、耐病性の遺伝子を持っているのではなく、草型など

第2表 湿度と発病

塩類の種類および条件	相対湿度(%)	1葉当たり病斑数
蒸留水	100	140.8
Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O	98~99	123.9
ZnSO ₄ ・7H ₂ O	95~97	138.8
KBr	88~90	57.7
コイトロン内部	75~94	4.4

による場抵抗性ではないかと考えられる(第5表)。

なお、現地栽培は場では、ソロモンを栽培しているほ場で多発している例が多かった。

6 寄生性

本菌は寄生性が非常に狭く、ホウレンソウに病原性があるほか、フダンソウ、シロザに病原性が見られる程度である。なお、近縁の *Cladosporium* 属菌7菌株(内1菌株は *C. variable*, いずれも発酵研究所保存菌)をホウレンソウに接種したが、まったく病原性は認められなかった。

IV 防除方法

1 耕種の防除

発生生態の所で述べたように、本病を防除するポイントはいかに湿度を低くするかにある。その方法としては、排水を図る(特に重粘土の場合)、密植にしない、雨よけ栽培を行う、などがあげられる。それから肥料関係では極端に肥料切れしないように管理することが大切で

第3表 栽培様式および栽植密度と発病

栽培様式	発病度		栽植密度	発病度
	試験Ⅰ	試験Ⅱ		
ビニルハウス	81.6	—	二条播き	2.2
農ポリトンネル	37.4	32.9	三条播き	16.5
露地	19.3	15.6	四条播き	24.4
雨よけハウス	0.6	2.1		

第4表 栽培様式と温度・湿度

栽培様式	温度	湿度(100%の時間)
ビニルハウス	4.0~37.0°C	85 時間
農ポリトンネル	1.5~40.0	30
露地	1.0~23.5	20
雨よけハウス	2.5~29.5	8

試験開始後6日間(3月9~15日)のデータ

第5表 品種と発病

品種名	発病度		品種名	発病度	
	ポット試験	ほ場試験		ポット試験	ほ場試験
八千種2号	46.6	7.6	晩抽パイオニア	35.6	30.6
アトラス	49.6	19.9	ファンファーレ	—	38.6
ソロモン	36.5	16.5	スーパージョー	51.4	27.8
深緑	43.8	—	ビロフレイ	52.9	—
オスカーク	64.2	21.7	N K D	47.4	—
サンライト	25.3	—	マーキュリー	52.9	40.0
弁天2号	31.3	28.4	サンシャイン	33.1	—
牛若丸	47.9	18.3	黒葉ミックス	34.4	39.2
パレード	26.0	23.5	パノラマ	43.1	23.8
次郎丸	51.3	31.2	オーライ	—	29.4
日吉丸	37.3	48.4			
パイオニア	37.3	15.2			

ある。品種としては八千種2号がやや強い。また、トンネル栽培も多発しやすい栽培法と言えるので、注意が必要である。なお、年々発生程度がひどくなる場合が多いので、連作を避けることも大切であると考えられる。特に、ほ場での発病残渣や収穫調整後の発病植物残渣をほ場にすき込んだり、畔に放置したりする場合が多いので、ほ場衛生に心がけることも大切である。

2 薬剤防除

本病防除に有効な薬剤を検索するため、ポット栽培植物による予備防除試験を行ったところ、TPN 水和剤、キャプタン水和剤など数種の薬剤が有効であることがわかった(第6表)。

そこで、有効と判定された数種の薬剤についてはほ場での防除試験を行った。本試験では、10月31日に発病株を植え付けたため、11月13日ころから斑点病の発生が見られ、以後徐々に増加した。12月3日に収穫し、発病調査を行ったところ、TPN 水和剤、マンゼブ水和剤の効果が高く、スルフェン酸系水和剤、キャプタン水和剤がこれに次いだ。散布時期は発病前から予防散布をすれば効果が高く、発病後散布ではかなり効果が劣った。散布回数は1回では不十分であったが、TPN 水和剤の場合、発病前から散布しておけば、2回散布で完全に防除可能であった。散布間隔は、あけ過ぎると多発した(第7表)。

しかし、上記薬剤はいずれも本病に登録がなく、実際に使用することはできない。また、不幸なことに、TPN 水和剤、スルフェン酸系水和剤などは適用拡大が不可能な状況にある。そこで、京都府では適用拡大が可能なキャプタン水和剤について、本病およびハウレンソウべと病に登録をとるべく試験を進めている。

第6表 薬剤防除試験(ポット試験)

薬 剤 名	使用濃度	発 病 度
ブ ロ ビ ネ プ 水和剤	500倍	0
T P N	500	0
M R - l	500	0
キ ャ プ タ ン	500	0
マ ン ゼ ブ	500	0
ス ル フ ェ ン 酸 系	500	0
ホ セ チ ル	500	0.3
ト リ ア ジ ン	500	0.6
キ ャ プ タ ン ・ ホ セ チ ル	500	1.3
ベ ノ ミ ル	2,000	1.5
ポ リ オ キ シ ン	500	1.5
銅 ・ カ ス ガ マ イ シ ン	1,000	4.9
ダ イ ホ ル タ ン	1,000	4.9
銅 ・ ビ ン ク ロ ゴ リ ン	500	6.8
カ ス ガ マ イ シ ン ・ キ ャ プ タ ン	1,000	8.8
ド イ ツ ボ ル ド ー A	500	20.0
ブ ロ シ ミ ド ン	1,000	26.9
無 処 理		49.6

第7表 薬剤防除試験(ほ場試験)

供試薬剤	薬 剤 散 布 月 日					発病度
	10/23	10/31	11/8	11/19	11/26	
TPN 水和剤 600 倍	○	○	○	○	○	3.2 1.2 1.3 10.2 10.3
	○	○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	0 0 0.4 7.6 1.0 3.6 0
	○	○ ○	○ ○ ○	○ ○	○	0 0 0
スルフェン酸 系水和剤 600 倍		○	○ ○	○ ○	○	1.8 0
マンゼブ水和 剤 600 倍		○	○ ○	○ ○	○	0 0
キャプタン水 和剤 600 倍		○	○ ○	○ ○	○	3.5 1.7
無 散 布						15.6

お わ り に

これまで、京都府におけるハウレンソウ栽培は、盛夏期の株腐病などを除いて、発生する病害虫も少なく、これといった技術的な問題はなかった。しかし、近年斑点病の多発や夏期の萎ちょう病の発生などにより、府下のハウレンソウ栽培面積は激減した。

斑点病の防除は雨よけ栽培をすればほとんど解決できるが、経費の点で難しい。また、八千種2号を栽培すれば、かなり少発生におさえることができるが、流通上の問題があり、これについても導入が難しい。薬剤防除についても、現在本病に有効な登録農薬がなく、相談を受けても、指導できない現状である。

以上、現在まで行ってきた若干の知見を基に述べたが、現段階では防除方法は未確立であり伝染方法など不明な点も多く、今後明らかにしていかなければならないと思う。

引 用 文 献

- 1) 片岡光信ら (1983): 日植病報 49: 98.
- 2) 後藤和夫ら (1926): 病虫雑 13 (3): 154.
- 3) 片岡光信ら (1985): 関西病虫研報 27: 63.
- 4) 梅川 学 (1983): 農及園 58: 1153~1157.

ト ド マ ツ 枝 枯 病

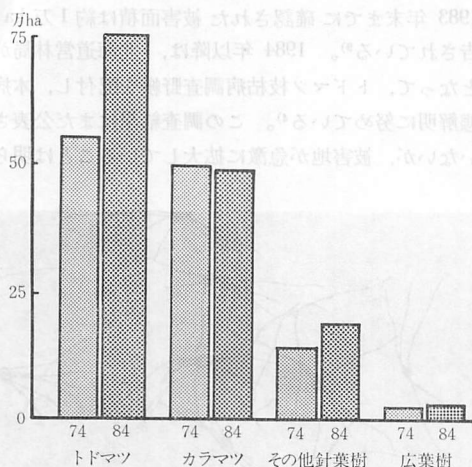
——發生現況とその防除——

農林水産省林業試験場北海道支場

はじめに

1984 年 3 月末現在、北海道の人工林面積は約 146 万 ha で、そのうちトドマツ林は 50% 以上の 75 万 ha となっている⁶⁾。1974 年⁵⁾と 1984 年⁶⁾の人工林面積を比較すると(第 1 図)、際だっているのは、トドマツ人工林が、この 10 年間で 14 万 ha も増加したことである。一方、カラマツ林のほうはやや減少している。このカラマツ造林が停滞し、トドマツ林が急増した最大の理由はカラマツ先枯病(病原菌 *Guignardia laricina*)にある。先枯病の大発生により、カラマツを植える意欲が著しくそがれたのだ⁸⁾。また、一時期盛んに造林されたストロブマツも発しんさび病(病原菌 *Cronartium ribicola*)が激発したため、現在ではほとんど植栽されていない。

カラマツは本州からの移入樹種であり、ストローブマツはアメリカから導入したものである。外来樹種は病気に弱いとされ、郷土樹種のトドマツが造林対象木として大きく取り上げられるようになった。ところが、急増した若齢造林地には、1970 年以降、トドマツ枝枯病がまん延し始めた。天然林を伐採し、その跡に植えた大面積の



第1図 1974年と1984年における人工林面積(北海道)

造林地が壊滅状態となったところも多い。最近では被害面積も拡大の一途をたどっている⁹⁾。

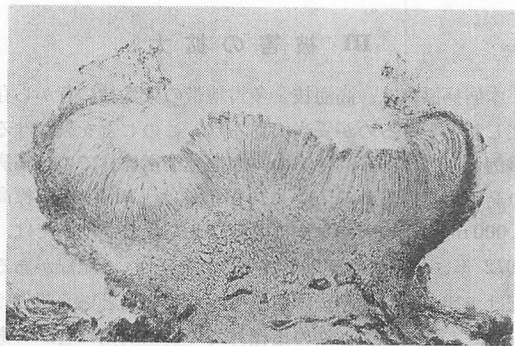
そこで、本報文では、本病の病徴と発生現況を概説するとともに、現在考えられている被害回避策のいくつかを紹介してみたい。

I 病原菌と病徴

病原菌の完全時代は子のう盤菌類の一種、*Scleroderma lagerbergii* である (第2図)。本菌は、ヨーロッパおよびアメリカにも広く分布し、トウヒ、マツ、カラマツ類に重要な病害を起こしている。病原菌の学名は研究者によって意見が異なり、最近では *Gremmeniella abietina* が使用されることが多くなった。しかし、英語の病名は各樹種とも、*Scleroderma canker* で統一されている。本菌の不完全時代は、*Brunchorstia pinea* である。

初期の病徴は1年生枝の落葉として現れる。病状が進むと、1, 2年生枝が激しく侵され、全身に枯れ枝をたくさんつけた状態になる(第3図)。2, 3年生の主軸から出た側生枝は特に感受性が高い。側生枝の付け根の主軸上には赤褐色、円形の胴枯型病斑が形成される。この胴枯型病斑は直径1~2cmと小さく、ふつうそのままの大きさを保つが、中には、翌年さらに拡大し、陥没した病斑へと発達するものがある(第4図)。この胴枯型病斑が主軸を一周すると、その上部が巻き枯らし状態になって枯死するため、トマトツは上長生長を続けることができない。

1, 2 年生枝には、柄子殻が形成される。2 年以上たつ



第2図 病原菌の子のう盤

た胴枯型病斑とやや太い枝の上には子のう盤(第2図)ができる。柄胞子と子のう胞子の飛散する期間は、6月～8月上旬。柄胞子には、2～7隔膜があり新月形、子のう胞子の隔膜は0～4個で、長だ円形～紡錘形。柄胞子、子のう胞子の発芽はきわめて良好で、72時間後の発芽率はほぼ100%に達する(第5図)。

II 発生環境と被害分布

本病が発生するためには雪が必要である。1m以上積もった雪の下は、0°C付近の温度、湿度100%、暗黒となり、枝枯病菌の活躍できる好条件がそろうことになる。

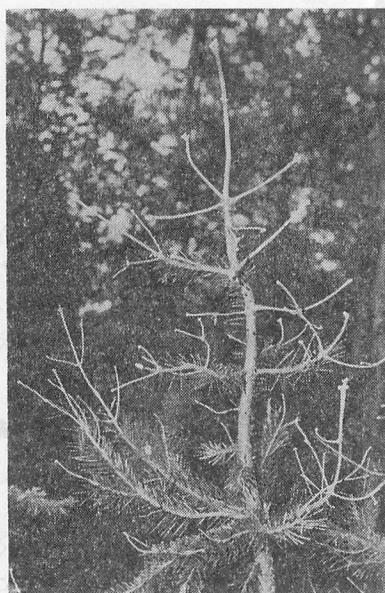
第6図に、1985年3月末現在の市町村別の枝枯病の発生分布を示した。北海道の中央部には、脊梁山脈と呼ぶ高い山が北から南へと連なっている。この山脈の日本海側は豪雪地帯で、反対側の北見、帯広地方は雪が少ない。枝枯病の発生地は、この豪雪地帯と合致している。すなわち、本病の発生環境として雪が重要であることを第6図は如実に示している。

多雪地帯のトドマツは、毎年雪の中に埋まり、雪解けとともに再び立ち上がる。斜面では、積もった雪が下方へゆっくりと移動するので、かなりの太さになるまでトドマツはほとんど寝た状態になる(第7図)。

