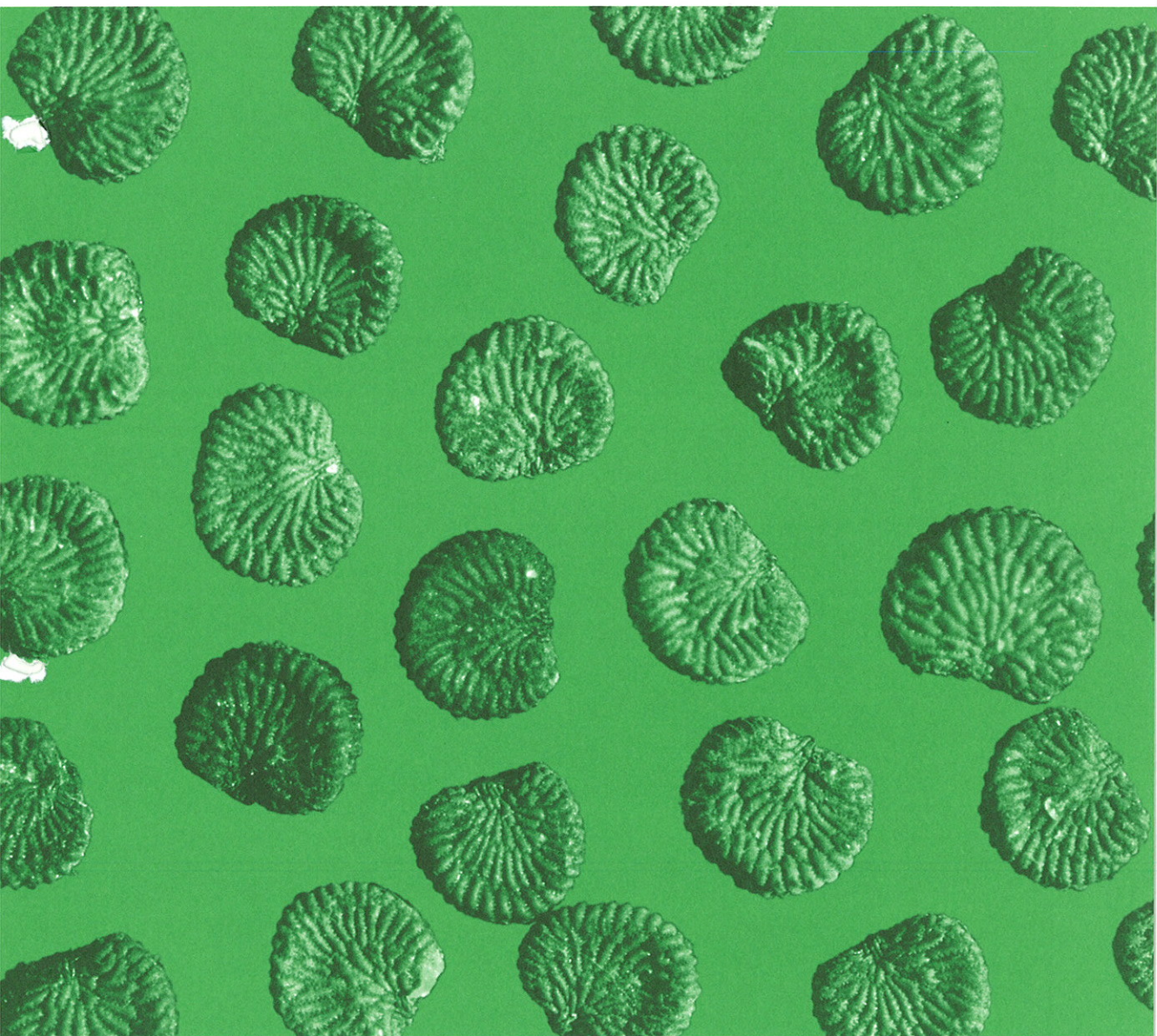


植調

第40巻第4号



ムシトリナデシコ (*Silene armeria* L.) 長さ0.6mm

財団法人 日本植物調節剤研究協会編

中期・一発処理剤の効果安定につながる、 初期除草の定番!

水田用初期除草剤

**初ベクサー®フロアブル
1キロ粒剤**

特長

- 発生前～始期の使用で、後に使用する中期剤・一発処理剤の効果をさらに安定させます。
- すぐれた経済性で、低コスト稲作に貢献できます。
- 人畜・水産動物・環境に低毒性です。

©科研製薬(株)登録商標

JAグループ
農協 | 全農 | 経済連
◎は登録商標 第4702318号

三井化学クロップライフ株式会社
〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目12番8号

安心と安全の

農林水産省登録第20958号

バスタ®

液剤

大切な作物のそばに

◎は登録商標



作物まわりの
除草なら、バスタ。



人畜や有益昆虫、
水産動植物に安全。



成分が
土に残らず安心。



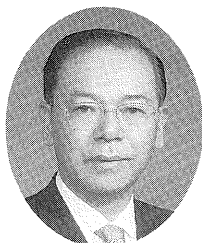
幅広い
登録作物数。



Bayer CropScience

- 使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベル記載以外には使用しないで下さい。
- 本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。

バイエルクロップサイエンス株式会社
東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262
www.bayercropscience.co.jp



巻頭言

「美しい田園」のために

(財)日本植物調節剤研究協会 理事 窪田隆一
三共アグロ(株) 取締役社長

ベストセラーとなっている「国家の品格」の最終章で、品格ある国家の指標として掲げられているなかに「独立不羈」「美しい田園」という言葉がありました。

「独立不羈」の不羈は拘束されないという意味で、日本が自らの意思に従って行動するためには何が必要かという場面で、食糧自給率の向上が不可欠であることが述べられておりました。

「美しい田園」は、経済原理だけに左右されない日本人の情緒的部分の象徴として無くてはならないものであるとともに、農家が疲弊していない世の中の象徴といった記述であったと思います。

品格ある国家であるために農業が重要な要素を占めているという表現は、農業に関わる者としてうれしくもあり、また責任を感じる言葉でもあります。

今回、「美しい田園」と農業企業のあり方について所感を述べたいと思います。

この文章を読んだ後「美しい田園」を思い、あらためて現実に田植えされた水田を見ますとその美しさに感動し更に心の安らぎを覚えます。山々の若葉、稲田の水面、規則正しく移植された水稻（もちろん直播もありますが）といったものは、桜の次に初夏を告げる風物詩でもあります。そして日本人として無条件に美しく懐かしいという感情を抱かせるものであり、私達の情緒を構成する根本の一つと考えます。しかし、昨今の農業を取り巻く環境下で、残念ながら徐々に「美しい田園」はその姿を変えつつあります。

農業生産資材を提供する会社も時代の流れに沿った変革を余儀なくされていますが、論理的見地だけでなく、日本人としての原風景を守り続けていくために私達に何ができるかは非常に重要な課題です。

その答えの一つとして「美しい田園を守る人々＝農業生産を継続している農家」と考えると、「農家の皆様のためになる資材提供」「日本農業への貢献」といった切り口があるとも言えます。

具体的に農家の皆様のためになる資材の特性として何が必要かを考えたとき、「高い防除効果と安全性」「省力」「低コスト」といったキーワードが出てきます。こういった具体的指標の多くを植調協会が歴史的に牽引してきたことは誠に喜ばしい限りです。弊社も一発処理剤、ジャンボ剤などで微力ながらお手伝い出来たことをうれしく感じております。

もう一つの答えとして、日本農業ひいては日本国民への貢献として「安全な製品の提供」「的確な製品情報の提供」があると思います。これは本年から施行されるポジティブリストにも関連し、又、企業コンプライアンスにも通ずるものがあります。ちなみに、コンプライアンスは一般的には法令遵守という意味ですが、comply（従う・応じる）から派生した言葉であることから、世の中の要請に従い・応じるといった要素もあり、法を守れば良いだけでなく、高い道徳観で世のためになるといった意識も含んでいると解釈しています。実は「高い道徳」も前述の品格ある国家の指標として掲げられていたものでした。

世の中の様々な場面で論理的かつ効率的であるべきですが、理念の根幹、仮説のスタートにおいて日本の文化や歴史を土台にした情緒的な要素が大切と考えます。日本において日本企業ならではの取り組みを続け、これからも日本の環境・風土に即した農業、剤型、情報の提供等で「美しい田園」を支えていく使命があると思っています。

目 次

(第 40 卷 第 4 号)

巻 頭 言

「美しい田園」のために…………… 1
 <財日本植物調節剤研究協会 理事
 三共アグロ(株)取締役社長 窪田隆一>

海岸砂丘地におけるチガヤの生態と利用…………… 3
 <愛媛大学農学部 江崎次夫>

質量分析機器の進歩と農薬残留分析……………13
 <財残留農薬研究所 化学部 小田中芳次>

極微弱光の測定による植物のストレス応答の検出…21
 <静岡県農業試験場 伊代住浩幸・稲垣栄洋・
 影山智津子・加藤公彦>

シリーズ外来雑草は今…(22) ……………30
 牧草が強害雑草へ変身! —ネズミムギ—
 <静岡大学農学部 生態学研究室 山下雅幸>

平成 17 年度リンゴ関係除草剤・生育調節剤
 試験成績概要の訂正……………39
 <財日本植物調節剤研究協会 技術部>

よりよい農業生産のために。三共アグロの農薬



●三共アグロの優れた製剤技術から
 生まれた グリホサート液剤

三共の草枯らし。

●移植前後に使える
 初期除草剤

シング[®]乳剤

●SU抵抗性雑草(ホタルイ等)に3成分で効果がある
 投げ込み型一発処理除草剤

クサトリーDX[®]
 ジャンボ[®]H/L・1キロ粒剤75/51・フロアブルH/L

●白化させて枯らす
 非SU型初・中期一発剤!!

イネエース
 1キロ粒剤

●時代先どり、ジャンボな省力
 投げ込みだけの一発処理除草剤

クサトリーエース[®] Hジャンボ[®]
 Lジャンボ[®]

●ノビエ3.5葉期まで使える
 新しい中期除草剤

ザーベックスDX[®] 1キロ粒剤

●効きめの長〜い
 初・中期一発処理除草剤!!

ラクダープロ
 フロアブル・Lフロアブル・1キロ粒剤75/51

●がんこな草も蒼白に
 初・中期一発処理除草剤!!

シロノック[®]
 H/Lフロアブル・Lジャンボ[®]

●使いやすい
 初期一発処理除草剤

ミスラッシャ[®] 粒剤
 1キロ粒剤

●SU抵抗性の
 アゼナ・ホタルイに

クサコント[®] フロアブル

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

三共アグロネット会員募集中!

詳しくはホームページをご覧ください。



三共アグロ株式会社

SANKYO 〒113-0033 東京都文京区本郷4-23-14
<http://www.sankyo-agro.com/>

海岸砂丘地におけるチガヤの生態と利用

愛媛大学農学部 江崎 次夫

1. はじめに

海岸林は、飛塩の抑止、強風の減風、津波や高潮の被害軽減など、我々の生命と財産を守るうえで、非常に重要であるが、その海岸林を前面でしっかりと支えているチガヤなどの草本類も重要であり、同じ次元で評価されるべきであると考えられる。

海岸砂丘地の草本植物は、飛砂防止、前砂丘の固定化や木本植物への植生を移行させるなど、大きな役割を果たしている。特に、台風、地震に伴って発生する高潮や津波の際には、前砂丘がチガヤなどの草本植物で固定されているか否によって、主砂丘のクロマツを主体とした海岸林が十分に機能を果たすかどうか定まってくる。

このことが改めて実証されたのが今回のスマトラ沖地震に伴う大津波である。具体的には、海岸林の前面の砂浜が植物で固定されている場所では、後背地の海岸林がその機能を十分に発揮し、被害が比較的軽便であったが、前面の砂浜が固定されていない場所では、海岸林が大きな被害を受けていた。これから、改めて前砂丘や砂浜をチガヤなどの草本類で覆うことの重要性が認識されている。

砂丘地の草本植物としては、日本ではハマニク、コウボウムギ、ケカモノハシおよびハマヒルガオなどが砂草植物として広く認知され

ている。ところが最近、日本や韓国の砂丘地および堤防のり面¹⁾では、未認知のイネ科のチガヤが旺盛な生育を示していることが確認され²⁾、その強い生命力と繁殖力に注目が集まりつつある。

そこで、今回、海岸砂丘地における草本植物の役割と求められる条件などを明確にすると共に、日本の庄内砂丘地、虹の松原砂丘地および韓国の薪斗海岸砂丘地に侵入しているチガヤの現地調査結果を基に、チガヤが海岸砂丘地や砂地の固定化に有効であることを述べる。

2. 海岸砂丘地における草本植物の位置付け

海岸砂丘地における草本植物は、前砂丘を含む海岸林前面の砂地を被覆し、飛砂防止と砂地の固定化に有効である。また、後背地の海岸林(クロマツ林)を飛砂および飛塩から「保護する」と共に、新しく海岸林を造成のための砂地の固定化としての「つなぎ」の役目も有していると位置付けるべきであろう。

さらに、汀線近傍では海岸林がもともと成立不可能であるため、飛砂防止と砂地の固定化には、石垣、コンクリートなどの莫大な経費を必要とする物理的な方法を除外すれば、チガヤなどの草本植物以外は考えられない。草本植物の役割は次の通りである。

1) 飛砂の防止

- 2) 砂地の固定化
- 3) 海岸林（クロマツ林）の保護
- 4) 砂地を固定し、新しい海岸林の造成（拡大）へのつなぎ

3. 海岸砂丘地の草本類に求められる条件

- 1) 飛砂・飛塩および強風に耐え得ること
- 2) 乾燥に強いこと
- 3) 痩せ地でも生育可能であること
- 4) 繁殖力が旺盛であること
- 5) 地上部を全面的に覆うこと
- 6) 根系が地下深くまで侵入すること
- 7) 酸性およびアルカリ土壌で生育可能であること
- 8) 根系の発達する植物で引張り強さなどが大きいこと

4. 海岸砂丘地土壌の理化学性および化学性

一般的な農地や山地に比べると、砂分が非常に多く、土性は砂土である。特に腐植量とN含有率が少ない³⁾。

5. チガヤの一般的な特徴³⁾

- 1) 日本では、北は北海道から南は九州沖縄まで広範囲に分布している。韓国や東南アジアでも分布が認められる。
- 2) 強アルカリから強酸性土壌まで生育が可能である。
- 3) 同じイネ科のススキとは異なって全面的に広がるので、ススキのように株間が侵食されるような欠点が認められない。
- 4) 海岸砂丘地への侵入は、当初は飛来種子による有性繁殖であるが、その後は地下茎による無性繁殖である。
- 5) 砂に埋もれても枯死せず、強い生命力を

有する。

6. 生育状況

1) 庄内砂丘地の侵入したチガヤの生育状況

全国各地の砂丘地においては、海岸植生のハマニンニクおよびコウボウムギ等が植栽されている地域にイネ科の多年草であるチガヤが種子の形態で侵入し、その後、旺盛な無性繁殖によって群落を形成している箇所がかなり見うけられる。そこで、筆者らは、チガヤを海岸砂丘地用の植生として、当初より海岸砂丘地に導入するための基礎的資料を得るため、日本海に面した山形県の庄内砂丘地において、植栽されたハマニンニクに代わって優占種となりつつあるチガヤの刈り取りおよび掘り取り調査ならびに周辺での土壌調査を実施した。

調査地は、山形県酒田市浜中地区の庄内砂丘地において、飛砂量および堆砂量の測定のために汀線に直角に引いている基線の北側50cmに設定した。調査地は100m×100mであり、その中でチガヤが群落を形成している場所、ハマニンニク、コウボウムギの中にチガヤが侵入している場所および未だチガヤが侵入していないハマニンニクならびにコウボウムギの場所に、50cm×50cmの調査区を設定した。そして、地上部は10cm階毎に層別に上部より刈り取り、地下部は10cm毎に30cm深まで層別に掘り取った。地下茎および地下葉茎は長さ重量をすべて実測した。一次根等は、50本の長さとその重量を実測し、重量換算によって全長を求めた。土壌の理化学性の定量分析には、表層から10cm深までのものを用いた。

表-1に刈り取りならびに掘り取り調査結果を示す。群落内のチガヤは、愛媛県の重信川堤防のり面¹⁾のそれに比べると、草丈、密度はほ

表-1 刈り取りおよび掘り取り調査結果

場 所	草丈 (cm)	成立本数 (本/m ²)	地上部重 (g/m ²)	地下部重 (g/0.3m ³)	根系長 (cm/0.3m ³)	T/R 率
庄内砂丘地						
チガヤ群落	100	592	644	525	670	1.23
チガヤ侵入地		244	459	346	523	1.33
チガヤ	100	100	189			
コウボウムギ	50	32	47			
ハマニンニク	80	112	223			
チガヤ未侵入地		304	1,065	300	414	3.55
コウボウムギ	60	84	300			
ハマニンニク	60	220	765			
重信川堤防のり面						
チガヤ群落(倒伏型)	65	525	1,498	947	1,044	1.58
チガヤ群落(直立型)	100	680	1,110	1,683	2,365	0.66

