「雑草・除草剤・植物ホルモン研究の真似ごと」40年の覚書

竹内 安智*

私が宇都宮大学農学部農芸化学科および農学専攻科（農芸化学専修）在学中に農学科の竹松哲夫先生のもとで雑草防除学についての手ほどきを受け、その後研鑽中であった1967年6月に、我が国の大学で初めての雑草科学に関する研究室が農学部付属雑草防除研究施設として設置された。竹松、近内先生の当面のお手伝いとして採用されたが30年間も在席を許された私は、その後2007年3月まで末席を汚してしまった。この間、お手伝いとして始めた「雑草・除草剤・植物ホルモン研究」を続行したが、所詮、真似ごとに過ぎず、多くはジャーナル等に公表するに至らなかった。しかし、何らかの形で公表せねばならない、という義務感に苛まれ続けてきた。今回それらを「覚え書」として取り纏めた。雑草学関係者に僅かでも参考になることがあれば、望外の喜びである。

1. 除草剤の探索と応用

20数年間、この研究に多くのエネルギーを注いだ。小さなポットに水田や畑条件を精巧につくり出し、植物に薬剤を処理し、現れた微細な薬理反応を正確に把握、診断・評価する、という生物検定を繰り返した。被検化合物は年間、数百から千個程度に及んだ。これには、植物生理学や農学などの基礎知識に加え、長年の多くの経験による研ぎ澄まされた観察眼、体力と根気が必要で、筆者は到底その粋には及ぶべくもなかった。当初は、竹松先生の20年来の「オーキシソ源流除草剤」の流れを汲む、オーキシソ活性誘導体（フェニル酢酸、フェノキシ酢酸、ナフトキシプロピオン酸、ベンゾイックやナフゾイック系等）あるいは抗オーキシソ系化合物（マレイン酸ヒドラジド、ナプタラム誘導体、フェノキシピリダジンなど）が主なものであった。筆者が生物評価に関わったもののなかに、ナプロアニラド、クレダジン、クミロンやペルフラミドなど実用化に至ったものもあった。活性が一定レベルに

達した場合は、作用性を調べる二次、三次検定試験を行い、併せて化合物の活性向上や作物と雑草間の選択性幅の拡大、あるいは効力持続期間の延長などを旨とした製剤処方についても検討を重ねた。この間、研究室からかなりの候補化合物が創出された。竹松先生は「生物検定は、まねごとは簡単でもその奥義を極めることは容易では無く、生物検定者が絶えず実験に参画し、観察眼を養い続ける努力が必要」と力説したが、そのことは、医療の現場における臨床医の立場と通じるものがある。数千から数万の被検化合物のなかから、候補化合物を選抜するというよりは、一定数（20～30）化合物を丹念に生物評価して、次の被検化合物を合成・生物検定し、これを効率よく繰り返すことによって、比較的早いうちに候補化合物に到達するという旧来の生物検定法の中身には、現在の新除草剤創成研究においても、まだ参考にするべき重要な点が多々あるように思われる。

2. Raphanus Test と生理活性物質

竹松先生は1940年頃始めたオーキシソの生理作用研究から、ダイコン無傷植物を被検植物とするオーキシソの生物検定法として「Raphanus Test」を確立した。A法は子葉、あるいは子葉葉柄の屈曲角度を、B法は下胚軸の中心柱に2列にできる根原体数を、そしてC法は根の伸長を指標に化合物のオーキシソ活性を評価するものである。特にラファナステストB法は、オーキシソによる下胚軸のくびれ現象が根原体形成に基づくことに着目して開発された特徴ある細胞分裂活性の検定法である

ダイコン幼植物は周年、短期間のうちに育ち、しかも多くの生理活性物質に対応して独特の生理反応を示すことから、その後筆者はオーキシソだけでなく、ブラシノステロイド、サイトカイニン、エチレン、アブシジン酸、ジャスモン酸、マレイン酸ヒドラジド（MH）、アミノレブリン酸などの生理検定にも供した。無傷植物を使うと、農業面への利用を図りやすいという利点もあった。扱いになれば、その性質を知り尽くした植物を検定

*宇都宮大学 雑草科学研究センター
Yasutomo Takeuchi : A memorandum of my 40year's research on weeds, herbicides, and plant hormones.
(2007年7月2日受理)

に使うと、新生理活性物質の薬理反応を理解し易い。竹松先生の日頃の言葉、「ダイコンに聞け」とは、扱い慣れたダイコンの表情をよく観察して、何か変わったところがないかと、心眼で「聴診」「打診」してみろという意味の「聴け」であった。「植物を診る眼」の重要さは今後も変わることが無い。