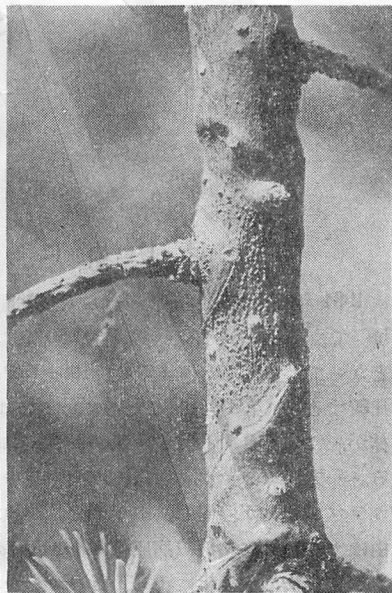
雪解けが進んで、埋まっていたトドマツが現れ始めると、雪面上に針葉が緑色のまま無数に落ちているので、枝枯病が積雪下で進行していたことがよくわかる(第7図)。

III 被害の拡大

本病病原菌は、高海拔・多雪地帯の天然林に昔から存在したと考えるのが妥当であろう。このことを裏づける事例としては、日高地方の高寒地施業指標林での枝枯病の発生があげられる⁷⁾。この指標林は、1969年、標高1,000m以上の天然林内に設置された。日高地方では、1972年に枝枯病の標本が採集されたという記録があるだけで¹¹⁾、広い面積に本病が広がっていたという報告はない。したがって、この指標林での枝枯病菌は昔からあったもので、保菌木周辺にトドマツを大量に植栽したこ



第3図 枝枯病の激発症状

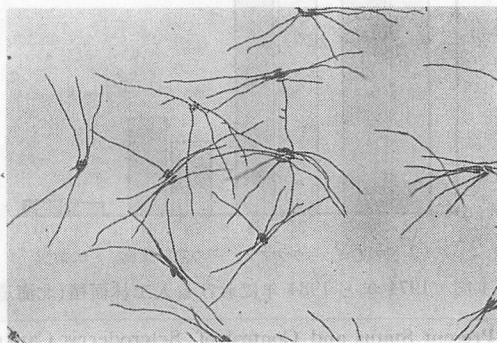


第4図 主軸を一周した胴枯型病斑

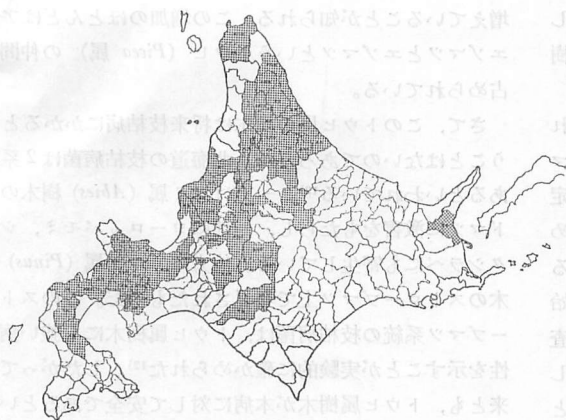
とが、本病の激発を招いたと考えることができる。

枝枯病は1970年に発見され、71、72の兩年には全道一斉調査が行われている。この調査で明らかになった被害面積は2,700haであった¹¹⁾。海拔高600m以上の造林地に集中していたため、本病は高海拔・多雪地帯に多発する病害とされた¹¹⁾。当時は「拡大造林」が叫ばれ、人工林が急増した。そのため、造林地の奥地化・高海拔化が起こり、天然林にあった保菌木と若齢木が接触した結果、流行病となったのである。

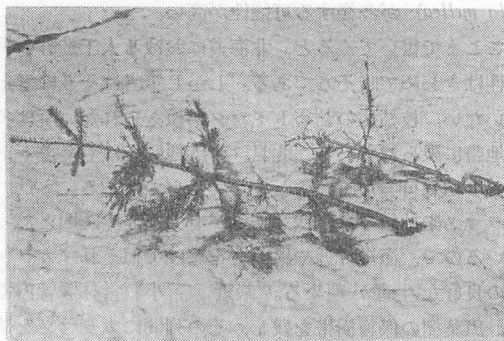
1983年末までに確認された被害面積は約1万haと報告されている⁹⁾。1984年以降は、北海道営林局が中心となって、トドマツ枝枯病調査野帳を配付し、本病の実態解明に努めている⁴⁾。この調査結果はまだ公表されていないが、被害地が急激に拡大していることは明らか



第5図 水寒天上で発芽した子のう胞子



第6図 市町村別トドマツ枝枯病発生分布図
(1985年3月現在)



第7図 融雪とともに雪面上に現れたトドマツ

である。特に、低海拔地にも本病が広がりつつある。

注目されることは、豪雪地域でも、本病の発生が認められないところが多いことだ。すなわち積雪 1.5 m 以上の地域に、被害地がモザイク状に広がっているのである。この被害の偏在は、奥地での枝枯病の流行が、隣接する造林地を經由して、面的に広がっていることを示している。

IV 新植地の取り扱い

トドマツ造林を行う場合には、枝枯病が発生するかどうかを事前に検討しなければならない。その際には、雪の深さと、病原菌の密度が重要な決定因子となる。具体策としては次のことを検討する。

①最大積雪深 1.5 m 以上の所には植栽しない。②1.0 ~ 1.5 m の地域では、近隣の造林地ですでに枝枯病が発生している場合には造林しない。③枝枯病が発生した跡地では、病原菌の密度が初めから高いので、植栽翌年から本病が激発する。こういう所では、トドマツの再植は

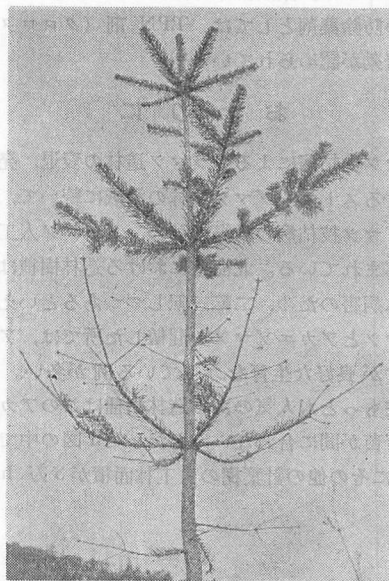
行わない。④残っているトドマツ大径木の埋雪する下枝は伝染源となる可能性が高いので除去する。⑤3,000 本/ha 程度の密植とする。この理由は、トドマツ造林地では 6~7 年間下刈りを実施しているので、この下刈り期間に少しでも病気にかった個体は除去し、病原菌の密度の高まりを押さえるためである。⑥5~10 本の集植えとし、お互いが支柱となって雪から早く立ち上がるようにする。

V 被害造林地の取り扱い

枝枯病の発生した造林地では、トドマツの梢頭をいかにして早く雪面から抜け出させるかを考えることが重要である。第8図で明らかなように、雪に埋まる下枝には毎年枝枯病が発生するが、この症状は 1, 2 年生枝にとどまり 3 年生枝にまでは進展しない。一方、雪面上に抜け出した梢頭は本病にかからないので、トドマツは上長生長を続けることができる。

そこで、①下刈り・つる切りなどにより、肥大・樹高生長を助ける。②積雪の下方へのずれが雪圧害を大きくするので、天然更新してくる広葉樹類のはずしかたをくふうする。あるいは、これらの広葉樹を支柱として利用する。③消雪後の観察を励行し、初期病徴の発見に努める。発見後は、病枝の枝打ち、被害木の除去を行い、病原菌の密度の高まりを押さえる。

以上に述べた施業は、トドマツ林として成林する可能性がある林分についてのものである。すでに激害症状と



第8図 雪面から抜け出し、回復しつつあるトドマツ

なった林分では、下刈りを中止し、地表面のかき起こしなどにより広葉樹の積極的な育成に努め、将来は広葉樹主体の林分へと誘導する。

ここで問題になるのは、将来の予測をどのようにすればよいかということである。浅井ら^{2,3)}は、将来トドマツが何本残るのかを、10～15年生のトドマツ林で判定する指針を提言している。すなわち、病気にかかり始めたときの樹高が低い林分は、将来激害林へと移行するが、すでに3～4mに達している林分で被害が広がり始めた場合は、残存本数が増えるという傾向を各地で調査し、それをとりまとめた被害度区分図を作製した。新しく残存本数を予想しようと思う林分のトドマツの樹高と被害程度をプロットし、この図を被害度区分図に重ね合わせれば、将来予測ができるというものである。

浅井ら^{2,3)}の提言を受け、北海道森林保護事業推進協議会では、ha当たりの残存本数が500本以下と予測される場合は広葉樹主体の林分へ、500～1,000本の所はトドマツと広葉樹の混交林へ、1,000本以上の残存木が望める場合はトドマツ主体の林分へと誘導する施業を行うという指針をとりまとめ中である。

VI 薬 剤 防 除

本病の急激な拡大に伴い、最近では低標高地の苗畑でも発生が確認されている¹⁾。苗畑での本病の発生は、罹病木を造林地へ持ち込み、新しい伝染源を作ることになるので特に徹底した防除を行う必要がある¹⁾。健全苗の育成のためには、薬剤防除も必要となる¹⁾。

本病の防除薬剤としては、TPN剤(クロロタロニール)に著効が認められている¹⁰⁾。

お わ り に

カラマツ先枯病によるカラマツ造林の衰退、発しんさび病によるストロブマツ造林の消滅に続いて、現在では、トドマツ枝枯病の激発のため、トドマツ人工林の将来が危ぶまれている。北海道における造林樹種は、これらの樹木病害のため、二転三転しつつあるといえる。

トドマツとアカエゾマツを混植した所では、アカエゾマツだけが良好な生育を示している例が多い。そのため、現在もっとも人気のある造林樹種はこのアカエゾマツで、育苗が間に合わないほどだ。第1図の中で、この10年間にその他の針葉樹の人工林面積が3万haほど

増えていることが知られる。この増加のほとんどはアカエゾマツとエゾマツというトウヒ(*Picea* 属)の仲間であつて占められている。

さて、このトウヒ属の樹木は将来枝枯病にかかるということはないのであろうか。北海道の枝枯病菌は2系統あるといわれている¹²⁾。一方はモミ属(*Abies*)樹木のトドマツに激害をもたらし、一部にヨーロッパモミ、シコクシラベにも寄生している。他方は、マツ属(*Pinus*)樹木のストロブマツ上で発見されたものだ。このストロブマツ系統の枝枯病菌は、トウヒ属樹木にも強い病原性を示すことが実験的に確かめられた¹²⁾。したがって将来とも、トウヒ属樹木が本病に対して安全であるという保証はない。さらにいえば、アカエゾマツには雪折れという機械的損傷が各地で生じているし、病害の面から考えても、各種のさび病やならたけ病(病原菌 *Armillaria mellea*)が多発する可能性が高い。

ここまで書いてくると、北海道における人工造林の将来性はきわめて暗そうである。しかし筆者はそうは考えていない。枝枯病のためトドマツが植えられない所は多雪地帯に限られている。北見、帯広地区をはじめ、トドマツの植栽可能な所はまだまだいくらかでもある。また、カラマツ先枯病の場合は、強風が有力な発生誘因となっているので、海岸付近や風衝地を避けて植えればカラマツの良好な生育が望める。最近、苫小牧営林署管内では、広葉樹の保護樹帯を残し、その列間にカラマツを植栽している。風からカラマツを守るという理にかなった方法は、やがて良い結果をもたらすであろう。それぞれの病害に対する正しい回避策を講じていくことで、北海道の人工造林も発展していくと思われる。

引 用 文 献

- 1) 秋本正信 (1983) : 森林防疫 32 : 102～103.
- 2) 浅井達弘ら (1983) : 日林北支講 32 : 101～103.
- 3) ————ら (1983) : 同上 32 : 104～106.
- 4) 袴田千代治 (1984) : 森林保護 184 : 23～24.
- 5) 北海道林務部 (1974) : 昭和 48 年度北海道林業統計, 札幌, pp. 142.
- 6) ———— (1984) : 昭和 58 年度同上, 札幌, pp. 197.
- 7) 池下省吾・東 幸蔵 (1985) : 北方林業 37 : 73～75.
- 8) 田中 潔 (1983) : 森林防疫 32 : 134～138.
- 9) ———— (1984) : 同上 33 : 78～83.
- 10) ————ら (1984) : 日林北支講 32 : 90～93.
- 11) YOKOTA, S. et al. (1974) : Eur. J. For. Path. 4 : 65～74.
- 12) 横田俊一 (1983) : 林試研報 321 : 89～116.