ば一致している。しかし、地上部の現存量は43～68%，地下部のそれは31～55%，全体では42～48%であり、著しく差が認められる。砂丘地では、飛砂、塩分、強風および乾燥等、植物の生育にとって環境条件が非常に厳しいので、堤防のり面等の一般的な生育地に比べ、現存量が少なくなることも考えられる。

また、チガヤの草丈は100cmであるが、この丈から判断する限り、重信川流域の直立型に該当する。しかし、成立本数、地上部重、地下部重、根系長、T/R率から判断すると倒伏型にも該当している。従って、現段階では、庄内砂丘地のチガヤは倒伏型に属するか直立型に属するかは明確ではない。庄内砂丘地のチガヤ侵入地や未侵入地における土壌のpH、土性および腐植量やN、P₂O₅、K₂Oの含有量や率には、大きな相違は認められない。しかしながら、重信川堤防のり面のチガヤ生育地におけるそれと比較¹⁾すると、かなり異なるようである。その中でも特に土壌pHに相違が認められる。庄内砂丘地のチガヤ侵入地の土壌pHは6.5～7.8であるのに対し、重信川堤防のり面のそれは4.7～5.6であり、チガヤは、土壌pHに対して非常に広い幅を有し

ていることが明らかである。このことは、重信川堤防のり面におけるチガヤ生育地の土壌pHの改変実験からもある程度予測されたことであるが、砂丘地という実際の生育地におけるデータからもこのことが実証されたことになる。このように、チガヤの土壌pHに対する適用範囲が広いことは、利用する立場から考えれば、非常に好ましいことである。

2) 庄内砂丘地に侵入したチガヤの根茎の生育特性

庄内砂丘地に侵入しているチガヤと植栽されているハマニンニクの根茎の成長形態を調査し、チガヤの生育特性について検討を行った。

調査地は山形県酒田市南部に位置する庄内砂丘地内の赤川の右岸側に設定した。最初に汀線に直角になるように、河口から北に0.6Km地点にAラインを、1.8Kmおよび1.84Km地点にBラインならびにCラインを引いた。次に各ライン上に4ヶ所ずつ計12箇所に50cm×50cmの試験区を設定した。チガヤとハマニンニクの試験区は6箇所ずつの同数とした。調査では地上部は10cm毎に層別に上部より刈り取り、地下部は5cm毎に65cm深まで層別に掘り取った。これらは実

験室に持ち帰り、長さ1 cm程度に細かく切断し、105℃で24時間乾燥して、乾物重量を求めた。Aラインは堆砂量の多い箇所である。BおよびCラインは堆砂量の少ない箇所であり、腐植層が形成されている場所もある。調査では、最初にAラインとBラインに囲まれた範囲の24箇所でチガヤとハマニンニク根茎の発達調査を行った。次に12箇所の試験区で刈り取りおよび掘り取り調査を行った。

(1) 根茎の発達状況

チガヤとハマニンニクの根茎の発達状況には、相違が認められた。堆砂量の少ない箇所では、チガヤの根茎は、立体的に3～4本に分岐していた。ハマニンニクは2本に分岐し、伸長方向にはほぼ水平に広がっていた(図-1)。一方、堆砂量の多い箇所では、チガヤの根茎は地表面近くまでは、垂直に伸びて、その後3～4本に

分岐するものがほとんどであった。これに対し、ハマニンニクは1本の地下茎が地表面近くまで伸びた後、水平に2本に分岐するものと、古い葉茎の基部から複数の地下茎が一斉に伸長し、それが水平に2本に分岐する2つのタイプが認められた(図-2)。以上のことから、堆砂量の少ない箇所では、チガヤはハマニンニクに比べ、ある程度の角度をもって密に広がるものと考えられる。堆砂量の多い箇所では、チガヤは、地下茎が地表面に向かって伸長し、その後面的な広がりを示すものと判断される。

(2) 掘り取り調査

チガヤおよびハマニンニクの地下部の現存量は、堆砂量の少ない箇所では、地下茎を地表面に向かって伸長させることができず、ほぼ水平にしか伸びないために、地中深くなるに従って

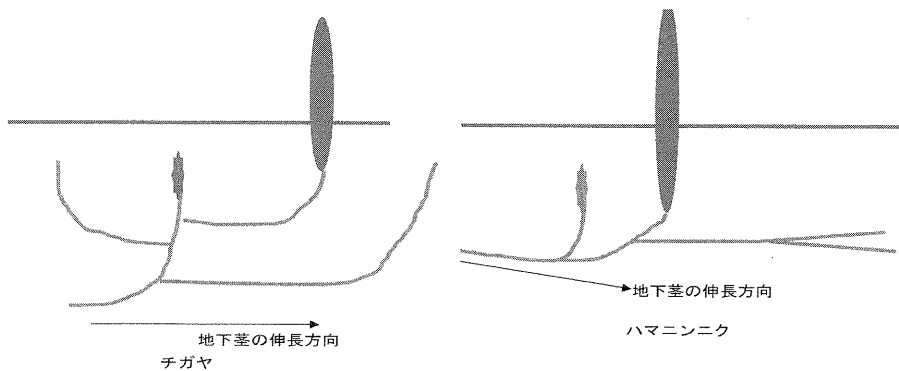


図-1 堆砂の少ない箇所の根茎の発達状況

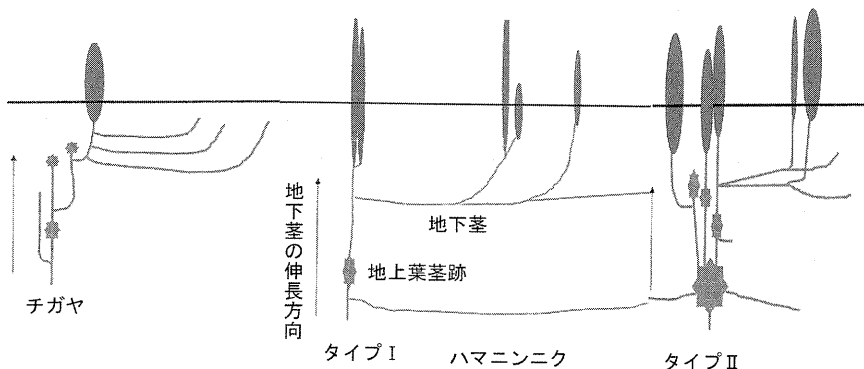


図-2 堆砂の多い箇所の根茎の発達状況

現存量が減少するL字型を示した。堆砂量の多い箇所の現存量は、両者共に地下葉茎と地下葉茎跡の土壤深で地下部の現存量が多くなる逆J字型を示した。チガヤでの地下部の現存量の最大を示す土壤深は、堆砂量の多少に関わらずハマニンニクに比べ深かった。これらのことから、チガヤは海岸砂丘地に対して高い順応性があると考えられる。

3) 虹の松原に侵入したチガヤの生育

冬季北西の季節風が大陸より強く吹き付ける佐賀県の虹の松原で調査を行った。研究対象地は、佐賀県唐津市から東松浦郡浜玉町にまたがる虹の松原の砂丘地である。飛砂量および堆砂量の測定のために1,000×1,000mの調査地を汀線に直角に引いている基線の東側に設定した。調査地の中でチガヤが群落を形成している場所、他の植物と混成している場所に、それぞれ50cm×50cmの調査区を設定した。そして、地上部は10cm階毎に層別に上部より刈り取り、地下部は10cm毎に30cm深まで層別に掘り取った。地下茎および地下葉茎は長さと重量をすべて実測した。一次根等は50本の長さとその重量を実測し、重量換算によって全長を求めた。土壤の物理性と化学性の定量分析には、表層から10cm深までのものを用いた。また、掘り取り直後の一次根の引張強度を、引張試験機レオナーRE3305を用いて測定した。刈り取りおよび掘り取り調査結果を表-2に示した。

チガヤ混生地のチガヤはチガヤ群落地に比べ、成立本数も少なく草丈も低い。この混生地は汀線に近くチガヤの侵入は比較的新しいものと考えられる。今後、経過年数の増加と共に、チガヤの草丈から判断してその他の植生が減少し、チガヤの単純群落に近づいていくものと推察される。単純群落にいたるまでの年数は、庄内砂丘地や愛媛県の重信川堤防のり面での調査結果から推定すると5～6年程度ではないかと考えられる。チガヤ群落の草丈は、庄内砂丘地等と、他の場所の草丈を比較すると相違は認められないが、成立本数、地上部重、地下部重および根系長は、30～50%程度である。これらのことからこのチガヤ群落地は、チガヤ混生地から群落地に遷移が進んだ直後ではないかと判断される。これから経過年数の増加に伴って質的にも量的に充実したチガヤの群落に推移していくものと考えられる。チガヤ混生地および群落地のT/R率は1.1前後であり、この値をみる限り、虹の松原の砂丘地に侵入しているチガヤの種類は直立型と判断される。土壤の物理性と化学性は、表-3および表-4に示した。

チガヤ混生地と群落地における物理性は土壤硬度を除いて大きな相違は認められない。土壤硬度が大きく異なるのは、チガヤ混生地の近くに汀線に並行に車道兼遊歩道が走っており、この影響で踏み固められた影響によるものと判断された。粘土分が認められない点は、庄内砂丘地のチガヤ生育地と同様であり、これは砂丘地

表-2 刈り取りおよび掘り取り調査結果

場 所	草丈 (cm)	成立本数 (本/m ²)	地上部重 (g/m ²)	地下部重 (g/0.3m ³)	根系長 (cm/0.3m ³)	T/R 率
チガヤ混生地						
チガヤ	53	40	111.04	100.12	116	1.11
その他	50	112	168.00	183.68	—	
チガヤ群落	110	244	477.00	447.52	421	1.07

表-3 土壌の物理性

場 所	土壌の母岩	比重	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土性	土壌硬度 (mm)
チガヤ混生地	花崗岩	2.65	99.5	0.5	—	S	3~13
チガヤ群落	花崗岩	2.64	99.6	0.4	—	S	1~4

表-4 土壌の化学性

場 所	pH (H ₂ O)	EC (μ S/cm)	腐植 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)
チガヤ混生地	4.4~5.0	20.7~57.1	0.7~1.4	0.07~0.09	8~13	9~10
チガヤ群落	4.6~5.0	30.6~46.8	0.7~1.9	0.09~0.18	8~14	10~14

に特有の性質ではないかと考える。腐食量はチガヤ混生地および群落地共に、一般的な植物の成長に必要とされる5%に比べると非常に少なく、Nの含有量も少ない。砂丘地帯では、一般的に腐食量とNの含有率が少ないといわれているが、この虹の松原の砂丘地でも同じような傾向である。また、チガヤの生育地では飛砂量が他の場所に比べ少なかった。一次根の引張強度試験では、最大荷重は直径の1.2~1.5乗に比例して増大傾向を示した。庄内砂丘地や重信川堤防のり面でも同様な傾向が認められている¹⁾。このことから、チガヤの一次根の引張強度は生育場所に関係なく、全国的にはほぼ一定になるのではないかと推察²⁾される。

4) 韓国泰安半島薪斗海岸砂丘地に侵入したチガヤの生育

韓国忠清南道泰安半島の薪斗海岸砂丘地は、面積約98haを有し、海岸砂丘地としては、韓国でも最大規模である。約20年前まで、この砂丘地には植生がほとんど皆無の状態であった。その後、主砂丘の後背にニセアカシアを植栽した。植栽後、砂の移動が減少し、ハマニンニク、ハマゴウおよびチガヤなどが侵入してきた。なかでもチガヤは、砂丘地全体に広く分布生育しており、その群落内には自然侵入したクロマツが

認められた。

そこで、韓国でも最大規模の海岸砂丘地に侵入しているチガヤとクロマツに注目し、韓国においてもこのチガヤ群落を利用して、クロマツを実生から生育させてクロマツ林を造成するため、平成16年8月26日に現地調査を行い、チガヤの生育特性について検討を行った。

調査では、まず最初に砂丘地全体の植生の分布状態を把握した。次に、汀線に直角に基線を引いた。そして、汀線から30m地点、60m地点、90m地点 および120m地点に1m×1mの試験区を設定し、それぞれの試験区を No.1, No.2, No.3およびNo.4と定めた(図-3)。

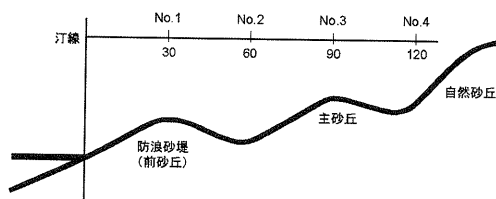


図-3 基線の断面と植生および土壌調査地点

調査では、それぞれの試験区内でのチガヤの草丈および成立本数を測定した。また、試験区内の表層から10cm深までの土壌を採取して、土壌の化学性と物理性の分析に供した。その結果は表-5に示すようである。

(1) 砂丘地全体の植生の状況

汀線から防浪砂堤に向かっては、ハマニンニ

表-5 土壌の化学性と物理性

試験区	pH (H ₂ O)	EC (μ S/cm)	腐植 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)	土性
No.1	7.92	41	0.107	—	6	13	S
No.2	6.35	6	0.072	—	5	6	S
No.3	5.84	4	0.110	—	10	10	S
No.4	5.08	11	0.792	0.02	12	12	S

クの分布が認められた。防浪砂堤から主砂丘までと、それ以外の場所では、チガヤ、ハマゴウおよびハマナスなどの分布が認められた。砂丘地全体としては、チガヤの群落が随所に形成されており、チガヤがこの砂丘地の優占種であった。また、樹齢6～10年で樹高100～170cm前後のクロマツ6本も確認された。

(2) 各調査区におけるチガヤの生育状況

No. 1～No. 4までの試験区におけるチガヤの生育状況は、表-6に示すようである。生育場所の違いによって生育量に大きな相違点は認められなかった。生育量は日本の庄内砂丘地や虹の松原砂丘地に比べると、やや少ない傾向であった^{1) 2)}。これには、チガヤが侵入してから期間が短いことと、前者に比べ薪斗海岸砂丘地の土壌の化学性が劣ることが影響している可能性が考えられるが、断定するにはさらに詳細な調査が必要である。

5) チガヤが侵入した砂丘地の土壌特性

海岸砂丘地のうち、冬季、北西の季節風が我が国で最も強いといわれている山形県の庄内砂丘地と、九州でも比較的強く吹くといわれている佐賀県の虹の松原砂丘地に侵入したチガヤ生育地の土壌のpHと土壌硬度について調査を行い、チガヤの生育特性について検討を行った。

調査は山形県の庄内砂丘地と佐賀県の虹の松原砂丘地とで実施した。調査ではチガヤ生育地の表層から15cm深までの土壌をビニール袋に採取すると共に、周辺土壌表面の土壌硬度を山中式土壌硬度計で10箇所測定し、平均値をその生育場所の土壌硬度とした。採取した土壌は実験室に持ち帰って風乾し、風乾土壌100gに蒸留水200gを加え、1時間振とうした後、その上澄み液のpHを東亜pH計で測定した。なお、これらの調査は、チガヤの単純群落地と他の植生との混生地でそれぞれ実施した。土壌のpHと土壌硬度との関係は図-4に示すようである。

表-6 チガヤの生育調査結果

試験区	汀線からの距離 (m)	平均草丈 (cm)	成立本数 (本/m ²)	チガヤ以外の植生
No.1	30	72	140	ハマニンニク ハマナス ハマゴウ
No.2	60	85	176	ハマナス ハマゴウ
No.3	90	75	156	—
No.4	120	70	144	—

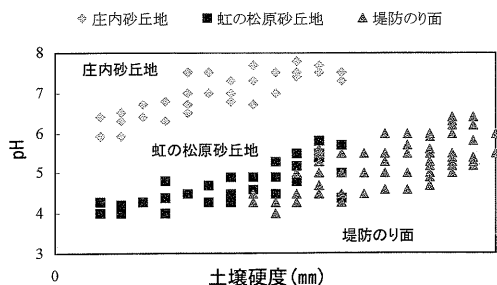


図-4 土壌のpHと土壌硬度との関係

同一の土壌硬度では土壌のpHは虹の松原で低く、庄内砂丘地で高い値となった。庄内砂丘地で土壌のpHが高いのは冬季、北西の季節風によって海からの飛来物質、すなわち Na^+ などの塩基類が増大するためではないかと考えられる。これに比べて、虹の松原砂丘地の土壌pHが低いのは、前者に比べると、北西の季節風が弱く、海からの影響をあまり受けていないためだと考えられる。チガヤと他の植生との混生地と、単純群落地とでは、後者の土壌pHが低下傾向にある。これは、チガヤが広い適応性を示しているものの、チガヤの生育により最適な適応範囲に向かっているためではないかと判断される。