独立多試料標本の多重比較

九州大学農学部生物的防除研究施設 ^{たか}高 ^ぎ木 ^{まさ}正 ^み見

はじめに

多くの試験研究において、3種あるいはそれ以上の種類の試料を比較検討することがよくある。そのときに行う検定が多試料標本の差の検定である。この場合、全体としての有意差が検出されたのち、さらにどの試料とどの試料の間に差があるのか調べるのが普通である。これが多重比較である。多重比較を行うにあたっては、多試料標本の差の検定（例えば一元配置分散分析）で有意差が検出されたのちに、別の2試料標本の差の検定（例えばt検定）で、それぞれ任意の2試料間の差を検定すればよさそうだが、これには問題がある。例えば4種の試料について、一元配置分散分析の結果、5%の危険率で有意差があったとする。このとき、さらにそれぞれの2試料間全部の組み合わせについて6回t検定を行ったとすると、それぞれのt検定の危険率は5%に設定していても、それが6回加重されるわけだから、全体としての危険率はもっと高くなる。このように、多重比較を行う場合には、2試料標本の差の検定をそのまま利用するのはよくない。

試料間の差の検定法は、それぞれの試料が独立な場合と対応した場合で異なる。独立多試料の検定とは、例えば、A種・B種・C種という3種の昆虫の体長を比較するために、それぞれの種から10個体ずつサンプリングしてきて、その平均値を比較する場合で、パラメトリックな検定法としては一元配置分散分析が、ノンパラメトリックな検定法としては多試料中央値検定法や KRUSKAL-WALLIS の検定法がこれに当たる。一方、対応多試料の検定法としては二元配置分散分析や FRIEDMANN の検定法がある。本稿では、とりあえず独立多試料の検定について扱う。

I DUNCAN の多重比較

一元配置分散分析を行った後の多重比較としては、多くの方法が提唱されている。日本語の解説としては、SCHEFFÉ の方法と TUKEY の方法について浦 (1963)、最小有意差法 (LSD) と総体有意差法について石居 (1975)、DUNCAN の方法について三留 (1960)、松本

(1979) などがある。最小有意差法は比較群数が多くなると誤って差の有意性を結論する可能性が増加する。一方、総体有意差法は保守的であり、検出力はその分落ちる。DUNCAN の方法はその中間にある。ここでは、アメリカの病害虫関係誌でよく用いられている DUNCAN の方法について紹介しておく。

まず一元配置分散分析を行う。次に各試料間で r_{cal} を求める。

$$r_{cal} = \frac{|\bar{x}_i - \bar{x}_j|}{\sqrt{\frac{V_R(n_i + n_j)}{2n_i n_j}}} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{x}_i$, $\bar{x}_j$ は比較する群 i , j の平均値、 n_i , n_j はその標本数、 V_R は分散分析で求めた残差の分散である。特に、 $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$ のときは

$$r_{cal} = \frac{|\bar{x}_i - \bar{x}_j|}{\sqrt{\frac{V_R}{n}}}$$

となる。この r_{cal} が DUNCAN の係数 r (付表1) の値より大きければ差は有意であると結論する。ただし、すべての平均値を大きさの順に並べたときに、比較する二つの平均値が有意差の検出されなかった他の平均値の組み合わせの間に含まれる場合、差の有意性は結論できない。また、付表1のPは、すべての平均値を大きさの順に並べたときの比較する二つの平均値間にある平均値数で、隣接した平均値間では2、間にもう一つの他の平均値がある場合は3である。

II DUNCAN の多重比較の計算例

石居 (1975) の教科書 (『生物統計学入門』) の例 37 (p. 175) (第1表) について DUNCAN の多重比較を行ってみよう。分散分析の手順は省略するが、結果は第2表のとおりで、分散比は1%水準で有意である。したがって、汚染度の違いによってイオン含有量の平均値には差があるということになる。そこで、それぞれの汚染度の平均値のどれとどれの間に有意差があるのか調べることになる。平均値はそれぞれ、 $\bar{x}_{0.08} = 1.95$, $\bar{x}_{0.13} = 1.80$, $\bar{x}_{0.30} = 2.23$, $\bar{x}_{0.50} = 3.85$, $\bar{x}_{0.55} = 3.78$, $\bar{x}_{0.72} = 3.20$, $\bar{x}_{0.86} = 4.43$ である (添え字は SO_2 汚染度)。まず(1)式を用いてそれぞれの平均値間の r_{cal} の値を計算する。例えば $\bar{x}_{0.13}$ と $\bar{x}_{0.08}$ の間の r_{cal} は

Multiple Comparisons of Three or More Independent Samples. By Masami TAKAGI

第 1 表 大気汚染の被害を受けたケヤキの葉の中のイオウ含有量と大気の SO₂ 汚染度との関係
(峠田 (1973) より石居 (1975) が作成した表)

SO ₂ 汚染度 (mg SO ₂ /day/100cm ² PbO ₂)	0.08	0.13	0.30	0.50	0.55	0.72	0.86
イオウ含有量 (mg/g 乾重量)	1.5	1.7	1.9	2.6	3.2	2.4	3.0
	1.9	1.9	2.2	4.0	3.5	3.4	4.2
	2.1		2.6	4.3	4.0	3.4	6.1
	2.3			4.5	4.4	3.6	

第 2 表 分散分析表

要 因	平 方 和	自 由 度	分 散	分 散 比
全 体	29.8063	23		
処 理	20.3654	6	3.3942	6.1123**
残 差	9.4409	17	0.5553	

** : 1% 水準で有意。

$$r_{cal} = \frac{|1.95 - 1.80|}{\sqrt{\frac{0.5553 \times (4+2)}{2 \times 4 \times 2}}} = 0.329$$

同様にしてすべての平均値間の r_{cal} を求め、平均値の大きさの順に並べ第 3 表を作る。この表の左下には付表 1 から求めた r の値を書き込む。例えば $\bar{x}_{0.13}$ と $\bar{x}_{0.08}$ の間では $\nu=17$, $P=2$ なので, $r_{0.05}=2.984$, $r_{0.01}=4.099$ 。 $\bar{x}_{0.08}$ と $\bar{x}_{0.50}$ の間には $\bar{x}_{0.30}$ と $\bar{x}_{0.72}$ と $\bar{x}_{0.55}$ があるので $P=5$ であり, $r_{0.05}=3.285$, $r_{0.01}=4.475$ 。これらの r の値より、それぞれの r_{cal} の値が大きければ差は一応有意である。しかし、比較する平均値を含むより大きな範囲での比較が有意でない場合には、その有意性は結論できない。例えば $\bar{x}_{0.08}$ と $\bar{x}_{0.72}$ 間では, $r_{cal} = 3.355$, $r_{0.05}=3.130$ で, $r_{0.05}$ より r_{cal} のほうが大きい, より大きな範囲での比較, $\bar{x}_{0.13}$ と $\bar{x}_{0.72}$ 間で r_{cal}

が有意でないから, $\bar{x}_{0.08}$ と $\bar{x}_{0.72}$ 間の差も有意とはいえない。同様に, $\bar{x}_{0.08}$ と $\bar{x}_{0.55}$ 間の差, および $\bar{x}_{0.08}$ と $\bar{x}_{0.50}$ 間の差も, r の値からすれば 1% 水準で有意となるが, 差の有意水準は 5% であると結論する。

III KRUSKAL-WALLIS の検定の後で行う
多重比較

独立多試料標本の差を検定する場合、その変量が正規分布、等分散であるという条件を満足していれば、一元配置分散分析を用いることができる。しかし、生物学のデータはこれらの条件を満足しないものが多い。このようなときには、変数変換を行ってデータを分散分析に耐えうる形に変換することも可能である。しかし、これらの条件を気にするのがめんどろなときや、どんな変換を行っても条件に合わないときなどに有効な方法として、ノンパラメトリックな検定法がある。独立多試料標本を比較するためのノンパラメトリックな検定法としては、KRUSKAL-WALLIS の検定法がある。この検定法については日本語の解説書も多く、またその検出力もパラメトリックな検定法（一元配置分散分析）に比べてさほど引けをとらないようである。にもかかわらず KRUSKAL-

第 3 表 DUNCAN の多重比較の結果

イオウ含有量	0.13	0.08	0.30	0.72	0.55	0.50	0.86
0.13	—	0.329	0.901	3.068	4.328*	4.492*	5.474**
0.08	2.984 (4.099)	—	0.704	3.355	4.898*	5.099*	6.170**
0.30	3.130 (4.275)	2.984 (4.099)	—	2.402	3.831*	4.017*	5.113**
0.72	3.222 (4.391)	3.130 (4.275)	2.984 (4.099)	—	1.543	1.744	3.064
0.55	3.285 (4.475)	3.222 (4.391)	3.130 (4.275)	2.984 (4.099)	—	0.201	1.636
0.50	3.331 (4.539)	3.285 (4.475)	3.222 (4.391)	3.130 (4.275)	2.984 (4.099)	—	1.445
0.86	3.366 (4.589)	3.331 (4.539)	3.285 (4.475)	3.222 (4.391)	3.130 (4.275)	2.984 (4.099)	—

右上は r_{cal} の値。左下は 5% 水準の r の値 (() 内は 1% 水準の r の値)。

* : 5% 水準で有意, ** : 1% 水準で有意。

WALLIS の検定の後で行う多重比較については、筆者の知るところ日本語の解説はなく、また外国語の教科書でも扱っていない場合が多いようである。しかし、MANN-WHITNEY の U 検定を 2 試料間で繰り返すと、一元配置分散分析のときと同様、全体としての危険率は高くなる。

GIBBONS (1976) の教科書には、DUNN (1964) が考案した多重比較が取り上げられてある。この方法は保守的であり、検出力はあまり高くないが、ほかに方法がない場合には利用価値があるので紹介しておく。

多重比較を行うに先立って、KRUSKAL-WALLIS の検定法で全体としての差の有意性を検定する。この検定法は多くの教科書にあるので省略するが、以下で用いる記号は「生物統計学入門」に従っておく。多重比較の手始めは、まず比較する試料のそれぞれ平均順位、 $\bar{R}_i, \bar{R}_j$ を求める。

$$\bar{R}_i = R_i/n_i, \quad \bar{R}_j = R_j/n_j$$

ここで R_i, R_j と n_i, n_j は比較する試料 i, j のそれぞれ順位の合計と標本数である。 R_i, R_j は KRUSKAL-WALLIS の検定に用いたものである。次に Z_{cal} を求める。

$$Z_{cal} = \frac{|\bar{R}_i - \bar{R}_j|}{\sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}} \quad (2)$$

ここで N は総標本数で、試料数を k とすると

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$$

特に、 $n_1 = n_2 = \dots = n_k = N/k$ のときは

$$Z_{cal} = \frac{|\bar{R}_i - \bar{R}_j|}{\sqrt{\frac{k(N+1)}{6}}}$$

となる。この Z_{cal} が付表 2 の Z の値より大きければ有

意差があると結論する。なお、 Z_{cal} の 2 乗は KRUSKAL-WALLIS の検定法の H に相当するので、 k や n が小さいときには「生物統計学入門」の付表 13 (p. 236) の H の値と Z_{cal}^2 を比較することにより、より正確に検定が行える。また、この多重比較を直接計算で正確に行う方法は HOLLANDER and WOLFE (1973) にある。

IV KRUSKAL-WALLIS の検定の後で行う 多重比較の計算例

今度は「生物統計学入門」の例 23 (p. 136) (第 4 表) について多重比較を行ってみよう。全体としての有意性検定の詳細は省略するが、

$$\begin{aligned} H &= \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \\ &= \frac{12}{44 \times (44+1)} \left(\frac{319^2}{11} + \frac{214.5^2}{12} + \frac{129.5^2}{11} + \frac{327^2}{10} \right) \\ &\quad - 3 \times (44+1) \\ &= 18.349 \end{aligned}$$

自由度 $k-1=3$ のとき $\chi_{0.01}^2=16.266$ で、 H はこの値よりも大きいので顆粒の直径は細胞によって違うと結論できる。そこで、それぞれの細胞における顆粒の直径の比較を行うことになる。まず細胞 1 と細胞 2 について比較してみよう。平均順位は

$$\bar{R}_1 = 319/11 = 29, \quad \bar{R}_2 = 214.5/12 = 17.875$$

なので、(2) 式より

$$Z_{cal} = \frac{|29 - 17.875|}{\sqrt{\frac{44 \times (44+1)}{12} \left(\frac{1}{11} + \frac{1}{12} \right)}} = 2.075$$

付表 2 から $k=4$ のとき $Z_{0.05}=2.638$ 、 Z_{cal} はこの値より小さいので細胞 1 と細胞 2 で顆粒の直径に差がないと

第 4 表 脳下垂体前葉の四つの細胞に含まれている分泌顆粒の直径 (mm) (石居, 1975)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
細胞 1	10.2	8.1	5.9	6.7	2.9	6.2	8.3	6.0	5.8	3.5	6.6		
2	4.4	4.5	3.1	4.3	2.9	5.1	6.3	5.4	4.6	6.7	5.8	5.0	
3	3.5	3.8	3.2	3.0	4.2	3.7	5.2	3.3	3.3	5.7	5.6		
4	4.7	7.6	6.6	6.4	6.8	6.7	6.1	5.4	7.1	8.0			
	順 位											合計	
細胞 1	44	42	27	36	1 $\frac{1}{2}$	30	43	28	25 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	33 $\frac{1}{2}$	319	
2	14	15	4	13	1 $\frac{1}{2}$	19	31	21 $\frac{1}{2}$	16	36	25 $\frac{1}{2}$	18	214.5
3	8 $\frac{1}{2}$	11	5	3	12	10	20	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	24	23		129.5
4	17	40	33 $\frac{1}{2}$	32	38	36	29	21 $\frac{1}{2}$	39	41			327

第5表 KRUSKAL-WALLIS の検定の後で行う多重比較の結果 (Zの値)

細胞	1	2	3	4
1	—			
2	2.074	—		
3	3.145**	1.138	—	
4	0.659	2.695*	3.729**	—

*: 5% 水準で有意, **: 1% 水準で有意.