また、土壌硬度も単純群落に向かうに従って低下傾向にある。チガヤは当初、飛散してきた種子によって繁殖するが、その後は地下茎によって繁殖を繰り返すため、この影響を受けて、地表面近くが柔らかくなるためではないかと考えられる。砂丘地では、チガヤと他の植生との混生地と単純群落地とで、後者の土壌pHや土壌硬度が低下傾向にある。同様な傾向は、堤防のり面や造成のり面でも認められている。

以上のことから、チガヤの生育地では、チガヤが他の植生と混生する侵入初期は、土壌pHと土壌硬度が高く、単純群落に近づくにつれて、それらは次第に低下傾向を示すのではないかと考えられる。

6) 砂丘地に侵入したチガヤの生育と土壌硬度

海岸砂丘地および堤防のり面のチガヤ生育地において、チガヤの生育と土壌硬度との関連についての調査を行い、チガヤの生育特性について検討を行った。

チガヤに関する試験地は、海岸砂丘地を中心に全国11箇所設定しているが、今回の調査はこの内、山形県の庄内砂丘地、佐賀県の虹の松原砂丘地（図-5）および松山市を東から西に流



図-5 チガヤ群落内に侵入したクロマツ

下する重信川の堤防のり面で実施した。調査ではチガヤの単純群落地と他の植生との混生地内に50cm×50cmの試験区を土壌硬度別にそれぞれ3箇所設定し、地上部を刈り取りとって、草丈および成立本数を測定した。その後チガヤを実験室に持ち帰り、長さ1cm程度に細かく切断し、105℃で24時間乾燥して、乾物重量を求めた。土壌硬度は山中式土壌硬度計を使用し、試験区

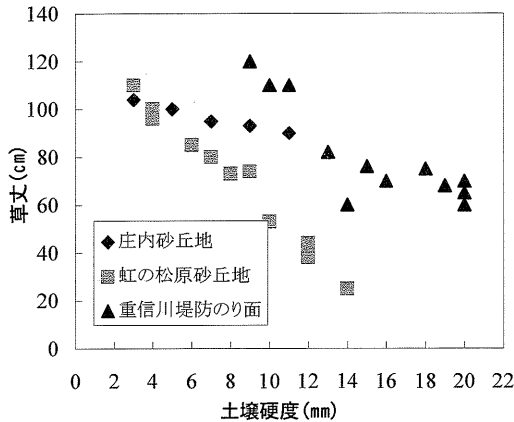


図-6 草丈と土壌硬度との関係

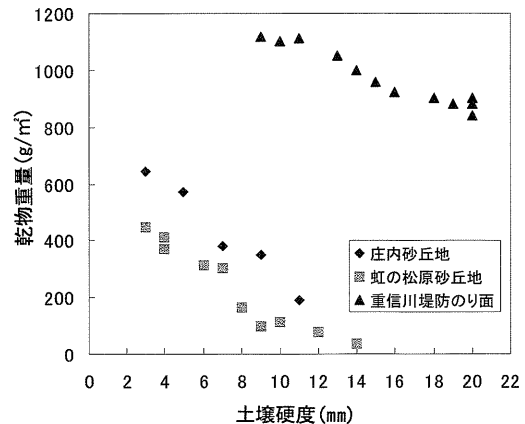


図-8 地上部乾物重量と土壌硬度との関係

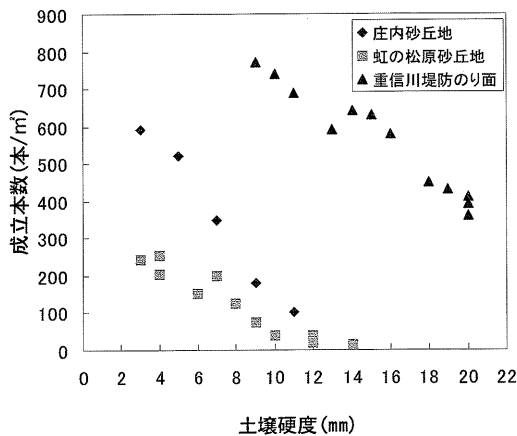


図-7 成立本数と土壌硬度との関係

周辺で20箇所測定し、平均値をその生育場所の土壌硬度²⁾とした。

山形県の庄内砂丘地と佐賀県の虹の松原砂丘地における草丈、成立本数および乾物重量と土壌硬度との関係は、図-6～8に示すようである。

草丈、成立本数および乾物重量は土壌硬度の低下に伴って増大傾向を示している。これは、土壌硬度の低下に伴って、根系の発達が促進されるのと、土壌硬度の低下と並行して土壌pHも低下するため、よりチガヤの生育に適した環境条件が整備されるためであると考えられる。また、これと並行してチガヤは他の植生との混生地から単純群落に移行することが確認された。

堤防のり面においても、図-6～8に示すように砂丘地と同様な傾向が認められた。堤防のり面は、築堤当初、土壌硬度を25mm程度に締め固めている関係で、あまり低い土壌硬度の場所は認められていない。堤防のり面へのチガヤの侵入形態は、当初は飛散してきた種子によるが、その後は地下茎によって繁殖を繰り返す。このため、侵入初期と他の植生との混生地では、土壌硬度が群落地に比較すると高い²⁾。

また、土壌のpHもやや高いことが確認されている。その後、単純群落に進行するに従って、土壌硬度が低下し、草丈、成立本数および乾物重量も増大傾向を示した。

以上のことから、チガヤの生育地では、他の植生と混生する侵入初期は、土壌硬度が高く、単純群落に近づくにつれて、それらは次第に低下傾向を示し、草丈、成立本数および乾物重量は増大するものと結論づけられた。

7. 根系の引張り強さ

一次根の引張り強度試験では、チガヤの生育場所に関係なく、最大荷重は直径の1.2～1.5乗に比例して増大傾向を示した。また、ハマニシクやコウボウムギの間でも同様な関係が認

められ、チガヤとの間には差異は認められなかった¹⁾。

庄内砂丘地での調査結果を基に、 $1 \times 1 \text{ m}$ で深さ30cmまでの総引張り強度を試算すると、チガヤ純群落4,581kg、チガヤ未侵入地（コウボウムギ、ハマニンニク）2,897kg、チガヤ侵入地（チガヤ、コウボウムギ、ハマニンニク）2,484kgであった。なお、愛媛県重信川の堤防のり面のチガヤ純群落地の試算値は、5,356～12,513kgであった。

8. おわりに

海岸砂丘地や砂浜を草本植物で覆い、飛砂を防止して砂地を固定化させることは、後背地の主砂丘にクロマツを主体とした海岸林を造成するうえで必要不可欠である。筆者らの研究グループは前砂丘や汀線付近でも旺盛な生育を示す侵入草本植物のチガヤに注目をして研究を進めている^{1) 2) 3)}。

これからは日本各地や韓国の海岸砂丘地におけるチガヤの侵入および生育状況を明らかにしながら、防災的機能の視点からその利用性の検

討を試みなければならない。特に、地上部や根系部の形態的特徴を明らかにすると共に、従来から砂丘地植物として利用されているハマニンニク、コウボウムギおよびケカモノハシ等との比較検討が重要である。最終的には、その特性を生かした利用方法を、播種、分根等を含めて具体的な数値で表すことが必要であると考え。

今後は、これまでの成果を生かして、次のクロマツ林移行への過程について具体的な研究を進めたい。

引用文献

- 1) 江崎次夫, 岩本徹, 全 権雨, 井門義彦 (1999), 堤防のり面に導入したチガヤの現存量, 雑草研究, 42, 別号, 228-229
- 2) 江崎次夫, 井上章二, 藤久正文, 河野修一, 全 権雨 (2003), チガヤの生育と土壌硬度, 雑草研究, 48, 別号, 170-171
- 3) 江崎次夫 (2005), 畦畔植生としてのチガヤの活用法, 在来植生を利用した畦畔のり面の省力的植生管理技術, 1-13

— 防除指導手帳 —

企画・編集／JA全農肥料農薬部
B6判(ポケット判) 350頁 3,500円(税込)

主要作物（稲、麦、豆類、芋類、野菜、果樹）の病気・害虫・雑草をカラー写真で掲載し、病徴と診断。害虫の形態・生態と被害、雑草の形態及び防除のポイントと適用薬剤を解説。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665

質量分析機器の進歩と農薬残留分析

(財) 残留農薬研究所 化学部 小田中芳次

1. はじめに

農薬残留分析では、「農薬取締法に基づく農薬登録のための残留試験」と「食品衛生法に係わる食品の残留検査」の大きく2つの分野がある。前者は農薬登録に係わる農作物、土壌、水における残留性の評価を、後者は食品中に含まれる残留農薬 (MRL) の監視をそれぞれ主な目的としている。各々試験ガイドラインや検査基準が定められており、それらは時代とともにおおむね厳しい方向に改正されてきている。特にこの数年間の動きは慌しく、無登録農薬や輸入農産物の残留農薬の問題を受け、農薬取締法および食品衛生法の大幅改正が行われた。このため、農薬残留分析の分野では、マイナー作物登録などの規制強化の件やポジティブリスト制度の導入に伴う分析技術の問題等々に対して精力的に対応しているところである。

一口に農薬の残留分析といっても、対象とする農薬の中身は全有機化合物に匹敵する。分子量は100~1,000程度だが、水溶性 (強極性) ~脂溶性 (無極性)、酸性~塩基性のものまで、多種多様な農薬化合物を相手にする必要がある。これまでは、登録保留基準と残留基準が設定されている350品目程度の農薬を相手にすればよかったが、ポジティブリスト制度への移行に伴って、一挙に約600もの農薬を相手にしなければならなくなった。また、分析試料については、

代表的な農作物だけでも130種程あり、地域特産の農作物や香辛料等の原料を含めると多種多様で膨大な数の試料を対象にすることになった。

一方、残留基準値は、以前にも増して頻繁に追加変更が行われ、これに伴って農薬等の分析法も随時更新されるので、分析者はこれらの動きを細大洩らさず把握して、常に最新の基準値と試験法 (分析法) を用意しておく必要に迫られている。

農薬の分析は、抽出、精製、定量に大別されるが、抽出に関しては、現在でも伝統的な溶媒抽出法が主流である。精製では、市販のカートリッジカラム (ミニカラム等) の利用によって、簡便・迅速・多検体処理が可能となり、分析時間の短縮が図られた。特に、多孔性ケイソウ土カラム、オクタデシルシリル化シリカゲル (C₁₈)、グラファイトカーボン (GCB)、シリカゲルやフロリジルの各ミニカラムなどは当然のごとく使用されるようになり、分析者が自ら作成していた充填カラム (オープンカラム) はほとんど姿を消してしまった。定量に関しては、これまでどおり、ガスクロマトグラフ (GC) および高速液体クロマトグラフ (HPLC) が必須の装置として汎用されているが、検出器の種類は徐々にではあるが着実に増えている。特に、高速液体クロマトグラフ/質量分析計 (LC/MS(/MS)) は、ポジティブリスト制度に対応する一斉分析法の

測定機器に指定されたことなどから、近年、積極的に利用され始めている。

分析結果については、単に正確に出せばよいというわけではない。分析結果を導き出すに当たっては、精度管理の基準を満たしていること、できればQA/QCや技能試験等が実施されていることが望ましい。すなわち、分析結果を客観的に確認できるような組織体制下で実施され、また、トレーサブルであることが必須条件となってきた。

農業残留分析の分野では、常に高度な分析技術や分析機器を基礎的・先端的分野から導入することで、技術革新を図り、時代の要請に応えてきている。振り返ると、GCではキャピラリーカラムの導入が、精製ではミニカラムなどのカートリッジカラムの導入が、それぞれターニングポイントであったと思われる。測定機器では、この数年間の特徴としてLC/MS (/MS) の導入・普及であり、定量感度が飛躍的に向上したことなどから、分析操作の大幅な短縮が実現され、これまでの分析内容を一変させるほどの変革期が到来した感がある。

このように農業残留分析の技術は、法的規制、分析技術や分析機器の進歩、精度管理の要求事項、等々に影響を受けながら発展してきているが、本稿では、質量分析機器を利用した農業残留分析の技術的側面に焦点を絞り、過去30年ほどの変遷もまじえて、その発展と現状ならびに問題点やその対策等について述べることにする。

2. 質量分析装置

農業の多くは、ガスクロマトグラフ (GC) や高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いて検出や定量を行なうことが可能であるが、これらの装置については、この30年間に飛躍的な進歩が

見られる。特に、検出器として質量分析計 (MS) を装備したガスクロマトグラフ・質量分析計 (GC/MS) や高速液体クロマトグラフ・質量分析計 (LC/MS) は目覚ましい発展を遂げている。1970年代では、質量分析装置といえば、GC/MS ぐらいで、主な用途は定性や確認であった。定量したい場合は、わざわざイオンを連続的に補足する装置 (Multiple Ion Detector : MID など) をオプションとして付ける必要があった。定性と定量の機能が一体化した装置が導入されたのは70年代末ごろからと思われる。一方、LC/MS は80年代に導入されたが、当初は、液体試料を一旦完全に乾燥させた後でイオン化させる方式 (ムービングベルトやパーティクルビーム) が採用されており、主な用途はやはり定性や確認用であった。その後、大気圧イオン化方式の装置が開発され、感度や定量性に優れていることが確認され、飛躍的に利用が高まり、現在に至っている。

2-1. ガスクロマトグラフ・質量分析計 (GC/MS)

2-1-1. カラム

1970年代は、充填剤を詰めたガラスカラムが主体であり、MS用の充填剤の種類もそれほど多くはなかった。液相は一般に熱に不安定なので、使用している間に気化等により消失し、分離性能の低下やイオン源やセパレーターを汚染する原因となった。当然、カラムの寿命は短く、クロマトグラムの再現性も不十分であった。ヒューズドシリカキャピラリーカラムの導入により、充填カラムの欠点はほぼ完全に克服され、セパレーターを装備する必要もなくなった。また、誘導体化しなければ測定することができなかったような化合物 (メチルカーバメート系農薬等) でも直接測定が可能となり、分析対象農薬の適

用範囲も広がる効果をもたらした。

2-1-2. イオン化法と質量分析部

GC/MSのイオン化法には、電子衝撃型 (EI) や化学イオン化 (CI) があり、前者は定量用に、後者は確認用に使用されるケースが多く見られる。もちろん、それぞれ逆の目的で使用するケースも見られる。質量分析部としては、四重極型 (Q-MS) が主流であり、イオントラップ型 (IT-MS)、タンデム四重極型 (Q-MS/MS)、磁場型 (Sector-MS) など使用されている。これら質量分析部の機構や特性については、2-2-3を参照されたい。

2-1-3. 問題点 (マトリックス効果)

1970年代では、バックドカラムを装備した装置が主体で、しかも主な用途は定性用であったので、マトリックス効果の問題はほとんど認識されていなかった。80年代以降、キャピラリーカラムの普及とともにスプリット・スプリットレス注入口を装備したGC/MSが導入され、しかも、分析対象農薬として比較的熱に不安定な農薬についても適用が拡大されたことなどもあり、この現象が顕著に見られるようになった。

GC/MSに限らず、GCの最大の欠点は、注入口で熱分解の可能性があることである。GCで測定可能な農薬の大部分は比較的熱に安定であるが、不安定な農薬は注入口で熱分解を受ける。この場合、試料マトリックスを含む試験溶液を測定した場合、標準溶液に比べて、熱分解が緩和されることがあり、結果として回収率が100%を大幅に上回る現象が見られることがある。この現象を「マトリックス効果」と呼んでいる。回収率が100%を大きく下回る場合についても、同様に「マトリックス効果」と呼んでいるケースがあるが、これは単に精製が不十分なだけなので、これを「マトリックス効果」に含めるには

若干異論がある。

マトリックス効果の原因として、熱分解だけでなく、注入口での吸着も要因として上げられる。現象としては、熱分解の場合と同様に、試料マトリックスによって注入口における吸着が、標準溶液の場合よりも、抑制されるためと考えられている。

マトリックス効果を防止する方法には、①標準溶液にジエチレングリコールのような擬似マトリックスを加える方法、②試料マトリックスを含む標準溶液を用いて検量線を作成する方法 (マトリックス検量線)、③分析成分の同位体化合物を内部標準物質として試験溶液に添加して回収率補正する方法などがある。なお、測定時には必ず試料マトリックスを含む試験溶液を用いて起爆注入を数回実施し、注入口を十分にコンディショニングしておくことは必須事項である。

2-2. 高速液体クロマトグラフ・質量分析計 (LC/MS)

2-2-1. カラム

農薬の残留分析では、分子量や溶解性の点から、一般にODSカラムに代表される逆相系カラムが広く使用されている。その他、順相系カラムやイオン交換系カラム、また、光学異性体分離用のキラルカラムなども使用されている。LC/MSでは、イオン源への試料導入量に制限があり、また選択性が高いので夾雑物との分離も厳密に行う必要がないことなどから、カラムは通常のものよりも細く短いのが特徴である。最近、超微粒子で高耐圧性の充填剤が開発され、分離、ピーク形状、流速とも従来のものを大幅に凌ぐ高性能なカラム (LC装置と一体化) が供給されている。