いう帰無仮説を捨てるわけにはいかない。次に、細胞1と細胞3を比較してみよう。

$$\bar{R}_3 = 129.5/11 = 11.773$$

$$Z_{cal} = \frac{|29 - 11.773|}{\sqrt{\frac{44 \times (44+1) \times \left(\frac{1}{11} + \frac{1}{11}\right)}{12}}} = 3.145$$

$Z_{0.01} = 3.144$ で、 Z_{cal} はこの値より大きいので今度は顆粒の直径の差が1%水準で有意であるということになる。以下同様にして、すべての組み合わせについての差の検定ができる (第5表)。

V パソコンプログラム

多重比較は試料数が増えると比較の組み合わせ数も増加し、手計算では大変である。幸い多くの研究室にパソコンが設置されている今日では、ソフトさえあれば繰り返し計算は容易である。付録に DUNCAN の多重比較と KRUSKAL-WALLIS の検定の後で行う多重比較についてのプログラムを載せた。このプログラムは NEC の PC-8800 用に N88-BASIC で書いたものであるが、他のパソコンでもほとんど変更することなく利用できるものと思われる。また、「BASIC による統計処理」(石居, 1983) の p. 133 に DUNCAN の検定法とあるのは誤りで、この本にあるプログラムで用いられている多重比較は全体有意差法である (新しい版では改訂の予定 (石居, 私信))。

本稿に載せた一元配置分散分析のプログラムでは、まず最初に BARTLETT の検定法で試料間の等分散性を検定している。BARTLETT の検定法については「生物統計学入門」を参照してほしいが、この検定で等分散性が棄却されたら、以下のパラメトリックな検定 (一元配置分散分析) は無効である。

おわりに

JONES (1984) は、アメリカ昆虫学会が発行している雑誌の論文でもっとも多く使用されている多重比較が DUNCAN の方法 (DMRT) であることに対して、DMRT を多用する根拠は必ずしも明確ではないと批判している。彼は DMRT よりも信頼限界を計算できる他の方法 (LSD や TUKEY の方法や SCHEFFÉ の方法) のほうが好ましいとしている。彼の議論は試験研究における結果の表しかたにまで及んでいる。すなわち、帰無仮説を立てて一定の危険率でそれを棄却するという従来の検定という考えかたよりも、結果に信頼限界を付けて直接示すほうが、生物学的により意味があるという見解である。データの性質によっては JONES の指摘が正しい場合もあるが、DUNCAN の方法が有効な場合も多いと思われる。ただし、DUNCAN の方法はあまり厳格ではないという批判もあることは心にとめておく必要があるだろう。また、「生物統計学入門」の最新刷 (第12刷) では、総体有意差法の代わりに DUNCAN の方法を採用してある。

DUNCAN の方法に対する筆者の誤った理解を指摘された農業環境技術研究所の三輪哲久博士、原稿を読んで貴重な意見を寄せられた早稲田大学教育学部の石居 進 教授と九州大学理学部の柳川 堯 助教授、ならびに文献を教えてくださいました九州大学農学部の広瀬義躬助教授にお礼申し上げる。

引用文献

- 1) DUNN, O. J. (1964): *Technometrics* 6: 241~252.
- 2) GIBBONS, J. D. (1976): *Nonparametric Methods for Quantitative Analysis*, Holt, Rinehart and Winston, pp. 463.
- 3) HARTER, H. L. (1960): *Biometrics* 16: 671~685.
- 4) HOLLANDER, M. and D. A. WOLFE (1973): *Nonparametric Statistical Methods*, Wiley, pp. 508.
- 5) 石居 進 (1975): *生物統計学入門*, 培風館, 東京, pp. 288.
- 6) ——— (1983): *BASIC による統計処理 PC-8801 (ライフサイエンス・パソコン・シリーズ3)*, 培風館, 東京, pp. 167.
- 7) JONES, D. (1984): *Environ. Entomol.* 13: 635~649.
- 8) 松本和夫 (1979): *植物防疫* 33: 170~175.
- 9) 三留三千男 (1960): *農業実験計画法*, 朝倉書店, 東京, pp. 375.
- 10) 浦 昭二 (1963): *SCHEFFÉ の方法と TUKEY の方法: 新しい統計手法集 (A) (品質管理誌編集委員会 編)*, 日科技連, pp. 13~19.

付表 1 DUNCAN の係数 r (1% 水準)

$\gamma \backslash P$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03	90.03
2	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04
3	8.261	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321	8.321
4	6.512	6.677	6.740	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756	6.756
5	5.702	5.893	5.989	6.040	6.065	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074	6.074
6	5.243	5.489	5.549	5.614	5.655	5.680	5.694	5.701	5.703	5.703	5.703	5.703	5.703	5.703	5.703
7	4.949	5.145	5.200	5.334	5.383	5.416	5.439	5.454	5.464	5.470	5.472	5.472	5.472	5.472	5.472
8	4.746	4.939	5.057	5.135	5.189	5.227	5.256	5.276	5.291	5.302	5.309	5.314	5.316	5.317	5.317
9	4.596	4.787	4.906	4.986	5.043	5.086	5.118	5.142	5.160	5.174	5.185	5.193	5.199	5.203	5.205
10	4.482	4.671	4.790	4.871	4.931	4.975	5.010	5.037	5.058	5.074	5.088	5.098	5.106	5.112	5.117
11	4.392	4.579	4.697	4.780	4.841	4.887	4.924	4.952	4.975	4.994	5.009	5.021	5.031	5.039	5.045
12	4.320	4.504	4.622	4.706	4.767	4.815	4.852	4.883	4.907	4.927	4.944	4.958	4.969	4.978	4.986
13	4.260	4.442	4.560	4.644	4.706	4.755	4.793	4.824	4.850	4.872	4.889	4.904	4.917	4.928	4.937
14	4.210	4.391	4.508	4.591	4.654	4.704	4.743	4.775	4.802	4.824	4.843	4.859	4.872	4.884	4.894
15	4.168	4.347	4.463	4.547	4.610	4.660	4.700	4.733	4.760	4.783	4.803	4.820	4.834	4.846	4.857
16	4.131	4.309	4.425	4.509	4.572	4.622	4.663	4.696	4.724	4.748	4.768	4.786	4.800	4.813	4.825
17	4.099	4.275	4.391	4.475	4.539	4.589	4.630	4.664	4.693	4.717	4.738	4.756	4.771	4.785	4.797
18	4.071	4.246	4.362	4.445	4.509	4.560	4.601	4.635	4.664	4.689	4.711	4.729	4.745	4.759	4.772
19	4.046	4.220	4.335	4.419	4.483	4.534	4.575	4.610	4.639	4.665	4.686	4.705	4.722	4.736	4.749
20	4.024	4.197	4.312	4.395	4.459	4.510	4.552	4.587	4.617	4.642	4.664	4.684	4.701	4.716	4.729
24	3.956	4.126	4.239	4.322	4.386	4.437	4.480	4.516	4.546	4.573	4.596	4.616	4.634	4.651	4.665
30	3.889	4.058	4.168	4.250	4.314	4.366	4.409	4.445	4.477	4.504	4.528	4.550	4.569	4.586	4.601
40	3.825	3.988	4.098	4.180	4.244	4.296	4.339	4.376	4.408	4.436	4.461	4.483	4.503	4.521	4.537
60	3.762	3.922	4.031	4.111	4.174	4.226	4.270	4.307	4.340	4.368	4.394	4.417	4.438	4.456	4.474
120	3.702	3.858	3.965	4.044	4.107	4.158	4.202	4.239	4.272	4.301	4.327	4.351	4.372	4.392	4.410
∞	3.643	3.796	3.900	3.978	4.040	4.091	4.135	4.172	4.205	4.233	4.261	4.285	4.307	4.327	4.345

(5% 水準)

$\gamma \backslash P$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97
2	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085
3	4.501	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516
4	3.927	4.013	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033
5	3.635	3.749	3.797	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814
6	3.461	3.587	3.649	3.680	3.694	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697
7	3.344	3.477	3.548	3.588	3.611	3.622	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626
8	3.261	3.399	3.475	3.521	3.549	3.566	3.575	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579
9	3.199	3.339	3.420	3.470	3.502	3.523	3.536	3.544	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547
10	3.151	3.293	3.376	3.430	3.465	3.489	3.505	3.516	3.522	3.525	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526
11	3.113	3.256	3.342	3.397	3.435	3.462	3.480	3.493	3.501	3.506	3.509	3.510	3.510	3.510	3.510
12	3.082	3.225	3.313	3.370	3.410	3.439	3.459	3.474	3.484	3.491	3.496	3.498	3.499	3.499	3.499
13	3.055	3.200	3.289	3.348	3.389	3.419	3.442	3.458	3.470	3.478	3.484	3.488	3.490	3.490	3.490
14	3.033	3.178	3.268	3.329	3.372	3.403	3.426	3.444	3.457	3.467	3.474	3.479	3.482	3.484	3.484
15	3.014	3.160	3.250	3.312	3.356	3.389	3.413	3.432	3.446	3.457	3.465	3.471	3.476	3.478	3.480
16	2.998	3.144	3.235	3.298	3.343	3.376	3.402	3.422	3.437	3.449	3.458	3.465	3.470	3.473	3.477
17	2.984	3.130	3.222	3.285	3.331	3.366	3.392	3.412	3.429	3.441	3.451	3.459	3.465	3.469	3.473
18	2.971	3.118	3.210	3.274	3.321	3.356	3.383	3.405	3.421	3.435	3.445	3.454	3.460	3.465	3.470
19	2.960	3.107	3.199	3.264	3.311	3.347	3.375	3.397	3.415	3.429	3.440	3.449	3.456	3.462	3.467
20	2.950	3.097	3.190	3.255	3.303	3.339	3.368	3.391	3.409	3.424	3.436	3.445	3.453	3.459	3.464
24	2.919	3.066	3.160	3.226	3.276	3.315	3.345	3.370	3.390	3.406	3.420	3.432	3.441	3.449	3.456
30	2.888	3.035	3.131	3.199	3.250	3.290	3.322	3.349	3.371	3.389	3.405	3.418	3.430	3.439	3.447
40	2.858	3.006	3.102	3.171	3.224	3.266	3.300	3.328	3.352	3.373	3.390	3.405	3.418	3.429	3.439
60	2.829	2.976	3.073	3.143	3.198	3.241	3.277	3.307	3.333	3.355	3.374	3.391	3.406	3.419	3.431
120	2.800	2.947	3.045	3.116	3.172	3.217	3.254	3.287	3.314	3.337	3.359	3.377	3.394	3.409	3.423
∞	2.772	2.918	3.017	3.089	3.146	3.193	3.232	3.265	3.294	3.320	3.343	3.363	3.382	3.399	3.414

HARTER (1960) から引用. P : 比較試料間にある平均値の数, ν : 残差の自由度.

付表 2 k 個の試料の多重比較のための Z の値

k	有意水準		k	有意水準		k	有意水準		k	有意水準	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
2	2.576	1.960	8	3.570	3.124	14	3.868	3.456	20	4.044	3.649
3	2.935	2.394	9	3.635	3.197	15	3.892	3.494	30	4.234	3.857
4	3.144	2.638	10	3.692	3.261	16	3.935	3.529	40	4.363	3.997
5	3.291	2.807	11	3.743	3.317	17	3.965	3.562	50	4.461	4.103
6	3.403	2.935	12	3.789	3.368	18	3.992	3.593	100	4.752	4.396
7	3.494	3.039	13	3.830	3.414	19	4.019	3.622			

付録 1

```

100 *****
110 * 伊藤ノハイ アンソニアン *
120 * written by M.T. 1985 *
130 *****
140 PRINT "---- 伊藤ノハイ アンソニアン ---"
150 WIDTH 80,25
160 INPUT "Iprint(y/n)":LP8
170 IF LP8="Y" THEN LP8="y"
180 IF LP8="N" THEN LP8="n"
190 IF LP8<>"y" AND LP8<>"n" THEN 160
200 IF LP8="y" THEN LPRINT "---- 伊藤ノハイ アンソニアン ---"
210 INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
220 IF REP8="Y" THEN REP8="y"
230 IF REP8="N" THEN REP8="n"
240 IF REP8<>"y" AND REP8<>"n" THEN 210
250 INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
260 DIM M(11), N(11), R(11), J(11), NM(11,11)
270 IF REP8="y" THEN INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
280
290 IF LP8="y" THEN LPRINT "=== 伊藤ノハイ ==="
300 FOR I=1 TO 11
310 PRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
320 IF LP8="y" THEN LPRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
330 IF REP8="n" THEN INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
340 PRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
350 TX=0:TX2=0
360
370 FOR J=1 TO REP8
380 INPUT X
390 IF LP8="y" THEN LPRINT X:
400 TX=TX+X:TX2=TX+X^2
410 NEXT J
420 N(1)=REP8:M(1)=TX/REP:S2=(TX2-TX^2/REP)/(REP-1)
430 IF LP8="y" THEN 440 ELSE 470
440 LPRINT "  N="REP:  mean="M(1):  s^2="S2
450 LPRINT
460 LPRINT
470 TTX=TX2-TX^2/REP:TII=TII+REP:MM=TX/REP
480 TTX=TTX+TX:STC=STC+TX:TX2=TX2+TX^2/REP
490 TFS2=TFS2+(REP-1)*S2:TPLS=TPLS+(REP-1)*LOG(S2)
500 TP=TP+REP-1:TRP=TRP+1/(REP-1)
510 NEXT I
520
530 PRINT "=== Bartlett / Kruskal-Wallis ==="
540 S2=TFS2/TP:W=TP/LOG(S2):TFLS
550 C=1+1/3*(11-1)*TRP-1/TP)
560 PRINT "  S^2="S2:  W="W:  C="C
570 PRINT "  X^2 = W/C
580 PRINT
590 IF LP8="n" THEN 650
600 LPRINT
610 LPRINT "=== Bartlett / Kruskal-Wallis ==="
620 LPRINT "  S^2="S2:  W="W:  C="C
630 LPRINT "  X^2 = W/C
640 LPRINT
650
660 CP=TX2-TX^2/REP:STC=STC-CP:SA=SAC-CP:SE=ST-SA:DFT=TII-1
670 DFA=11-1:DFT=DFA-1:VA=SA/DFA:VB=SE/DF:PO=VA/VB
680 FOR I=1 TO 11
690 FOR J=1 TO 11
700 IF I>J THEN 770
710 R(I,J)=ABS((M(I)-M(J))/SQRT(VB/2*(1/N(I)+1/N(J))))
720 NM(I,J)=2
730 FOR K=1 TO 11
740 IF M(I)>M(J) AND M(I)>M(K) AND M(K)>M(J) THEN NM(I,J)=NM(I,J)+1
750 IF M(J)>M(I) AND M(J)>M(K) AND M(K)>M(I) THEN NM(I,J)=NM(I,J)+1
760 NEXT K
770 NEXT J
780 NEXT I
790 J(1)=1
800 FOR I=2 TO 11
810 A=J(I-1):A=1
820 IF M(J(A))=M(J(I-1)) THEN SJ(A)=SJ(A)+1:SJ(A+1)=SJ(A)+1
830 IF M(J(A))<M(J(I-1)) THEN 860
840 SWAP J(A),J(I-1):A=A-1
850 IF A>1 THEN 830
860 NEXT I
870
880 PRINT "=== アンソニアン ==="
890 PRINT
900 PRINT "  アンソニアン 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ"
910 PRINT
920 PRINT "  アンソニアン ST.DFT"
930 PRINT "  アンソニアン SA,DFA,VA,PO"
940 PRINT "  アンソニアン SE,DF,VE"
950 PRINT
960 PRINT
970 PRINT "=== Duncan ==="
980 PRINT
990 PRINT "  Duncan P F"
1000 PRINT
1010 FOR I=1 TO 11
1020 FOR J=1 TO 11
1030 IF I>J THEN 1070
1040 A=J(I-1):B=J(J)
1050 IF A>B THEN SWAP A,B
1060 PRINT J(I)-J(J),NM(A,B),R(A,B)
1070 NEXT J
1080 NEXT I
1090 PRINT
1100 IF LP8="y" THEN 1100 ELSE END
1110 LPRINT
1120 LPRINT "=== アンソニアン ==="
1130 LPRINT "  Duncan P F"
1140 LPRINT
1150 LPRINT "  Duncan ST.DFT"
1160 LPRINT "  Duncan SA,DFA,VA,PO"
1170 LPRINT "  Duncan SE,DF,VE"
1180 LPRINT
1190 LPRINT
1200 LPRINT "=== Duncan ==="
1210 LPRINT
1220 LPRINT "  Duncan P F"
1230 LPRINT
1240 FOR I=1 TO 11
1250 FOR J=1 TO 11
1260 IF I>J THEN 1300
1270 A=J(I-1):B=J(J)
1280 IF A>B THEN SWAP A,B
1290 LPRINT J(I)-J(J),NM(A,B),R(A,B)
1300 NEXT J
1310 NEXT I
1320 LPRINT:LPRINT:END