2-2-2. イオン化法

LC/MSのイオン化法には、フィールドイオン化 (FI, FD)、高速イオン・原子衝撃 (SIMS, FAB)、大気圧イオン化 (API)、マトリックス支援レーザー脱離イオン化 (MALDI) などがあるが、農薬残留分析では定量性の優れたAPIの1方式といっても過言ではない。その中には、エレクトロスプレーイオン化 (ESI)、大気圧化学イオン化 (APCI)、大気圧光イオン化 (APPI) などがある。いずれもソフトイオン化なので、フラグメンテーションは起こりにくく、一般には、 $[M+H]^+$ 又は $[M-H]^-$ のいわゆる擬分子イオンを生じる。以下、これらイオン化法の原理、移動相、農薬の適性について述べる。

イオン化法の原理

ESI：試験溶液を強い電場を帯びた細管に導入し、スプレー状に放出することにより、液滴を過剰に帯電させ、乾燥ガス (N_2) による溶媒蒸発と液滴の微小化、液滴の自発的な分裂 (イオン蒸発) を経て、気相にイオンを生成させる方法である。すなわち、溶液中のイオン性物質を気相に取り出すイメージである。高感度化のためには、移動相のpHの最適化 (酸性物質はpKaより1~2高く、塩基性物質はpKaより1~2低く設定)、揮発性電解質の添加によりイオン性官能基を持たない中性化合物のイオン化促進、などの方法がある。

APCI：試験溶液をネブライザーによる液滴の微細小化、ヒーターによる液滴の霧化、コロナ放電による溶媒のイオン化、気相化学反応による分析成分のイオン化を経て、気相にイオンを生成させる方法である。イオン化のメカニズムとしては、GC/MSにおける化学イオン化 (CI) と類似している。ESIと比較して、気相中に存在する分子状の化合物が直接化学イオン化され

るので、Na付加イオンが出にくい特徴がある。APCIではプロトン化されやすい溶媒を選択する必要があるため、アセトニトリル系よりもメタノール系を使用する。

APPI：コロナ放電の代わりにクリプトンランプの光 (UV) によりイオン化する方法である。通常の移動相溶媒はイオン化されないためバックグラウンドが低いのが特徴である。

移動相

移動相は基本的に揮発性である必要がある。溶解性の点では極性溶媒 (アセトニトリル、メタノール、水) を用いる必要がある。pH調整のためには、ギ酸、酢酸、アンモニア水が使用される。また、感度の安定化および分離性能向上のためには、ギ酸アンモニウムや酢酸アンモニウムが使用される。これらは、アンモニウム付加イオンの生成を促進し、Na付加イオンの生成を抑制する効果がある。なお、電解質濃度が高くなると、電解質イオンと農薬との間で気相イオンへの転換に競合が生じるため、一種のイオン抑制が起こり、感度は低下する。逆に、電解質濃度を下げると感度は高まるが、試料マトリックスの影響を受けやすくなり、感度変動が大きくなる。

分析対象農薬の適性

農薬の極性が高~中程度の場合はESIが有効で、低~中程度の場合はAPCIを、さらに低い場合はAPPIが適しているといわれている。分子内にNやOが含まれている化合物はイオン化される可能性は高いが、CとHだけからなる非極性化合物やナフチル基などを有する芳香族化合物は (APPIを除いて) イオン化され難い。また、プロトン親和力の大きいアミノ基、アミド、カルボニルを有する農薬は正イオンモードでの測定が、プロトン親和力が小さいカルボキシル基や

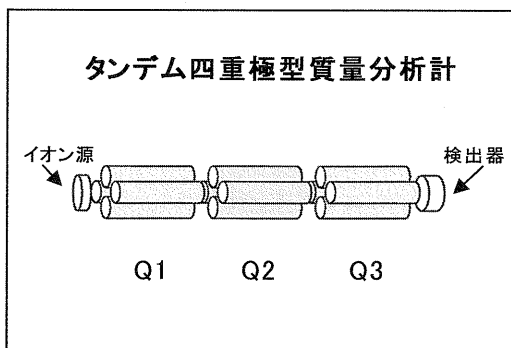
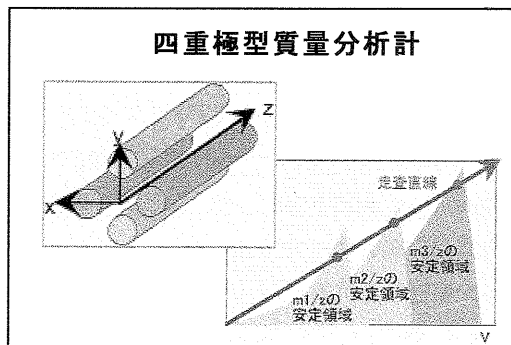
ヒドロキシル基を有する農薬は負イオンモードでの測定が適しているといわれている。

2-2-3. 質量分析部

質量分析部には、四重極型 (Q-MS)、イオントラップ型 (IT-MS)、タンデム四重極型 (Q-MS/MS)、飛行時間型 (TOF-MS)、磁場型又は二重収束型 (Sector-MS)、フーリエ変換イオンサイクロトロン型 (FT-MS)、複合型又はハイブリッド型 (Q-TOF, IT-TOF, Q-MS/MS-IT) などがあるが、農薬残留分析の分野では、汎用型として Q-MS, IT-MS, Q-MS/MS, また、最近では TOF-MS の利用が見られる。以下、これら質量分析部の原理と特徴などについて述べる。

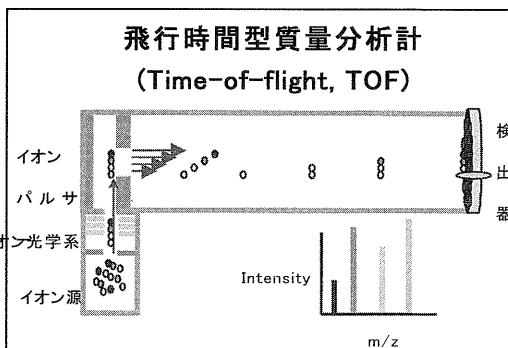
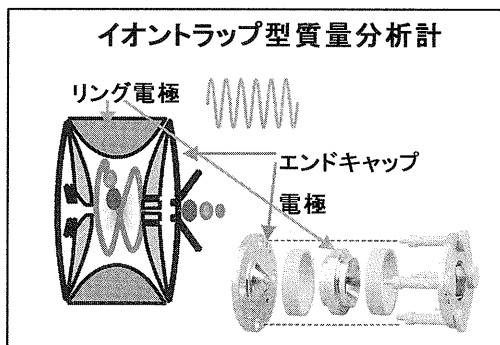
四重極型：イオンを四重極の中に連続的に通しながら高周波電位と直流電位を与えると、特定の m/z を持つイオンのみが通過できることを

質量分析部の模式図



利用している。四重極の印加電圧を制御することでイオン (質量: マス) を通過 (フィルター) させるので、マスフィルターとも呼ばれる。小型装置を作りやすく、操作やパラメータ設定がシンプルである。また、スキャンスピードが速く、真空度が比較的低くても機能するため、ESI や APCI に適した質量分析部である。定量は Selected Ion Monitoring (SIM) 法で行われる。

イオントラップ型：ドーナツ型のリング電極の穴の上下に半球状のエンドキャップ電極を押し込めた内部にイオンを導き (トラップ)、高周波交流電圧の変化にしたがって高周波電界から飛び出すイオンを検出する。MS/MS, MSⁿ によってイオンごとに各種フラグメントが得られるので、構造解析に有効である。定量は SIM や Multiple Reaction Monitoring (MRM) 法で行われる。なお、ダイナミックレンジがやや狭い欠



(Agilent Technologies社提供資料)

点がある。

タンデム四重極型：通常、複数の四重極分析部を備え、MS/MS測定が可能な装置をこのようにいう。1つ目でプレカーサーイオンを選択し、2つ目（通常、コリジョンセルといわれる部分で、必ずしも四重極が使われていない）で不活性ガス（通常、アルゴンガス）と衝突させフラグメンテーションを起こさせ、3つ目でプロダクトイオンを選択する。特定のプレカーサーイオンとプロダクトイオンを選択する、いわゆる2段階フィルターによる検出方式なので、選択性が高く、高感度測定が可能である。試料マトリックスによる妨害ピークを回避する点においても有効である。なお、Na付加イオンはフラグメンテーションを起こさないで、MS/MS測定には用いることが出来ない。したがって、生成防止の対策が必要である。定量はMRM法で行われる。

飛行時間型：イオンをフライトチューブの中に飛ばし、イオンの飛行時間（質量の軽いものほど遠くに飛ばされ、飛行時間が長いことになる。）を正確に測定することで、精密質量が計算できる。このため、組成式の推定や化合物同定が容易である。また、常にフルスペクトルを採取する方式であることから、測定後、ターゲットイオンを変えて再解析することができる。したがって、分析対象農薬が未確定の場合や同時に多数の農薬化合物を測定するのに最適の検出器といえる。機種にもよるが、検出感度は、タンデム四重極ほど高くない。定量は高分解能マスキロマトグラム（HR-MC）法で行われる。

2-2-4. 問題点（イオン化抑制、イオン化促進、付加イオン、感度変動）

LC/MS(/MS)の利用は利点ばかりでなく、注意

しなければならない問題点もある。以下、その問題点と対策等について述べる。

イオン化抑制：試料マトリックスの影響により、イオン化が抑制される現象をいう。確認法としては、マトリックス標準品と通常の標準品を交互に注入して比較する方法がある。対策としては、クロマト溶出条件の変更、イオン化モードの変更（正から負に）、イオン化方式の変更（ESIからAPCIやAPPIに）、追加精製や試験溶液の希釈、などの方法がある。

イオン化促進：GC/MSのマトリックス効果と同様に、LC/MSでも回収率が100%を大幅に上回る現象が見られる。試料マトリックスの影響により、イオン化が促進されるための現象と思われるが、現在のところそのメカニズムの詳細については明らかにされていない。確認法および対策は、イオン化抑制の場合と同様である。

付加イオン：アルカリ金属との付加イオンは結合が強く、フラグメンテーションを起こさないで、MS/MS測定を行うことができない。対策としては、移動相にギ酸アンモニウムや酢酸アンモニウムの添加、アルカリ金属の少ない高純度試薬や溶媒の使用、イオン取込み電圧の下方修正、細管やイオン源の洗浄、ESIからAPCIへの変更などがある。

感度変動：LC/MS(/MS)は、高感度測定が可能であるが、その分だけ感度変動も大きい検出器といえる。原因としては、イオン源・細管の目詰まりによるスプレー形状や霧化形状の変化、イオン化室の汚れによるイオンの吸着、試料マトリックスによるイオン化阻害やイオン化促進、移動相中のイオン濃度の変動などが考えられる。対策としては、マトリックスの多い試料の注入禁止、イオン化室内の洗浄、キャピラリー全体と先端部の洗浄、一定イオン濃度の維持、など

がある。また、正イオンモード測定を継続すると帯電が一方向に増幅されるので、時々、負イオンモード測定をダミーとして入れておくのも効果がある。装置が高感度になればなるほど、標準溶液や測定液中の農薬はより低濃度に調製されることになるので、容器による吸着の問題にも注意する必要がある。

3. LC/MSの適用例

汎用型のGCやHPLCを用いた作物残留分析では、抽出後、通常2段階か、それ以上の精製工程が必要であるが、LC/MS(/MS)を用いることにより、精製や誘導体化の操作を削減することができ、分析時間の大幅な短縮が可能となった。農薬登録のための作物残留試験における適応例として、ベンフラカルブとエマメクチン安息香酸塩の例を示す。

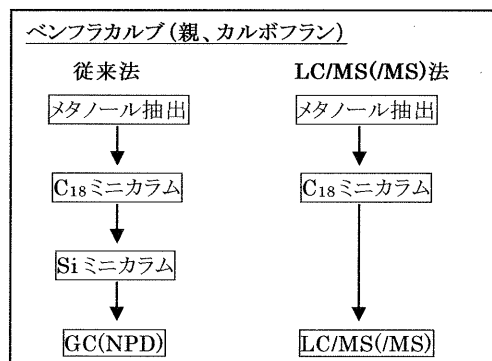
LC/MS(/MS)は、ポジティブリスト対応の測定機器に指定されたことなどから、食品衛生法に係わる食品の残留検査の分野でも、急速に普及

してきている。厚生労働省の発表では、平成16年度で検討した74農薬のうち、回収率の中央値が70~120%であった農薬は65品目であった。平成17年度は約130農薬について追加検討が行なわれており、検討結果は平成18年5月中に公表される予定になっている。最終的には、150種以上の農薬が一斉分析法（Ⅰ及びⅡ）で測定可能になるものと思われる。

過去2年間（2004年、2005年）に、農薬残留分析研究会や食品衛生学会に発表された報告では、Q-MS、IT-MS、Q-MS/MS、TOF-MSなどの装置を用いて、100品目前後の農薬について一斉分析法の検討が行なわれており、相当数の農薬は作物残留分析に適用可能であることを示している。

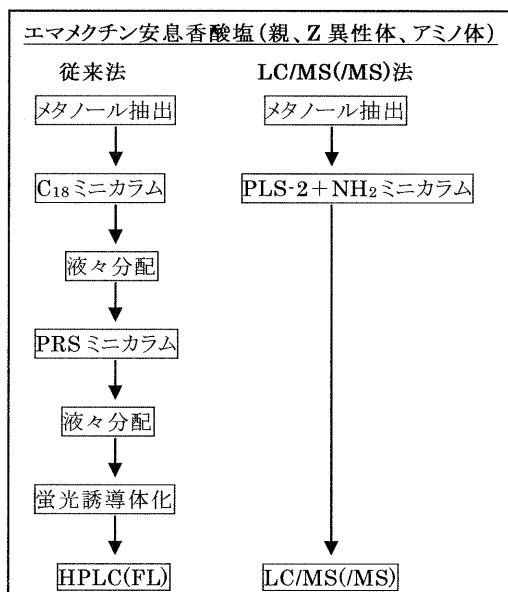
4. 質量分析機器の適用限界

適用の限界：試験法をGC/MSやLC/MSを用いて簡便な方法に変更する場合は、分析対象成分を取り損なうことのないよう注意が必要である。



残留試験におけるその他のLC/MS適用農薬

グアニジン、バリタマイシン、カルボスルファン、フルバリネート、フェンピロキシメート、チアメトキサム、イマズスルフロン、MCPB、アゾキシストロビン、ピリフタリド、エチプロール、クロメプロップ
この他、未登録の新規化合物も多数ある。



これは、LC/MSやGC/MSに限ったことではないが、従来の分析法を簡便化する場合、精製操作はどれだけ省略しても構わないが、加水分解操作や変換反応を伴う操作は、分析対象成分が関与している可能性があるため、省略する場合には注意が必要である。

検出方法の限界：分析対象成分が、質量数の異なる複数の集合体や類似する多数の天然成分から構成されている場合は、現状のSIMやMRMのように特定の質量数を捉えて定量する方式では限界があるので注意が必要である。

5. おわりに

ポジティブリスト制度に対応する一斉分析法では、測定機器としてGC/MSやLC/MSが使用されている。質量分析装置は、一度に多数の農薬を同時に測定できる非常に便利な機器であるが、そこには様々な落とし穴があることも認識しておく必要がある。分析値は機器がはじき出してくれるが、最終的にその結果が正しいものかどうかを判断するのは分析者自身であり、分析対象化合物の数が増加した今ほど、分析者には豊富な経験と知識に裏付けられた冷静な判断力が求められる。一方、測定機器自体についても、試料マトリックスの問題などへの対応や、分析者の判断を支援するような対策も必要なことであろう。

ポジティブリスト制度に移行した時点では、600種もの農薬を対象として、しかも一律基準

(0.01ppm) 又はそれよりも低い基準値の評価に耐え得るような分析法を、十分に精査した試験法として日常的に使用することはほとんど不可能に近いと思われる。公示された試験法は、農薬と食品との組み合わせ次第では適用可能なケースもありうるが、全ての農薬と食品について適用することは、現状の分析技術では極めて困難と思われる。ポジティブリスト制度は全ての農薬の検査を義務づける制度ではないので、何百種もの農薬を闇雲に分析するのではなく、農薬の出荷量や使用実態などの情報から優先順位を付けて、分析対象農薬を十分に絞り込んで検査することが現実的かつ効率的な対処法といえる。

残留基準値を定め、その基準値を監視する方法は合理的であるが、膨大な数の農薬と無数の農作物を常時監視することは、現実的には不可能であるし、コスト的にも無理がある。少なくとも国内農作物に関しては、生産段階で農薬の使用方法が適正であれば、残留基準を超えないような仕組みになっている。この仕組みの信頼性が高まれば、残留農薬の分析はあくまでも補助的なものであり、残留農薬を常時監視する必要性も薄れるはずである。

農薬残留分析の30年間を振り返ると、当時は想像すらできなかった分析技術や定量機器が現在では当然のごとくに普及している。現在課題となっている技術的問題についても、杞憂に過ぎなかったといえる日がそう遠くない時期に到来することを期待したい。

極微弱光の測定による植物のストレス応答の検出

静岡県農業試験場 伊代住浩幸・稲垣榮洋・影山智津子*・加藤公彦

*現 静岡県柑橘試験場

はじめに

細菌から植物、哺乳類にいたる様々な生物は、特殊な発光機構を介さず極微弱な光を放射している(渡辺, 稲場1991(1)(2), Slavinski 1988)。この発光現象は、極微弱生体発光(ultra-weak bioluminescence)あるいは、バイオフォトン放射(biophoton emission)と呼ばれている(Abels 1986, Popp 1988)。 10^4 光子数/秒/ cm^2 以下と発光強度が弱い(図-1)。

機器による測定は光電子増倍管(Photo multiplier tube)を用いた単一光子計数法が登場するまで待たなければならなかった。1950年代になって、Colliらによりコムギ、レンズマメなど植物の黄化幼苗における可視光域の発光が初めて報告され(Colli et al. 1955), それ以降, 多くの研究者により, 様々な生物の個体・組織・細胞などでの微弱発光現象が報告されるようになった(Popp et al. 1992, Belousov et al.