```

付録 2

```

100 *****
110 * Kruskal-Wallis / Kruskal-Wallis *
120 * written by M.T. 1985 *
130 *****
140 WIDTH 80,25
150 PRINT "---- Kruskal-Wallis / Kruskal-Wallis ---"
160 INPUT "Iprint(y/n)":LP8
170 IF LP8="Y" THEN LP8="y"
180 IF LP8="N" THEN LP8="n"
190 IF LP8<>"y" AND LP8<>"n" THEN 160
200 IF LP8="y" THEN LPRINT "---- Kruskal-Wallis / Kruskal-Wallis ---"
210 INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
220 IF REP8="Y" THEN REP8="y"
230 IF REP8="N" THEN REP8="n"
240 IF REP8<>"y" AND REP8<>"n" THEN 210
250 INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
260 IF REP8="y" THEN INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
270
280 IF LP8="y" THEN LPRINT "=== 伊藤ノハイ ==="
290 FOR I=1 TO 11
300 PRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
310 IF LP8="y" THEN LPRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
320 IF REP8="n" THEN INPUT " 伊藤ノハイ アンソニアン (y/n) ":REP8
330 N(1)=REP8:M(1)=TX/REP:S2=(TX2-TX^2/REP)/(REP-1)
340 PRINT "I="I":J="J":R="R":NM="NM"
350 FOR J=1 TO N(1)
360 INPUT X(I,J)
370 IF LP8="y" THEN LPRINT X(I,J):
380 NEXT J
390 PRINT
400 IF LP8="y" THEN LPRINT
410 NEXT I
420
430 PRINT "=== 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ ==="
440 FOR I=1 TO N(1)
450 X=X(I):SR=0:LR=0
460 FOR J=1 TO C
470 FOR L=1 TO N(K)
480 IF X(K,L)>X THEN SR=SR+1
490 IF X(K,L)<X THEN LR=LR+1
500 NEXT L,K
510 R(I)=(SR+LR)/2
520 IF SR) THEN T=1:(SR=3-SR)/SR
530 NEXT J,I
540
550 PRINT
560 IF LP8="y" THEN LPRINT
570 FOR I=1 TO C:H=H(1)+2/N(1):NEXT I
580 H=H(2)/N(1)+3*(N(1)-1)
590 PRINT "=== 伊藤ノハイ ==="
600 IF LP8="y" THEN LPRINT "=== 伊藤ノハイ ==="
610 PRINT "H="H
620 IF LP8="y" THEN LPRINT "H="H
630 H=H(1)/N(1)+3*(N(1)-1)
640 PRINT "H="H:HC=PRINT
650 IF LP8="y" THEN LPRINT "H="H:HC=PRINT
660 PRINT "=== 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ ==="
670 PRINT " 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ"
680 IF LP8="y" THEN LPRINT " 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ"
690 IF LP8="y" THEN LPRINT " 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ 伊藤ノハイ"
700 IF C=2 THEN Z=1.96:Z1=2.576:GOTO 810
710 IF C=3 THEN Z=2.394:Z1=2.935:GOTO 810
720 IF C=4 THEN Z=2.838:Z1=3.444:GOTO 810
730 IF C=5 THEN Z=2.807:Z1=3.291:GOTO 810
740 IF C=6 THEN Z=2.835:Z1=3.403:GOTO 810
750 IF C=7 THEN Z=3.000:Z1=3.494:GOTO 810
760 IF C=8 THEN Z=3.124:Z1=3.57:GOTO 810
770 IF C=9 THEN Z=3.197:Z1=3.635:GOTO 810
780 IF C=10 THEN Z=3.281:Z1=3.692:GOTO 810
790 INPUT "Z-value (0.05 level)":Z
800 INPUT "Z-value (0.01 level)":Z1
810 FOR I=1 TO C
820 FOR J=1 TO C
830 IF I>J THEN 830
840 ZZ=SQRT((N(1)-1)*(1/N(I)+1/N(J)))/Z
850 YI=Z+ZZ:YI2=ZZ^2
860 ZC=ABS(R(I)-R(J))/N(J)
870 ZV=ZZ/ZZ
880 SGB=" "
890 IF ZC>YI THEN SGB="*"
900 IF ZC>YI THEN SGB="*"
910 PRINT "  I="I":J="J":Z="Z:ZV=SGB
920 IF LP8="y" THEN LPRINT "  I="I":J="J":Z="Z:ZV=SGB
930 NEXT J
940 NEXT I
950 IF LP8="y" THEN LPRINT:LPRINT
960 END

```

植物防疫基礎講座

昆虫行動解析法 (9)

音の記録とその解析

いち かわ とし ひで
市 川 俊 英

香川大学農学部応用昆虫学研究室

はじめに

聴覚は視覚とともにわれわれのもっとも鋭敏な感覚である。このため、われわれは実に色々な音を聴くことができる。昆虫が発する音もその一つで、特に日本人は昔から季節の風物詩として鳴く虫の音を楽しんできた。ところで、物体であれば、大切に保存するといつまでも残しておくことができるが、音はどこかで発生した物体の振動が周囲に伝わっていだけであるから、発生してもすぐに消えてしまう。このため、音そのものを保存しておくわけにはいかない。昔は興味の対象となる音を記録する場合、実際の音を模した擬声語を作って書き留めておく以外に方法はなかった。電気音響機器が発達するまでは、学術的な研究で動物が発する音を記載する場合でも擬声語が用いられていた。音楽的素養を持ち、絶対音感を身につけていた研究者の場合は、それに加えて音を音符として表し、長さや高さを記載することができたぐらいである。ほぼ 1940 年代まではこのような状態であったが、その後電気音響機器の目覚ましい発達によって、昆虫を含む動物の発音に関する研究は飛躍的に進歩した(BUSNEL 編, 1963; LEROY, 1979)。

どんな昆虫でも活動するところには必ずといっていいほど音が出る。身近な例として、夜、ゴキブリが台所に現れてゴミ袋などの上を歩いているときのガサガサという音、ハチが飛んでいるときのブーンという音、カイコの幼虫が一齐に桑の葉を食べているときのザーという音などを思い起こせばよい。こうしてみると、どんな昆虫でも発音しているということになってしまう。しかし、実際には、発音という用語は発せられた音が同種の他個体と、またときには他の動物となんらかのコミュニケーションを行うための信号として機能している場合に限って用いられる。物理現象としての音は弾性媒質中を伝わる振動ということであるから、どこを伝わっていこうと音に変わりはない。しかし、動物学的な見地に立ってみると、媒質によって音の伝達範囲や音の受容器の性質

が異なるため、普通、空気中や水中を伝わる振動を音(sound)、固体物質中を伝わる振動を振動(vibration)として区別している。

本稿では昆虫が発する音および振動の信号を電氣的に記録し、それらの信号の物理的性質を解析するための方法の概要を述べる。

I 音の記録

1 可聴音

従来の研究によれば、昆虫が発する音の大半は可聴周波数帯域の音(大体 20 Hz~20 kHz)のようである。この範囲の音であれば、ダイナミックマイクやコンデンサーマイクを用いて、同一周波数の電気信号に変換することができる。このような電気信号を録音する方法としては円盤録音(レコード)、写真による録音(サウンドトラック)、磁気テープ録音(録音テープ)などがあるが、普通は録音テープを用いるのがよい。録音テープにはオープンリールテープとカセットテープがあるが、松浦(1983)によれば、最近録音テープもテープレコーダーも高性能化してきたため、カセットテープで十分録音しうることである。なお、ビデオテープに録音することもできる。ハイファイビデオであれば、20 Hz~20 kHz をカバーすることができる。ビデオテープの利点は対象昆虫の映像も同時に収録できることである。

録音された音はその後の分析のための素材となるので、録音には細心の注意が必要である。単純だが、重要なことは録音レベルを上げ過ぎないことである。そうしないと、強い音は途中でカットされて、原音とはまったく違ったひずんだ音になってしまう。また、マイクを音源に近づけて録音する場合には、録音レベルをいくら下げても音がひずんでしまう場合がある。これはマイクでキャッチする音が大きすぎて、マイクアンプの部分で音がひずんでしまうためである。次に問題となるのは雑音である。特に野外で録音してみるとよくわかるが、雑音は実に多い。山の中でも自動車の騒音、飛行機の音、鳥の鳴き声、風による植物の葉の接触音などが次々に耳に入ってくる。ふだんは気持ちの良い溪流のせせらぎもこの時ばかりは憎らしくなってくる。このように周囲の雑

Techniques in Insect Behavior Analysis (9). Recording and Analysis of Sounds. By Toshihide ICHIKAWA

音が多い場合はマイクに長い円筒を装着したライフルマイクを用いると、目的に沿った録音が可能になる。また、たとえ同種の昆虫であっても多数が同時に発音している場合、そのような状況を録音するというのであれば別だが、1個体の音だけを抽出して録音するにはやはりライフルマイクが必要になる。それと同時に、録音対象となる個体にできるだけ接近することである。遠方の弱い音や広い範囲の音を録音する場合には放物面型集音器(パラボラ集音器)の焦点にマイクを取り付けて音をキャッチする必要がある。ただ、昆虫の発する音が純音(単一周波数の音)であるということはずないので、音源から離れるほど、音スペクトルの高周波成分の減衰率が高くなる。この点およびSN比(信号対雑音比)をできるだけ高めておくという点からも近接録音のほうがよい。室内で録音が可能な場合には野外に比べて雑音の問題を克服しやすい。ただし、音の反射には注意する必要がある。音を反射しやすい容器に昆虫を収容した状態で録音すると、原音に加えて反射音も録音することになる。理想的には無響室があればよいが、現実にはそうはいかない場合が多いと思われる。録音時には昆虫と近接した位置に音をよく反射する物体を置かないことである。

コオロギの仲間(直翅目)やセミの仲間(半翅目)のように、強い音を発する昆虫の場合はまだよいが、ごく近くからでも聞き取れないほどきわめて微弱な音を発する昆虫の場合には録音が非常に難しくなる。例えば、ショウジョウバエやミバエの雄の求愛音がそのような音である。研究する場合には間接的にグラスウールを詰め、入れ子状態になった数個のプラスチック製の箱の中に供試虫とマイクを収容したり(EWIG and BENETT-CLARK, 1968)、供試虫とマイクを収容した録音装置の一部を天井からつるしたりして(WEBB et al., 1983)、雑音や床からの振動を防いでいる。なお、前者はクリスタルマイクの振動膜を露出して、その上にカバーをし、振動膜とカバーの空げきに供試虫を収容するという装置を用いており、後者は音の反射や共鳴が生じないように網箱に供試虫を収容してコンデンサーマイクで録音するという装置を用いている。筆者らによれば、このような方法をとっても、自動車の走行などによる振動や平日の騒音によって録音が不可能になるということである。

昆虫の中には生涯のうちの一時期あるいは全生涯を水中で生活する、いわゆる水生昆虫と呼ばれるものが案外多い。それらの中には、例えばミズムシ科の昆虫(半翅目)(JANSSON, 1973)のように、水中で発音するものも知られている。ところで、水と空気の境界面は音の通過