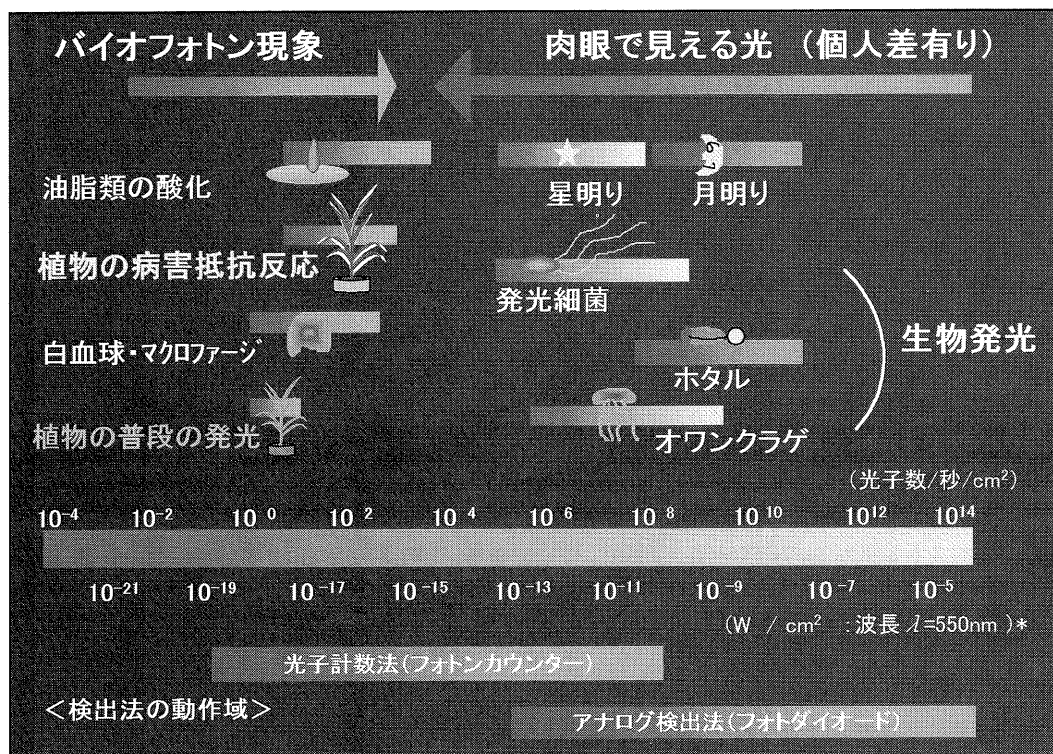


図-1 生体極微弱発光(バイオフォトン)の明るさ

2000)。

生体の極微弱発光現象は自家発光と光誘導(遅延)発光に分類されるが、共に生化学反応あるいは、光励起反応で生体内に生じる励起種により発光する。特に自家発光は恒常的に、幅広い波長域(紫外域～近赤外域)で観察され、生体の活動レベルの変化や外部からの刺激によって量や波長組成が変化することが知られている。発光のソースとして、活性酸素種により周囲の蛍光性物質(不飽和脂肪酸、核酸、アミノ酸、ポリフェノール他)が過酸化を受けて励起する場合や、励起カルボニルなどからの蛍光性物質へのエネルギー移行の他、一重項酸素そのものの発光、DNA分子の巻き戻しなども推定されている(Abels 1986, Slavinski 1988, 渡辺, 稲場1991(1)(2))。つまり、生物発光におけるルシフェリン-ルシフェラーゼシステムのように発光に特化したものではなく、生体内で別の働きを持つ物質・酵素などが生体微弱発光に関与すると考えられている。ただし、発光強度の弱さと発光波長の幅広さが生体中の発光分子種の同定を困難にしている。わずかな成功例として、腎不全症患者の血漿における極微弱発光の発光前駆物として、indoxyl- β -D-glucuronideが同定されている(Agatsuma *et al.* 1994)。

ところで、自家発光を測定する場合、測定自体では対象に干渉することが全くないため、非常に高い非侵襲性が得られるという利点がある。また、測定システムがシンプルであるため、生体の酸化的ストレス状態の指標として用いられるほか(稲場 1983)、腫瘍細胞の判別(Musumeci *et al.* 1992)、脳活動のモニタリング(Kobayashi 1999)、腎不全の判別(Agatsuma *et al.* 1992)などへの適用も試みられるなど、生理変化の指標としての応用が盛んに行われてきている。

植物でも古くから各種の刺激に応答して極微弱発光が観察されているが、近年、測定・解析機器の進歩に伴い、植物のストレス応答を極微弱光測定により捉える試みが増えている。本稿では、極微弱光測定による植物のストレス応答検出の事例を紹介する。併せて、著者らが取り組む病虫害抵抗反応の検出と、その実用技術への応用の可能性について紹介する。

1 植物のストレス応答に伴う極微弱発光

1. 無傷の植物の発光

上述の通り、生体極微弱発光の測定は植物の芽生えで最初に成功した。その後、高感度光子計数カメラによる測定で、細胞分裂が活発な根端や、胚軸において、より強く発光することが明らかになった(Usa *et al.* 1988, Ichimura *et al.* 1989)。高温・高湿度で保存され、発芽勢が低下したダイズ種子を給水後に測定すると、適切に保存された種子に比べ、むしろ発光量が増加することが報告されているが(Saeki *et al.* 1990)、これは、発芽を開始する前の種子で、種子に含まれる脂質、アミノ酸等が劣化(過酸化)したことによる化学発光が原因と考えられる。また、同じ時期の芽生えでも暗黒で黄化させたものと、緑化させたものでは、発光波長に違いが有り、コムギでは黄化したもので黄色から橙色なのに対して、緑化したものでは赤色光のみが観察される(Slavinski *et al.* 1981)。根の発光は両者とも黄色から橙色であったことから、緑化芽生えではクロロフィルにエネルギー転移が起こり、赤色のクロロフィル蛍光が生じると考えられている。一方で、ミトコンドリアと並び、葉緑体はそれ自体が発光することも明らかにになっている(Hideg *et al.* 1991, Hideg and Inaba 1991)。

2. 付傷に伴う発光

植物を傷つけると、その部位から周囲よりも強い極微弱発光が一過的に観察される。付傷に伴う活性酸素種の生成とそれによる膜脂質の過酸化は、発光に強く関わりとされている。一重項酸素 (1O_2) は、それ自身が発光する唯一の活性酸素で、脂質過酸化の際に生成する (宮澤1988)。また、重水中で半減期が大幅に延長されることが知られており、付傷の際に溶媒を軽水から重水に置換ると発光が顕著に高まることから、付傷に伴う発光における一重項酸素 (1O_2) の関与が示唆されている (Saline & Bridges 1981, Chen *et al.* 2003)。しかしながら、 1O_2 の消去実験の結果はそれぞれの報告で一致せず、直接的な発光分子であるかは不明である。生育中のシロイヌナズナをノルフルラゾンで処理して、クロロフィルの合成阻害により葉を部分的に白化させると、同じように付傷しても白化部分からは発光が認められなかった。このことから、緑化組織では付傷に伴う発光にも、クロロフィルへのエネルギー転移が強く関わりとされている (Flor-Henry *et al.* 2004)。一方、タケノコの切断面で観察される発光は、染み出てくる白い液体に含まれるチロシン、バイチロシンが、同様に含まれるペルオキシダーゼと切断傷害で生じる H_2O_2 により酸化・

励起されて直接発光すると考えられている (Totsune *et al.* 1993)。

3. 温度変化に伴う発光

温度変化は、主に酸素と脂質の反応をコントロールすることで発光の増減引き起こすと考えられる。植物にとって致命的な高温では、劇的な発光の増加が認められる (Havaux 2003)。また、付傷部位における発光は、十分な温度がないと認められない (Flor-Henry *et al.* 2004)。一方、急激な温度低下によっても一時的な発光の増加が認められ、凍霜害に対する耐性検定への応用も試みられている (Agaverdiyev *et al.* 1965)。これらとは別に、著者らは、サツマイモ塊根切片を $30^{\circ}C$ から $20^{\circ}C$ へ2時間程度かけて比較的緩やかに温度変化させた場合に、温度低下に伴って発光量が減少する一方で、一過的に波長組成が短波長側にシフトする現象を発見している (図-2)。メカニズムの詳細は不明であるが、温度低下に反応して顕著な生理変化生じていることが示唆された。

4. 塩処理・乾燥処理に伴う発光

アズキの芽生えにNaCl溶液処理を処理した場合、1 M程度までは発光が減少するが、4.5 M (飽和濃度) では逆に発光を増加させることが

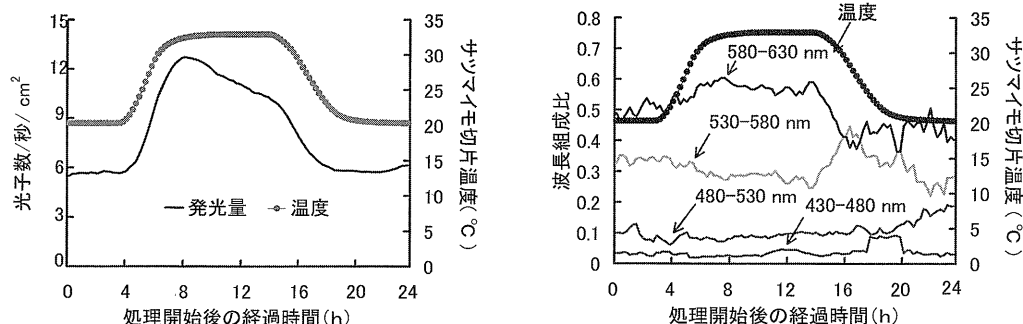


図-2 温度変化によって誘導される発光量 (左) と波長組成 (右) の変化

報告されている。低濃度での発光減少は、体内ABA濃度の上昇の結果であり（ホルモン処理の項参照）、飽和濃度での発光増加は高濃度のイオンによる細胞障害（ミトコンドリアからの電子漏洩による活性酸素発生）に起因すると推測されている（大矢ら1998）。一方、乾燥によっても緩やかな発光の増加が認められるが、長時間の乾燥処理後に再給水すると、非常に強い一過性の発光増加が認められる（大矢ら2000）。この現象は、乾燥で傷ついた細胞から給水によって流出したオキシダーゼ類により、細胞成分の酸化分解反応が劇的に進んだ結果だと推測されている。

5. 嫌気処理に伴う発光

一般的に、植物の極微弱発光は酸素供給を絶つと減少することが知られているが、ホウレンソウやハイビスカスの葉において、雰囲気を N_2 やアルゴンなどの不活性ガスに置換することで、一時的に発光量が増加することが確認されている（Roschger *et al.* 1992）。この現象は分離した葉緑体や、UV照射でダメージを受けた葉などでは観察されなかった。また、少量の酸素供給でもキャンセルされることから、健全な葉の嫌気条件における生理変化、おそらくは嫌気条件特異的な励起種の生成を反映していると推測

されている。この発光の波長組成がクロロフィル蛍光に似ることから、ここでもクロロフィルへのエネルギー転移が行われているらしい。

6. ホルモン応答に伴う極微弱発光

アズキの芽生えに根の成長を促進する濃度（ $10^{-6}M$ ）のジベレリン（GA₃）を与えると、わずかなではあるが無処理に比べて発光が増加することが報告されている（Kai *et al.* 1995）。発光は根冠部分で特に強く、生育の促進とリンクした発光だと推測されている。これに対して、同濃度で根の成長を抑制するアブシジン酸（ABA）を与えた場合には、発光は強く抑制されており、これはABAにより誘導されるストレス応答により活性酸素種生成の抑制、あるいは消去機能の亢進が起きたと推測されている。

一方、著者らは合成オーキシシン（2,4-D）をサツマイモ塊根切片に約 $10^{-5}M$ で与えると、一過的に発光が増強することを認めている（図-3）。このとき、発光波長は無処理に比べて短波長側にシフトしており、病害抵抗反応に伴う発光（図-4中）に類似したものであった。2,4-Dによって細胞伸長成長が誘導される時には、ヒドロキシルラジカル（ $\cdot OH$ ）による細胞壁のルーゼニングが起きるという報告もあり（Schopfer *et al.* 2001）、病害抵抗反応時と励起種の種類

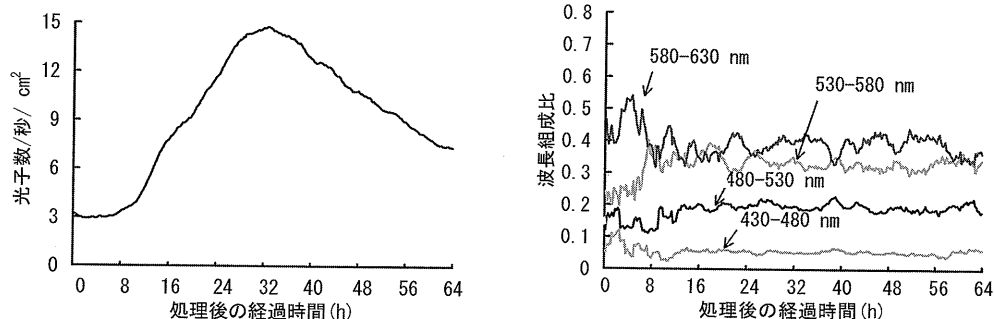


図-3 2,4-D処理により誘導される発光量（左）と波長組成（右）の変化

や発生部位が類似している可能性がある。

7. 病虫害応答に伴う極微弱発光

近年、著者らは、トウモロコシの葉がタバコガの幼虫に食害される際に発光が増加することを明らかにした。この発光は、幼虫の吐出し液が被害部に接触することで誘導されることから、吐出し液が一種のエリシターとして働いている可能性がある (Yoshinaga *et al.* 2006)。同様の現象はカンザワハダニによるインゲンマメの食害においても報告されている (川畑ら 2004) が、こちらはエリシター成分の有無は不明である。

病原体感染時の植物の発光についても近年報告されている。ササゲはCMVに感染した際に一過性の発光増加を示す (江原1994)。また最近、シロイヌナズナと非病原性遺伝子 (avr) を有する病原菌の組み合わせで、非親和性応答に伴う過敏反応 (HR) に先立って観察される極微弱発光について詳細に報告されている (Benett *et al.* 2005)。この事例では、 $\cdot O_2^-$ の生成や過酸化脂質は発光に関与せず、 $NO\cdot$ が発光に強く関与していると推測されている。また、発光のイメージングの結果から、時間と共に接種部位から周辺に発光が波のように広がることが明らかになっている。

一方、著者らはサツマイモが非病原性フザリウム菌との相互作用により防御応答に伴う強い発光を示すことを報告している (Makino *et al.* 1996, Iyozumi *et al.* 2002)。この発光は無処理の発光から波長組成が短波長側に大きくシフトしており、定常状態とは質的にも異なる発光現象であることが示された (図-4)。また、タバコの野火病抵抗性品種と罹病性品種の発光パターンによる識別 (伊代住ら 1998)、あるいは

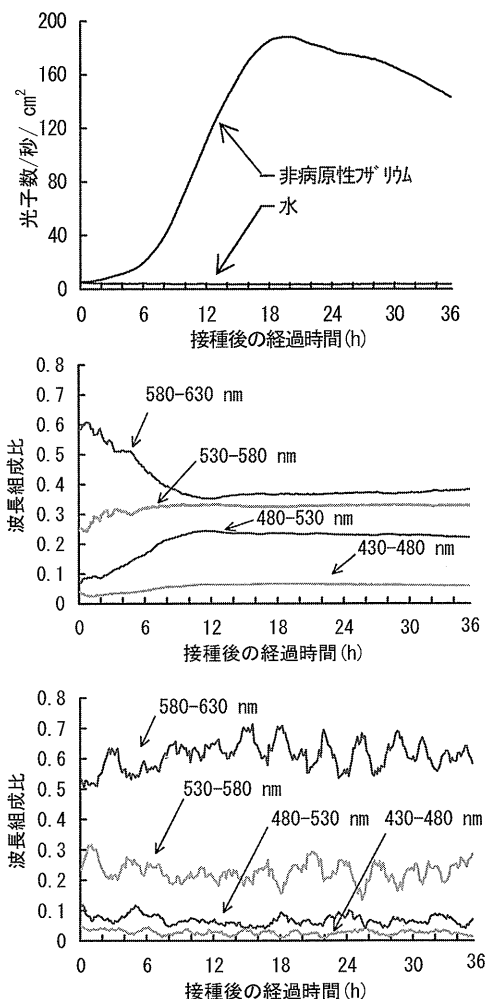


図-4 非病原性フザリウム菌接種により誘導される発光量 (上) 及び、波長組成 (中) の変化と、水処理 (下) との比較

はマツノザイセンチュウとの相互作用によるクロマツ新梢の発光現象 (袴田ら 2004) などについても明らかにし、植物の防御反応の指標としての微弱発光の可能性について論じてきた。