を遮るきわめて効率的な防音装置のようなもので、どちらの媒質から音が来ても反対側の媒質に伝わる音のエネルギーは元のエネルギーの1%以下になってしまう。この数値は水中で発せられた音を空気中でキャッチすることがまず不可能であることを示している。このため、水中の音はハイドロホン(水中マイク)を水面下に沈めて録音しなければならない。

2 超音波

直翅目のキリギリス科やコオロギ科などの中には超音波を発し、超音波を知覚しうるものが知られている(SALES and PYE, 1974)。当然のことながら、超音波の周波数はほぼ20 kHz以上であるため、音の強弱にかかわらず、われわれにはまったく聞こえない。

普通のマイクでカバーしうる周波数の上限は20 kHz付近で、われわれの耳と大差ないため、超音波用には役立たない。超音波をキャッチするためには特別なコンデンサーマイクが必要で、それならば上限100~150 kHzぐらいまでカバーすることができる。コンデンサーマイクで変換された電気信号はきわめて微弱であるため、特別な前置アンプと精密計測用アンプで増幅したのちに録音可能となる。録音テープの走行速度を76 cm/sという高速にすれば、150 kHzまでの周波数の音を録音することができる。可聴音録音用のテープレコーダーの録音テープ走行速度は、カセットテープ用で4.8 cm/s、オープンリール用で最高38 cm/sであるから、役に立たない。録音にも専用のデータレコーダーが必要である。可聴音の場合、録音テープに収録する音のモニターはイヤホンやヘッドホンをを用いればよいが、超音波の場合にはそうはいかない。普通、モニター用としては1 MHz以上というような高い周波数にでも応答し、ブラウン管に現象の波形を表示するオシロスコープが使われる。

なお、聞こえない超音波を瞬時に聞こえるように変換して、可聴音用のオーディオ機器で録音したり、ヘッドホンなどでモニターすることも不可能ではない。その方法の一つは原理的にラジオのスーパーヘテロダイン受信機と同じで、超音波の受信システムに備えた発信器からの信号(超音波の周波数に近い周波数を持つ電気信号)と受信した信号を周波数変換器で混合して両者の差の低い周波数に変換するもので、変換された電気信号をオーディオアンプで増幅すればよい(SALES and PYE, 1974)。ただし、この場合にも周波数変換器に超音波の電気信号を入力する必要があるので、マイクとそれに連結する二つのアンプは超音波用のものを使用しなければならない。また、従来の研究によると、超音波を発する直翅目昆虫の発音の周波数スペクトラムは相当に広く、

可聴周波数帯域まで含む場合も多い。可聴周波数帯域を含む場合には普通のオーディオ機器でも録音できるが、その音は発せられた原音の一部にすぎないということになる。

3 振動

固体物質を伝わる振動を発して、なんらかのコミュニケーションの信号として利用している昆虫は少なくとも10目にわたって認められており(RUPPRECHT, 1975; 市川, 1976)、昆虫の生活における振動の重要性は意外に大きいようである。

振動をキャッチするためにもっとも手軽に使える器具は聴診器である。周知のようにこの医療器具は心臓などの内臓やその内容物の運動によって生じる振動を身体に接触させた振動板に伝えて音に変換し、物理的に増幅して聴き、正常か否かを診断するものである。古くは昆虫の発音に関する研究にも音の増幅装置として用いられた。しかし、聴診器の増幅率は限られており、録音という目的には使うことができない。

BUSNEL ら(1955)は直翅目昆虫の一種が発する音をマイクでキャッチすると同時に、レコード再生用クリスタルピックアップを植物体に接触させて振動をキャッチした。筆者もトビイロウンカがイネに伝える振動をイネの茎に接触させたクリスタルピックアップでキャッチし、オーディオアンプで増幅して録音テープに収録した(ICHIKAWA, 1982)。クリスタルピックアップは針先に伝わった振動をロッシェル塩のような圧電素子に伝えて、振動に応じた電気信号を発生するようになっている。このピックアップの出力電圧はムービングコイルピックアップやムービングマグネットピックアップの出力電圧に比べてはるかに高いので、微弱な振動をキャッチするのに適している。ただし、ほかのピックアップが20 kHz、ときにはそれ以上の周波数までキャッチできるのに対して、クリスタルピックアップでは10~12 kHz以上の周波数帯域をキャッチできないようである。また、近年、電気音響機器の性能が良くなり、高級化が進んだため、クリスタルピックアップはクリスタルマイクやクリスタルイヤホンとともに用途が急激に減少した。このような変化もあり、現在、筆者はムービングマグネットピックアップで振動をキャッチし、前置アンプとオーディオアンプで増幅して録音テープに収録するという方法を採用している。なお、振動をキャッチしようとする場合、もっともやっかいなものは床から伝わってくる余計な雑振動である。以前、筆者は、数10 kgの振動吸収板とその上に支持台とともに置いた数個の軟式テニスボールを二重の振動吸収材として研究室に設置

し、その上でウンカの振動をキャッチしようとした。このようにして雑振動を除去しようとしたが、結局、階上、階下および廊下から伝わってくる雑振動(主に人の歩行に伴って床に伝えられた振動)を問題にならないレベルまで抑えることができなかった。供試虫の行動にも悪影響が出る可能性が考えられたため、実験は夜間に行った。なお、現在は構内に作られた独立の建物で実験を行っている。この建物は人の出入りが少ないことと、自動車の通過する道路から20 m以上離れているため、実験者自身が雑振動の発生源にならないかぎり、日中でも大丈夫である。とにかく、トビイロウンカ(体長3 mm内外)のような小さい昆虫が発する振動はきわめて微弱であるため、各人、実験環境に応じた方法で雑振動の発生を十分小さく抑えることが必要である。

クリスタルイヤホンを改造した“振動マイク”(中坪, 1975)は結構感度が良く、手軽に使えるので便利である。筆者は野外で振動をキャッチする場合にこのマイクを使っている。筆者が使用している振動マイクは、クリスタルイヤホンの振動板を除去して金属ブリッジを裸出させ、このブリッジに瞬間接着剤で昆虫標本用ステンレス針を接着したものである。ステンレス針はそのままでは長すぎるので、先端から2 cm程度の長さに切ったものを使っている。また、導線は雑音の発生を抑えるため、シールドコードに替えておく。完成した振動マイクの針を昆虫が存在する植物の茎などに差し込み、カセットテープレコーダーのマイク端子に入力すればよい。

4 水の表面波

水生昆虫の中には水面付近で生活し、水面に落下する小昆虫などを餌としている昆虫がいる。ミズスマシやアメンボの仲間はそのような生活様式を持つ昆虫を代表するもので、水面波を種々のコミュニケーションに利用していることが知られている。感覚的にとらえると、水の表面波は音ではないように思われるが、水という弾性媒質の表面を伝わる振動であるからこれも音の一種である。

アメンボの一種が発した水の表面波について研究を行ったWILCOX(1972)の記録方法は以下のとおりである。検流計(ガルバノメーター)のバランスアームにガラス製の針を取り付け、この針の先端に発泡スチロール小片を接着する。水面に浮かべた発泡スチロール小片でキャッチした表面波の機械的振動を検流計で電流変化に変換してアンプで増幅し、ペンレコーダーで記録する。

II 音の解析

すでに述べたように、音は通常磁気テープに記録され

ることによって初めて元のままの形を再現しうるものとして保存が可能になり、正確に分析しうる素材となる。ここではそのように記録された音の定量的分析の方法について述べる。

昆虫が発したり、受容したりする音信号あるいは振動信号は一定のパターンを持っているのが普通である。そのような信号のパターンを正確に表すためには、電気信号に変換された音の振幅(電圧)の経時変化を正確に再現していくことができればよい。オシロスコープは電気信号が入力された場合、 μV から V オーダーまでの電圧変化と 0 からメガ Hz オーダーの周波数変化を瞬時にかつ正確に再現してブラウン管に表示しうる機能を備えているので、機能的に十分な余裕を持って信号のパターンを再現できる。オシロスコープでは時間軸の掃引速度を変えることによって、信号のパターンだけでなく、そのパターンを構成するパルス成分の状態や信号の最小単位である個々の波の振幅や形まで把握することも可能である。なお、オシロスコープはアナログ的に信号を解析する方法であるが、容量の大きいデジタルメモリーを用いれば、複雑な音信号の波形でもデジタルにほぼ正確に記憶させることができる。オシロスコープの場合、現象を写真撮影して解析するが、デジタルメモリーの場合は記憶波形をゆっくりと出力してペンレコーダーなどに記録して解析することもできる。

スペクトラムアナライザー(周波数分析器)とサウンドスペクトログラフ(ソナグラフ)は信号の周波数帯域を分析することができる。スペクトラムアナライザーはある時間内に発せられ、電気信号に変換された信号の周波数スペクトル(横軸)の全体にわたって、相対強度(縦軸)を表示するタイプの分析機である。一方、サウンドスペクトログラフは信号の周波数(縦軸)の経時的(横軸)変化を示すタイプのものである。なお、後者では強く発せられた周波数帯域が弱い周波数帯域よりも濃く表示されるようになっている。スペクトラムアナライザーの中には 100 kHz 程度までの周波数を分析しうる

機能を備えたものがあるが、サウンドスペクトログラフの場合の分析可能周波数帯域の上限は 20~30 kHz である。このため、高い周波数の超音波信号をサウンドスペクトログラフでそのまま分析することはできない。昆虫ではないが、例えばコウモリの超音波信号をサウンドスペクトログラフで分析する場合にはデータレコーダーに収録した信号を録音時の 1/10 のテープ走行速度で再生して入力すれば、可聴周波数となるので分析可能とのことである。

おわりに

本稿で概観してきたとおり、昆虫はほかの生活場面でもよく知られている多様性を音の利用という面でも明らかに示しており、さまざまな音がコミュニケーションのための信号として利用されている。しかし、音はわれわれになじみ深いだけに、かえって常識の支配するところとなったり、聞こえない音については研究の困難さも手伝って、役割には不明なところも多いように思われる。今後、客観的な音の分析の進展が望まれる。

最後に、超音波に関して種々御教示いただいた山口大学の松村澄子氏に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- BUSNEL, R.-G. ed. (1963): *Acoustic Behaviour of Animals*, Elsevier, Amsterdam-London-New York, pp. 933.
 ——— et al. (1955): *Bull. Soc. Zool. France* 80: 18~22.
 EWIG, A. W. and H. C. BENET-CLARK (1968): *Behaviour* 288~301.
 市川俊英 (1976): *植物防疫* 30 (1): 3~9.
 ICHIKAWA, T. (1982): *Appl. Ent. Zool.* 17(4): 439~452.
 JANSSON, A. (1973): *Behaviour* 46: 1~36.
 LEROY, Y. (1979): *L'univers Sonore Animal* (動物の音声の世界, 稲垣・香場訳, 共立出版, 東京, 1983, pp. 370).
 松浦一郎 (1983): *鳴く虫の観察と研究*, ニュー・サイエンス社, 東京, pp. 78.
 中坪礼治 (1975): *カセット録音 野外編*, 日本放送出版協会, 東京, pp. 182.
 RUPPRECHT, R. (1975): *J. Insect Physiol.* 21: 305~320.
 SALES, G. and D. PYE (1974): *Ultrasonic Communication by Animals*, Chapman and Hall, London, pp. 281.
 WEBB, J. C. et al. (1983): *Ent. exp. & appl.* 33: 1~8.

紹介

新登録農薬

『植物成長調整剤』

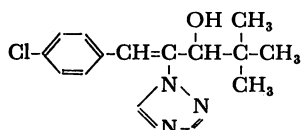
ウニコナゾール液剤 (60.1.7 登録)

本剤は住友化学によって開発された植物成長調整剤である。最も普遍的にみられるのは伸長抑制効果と葉色の濃緑化で、土壌処理で安定した効果を示す。

商品名：スミセブン液剤

成分・性状：製剤は有効成分 (E)-(RS)-1-(4-クロロフェニル)-4,4-ジメチル-2-(1H-1,2,4-トリアゾール-1-イル)-1-ペンテン-3-オール 0.050% を含有する無色澄明水溶性液体である。純品は白色結晶で、融点 159～160°C、溶解度 (g/l) は、水 0.01～0.02、メタノール 92、アセトン 74、クロロホルム 185、ジメチルスルホキシド 348 である。

(構造式)



適用作物、使用目的及び使用方法：第1表参照

使用上の注意：

① 本剤の所定量を所定量の水にうすめ、よくかきまぜてから散布または灌注すること。

② 他の薬剤との混用はさけること。

③ 栽培管理が不適当な場合は、十分な効果が得られないことがあるので、適切な栽培管理のもとで使用すること。

④ 本剤の伸長抑制効果は、作物の種類や品種、栽培条件、処理方法などによって異なるが、一般に使用量が多いほど効果が高くなる傾向があるので、希望する抑制程度に合わせて所定範囲内で決めること。ただし、本

剤の使用量が多くなるほど開花期が遅れる傾向があるので留意すること。

⑤ 茎葉散布の場合は植物体全体、とくに新葉部に均一にかかるように散布すること。

⑥ 土壌灌注により処理する場合は所定量の水にうすめ、鉢全体に均一に灌注すること。土壌が過湿状態の時は使用をさけること。

⑦ 適用作物以外の作物にも影響を及ぼすので、周辺の作物に薬液がかからないように注意して散布すること。

⑧ 本剤の使用にあたっては、使用量、使用時期、使用方法を誤らないように注意し、とくに初めて使用する場合には使用する作物で予備試験を行うか又は病虫害防除所等関係機関の指導を受けることが望ましい。