II 植物の極微弱発光測定の実用技術への応用

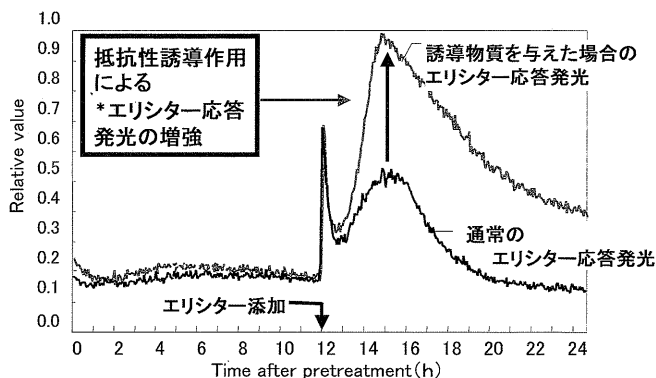
1. 極微弱発光の測定による病害抵抗性誘導の評価

植物が持つユニークなストレス応答として、病害抵抗性誘導がある。もともとは、斑点を生じさせる病原体に先に感染していると、それ以

降, 同じ病原体のみならず広いスペクトラムで抵抗性を発揮する現象から発見された (Ryals *et al.* 1994)。病害抵抗性誘導の重要な作用として, 本作用についての研究が進み, 生体内におけるサリチル酸の重要性が明らかになると, それを基にして, より強力に, 安定的に抵抗性を誘導する物質として, アシベンゾラル-S-

メチル, チアジニルなどの物質が合成され, 商品化されている。現在ではサリチル酸を介する経路以外にも, ジャスモン酸やエチレンを介する経路, プラシノステロイドを介する経路なども明らかになってきている (仲下, 安田 2004)。しかしながら, これまでに販売されているのは上記2剤にプロベナゾールを加えた3剤で, しかも全てSA類似の物質である。サリチル酸経路を利用した抵抗性誘導の研究が, 最も進んでいることが原因として挙げられるが, より根本的な問題として, 旧来の接種検定法に代わりうる選抜方法が未だ存在しないことがあげられる。一般殺菌剤では一次スクリーニングに利用されている *in vitro* アッセイ法も抵抗性誘導剤では実用的なレベルに達していないため, 開発のボトルネックになっている。

ところで, 抵抗性誘導物質の重要な作用として, 病原体やエリシターに対する防御応答が早く, 強くなるよう植物細胞をコンディショニングする作用, いわゆるプライミングがある (Conrath 2002)。これまでの研究で, 著者らは, 植物の防御応答に付随する極微弱発光 (エリシター応答発光) が, 他の防御応答と同じ制御系の元で放射されており (Kageyama *et al.* in



*エリシター: 植物が病原菌として認識し, 抵抗反応を起こしてしまう物質のこと。

図-5 極微弱発光測定による病害抵抗性誘導物質評価の原理

print), プライミング効果により加速, 増強されることを明らかにした (Iyozumi *et al.* 2005)。

さらに, エリシター応答発光の増強が, 作用機作が異なるとされる様々な抵抗性誘導物質で認められることを踏まえて, 病害抵抗性誘導物質の効率的な選抜システムの確立に取り組んでいる。現在試験的に稼動しているシステムは, ①改変N6培地で維持しているイネ培養細胞を1/2MS培地で1週間振とう培養し, ②培養細胞2.5gと培養液3.5mlをシャーレに分注する。③候補物質を終濃度50ppmになるよう培養細胞に添加し, ④2時間インキュベーションして抵抗性を誘導した後, ⑤エリシターを培養細胞に添加し (キチン6量体であれば $0.1 \sim 1 \mu\text{M}$), エリシター応答発光を2~6時間測定する。⑥エリシター応答発光の増強程度 (2倍以上が目安) を指標に候補物質の選抜を行う。以上の方法では, 特別な試薬等を必要としないため, ランニングコストは通常の接種検定法の2/3程度で済む。しかも8時間程度で終了するため, 早くても1週間~2週間程度はかかる接種検定法に比べて, 極めて迅速な方法である (図-6)。本方法では,

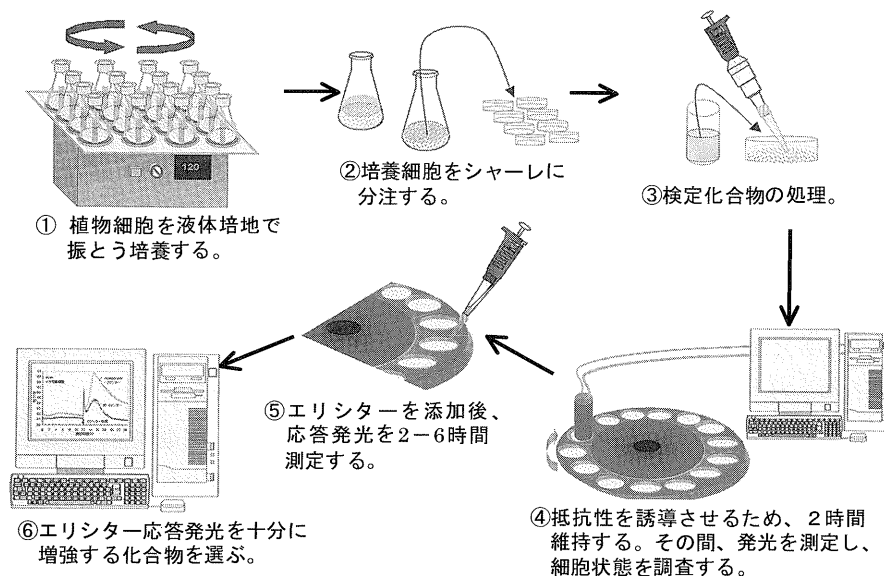


図-6 病害抵抗性誘導物質の新しい効率的な選抜システム

実際の施用場面における安定性や浸透性などは評価できないため、必ずしも植物体での効果とは一致しない点を念頭において、一次スクリーニングとしての活用を考えている。運用においては、細胞の安定管理が必須であり、現在も培養・保存方法、品質管理手法の改善が続けている。また、イネ以外の世界的に重要な作物、例えば、コムギ、ブドウ、パレイショなどについても同様のシステムの確立を目指している。

おわりに

20年前のレビュー (Abeles 1986) には、植物の極微弱発光について「現象として複雑で、解析が難しい割には、生物学的意義は取るに足らないもの (trivial) である可能性がついてまわる。しかし、生理状態、特に活性酸素種の生成に関する情報を得るための有用なテクニックとなりうる」というようなことが書かれている。今日、その予言の後半部分は実現しつつあると考える。この先、前半部分の懸念を吹き飛ばすような発見を是非したいものである。

文 献

- Abeles, FB (1986) Ann.Rev. Plant Physiol. 37:49-72.
- Agatsuma, S, Nagoshi, T, Kobayashi M, Usa M, watanabe H, Sekino, H and Inaba H (1992) Clin. Chem. 38:48-55.
- Agatsuma, S, Nagoshi, T, Kobayashi, M, Usa, H, Watanabe, H, Sekino, H and Inaba, H (1994) Clin. Chem. 40:1580-1586.
- Agaverdiyev, AS, Doskoch, YE and Tarusov, BN (1965) Biofizika 10:832-836.
- Beloussov, L, Popp, FA, Voeikov V, Wijk, RV (2000) Biophotonics and Coherent Systems, Moscow University Press, Moscow
- Bennett, M, Metha, M and Grant, M (2005) Mol.Plant-Microbe Interact. 18:95-102.
- Chen, WL, Xing, Da, Tan, ShiCi, Tang, Yong Hong and He, Younghon (2003) Luminescence, 18:37-41.
- Colli, L, Facchini, U, Guidotti, G, Lonati, RD, Orsenigo, M, and Sommariva M (1955)

- Experientia 11:479-81.
- Conrath, U, Pieterse, CMJ and Mauch-Mani, B (2002) Trends Plant Sci. 7:210-216.
- 江原淑夫 (1994) ウイルス44:55-60.
- Flor-Henry, M, McCabe, TC, de Bruxelles, GL and Roberts, M (2004) BMC Plant Biol. 4:19-25.
- 袴田哲司, 加藤公彦, 牧野孝宏, 山本茂弘 (2004) 日植病報 70: 162-167.
- Hauvaux, M (2003) Trends in Plant Science 8:409-413.
- Hideg, E, Kobayashi, M and Inaba, H (1991) Biochimica et Biophysica Acta 1098:27-31.
- Hideg, E, and Inaba, H (1991) Photochem. Photobiol. 53:137-142.
- Ichimura, T, Hiramatsu, M, Hirai, N and Hayakawa, T (1989) Photochem. Photobiol. 50:283-286.
- 稲場文男 1983. 極微弱光計測技術の医学および生命科学への応用, 光学12:166-179
- Iyozumi, H, Kato, T, Makino, T (2002). Photochem. Photobiol. 75: 322-325.
- Iyozumi, H, Kato K, Kageyama, C, Inagaki, H, Yamaguchi, A, Furuse, K, Baba, K and Tsuchiya, H (2005) Physiol. Mol. Plant Pathol. 66 : 68-74
- 伊代住浩幸, 加藤公彦, 市川健, 牧野孝宏 (1998) 日植病報 64: 361-362 (講演要旨)
- Kai, S, Ohya, T, Moriya, K, and Fujimoto, T (1995) Jpn. J. Appl. Phys. 34:6530-6538.
- 川畑龍三, 三池徹, 上船雅義, 岡部弘高, 高木正見, 甲斐昌一 (2004) 応動昆48 : 289-296.
- Kobayashi, M, Takeda, M., Ito, K., Kato, H., Inaba, H. (1999) J. Neurosci. Methods 93 :163-168.
- 宮澤陽夫 (1988) 生物発光と化学発光・基礎と実験, 126-151, 廣川書店, 東京.
- Musumeci, F (1992) Recent advances in biophoton research and its applications, 307-324, World Scientific, Singapore.
- 仲下英雄, 安田美智子 (2004) 植調39:203-213.
- 大矢智幸, 倉重秀昭, 甲斐昌一 (1998) 九州大学工学集報 71:15-21.
- 大矢智幸, 吉田敏, 川畑龍三, 岡部弘高, 甲斐昌一 (2000) 九州大学工学集報73:25-31
- Popp, FA, Li, KH, Gu, Q editors (1992) Recent advances in biophoton research and its applications. Singapore, World Scientific, Singapore.
- Roschger, P, Devaraj, B, Scott, RQ and Inaba, H (1992) Photochem. Photobiol. 56 :281-284.
- Ryals, J, Uknes, S and Ward, E (1994) Plant Physiol. 104:1109-1112.
- Saeki, R, Miyazawa, T, Usa, M and Inaba, H (1990) Agric. Biol. Chem. 54:1603-1605.
- Salin, ML, and Bridges, SM (1981) Plant Physiol. 67:43-46.
- Slavinski, J, Grabikowski, E and Ciesla, L (1981) J. Luminescence 24/25:791-794
- Slawinski, J (1988) Experientia 44:559-571.
- Totsune, T, Nakano, Minoru and Inaba H. (1993) Biochem. Biophysica. 194:1025-1029.
- Usa, M, Scott, RQ, Kobayashi, M, Nagoshi, T, Shopfer, P, Liskay, A, Bechtold, M, Frahy, G and Wagner, A (2002) Planta 214: 821-828
- Watanabe, N and Inaba, H (1988) Photomed. Photobiol. 10:55-68.

渡辺治夫, 稲場文男 (1991) (1) 0 plus E 143:
112-123.

渡辺治夫, 稲場文男 (1991) (2) 0 plus E 143:
139-153.

Yoshinaga, N, Kato, K, Kageyama, C,
Fujisaki, K, Nishida, R and Mori, N
— (2006) Naturwissenschaften 93:38-41.

連絡先: 〒438-0803 静岡県磐田市富丘678-1

静岡県農業試験場

副主任

伊代住浩幸

Phone: 0538-35-7211

Facsimile: 0538-37-8466

E-mail: hiroyukil_iyozumi@pref.

shizuoka.lg.jp

水田初・中期一発処理除草剤

オーグス®

フロアブル



新発売

抵抗性雑草防除の本命!!

日産化学工業株式会社
〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-7-1 (興和一橋ビル) 03(3296)8141
<http://www.nissan-nouyaku.net/>

シリーズ 外来雑草は今…… (22)

牧草が強害雑草へ変身！－ネズミムギ－

静岡大学農学部 生態学研究室 山下雅幸

1. ネズミムギ（イタリアンライグラス）とは
ネズミムギ *Lolium multiflorum* は、道路端や河川敷など身近な場所でよく見られる一年生（越年生）あるいは短年生のイネ科植物である。もともとは地中海地方原産で、イタリアンライグラスあるいはアニュアルライグラスという牧草名（英名）で世界の温帯地域をはじめ亜熱帯地域にまで広く分布している。日本には他の外来イネ科牧草とともに明治時代以降に導入され、東北から九州まで広く栽培され、関東地方以西の各地で野生化している。つまりわずか100年ほど前には日本には全くなかった植物である。ネズミムギを始め日本で利用されている牧草類の大半は、牧草（飼料）としての利用の他に、芝生や緑化資材としても利用されてきた。ネズミムギは（イタリアンライグラスとして）毎年日本へ輸入される牧草種子の中でその輸入量が桁違いに多い。これは、多年生牧草と比較して利用期間が短く、頻繁に播種されることや、出芽が早いことから高速緑化用資材として多用されるためである。

ネズミムギが属する *Lolium* 属は8種からなり、このうち作物としてはネズミムギの他にホソムギ *L. perenne*（牧草名ペレニアルライグラス）が温帯地域において世界的に最も広く栽培されている。この種はネズミムギと形態的によく似ているが、ネズミムギと比べてやや小型の多年

草である。ホソムギは近年開発された集約放牧技術による草地の重要な構成草種の一つである一方、寒地型西洋シバと称してゴルフ場・サッカー場などの芝生（スポーツターフ）や公園・庭の芝生としての利用も多い。ホソムギもネズミムギほどではないが、北海道や東北地方など北日本を中心に各地で野生化している。日本にはこれら2種の他にドクムギ *L. temulentum* とボウムギ *L. rigidum* がわずかながら野生化しているが、いずれも外来種である。

これら *Lolium* 属に最も近縁なグループに *Festuca* 属（フェスク類）がある。*Festuca* 属には400以上の種が存在し、8種からなる *Lolium* 属（全て2倍体）よりもはるかに大きな属で、倍数性の変異（2～10倍体）も大きい。原産地は *Lolium* 属と同じヨーロッパである。分子マーカーによる研究からも、進化的に *Festuca* 属から *Lolium* 属が分化したと考えられている（Charmetら, 1997；Gautら, 2000）。日本にはトボシガラ（*Festuca parvigluma*）などの在来種が存在する一方で、海外からオニウシノケグサ（トールフェスク, *F. arundinacea*）とヒロハノウシノケグサ（メドウフェスク, *F. pratensis*）が牧草として導入されている。オニウシノケグサはネズミムギと同様に日本各地で野生化し、日本生態学会が選定した侵略的外来種ワースト100にもリストされている（村上・

鷲谷, 2002)。一方, 耐暑性がやや劣るヒロハノウシノケグサは北日本での野生化が多い(清水ら, 2005)。

2. 河川敷での分布拡大

野生化したネズミムギが最も頻繁に見られるのは河川敷周辺であろう。ネズミムギは, 牧草地の周辺で野生化している他に, 河川堤防等の法面に緑化材料として利用されたものが野生化し, 河川敷や周辺の道路端などで生育が確認される(写真-1)。ネズミムギを含め外来イネ



写真-1 安倍川(静岡市)の堤防法面およびその周辺に逸出したネズミムギ (2004年6月撮影)