毒性：普通物であるが誤飲などないように注意すること。魚毒性はB類である。

『殺虫剤』

ベルメトリン乳剤 (60.2.21 登録)

住友化学工業(株)が開発したピレスロイド系殺虫剤である。昆虫に対する殺虫機構については、詳細な研究は進んでいないが、天然ピレトリンやピレスロイドに類似していると考えられる。末梢又は中枢神経の軸索あるいはシナプスに働き、反復興奮を起こし、けいれんや興奮症状を導き、ついで麻痺させ、死にいたらしめるものと推定される。

商品名：アディオン乳剤

成分・性状：製剤は有効成分 3-フェノキシベンジル=(IRS, 3RS)-(IRS, 3SR)-3-(2,2-ジクロロビニル)-2,2-ジメチルシクロプロパンカルボキシラート 20.0% を含有する淡黄色澄明可乳化油状液体である。原体は室温で黄褐色～茶褐色の澄明な油状液体で、わずかに特異なおいを有する。比重 1.214 (25°C)、蒸気圧 11.2 mmHg (250°C)、溶解度は水に極めて難溶、アルコール、エーテル、芳香族炭化水素に易溶である。中・酸性に安定、アルカリ性に不安定である。

第1表 ウニコナゾール液剤 (スミセブン液剤)

作物名	使用目的	使用時期	希釈倍数 (倍)	使用量	使用方法
きく (ポットマム)	節間の伸長抑制 (矮化)	摘芯 10 日後頃	25～50	5～10 ml / 5 号鉢 (原液 0.1～0.2 ml / 5 号鉢)	茎葉散布
			50～100	50～100 ml / 5 号鉢 (原液 1 ml / 5 号鉢)	土壌灌注
ポインセチア			15～25	5～10 ml / 5 号鉢 (原液 0.3～0.5 ml / 5 号鉢)	茎葉散布
つつじ しゃくなげ (鉢栽培)	節間の伸長抑制 (矮化)および着 蕾数増加	新梢伸長初期	15～20	5～10 ml / 5 号鉢 (原液 0.3～0.5 ml / 5 号鉢)	茎葉散布

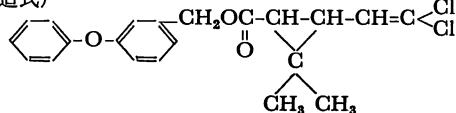
第 2 表 ベルメトリン乳剤 (アディオン乳剤)

作物名	適用害虫名	希釈倍数 (倍)	使用時期	本剤及びベルメトリンを 含む農薬の総使用回数	使用方法
なし	ハマキムシ類 シンクイムシ類	2,000	収穫 14 日前まで	6 回以内	散 布
も も	モモハモグリガ シンクイムシ類		収穫 7 日前まで		
かんきつ	ミカンハモグリガ アブラムシ類	2,000~4,000	収穫 14 日前まで		
く り	クリタマバチ	1,000~2,000	羽化脱出期	5 回以内	
きゅうり トマト な す	オンシツコナジラミ	2,000	収穫 前日まで	3 回以内	
キャベツ	アオムシ コナガ アブラムシ類 ヨトウムシ タマナギンウワバ		収穫 3 日前まで	5 回以内	

第 3 表 ベルメトリン水和剤 (アディオン水和剤)

作物名	適用害虫名	希釈倍数 (倍)	使用時期	本剤及びベルメトリンを 含む農薬の総使用回数	使用方法
りんご	キンモンホソガ シンクイムシ類 ハマキムシ類	2,000	収穫 14 日前まで	6 回以内	散 布
茶	コカクモンハマキ チャノホソガ ミドリヒメヨコバイ チャノキイロアザミウマ チャハマキ		摘採 14 日前まで	1 回	

(構造式)



適用作物、適用害虫名及び使用方法：第 2 表参照

使用上の注意：

① アルカリ性の強い農薬との混用はさけること。ただし、ボルドー液との混用の際は使用直前に混合すること。

② 蚕に長期間毒性があるので、散布された薬剤が飛散し、付近の桑に付着するおそれのある場所では使用しないこと。

毒性：普通物であるが誤飲などのないように注意すること。魚毒性はC類である。

なお、単剤のベルメトリン乳剤（商品名：アディオン乳剤）、ベルメトリン水和剤（アディオン水和剤）、ベルメトリンエアゾル（園芸用キンチョールE、カダンEX、サンフラバーA）のほか、混合剤として、ベルメトリ

ン・トリホリンエアゾル（園芸用キンチョールS）、ベルメトリン・MEP 乳剤（スミナイス乳剤）が同時に登録になっている。

アディオン水和剤及び混合剤の適用病害虫名及び使用方法：第 3 表～第 8 表参照

第 4 表 ベルメトリンエアゾル
(園芸用キンチョールE)

作物名	適用害虫名	使用方法
ば ら	アブラムシ類 ハダニ類 チュウレンジハバチ	噴霧液が均一に 付着 する よう 30cm 以上離れたところから断続して噴射する
き く	アブラムシ類	
つつじ・つばき 等の花木	ツツジグンバイ チャドクガ	

第5表 ベルメトリンエアゾル (カダン EX)

作物名	適用害虫名	使用方法
ばら・きく	アブラムシ類	噴霧液が均一に付着するよう30cm以上離れた所から断続して噴射する
カーネーション	エセナミハダニ	
つつじ	ツツジグンバイ	
つばき, さくら等の花木	チャドクガ アメリカシロヒトリ	

第6表 ベルメトリンエアゾル (サンフラバー A)

作物名	適用害虫名	使用方法
きく	アブラムシ類	噴霧液が均一に付着するよう30cm以上離れた所から断続して噴射する
ばら	アブラムシ類 チュウレンジハバチ	
つばき類	チャドクガ	
つつじ類	ツツジグンバイ ルリチュウレンジハバチ	
さくら, もみじ等の花木	アブラムシ類 アメリカシロヒトリ	

第7表 ベルメトリン・トリホリンエアゾル
(園芸用キンチョール S)

作物名	適用病虫害名	使用方法
ばら	アブラムシ類 ハダニ類 うどんこ病 黒星病	噴霧液が均一に付着するよう30cm以上離れたところから断続して噴射する
きく	アブラムシ類 白さび病	

第8表 ベルメトリン・MEP 乳剤 (スミナイス乳剤)

作物名	適用害虫名	希釈倍数	使用方法
きく ばら	アブラムシ類 ハダニ類	1,000倍	散布

第9表 スルプロホス乳剤 (ボルスター乳剤)

作物名	適用害虫名	希釈倍数 (倍)	使用時期	本剤及びスルプロホスを含む農薬の総使用回数	使用方法
きゅうり なす ピーマン さやいんげん	ミナミキイロアザミウマ	1,500~2,000	収穫前日まで	3回以内	散布
かぼちゃ			収穫7日前まで		

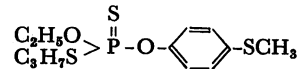
スルプロホス乳剤 (60.2.21 登録)

本剤は米国モーバー化学によって開発された有機燐系殺虫剤である。ほとんどの鱗翅目害虫に対して殺虫効力を発揮するが, ある種の半翅目昆虫や甲虫類, 蜂類に対して選択作用が認められる。その殺虫作用は, コリンエステラーゼの失活によるアセチルコリンの蓄積すなわち神経の異常興奮によるものである。

商品名: ボルスター乳剤

成分・性状: 製剤は有効成分 O-エチル=O-4-メチルチオフェニル=S-プロピル=ホスホロジチオアート 50.0%を含有する黄赤色澄明可乳化油状液体である。純品は無色液体で沸点 125°C, 比重 1.201, 溶解度 (g/ml, 20°C) は, 水 0.005>, イソプロピルアルコール 40~60, アセトン 120>である。

(構造式)



適用作物, 適用害虫名及び使用方法: 第9表参照

使用上の注意

① 蚕に長期間毒性があるので, 桑には薬剤がかからないように注意して散布すること。

② 本剤の使用にあたっては使用量, 使用時期, 使用方法を誤らないように注意し, 特に初めて使用する場合には, 病害虫防除所等関係機関の指導を受けることが望ましい。

毒性: 医薬用外劇物。取扱いには十分注意すること。魚毒性はB類である。

『殺菌剤』

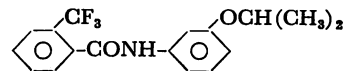
フルトラニル粉剤 (60.2.21 登録)

日本農薬(株)が開発した稲の紋枯病防除剤である。本剤は紋枯病菌に対して強い侵入阻止作用と進展阻止作用を有する。

商品名: モンカット粉剤 DL

成分・性状: 製剤は有効成分 α, α, α -トリフルオロ-3'-イソプロポキシ-o-トルアニリド 1.5%を含有する類白色粉末 300メッシュ以上, 浮遊性指数 20以下である。純品は白色結晶で比重 1.31, 融点 104~105°C, 溶解度 (g/l, 20°C) は水 0.0096, アセトン 656, メタノール 460, ベンゼン 104, ヘキサン 1.3である。熱, 光に安定である。

(構造式)



適用作物、適用病害名及び使用方法：第 10 表参照
使用上の注意：

① 本剤は飛散を少なくするように製剤されており、一般の粉剤に比べ見かけ比重がやや大きく、流動性が良いので、散布の際は散粉機の開度を一目盛程度しぼって散布すること。

② ばれいしょの種いも粉衣処理に使用する場合は、植付前に本剤を種いも重量に対して 0.3% の割合で、適当な容器内で均一に粉衣して植付けること。又、切断した種いもに粉衣する場合は、切断面が乾いた後に行うこと。

③ 蚕に対して毒性があるので、桑にはかからないように注意して散布すること。

④ 本剤の使用にあたっては、使用量、使用時期、使用方法を誤らないように注意し、とくに初めて使用する場合には、病害虫防除所等関係機関の指導を受けることが望ましい。

毒性：普通物である。魚毒性は B 類である。

なお、単剤のフルトラニル粉剤（商品名：モンカッター粉剤 DL）、フルトラニル水和剤（商品名：モンカッター水和剤、モンカッター顆粒水和剤）のほか、混合剤として、イソプロチオラン・フルトラニル粉剤（フジワンモンカッター粉剤 DL）、MEP・イソプロチオラン・フルトラニル粉剤（フジワンモンカッタースミ粉剤 DL）、フサライド・フルトラニル粉剤（モンカッタートラブサイド粉剤 DL）、MEP・フサライド・フルトラニル粉剤（モンカッタートラブサイドスミ粉剤 DL）、ダイアジノン・プロプロフェジン・フルトラニル粉剤（アブロードダイアモンカッター粉剤 DL）、イソプロチオラン・フルトラニル水和剤（グラステン水和剤）、プロプロフェジン・BPMC・フルトラニル粉剤（アブロードバッサモンカッター粉剤 DL）が同時に登録になっている。

モンカッター水和剤及び混合剤の適用作物、適用病害虫名及び使用方法：第 11 表～第 19 表参照

第 10 表 フルトラニル粉剤（モンカッター粉剤 DL）

作物名	適用病害名	10a 当たり 使用量	使用時期	本剤及びフルトラニルを含む農薬の総使用回数	使用方法
稲	紋枯病	3～4 kg	収穫 14 日前まで	3 回以内	散布
ばれいしょ	黒あざ病	種いも重量の 0.3 %	植付前	1 回	種いも粉衣

第 11 表 フルトラニル水和剤（モンカッター水和剤）

作物名	適用病害名	希釈倍数 (倍)	使用時期	本剤及びフルトラニルを含む農薬の総使用回数	使用方法
稲	紋枯病	1,000	収穫14日前まで	3 回以内	散布
麦類	雪腐小粒菌核病	400	根雪前まで	2 回以内	
なし	赤星病	250～500	収穫21日前まで	5 回以内	
ばれいしょ	黒あざ病	50～100	植付前	1 回	10分間種いも浸漬又は種いもに十分量散布
きゅうり トマト なす ピーマン	苗立枯病 (リゾクトニア菌)	500～1,000	は種時～子葉展開時	2 回以内	希釈液 3l/m ² を土壌面に灌注
		種子重量の 0.5～1.0%	は種前		種子粉衣

第 12 表 フルトラニル水和剤（モンカッター顆粒水和剤）

作物名	適用病害名	希釈倍数 (倍)	10a 当たり 散布液量	使用時期	本剤及びフルトラニルを含む農薬の総使用回数	使用方法
稲	紋枯病	15	80 ml	収穫14日前まで	3 回以内	空中散布
		50～60	3 l			

第 13 表 イソプロチオラン・フルトラニル水和剤 (フジワンモンカット粉剤 DL)

作物名	適用病害名	10a 当たり使用量	使用時期	本剤のみを使用する場合の使用回数	使用方法	イソプロチオランを含む農薬の総使用回数	フルトラニルを含む農薬の総使用回数
稲	いもち病 紋枯病	3~4 kg	収穫14日前まで	3回以内	散布	3回以内	3回以内

第 14 表 MEP・イソプロチオラン・フルトラニル粉剤 (フジワンモンカットスミ粉剤 DL)

作物名	適用病害虫名	10a 当たり使用量	使用時期	本剤のみを使用する場合の使用回数	使用方法	MEP を含む農薬の総使用回数	イソプロチオランを含む農薬の総使用回数	フルトラニルを含む農薬の総使用回数
稲	いもち病 紋枯病 ニカメイチュウ	3~4 kg	収穫14日前まで	3回以内	散布	7回以内	3回以内	3回以内

第 15 表 フサライド・フルトラニル粉剤 (モンカットラブサイド粉剤 DL)

作物名	適用病害名	10a 当たり使用量	使用時期	本剤のみを使用する場合の使用回数	使用方法	フサライドを含む農薬の総使用回数	フルトラニルを含む農薬の総使用回数
稲	いもち病 紋枯病	3~4 kg	収穫21日前まで	3回以内	散布	穂ばらみ期以降は4回以内	3回以内

第 16 表 MEP・フサライド・フルトラニル粉剤 (モンカットラブサイドスミ粉剤 DL)

作物名	適用病害虫名	10a 当たり使用量	使用時期	本剤のみを使用する場合の使用回数	使用方法	MEP を含む農薬の総使用回数	フサライドを含む農薬の総使用回数	フルトラニルを含む農薬の総使用回数
稲	いもち病 紋枯病 ニカメイチュウ	3~4 kg	収穫21日前まで	3回以内	散布	7回以内	穂ばらみ期以降は4回以内	3回以内

第 17 表 ダイアジノン・ブプロフェジン・フルトラニル粉剤 (アブロードダイアモンカット粉剤 DL)

適用病害虫名	10a 当たり使用量	使用時期	本剤のみを使用する場合の使用回数	使用方法	ダイアジノンを含む農薬の総使用回数	ブプロフェジンを含む農薬の総使用回数	フルトラニルを含む農薬の総使用回数
紋枯病 ニカメイチュウ コブノメイガ イネツトムシ ツマグロヨコバイ ウンカ類	3~4 kg	収穫21日前まで	3回以内	散布	4回以内	4回以内	3回以内

第 18 表 イソプロチオラン・フルトラニル水和剤 (グラステン水和剤)

作物名	適用病害名	希釈倍数 (倍)	使用時期	使用方法
日本芝	リゾクトニアラージパッチ	300~500	—	1m ² 当たり 1ℓ 散布
ライグラス	さび病	500		
ブルーグラス	雪腐小粒菌核病	300~500	根雪前	
ベントグラス			—	
パーミューダグラス	ヘルミントスポリウム葉枯病 カーブラリア葉枯病			

第19表 プロフエジン・BPMC・フルトラニル粉剤 (アブロードパッサモンカット粉剤 DL)

作物名	適用病害虫名	10a 当たり 使用量	使用時期	本剤のみを使用 する場合の 使用回数	使用 方法	プロフエジン を含む農薬 の総使用回数	BPMCを含 む農薬の総 使用回数	フルトラニル を含む農薬の 総使用回数
稲	紋枯病 ツマグロヨコバイ ウンカ類	3~4 kg	収穫14日 前まで	3回以内	散布	4回以内	5回以内	3回以内



14:30~15:30 昆虫細胞の培養技術とその利用

林業試験場 三橋 淳

15:30~16:30 ショウジョウバエにおける形質転換

三菱化成生命研究所 上田 龍一

連絡先: 〒351-01 埼玉県和光市広沢2-1

理化学研究所 微生物薬理研究室

米 山 勝 美

電話 0484-62-1111 (内線) 5134

○『植物保護とバイオテクノロジー』シンポジウムのお知らせ

主 催: 日本農薬学会・農薬バイオテクノロジー研究会

日 時: 昭和 60 年 10 月 31 日 (木)

午前10:00~午後4:30

場 所: 玉川大学 農学部 (502教室)

東京都町田市玉川学園 6-1-1

小田急線 玉川学園駅下車

参加費: 3,000円

プログラム

10:00~10:30 農薬バイオテクノロジー新展開
への一私見

玉川大学農学部 沖本陽一郎

10:30~11:30 植物の除草剤抵抗性機構

農業環境技術研究所 坂 斉

11:30~12:30 植物細胞の培養技術の現状

植物工学研究所 島本 功

13:30~14:30 植物細胞培養による物質生産

東京大学農学部 山川 隆

中 央 だ よ り

—農林水産省—

○ラプラタリンゴガイ (ジャンボタニシ) 防除対策検討会の開催

昭和 60 年におけるラプラタリンゴガイによる農作物の被害状況, 防除対策等を検討し, 今後の防除対策の推進に資するため, 標記検討会が開催される。

日時: 昭和 60 年 10 月 29 日 (火) 13.00~17.00

場所: 宮崎県宮崎市 ホテルひまわり荘

参集範囲: 岩手, 静岡, 三重, 岐阜, 香川, 福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島, 沖縄各県担当者, 九州農業試験場, 地方農政局, 沖縄総合事務局, 植物防疫課各担当官

植 物 防 疫

第 39 巻 昭和 60 年 9 月 25 日印刷
第 10 号 昭和 60 年 10 月 1 日発行定価 500 円 送料 50 円 1 年 6,100 円
(送料共概算)

昭和 60 年

10 月 号

(毎月 1 回 1 日発行)

編 集 人 植物防疫編集委員会

発 行 人 遠 藤 武 雄

印 刷 所 株式会社 双文社印刷所
東京都板橋区熊野町 13-11

— 発 行 所 —

東京都豊島区駒込 1 丁目 43 番 11 号 郵便番号 170

社団法人 日本植物防疫協会

電話 東京 (03) 944-1561~6 番

振替 東京 1-177867 番

— 禁 転 載 —

新発売

発殺卵!

新強力殺ダニ剤

ニッソラン

水和剤

みかん=3,000倍

りんご・なし・もも・ぶどう・おうとう=2,000倍

茶のハダニ防除に

ニッソランV

乳剤

使用濃度=1,000倍



日本曹達株式会社

本社 〒100 東京都千代田区大手町2-2-1
支店 〒541 大阪市東区北浜2-90
営業所 札幌・仙台・信越・名古屋・福岡・四国・高岡

1年1回散布を守ってください!

新刊 原色・作物の薬害

A5判・上製本・272頁(内カラー164頁) 行本峰子・浜田虔二著
定価4000円 3300円

本書は薬害症状編、薬害解

説編、参考資料編からなり、

症状編では各作物の薬害症状

を230枚に及ぶカラー写真

で紹介、解説編では薬害の定

義から症状、発生要因、変動

要因、事例、回避対策など、

資料編では過去に記録された薬害の作物、症状、発

生要因を化合物グループ別に配列する。

この本は、まず現場の方々にとって、極めて有用な情報源となり、現場におけるややこしい混乱を防ぎ、薬害問題の解決に役立ち、農薬の真の有効な活用がはかれるものと信じる。

この本は、

(1) 薬害を予防するための技術的情報を与え、

(2) 現場での異常現象の解釈に役立ち、

(3) 解毒剤や混合剤、あるいは新農薬開発のためのヒント

を与え、

(4) 薬剤の作用機構・選択性機構や植物の生理機構の解明のために利用できる。

(中略) この本に盛られた内容は、関係会社や団体が支払った高い授業料によって得られたもので、心して勉強すべき内容である。

— 松中昭一 本書巻頭言より —



全国農村教育協会

〒110 東京都台東区台東1-26-6(植調会館)
TEL. 03-833-1821 振替 東京1-97736

小さな一歩を大切にします。



一歩一歩、着実に——

私たちは、むやみに先を急ぎません。

ベストな答えを求め、考えられるあらゆる角度から
検討を加えながら、慎重に農薬づくりをすすめています。

本年新発売の〈殺菌剤〉モンカット、

ご好評いただいている〈殺菌剤〉フジワン。

〈殺虫剤〉アプロードもこうした姿勢から生まれた成果です。

デビュー以来、たくさんの方々にご支持いただけてまいりました。

ことしも、豊かな実りを願ってお届けします。

いもち病・健苗・ムレ苗・
トビロウカ

フジワン®

ウンカ・ヨコバイ・オンシツコナジラミ・
ミドリヒメヨコバイ

アプロード®

もんがれ病〈新発売〉

モンカット®



日本農薬株式会社
東京都中央区日本橋1丁目2番5号

®は日本農薬㈱の登録商標です。

農業技術

B 5 判 定価 400 円 (〒45円)
(1 年〒共 4,800 円)

昭和21年創刊 農業技術の月刊総合雑誌

農林水産研究とコンピュータ

斎尾乾二郎他編著 A 5 判上製 定価3,800円 〒300円

農林水産研究の各分野におけるコンピュータ利用の現状と展望、およびコンピュータ利用技法についての解説

新編農作物品種解説

川嶋良一監修 A 5 判上製 定価 3,000 円 〒300円

全国の精鋭育種家 92 氏が、普通作物・工芸作物の延べ529品種について、来歴・普及状況・特性の概要・適地および栽培上の注意等を詳しく解説

作物試験法(復刻版)

続作物試験法(復刻版)

戸荻義次他編 A 5 判上製 定価各 4,700 円 〒350円

本書は昭和38年に第6版で絶版になっていたが、各方面からの要望が多いため原本のまま復刻したものである。作物に関する試験研究方法を各項目別に当時の第一線研究者24氏が解説した最高の手引書として現在も類書がない

実験以前のここと農学研究序論

小野小三郎著 B 6 判 定価 1,600 円 〒250円

創造的研究とは何か、創造的研究の取り組み方と問題点等を述べた、農学・生物学についての唯一の研究方法论

作物品種名雑考

農業技術協会編 B 6 判 定価 1,800 円 〒250円

普通作物・工芸作物の品種名の由来、命名の裏話等を、育種専攻19氏が解説した品種改良の裏面史

果樹品種名雑考

農業技術協会編 B 6 判 定価 1,800 円 〒250円

わが国の主要果樹の品種名の由来、命名裏話、あわせて各樹種の起源、渡来と定着の状況を果樹育種専攻14氏が解説

作物—その形態と機能<上・下巻>

北條良夫・星川清親編 A 5 判上製 定価上巻 3,200 円
下巻 2,700 円 〒上下巻とも300円

作物の一生を、新しい作物学の主張のもとに、種子・花成・栄養体とその形成・生産過程・登熟・生育障害に分けて論述したもので、作物の研究発展と食糧生産に新生面を拓く道標

〒114 東京都北区西ヶ原
1-26-3

(財団法人) 農 業 技 術 協 会

振替 東京 8-176531
Tel (03) 910-3787

—連作障害を抑え健康な土壌をつくる!—

花・タバコ・桑の土壌消毒剤

® **パスアミド**

微粒剤

❖いやな刺激臭がなく、民家の近くでも安心して使えます。

❖広範囲の土壌病害、線虫に高い効果があります。

●安全性が確認された使い易い殺虫剤

マリックス

乳 剤
水和剤

●ボルドーの幅広い効果に安全性がプラスされた有機銅殺菌剤

キノンドー

® 水和剤80
水和剤40

❖作物の初期生育が旺盛になります。
❖粒剤なので簡単に散布できます。

●ボルドー液に混用できるダニ剤

ブデン

®

乳剤

●澄んだ水が太陽の光をまねく/
水田の中期除草剤

モゲブロン

®

粒剤



アグロ・カネショウ株式会社
(旧社名: 兼商株式会社)

東京都千代田区丸の内 2-4-1

Pesticides



クミカの農薬



農協・経済連・全農



自然に学び 自然を守る

クミアイ化学工業株式会社

本社/〒110-91 東京都台東区池之端1-4-26
TEL 03-823-1701

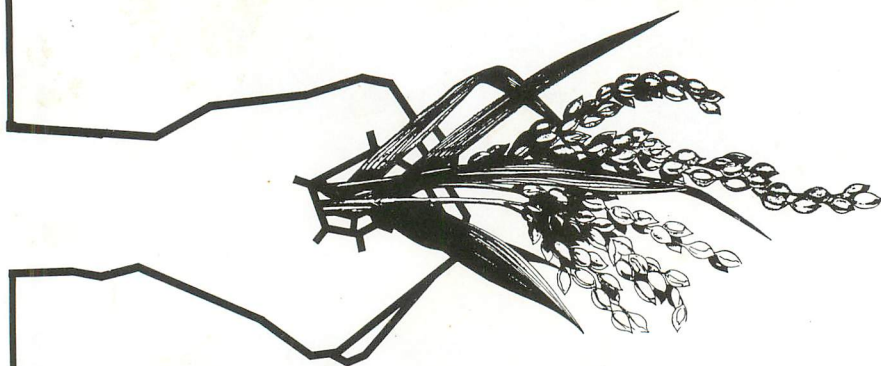
作物も病気になりたくない。

水田に、はびこりだしたら、しつこい病害虫・雑草

軽いうちに見つけだすか、予防するかが防除のポイント
作物も病気には、なりたくないのです。

- 初期水田一発処理除草剤
クサホープ粒剤
- 中期水田除草剤
クミリードSM粒剤
サターンS粒剤
- 初期水田体系除草剤
ソルネット粒剤
- 初期一発でも、体系使用でも
幅広く使える水田除草剤
グラノック粒剤
- 稲もみがれ病・園芸・畑作難防除病害に
バシタック粉剤・DL・水和剤75・ソル
- 浸透持続型いもち防除剤
ビーム粉剤・DL・水和剤・ソル・粒剤
ビームジン粉剤DL・ソル
- いもち・穂いもちに するとい切れ味
コラトップ粒剤
- いもち・もみがれの二大病害防除剤
ビームバシタック粉剤DL
- 稲病害虫仕上防除剤
レルダンバシバツサ粉剤DL

ひときわ冴えた効きめが自慢！



■ ツマグロ・イネミズ・ドロオイの防除に

カヤフォス®
粒剤 5



■ イネ苗立枯病・ムレ苗防止・健苗育苗に

カヤベスト
粉剤 10

普及会事務局 日本化薬株式会社

〒102 東京都千代田区富士見1-11-2
TEL. 03-237-5185

昭和二十六年
昭和二十六年
昭和二十六年

九十九

月

月

九一

日

日

第

三

行

（

植

物

防

疫

第

三

回

一

九

卷

第

十

号

可

定価五〇〇円（送料五〇円）