科牧草の大半は風媒他殖性でスギやヒノキのように大量の花粉をまき散らすため, 花粉症の原因植物にもなっている(斎藤, 1986)。これらの牧草の多くは初夏から花粉を飛散させはじめるため, スギやヒノキの花粉症の季節が過ぎても症状の続く人や初夏から症状の出る人はイネ科花粉症の可能性が高く, 世界的には最も普遍的な花粉症といわれている。外来イネ科牧草と比較して, 在来種であるススキやシバなどは花粉飛散量が少ないため, 江戸川の堤防などではイネ科花粉症対策としてシバへの張り替えや除草管理の強化などが実施されている(外来種影響・対策研究会, 2003)。

ネズミムギの野生化は, このように人への健

康被害のみならず, 在来生態系への影響も懸念されており, 特定外来生物として指定すべき候補種108種(村中ら, 2005)や環境省による要注意外来生物リスト(環境省, 2005)にも含まれている。海外では, 北米カリフォルニア州の自然草原(Weiss, 1999)やアルゼンチンのパンパ草原(Vila-Aiubら, 2005)などに外来種として侵入, 優占化し, 在来種に大きな影響を及ぼしている。

3. 麦作の強害雑草に

ネズミムギの侵入は河川敷や道路端にとどまらず, 小麦畑などの農耕地にも広がり, カラスムギなどとともに防除困難な畑雑草となっている(写真-2)。原産地のヨーロッパでは, 13



写真-2 小麦圃場に侵入したネズミムギ。畦を挟んで右側の圃場(被害甚大)から左側の圃場に被害が拡大している(静岡県袋井市, 2004年6月)

～14世紀にイタリアで牧草として栽培化され, 重要な作物として世界各地に広がっていった。ところが, 牧草として導入された北米では1970年代から小麦や大麦などの雑草としても問題化してきた(Applebyら1976)。1980年代初期にはジクロホップメチル等の除草剤により上手く防除できたかに思われたが, 多くの雑草同様, 各種除草剤に対する抵抗性個体(生物型)が80年代から出現し, 現在に至っている。ジクロホッ

プメチル抵抗性ライグラスは1981年にオーストラリアで初めて出現し (HeapとKnight, 1982), その後抵抗性個体の出現は世界中に広がった (Heap, 1997)。グリホサート抵抗性ネズミギも1999年にチリで報告されている (PerezとKogan, 2003)。日本でもここ10年ほどの間に関東・東海地域の小麦畑で強害雑草化している (浅井と與語, 2005)。ただし、日本ではdiclofop等のイネ科雑草に有効な選択性除草剤が未登録であるため、化学的防除のみでは歯が立たず、適切な対策を講じなければ、今後ネズミギによる雑草害は北米以上になることも懸念される。そこで現在、静岡県西部のネズミギ蔓延圃場において、静岡県農業試験場を中心に化学的防除と耕種の防除を組み合わせた総合的防除法の開発が進められている (足立ら, 2005; 木田と浅井, 2006)。

4. なぜネズミギの野生化が進んだのか？

では、なぜネズミギは、これほどまでに野生化してしまったのだろうか？ ネズミギを始めとする外来牧草が野生化して、その分布を広げた要因は様々である。(1) 牧草や芝草として利用されているイネ科植物は、もともと乾燥気候に適応し、採食や踏みつけなどの攪乱にも強いといった生態的特性を進化させており、高い種子生産性など雑草や侵入植物に共通する性質を多くもっている (榎本, 1997; 河野, 1986)。(2) 草地農業では、日本の稲作や園芸農業などの集約的な農業と比較すると、栽培管理面での低コスト化から牧草品種に高い永続性・環境適応性が要求され、人為的な選抜・交雑によって品種改良が加えられてきた。(3) 日本全国網の目状に延びた道路や河川堤防の法面などに緑化や砂防などの目的で使用されたことに

よって、種子供給源となる集団が全国いたるところに作られた。さらに(4) 外来牧草が導入された牧草地や河川堤防などは粗放的な管理しかなされず、ゴルフ場や競技場のような頻繁な刈り取りがされなければ、毎年大量の種子が生産され、周辺環境に流出していく。つまり、外来牧草の野生化は、もともと野生化しやすい性質の植物に、私たちがさらに磨きをかけて、逃げ出しやすい場所で広く利用してきた当然の結果といえるだろう。

著者らはネズミギの野生化の要因を明らかにするために、静岡市に自生するネズミギと栽培品種のイタリアンライグラス (ネズミギ) およびペレニアルライグラス (ホソムギ) の繁殖特性を比較した。野生化したネズミギは、播種後2年目の夏 (8月中旬) までに全個体が出穂・結実し、枯死した。一方、栽培品種は、ペレニアルライグラスが100%, イタリアンライグラスは69%の個体が生存した。ペレニアルライグラスは生育環境に適応すれば、数年以上生存する多年草である。イタリアンライグラスも品種と生育環境にもよるが、1年~数年間は生存することができる。一方、野生化したネズ

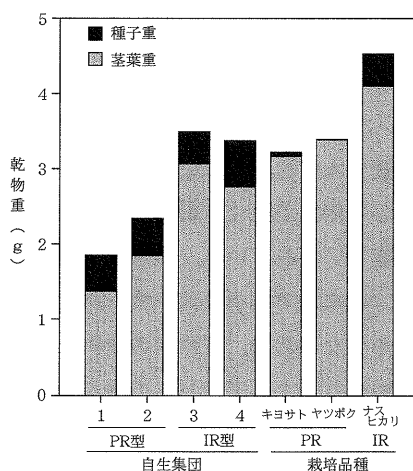


図-1 ホソムギ (PR), ネズミギ (IR) 栽培品種、および野生化したネズミギの種子重および茎葉重

ミムギは出穂・結実後に全て枯死し、夏の高温・乾燥を種子で回避していると考えられた。種子生産性についても、ネズミムギは全乾物重に占める種子重の割合が大きく、より多くの資源を種子生産に投資していた（図-1）。さらに発芽実験などの結果から、ネズミムギは相対的休眠性を有しており、結実直後斉一に発芽せずに長期にわたって順次発芽することが確かめられた。このように野生化したネズミムギは、より多くの種子を生産し、長期にわたって順次出芽することで、攪乱や夏の高温・乾燥ストレスから集団の絶滅を回避していることが示唆された（山下, 2002）。

5. 雑種形成と野生化

ネズミムギとホソムギは一年生（あるいは短年生）と多年生という違いはあるが、形態的には非常によく似ている。両種を識別する形質として、ネズミムギが護穎の先端に芒をもつこと（図-2）や根が蛍光反応性を示すことなどが利用されてきた（清水ら, 2005）。ただし、いずれも他殖性で自然交雑もすることから、亜種と考えてもよいほど近縁な関係にある。両種の間接的な形質を有し種間雑種と考えられる個体も各地で見られ、ネズミホソムギ (*Lolium* ×

boucheanum) という和名（学名）もある。たとえば、神奈川県ではネズミホソムギの方がネズミムギやホソムギよりはるかに多く分布している（神奈川県植物誌調査会, 2001）。侵入性の進化に雑種形成が関与しているとの研究例が多く、外来植物で報告されている（EllstrandとSchierenbeck, 2000）ことから、ネズミムギとホソムギも日本へそれぞれ導入され雑種化したことによってさらにその侵入性を高めているのかもしれない。これまで両種の間接的な個体は各地で確認されていたが、ネズミムギとホソムギはそれぞれ大きな種内変異を有するため、日本にどの程度種間雑種が存在するのかは分かっていなかった。そこで著者らの研究グループは、両種を識別するDNAマーカーを開発し、静岡県以西に自生するネズミムギの遺伝構造を解析した。その結果、調査した半数以上のネズミムギ集団からホソムギに特異的な遺伝子が検出され、雑種化が高頻度で生じていることが示唆された（飛奈ら, 2005a; 2005b）。

6. エンドファイト感染と野生化

近年、牧草や芝草に関連する分野では、「エンドファイト」と呼ばれる微生物の利用が注目されている。エンドファイトとは、ギリシャ語のphyte（植物）とendo（内部の）との合成語で、広義には植物体内にすむ菌や細菌など微生物全体を指すが、一般的には植物体内で宿主に害を与えず共生的に生活するものを指して使用されている（菅原, 2003）（写真-3）。エンドファイトは栄養と生息場所を供給される代わりに、宿主植物の体内に分泌する化合物によって、草食動物や食性昆虫に対する抵抗性、耐病性、耐乾性、成長促進など様々な有用機能を宿主植物に付与する。中でも、多くの寒地型イネ科牧

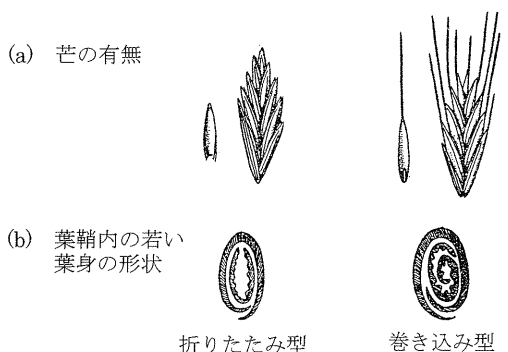


図-2 形態形質によるホソムギとネズミムギの識別

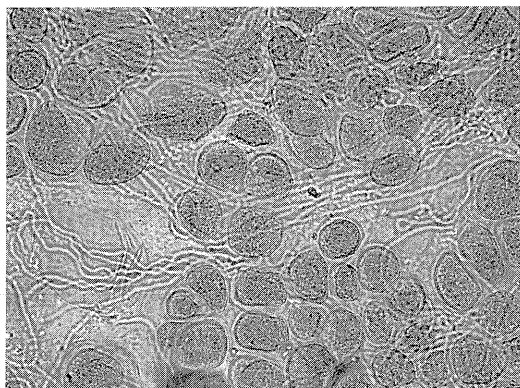


写真-3 ネズミムギ種子内に見られる *Neotyphodium* エンドファイトの菌糸（ひも状の構造）および宿主植物の糊粉細胞（丸い構造）

草と共生関係にあるネオティフォディウム (*Neotyphodium*) 属のエンドファイトは、親植物からの種子伝染による後代植物への伝染（垂直伝染）のみで生存が維持されていることから、より強い共生関係にあると考えられている。そのため、ニュージーランドや北米では感染ペレニアルライグラス（ホソムギ）を食べた羊の中毒（ライグラス・スタグガー）や感染トールフェスク（オニウシノケグサ）を食べた牛の中毒（フェスク・トキシコーシス）が大きな問題となり、エンドファイトの研究が本格化した。このようにエンドファイトは私たち人間にとって有益面と有害面を併せもち、農業・園芸への利用が期待されている。一方、エンドファイトが生態系や生物多様性に及ぼす影響についても徐々に注目され始めた。外来のイネ科牧草では、エンドファイト感染が宿主の侵入性を促進させ、在来植物群集の多様性を減少させる可能性（ClayとHolah, 1999；Rudgersら, 2004；Rudgersら, 2005）や食物連鎖全体を変化させることが指摘されている（Omaciniら, 2001；Omaciniら, 2004）。Vila-Aiubら（2005）は、アルゼンチンのパンパ草原でエンドファイトに感染したネズミムギが非感染個体よりも多くの分けつを生産

し、根と種子により多くの資源を分配することを明らかにした。また感染ネズミムギが昆虫や土壤微生物に対して影響を及ぼすことも報告されている（Omaciniら, 2001；Omaciniら, 2004）。

これまで日本におけるネズミムギのエンドファイト感染の報告はなかった（古賀, 1993；榎本ら, 1998）。一方、海外でエンドファイトによる家畜中毒の報告があったホソムギやオニウシノケグサに関しては、北日本でエンドファイト感染個体が点在しているものの家畜中毒を引き起こすほど多くは分布していないという状況であった（Kogaら, 1993；Satoら, 1995；Saigaら, 2003）。

日本でも芝草としては既にエンドファイト感染品種が広く流通している（前嶋ら, 2000）。エンドファイトに感染した牧草が各地で利用され野生化すると、耐虫性や耐病性等にまざる感染個体が徐々に増え、外来牧草の野生化問題をさらに深刻化させることが危惧される。そこで著者らは、西日本で広く野生化しているネズミムギのエンドファイト感染状況について調査した。その結果、西日本に分布するネズミムギ集団の大半から感染個体が見つかり、高頻度でエンドファイトに感染していることを明らかにした（山下ら, 2006）。これまで海外では報告があったが、日本ではネズミムギの感染率は低いと考えられてきた。佐々木ら（2000, 2002）によると、イタリアンライグラスの国内育成品種からは感染個体はほとんど検出されなかったが、海外育成品種の半数以上の品種からエンドファイト感染個体が見つかった。著者らが調査した集団は全て牧草地以外のものであったことから、少なくとも牧草地以外（たとえば河川堤防の法面など）では海外から導入されたエンドファイト感染イタリアンライグラスが大量かつ

広範囲に利用されてきたものと推察される。今後、牧草地やその周辺のネズミムギについても感染状況を調査する必要があるだろう。

また、エンドファイト感染は除草剤抵抗性のメカニズムにも生理的、遺伝的に影響を及ぼし、diclofop-methyl除草剤抵抗性の進化に関与してきた可能性が指摘されている (Vila-aiubら, 2001; Vila-aiubら, 2003)。

7. 野生化と遺伝子組換え

ネズミムギも含め外来牧草の野生化で今後懸念される問題として、遺伝子組換え牧草の環境への影響がある。日本で利用されている牧草種の大半で除草剤抵抗性遺伝子などが導入された形質転換体がすでに作出されている (高溝, 2003)。遺伝子組換え作物では、食品としての安全性と環境への安全性が大きな論争となっている。日本における組換え作物の栽培は、牧草・芝草も含めてまだ実質的には行われていないが、いずれ野外での栽培も行われるであろう。その際に、牧草・芝草は環境への遺伝子流出の危険性が最も高い作物・有用植物と考えられている。なぜなら、牧草・芝草はすでに広く野生化しており、花粉や種子の飛散とともにひとたび組換え遺伝子が流出すると、野生化集団を介して急速に広まる可能性が高く、種によっては在来の近縁種への遺伝子汚染も懸念されるからである。日本にはネズミムギやホソムギと同じ*Lolium*属の在来種は存在しないが、近縁の*Festuca*属にはトボシガラなどの在来種が存在する。現在、花粉症対策などの目的でイタリアンライグラスやトールフェスクなどにおいて雄性不稔品種の育成が進められているが、これらは組換え遺伝子の環境への流出を低減する点からも期待される (荒川ら, 2006; 高溝ら, 2006)。このよう

な遺伝子流出の低減に加えて、環境へ流出した遺伝子のモニタリングシステムや組換え作物のリスクアセスメント技術の向上が急務である。

引用文献

- 足立有右・山下雅幸・市原実・澤田均・木田揚一・浅井元朗 (2005) 静岡県中遠地域転作麦圃におけるネズミムギによる雑草害の査定. 雑草研究 50 (別), 66-67.
- Appleby, A. P.・P. D. Olson・D. R. Colbert (1976) Winter wheat yield reduction from interference by Italian ryegrass. *Agronomy J.* 68, 463-466.
- 荒川明・藤森雅博・塩沢道明・早坂純・大坂晋平・前原康徳・大浦康子・小松敏憲・内山和宏・水野和彦・杉田紳一 (2006) 雄性不稔イタリアンライグラス新品種候補の主要農業特性. 日草誌 52 (別1), 388-389.
- 浅井元朗・與語靖洋 (2005) 関東・東海地域の麦作圃場におけるカラスムギ、ネズミムギの発生実態とその背景. 雑草研究50 (2), 73-81.
- Charmet, G.・C. Ravel・F. Balfourier (1997) Phylogenetic analysis in the *Festuca-Lolium* complex using molecular markers and ITS rDNA. *Theoretical and Applied Genetics* 94, 1038-1046.
- Clay, K.・J. Holah (1999) Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science* 285, 1742-1744.
- Ellstrand, N. C.・K. A. Schierenbeck (2000) Hybridization as a stimulus for the evolution of invasiveness in plants? *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*

- 97, 7043-7050.
- 榎本敬 (1997) 雑草フロラをつくりあげる帰化植物. In: 山口裕文 (編集) 雑草の自然史-たくましさを生態学-. 北海道大学図書刊行会. 札幌. pp. 17-34.
- 榎本敬・島貫忠幸・月星隆雄 1998. エンドファイトに感染しているイネ科植物の分類群について. 雑草研究 43 (別), 76-77.
- 神奈川県植物誌調査会 (2001) 神奈川県植物誌 2001. 神奈川県立生命の星・地球博物館. pp. 270.
- 河野昭一 (1986) 帰化植物の適応戦略. 遺伝 40, 36-41.
- 木田揚一・浅井元朗 2006. 夏期湛水条件がカラスミギおよびネズミミギ種子の生存に及ぼす影響. 雑草研究 51 (2), (印刷中)
- 古賀博則 (1993) 我が国の牧野草及び輸入芝草におけるエンドファイト. 植物防疫 47, 297-300.
- Koga, H.・T. Kimigafukuro・T. Tsukiboshi・T. Uematsu (1993) Incidence of endophytic fungi in perennial ryegrass in Japan. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 59, 180-184.
- 外来種影響・対策研究会 (2003) 河川における主な侵略的外来種の特徴と対策事例. In: 河川における外来種対策の考え方とその事例. リバーフロント整備センター. 東京. p55-58.
- Gaut, B. S.・L.P. Tredway・C. Kubik・R. L. Gaut・W. Meyer (2000) Phylogenetic relationships and genetic diversity among members of the *Festuca-Lolium* complex (Poaceae) based on ITS sequence data. *Plant Systematics and Evolution* 224, 33-53.
- Heap, J.・R. Knight (1982) A population of ryegrass tolerant to the herbicide diclofop-methyl. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 48, 156-157.
- Heap, I. M. (1997) The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. *Pesticide Science* 51, 235-243
- 環境省 (2005) 要注意外来生物リスト 外来生物法 <http://www.env.go.jp/nature/intro/youtyuui.html>
- 前嶋敦夫・雑賀 優・井上達志・築城幹典 (2000) ペレニアルライグラス流通品種における種子中のエンドファイト感染率及びアルカロイド含有率. 日本草地学会誌 46, 52-57.
- 村上興正・鷲谷いづみ (2002) 日本の侵略的外来種ワースト100. In: 日本生態学会 (編) 外来種ハンドブック. 地人書館. 東京. p362-363.
- 村中孝司・石井潤・宮脇成生・鷲谷いづみ (2005) 特定外来生物に指定すべき外来植物種とその優先度に関する保全生態学的視点からの検討 保全生態学研究 10, 19-33.
- Omacini, M.・E. J. Chaneton・C. M. Ghera・C. B. Muller (2001) Symbiotic fungal endophytes control insect host-parasite interaction webs. *Nature* 409, 78-81.
- Omacini, M.・E. J. Chaneton・C. M. Ghera・P. Otero (2004) Do foliar endophytes affects grass litter decomposition? A microcosm approach using *Lolium multiflorum*. *OIKOS* 104, 581-590.
- Perez, A・M. Kogan (2003) Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. *Weed Research* 43, 12-19.
- Rudgers, J. A.・J. M. Koslow・K. Clay

- (2004) Endophytic fungi alter relationships between diversity and ecosystem properties. *Ecology Letters* 7, 42-51.
- Rudgers, J. A. · W. B. Mattingly · J. M. Koslow (2005) Mutualistic fungus promotes plant invasion into diverse communities. *Oecologia* 144, 463-471.
- Saiga, S. · T. Inoue · H. Nakashima · A. Maeshima · S. Yoshida · M. Tuiki (2003) Incidence of *Neotyphodium* endophytes among naturalized perennial ryegrass and tall fescue plants in northern Japan and alkaloid concentration of the seeds from infected plants. *Grassland Science* 49, 444-450.
- 斎藤洋三 (1986) 帰化植物による花粉症. 遺伝 40, 42-46.
- 榊原賢一 · 山下雅幸 · 澤田均 (2000) ライグラス自生集団と栽培品種における繁殖特性の差異. 日本作物学会東海支部会報 130, 43-44.
- 佐々木亨 · 岡崎博 · 笠井恵理 (2000) フェスク類およびライグラス類の牧草用国内流通品種におけるエンドファイト感染の調査 日草誌 46 (別), 160-161.
- 佐々木亨 · 岡崎博 · 笠井恵理 (2002) 国内外で育成されたイタリアンライグラス品種・系統におけるエンドファイト検出率とアルカロイド分析 日草誌 48 (別), 264-265.
- Sato, N. · M. Tagawa · T. Kitamori · N. Akiyama (1995) Incidence of endophyte fungi on forage grasses in the grassland in northern and central regions of Hokkaido and the prevention methods of infected seeds. *Journal of Hokkaido Society of Grassland Science* 29, 78-84.
- 清水矩宏 · 宮崎茂 · 森田弘彦 · 廣田伸七 (2005) イタリアンライグラス (ネズミムギ). In: 牧草 · 毒草 · 雑草図鑑. 全国農村教育協会. 東京. p68-69.
- 菅原幸哉 (2003) ネオティフォディウム・エンドファイトおよびその近縁菌における遺伝子解析. *Grassland Science* 49, 536-542.
- 高溝正 (2003) 寒地型イネ科牧草における遺伝子組換え体の育種利用への展望. *Grassland Science* 49, 72-78.
- 高溝正 · 塩谷繁 · 佐藤広子 · 清多佳子 · 藤森雅博 · 小松敏憲 · 宇垣正志 · 大杉立 (2006) トウモロコシSPS遺伝子の導入により消化性を改善した組換えトールフェスクの雄性不稔化. 日草誌 52 (別1), 190-191.
- 飛奈宏幸 · 小泉厚浩 · 山下雅幸 · 平田球子 · 藤森雅博 · 高溝正 · 山田敏彦 · 澤田均 (2005) 日本国内のライグラス自生集団の遺伝構造. I. ペレニアルライグラスとイタリアンライグラスを識別するDNAマーカーの品種内多型. 日草誌 51 (別), 242-243.
- 飛奈宏幸 · 小泉厚浩 · 山下雅幸 · 平田球子 · 藤森雅博 · 高溝正 · 山田敏彦 · 澤田均 (2005) 日本国内のライグラス自生集団の遺伝構造. II. DNAマーカー “H01H06” による自生集団の変異. 日草誌 51 (別), 244-245.
- Vila Aiub, M.M. · C.M. Ghera (2001). The role of fungal endophyte infection in the evolution of *Lolium multiflorum* resistance to diclofop-methyl. *Weed Research*, 41: 265-274.
- Vila-Aiub, M. M. · M. A. Martinez-Ghera · C. M. Ghera (2005) Evolution of herbicide resistance in weeds: vertically transmitted fungal endophytes as genetic entities.

【訂正】

第40巻第1号(38ページ)に掲載致しました平成17年度リンゴ関係除草剤・生育調節剤試験成績概要に一部誤りがありました。

正しくは下記のとおりです。お詫びして訂正致します。

平成17年度 リンゴ関係除草剤・生育調節剤試験供試薬剤および判定一覧

C. 生育調節剤
正

薬剤名 有効成分および 含有率(%) [委託者]	作物名	試験の 種類 新・継 の別	試験担当場所 (数)	試験設計 [ねらい] ・処理時期 ・薬量g・mL<水量L>/10a ・処理方法	判 定	内 容
10. CX-10液 シナミド 10% [日本カーバイド工業]	リンゴ	適用性 新規	<県立広島大学> <富山農技果試> <長野果試> (3)	[休眠打破による発芽促進] ・休眠期 ・10, 15, 20倍 ・散布	一	
11. NAC水和 NAC 85% [ハイルクロップサイエンス]	リンゴ			[摘果] ・満開後2~3週間頃 ・1200倍 ・散布	実	実) [リンゴ：摘果] ・満開後 2~3 週間頃 ・1200 倍 ・散布

誤

薬剤名 有効成分および 含有率(%) [委託者]	作物名	試験の 種類 新・継 の別	試験担当場所 (数)	試験設計 [ねらい] ・処理時期 ・薬量g・mL<水量L>/10a ・処理方法	判 定	内 容
10. CX-10液 シナミド 10% [日本カーバイド工業]	リンゴ	適用性 新規	<県立広島大学> <富山農技果試> <長野果試> (3)	[休眠打破による発芽促進] ・休眠期 ・10, 15, 20倍 ・散布	実	実) [リンゴ：摘果] ・満開後 2~3 週間頃 ・1200 倍 ・散布

この草はなんだろう？ 手軽に調べたい。

三二雑草図鑑

——耕地雑草ハンドブック——

廣田伸七／著

A5判 定価2,200円＋税

新装版

原色 芽ばえとたね 図鑑

浅野 貞夫／著

A4判 定価9,000円＋税

耕地には主要なものだけで150種を超える雑草が生えてきます。これら雑草の防除の第一歩は草を知ることです。本書は、農耕地や樹園地などによく見られる雑草500種を収録し、主要種は、幼植物・生育中期・成植物と生育段階を追った写真を掲載。また、似た草の見分け方を記載した、身近な植物を調べるための最適な図鑑です。

芽ばえの姿はどうなんだろう。本書は、植物の芽ばえのようすを克明に表した精密図版と、種・成植物の写真を組み合わせた植物の一生図鑑です。成植物のみの図鑑と異なり、芽ばえのようすから紹介しているため、植生などの調査にたいへん役に立つとの声が寄せられています。

全国農村教育協会

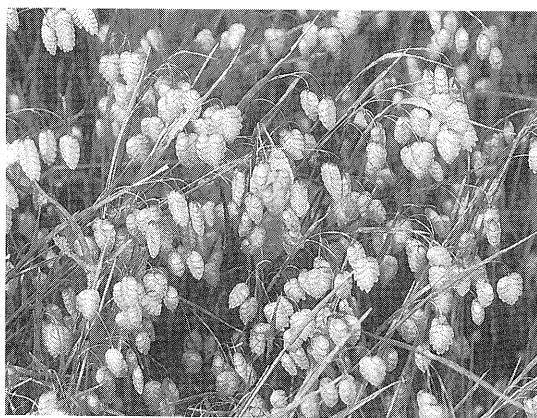
〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3833-1821 FAX.03-3833-1665

編集後記

今号の「シリーズ外来雑草は今」では「牧草が強害雑草へ変身—ネズミムギ—」を取りあげた。ネズミムギ、牧草名イタリアンライグラスは畜産農家にとっては優良牧草で北海道から沖縄まで最も重要な牧草の一つとして栽培されている。しかし雑草化したものは都会地でも道端やグリーンベルト、空き地などにホソムギとともに群生し花期の6～7月には多量の花粉を飛散させて花粉公害の元凶となっている。

また、最近は園芸品種として観賞用に導入されたものが逸出して雑草化しているものも多くある。

例えばコバンソウも



▲コバンソウ

その一つである。コバンソウはヨーロッパ原産のイネ科の1年生で耐旱性が強く土壌の種類を選ばなくて生育する。コバンソウは夏、茎先に扁平でやや大きな小判の形をした小穂を10数個垂れ下げてつける。熟すと黄金色になり風が吹くとゆれるので、鉢植えにして窓

辺などに置くと黄金色の小判がゆれている感じで、涼しさとともに金持ち気分を味わせてくれる楽しい観賞植物である。このように鉢植えにして個人的に楽しむ限りには園芸植物として何も問題にならない。しかも秋になって枯れたものを他に飛散しないように処置すれば雑草化することはない。ところがこれを

何気なく、空き地や街路樹の植込みなどに捨てるとそれが原因となって雑草化して広がって行く。私の住む八王子市郊外の街路樹の植込みにここ2～3年にコバンソウが雑草化して急激に殖え、秋に枯れると美観を著しく

損ねている。最近カミツキガメ、アライグマなど外来動物の逸出が問題になっているが、植物でも同じことである。外来動物・植物を飼育や栽培する人は自己責任を全うして最後は迷惑を及ぼさないよう完全に処理して貰いたいと痛感するこの頃である。 ㊦

財団法人 日本植物調節剤研究協会

東京都台東区台東1丁目26番6号

電話 (03)3832-4188 (代)

FAX (03)3833-1807

http://www.japr.or.jp/

編集人 日本植物調節剤研究協会 会長 小林 仁

発行人 植調編集印刷事務所 広田 伸七

発行所 東京都台東区台東1-26-6 全国農村教育協会
植調編集印刷事務所

電話 (03)3833-1821 (代)

FAX (03)3833-1665

E-mail: hon@zennokyo.co.jp

平成18年7月発行 定価525円(本体500円+消費税25円)

植調第40巻第4号

(送料 270円)

印刷所 新成印刷(有)

難防除雑草対策の新製品

イッテリ®フロアブル
1kg粒剤
ジャンボ

期待の新製品

SU抵抗性
雑草対応 **ドニチS**®1kg粒剤

ノビエ3葉期
まで使える

アピロイグル®
フロアブル

殺虫成分入り
(スクミリンゴガイ食害防止) **ショウリョク**®ジャンボ

2成分の
ジャンボ剤

ゴヨウダ®ジャンボ

大好評の既存剤

ポーンと手軽に
クラッシュEX®ジャンボ

安定した効果の
初中期一発剤

ドニチ1®1kg粒剤

草闘力®ふろあぶる

キックバイ1®1kg粒剤

アワード®フロアブル

ロングット®フロアブル

シェリフ1®1kg粒剤

シゼット®フロアブル

クラッシュ1®1kg粒剤

バトル®粒剤

スミクレート®粒剤

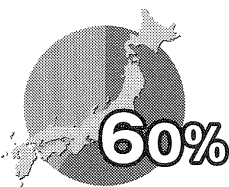
大地のめぐみ、まっすぐ人へ
SCC GROUP

住友化学株式会社
〒104-8260 東京都中央区新川2-27-1

住化武田農業株式会社
〒104-0033 東京都中央区新川1-16-3

DUPONT The miracles of science™

ベンスルフロンメチル「**DPX-84**」は、
日本の美味しい米作りと食の安全を支えています。



ベンスルフロンメチルは米国デュポン社が開発した、低薬量かつ
1回の処理で除草ができる自然にやさしい環境負荷低減型除草剤。
様々な有効成分と混合し、使いやすい薬剤として、日本における
水稻面積の約60%※の除草作業をお手伝いしています。

※平成17年度出荷実績

®は米国デュポン社の登録商標です。

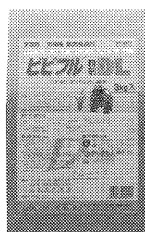
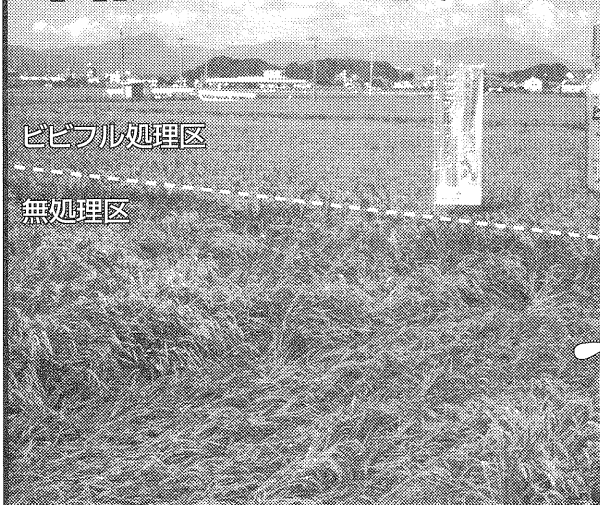
目指す未来があります

Dreaming Future Success 「農業科学企業」

デュポン ファーム ソリューション株式会社

〒100-6111 東京都千代田区永田町2-11-1 山王パークタワー

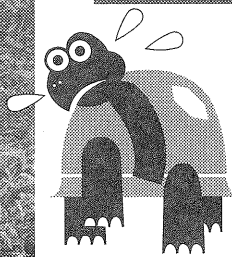
出穂まぎわに使える倒伏軽減剤「ビビフル」



【特長】

- ① 出穂まぎわに散布可能:倒伏が予測するのでムダがありません。
- ② 新タイプ:茎葉処理タイプの倒伏軽減剤です。
- ③ 安定した効果:土壌や水管理に関わらず安定した効果を示します。
- ④ 環境に配慮:まわりの作物や後作物に安全です。

※本剤は倒伏防止剤ではありません。基本的な倒伏防止対策(施肥管理等)を行なっても、倒伏が予測される場合に、倒伏を軽減させる目的で使用していただく薬剤です。



ビビフル[®]フロアブル

ビビフル[®]粉剤DL

- 使用前にはラベルをよく読んでください。
- ラベルの記載以外には使用しないでください。
- 本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

JAグループ

農 協 | 全 農 | 経 済 連

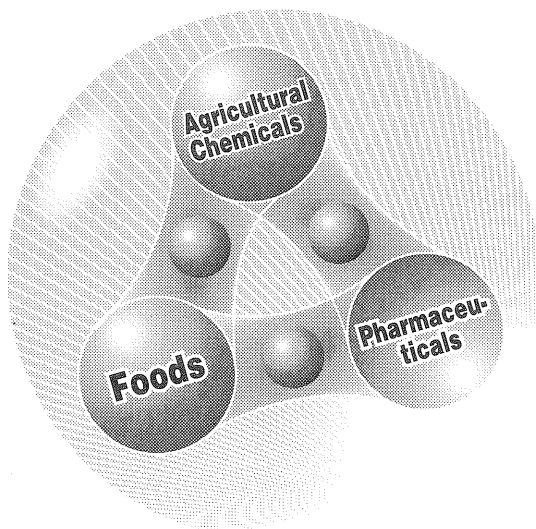
自然に学び 自然を守る

クミアイ化学工業株式会社

本社: 〒110-8782 東京都台東区池之端1-4-26 TEL03(3822)5131

いのちの輝きを見つめる
Meiji

私たちは、夢と楽しさ、いのちの輝きを大切にし、
世界の人々の心豊かなくらしに、貢献します。



天然物で確実除草

ハービー[®]液剤



明治製薬株式会社

104-8002 東京都中央区京橋2-4-16
<http://www.meiji.co.jp/nouyaku>