なお、雑草の制御は除草剤による枯殺だけでなく、生理活性物質による生活環の制御を通じても可能であり、そこまで視野に入れた新規化合物の生物検定が期待される。

3. 雑草防除試験

(1) 林業地

1960年代前半は林業が盛んで、造林面積は年間60万haに達し、5年位は下刈が必要ことから、年間の下刈面積は延べ300万haに及んだが、雑草防除は、除草剤の塩素酸ソーダがスギ造林地でわずかに使用されていたほかは、年1~2回の人力除草が主体であった。1964年から5年位は営林署管轄の造林地で、その後15年位は、大学の演習林で、雑灌木、ササ、ススキ、シダやクズを対象に林業用除草剤の適応試験に関わった。

初めは、農耕地と非農耕地で使用されていた、すべての除草剤を茎葉処理、あるいは土壌処理として供試した。夏季、梅雨明けに使用した薬剤の多くは除草効果を示しても、効果は1カ月しか持続しなかった。また農耕地用除草剤の殆どは、土壌処理効果を示さなかった。非農耕地用除草剤のなかに、一定の除草効果を発揮するものがあったが、殆どはスギやアカマツの頂芽の成長を阻害した。

20年間の現地試験において林業地ではA層、A₀層が発達しており、除草剤が土壌中下方に移動し難く雑灌木の根まで到達しにくいこと、雑灌木の新しい根は5月上旬ごろに伸び始めること、枯殺よりは、矮化、落葉、萌芽抑制などによって造林木への相対照度を保障することや林床を裸地化させないこと等が重要であることを学んだ。フレノックはカーブチレートなどのウレア系、あるいはイミダズリノン系除草剤と相乗効果を発揮した。フレノックは単独では、イネ科植物にしか、除草効果を発揮しないが、他の除草剤との組み合わせによって相乗的に効果が高まった。フレノックは比較的早く土壌中(A層、A₀層)に処理層を形成し易いが、ウレア系除草剤は薬剤(物性)によって処理層の形成期間に差があることから、処理適期も早春から初夏

までと幅があった。造林木の薬害はヒノキが最も小さく、次いでスギ、アカマツ、カラマツであった。「プロパニル+カーパリル」はアカマツに被害なく、雑灌木の落葉を促した。除草剤の薬害は頂芽か、南側の枝から発現することが多かった。

「アレチウリ」が1970年代初頭から、県内で特に杉の幼木を被覆する被害が目立ち、防除試験を行ったが、刈り取りか、オーキシン系除草剤処理により容易に防除ができた。併せて簡単な生理生態的な実験も行った。

(2) エゾノギンギシ防除試験

1970年代始め頃、エゾノギンギシの多発に苦しむ県北の酪農家の要請で5年間、現地で防除試験を行った。初夏に牧草を刈った後、暑さの影響もあって牧草が衰えるなかでエゾノギンギシの再生が旺盛で、大型化した個体をMCPB、アシュラムでは容易に防除できなかった。多くの検討の中で、MHを初夏に散布後、茎葉を刈り取ってその後の再生を抑制するか、秋の衰退前に散布することにより、翌春の再生を抑制することができた。しかし、エゾノギンギシが蔓延し、牧草が衰退した場合は、グリホサート散布後に畑を更新し、その後、MCPBやアシュラムなどの除草剤利用も取り入れた除草体系が必要であった。初夏から牧草が衰退することによってギンギシが繁茂するため、何よりも地域にあった牧草の利用と栽培方法がギンギシ対策に重要であることを痛感した。当時、「専門家から草(雑草)は草(牧草)で抑える」というアドバイスを戴いたが、全くその粋に達しなかった。

牧草地におけるエゾノギンギシ防除を困難にしている原因の一つは土壌中における種子の寿命が長いことにある。種皮が堅固で微生物等の攻撃を受けにくいほかに、呼吸レベルが低く維持されている要因を生理的に解明しようと努めた。

(3) 芝地の除草剤と雑草制御

1970年代半ば頃から、ゴルフ場や公園緑地の面積が増えるに伴って雑草防除について多くの問い合わせをうけた。そこで、畑地に小区画の芝地を多数作り、芝地で使用されている除草剤、あるいは使用できそうな除草剤を単独、あるいは組み合わせて処理し、除草効果や薬害の把握に努めた。また、ガラス室内で、それらの確認実験等を繰り返した。芝地では、サッチ、芝草の刈り高、施肥時期などが雑草の種類、発生量に大きく影響すること、除草剤の種類、散布水量、芝草の刈り高は除草効果と薬害発現に大きく

影響することなどを把握した。1990年代初め頃、「ゴルフ場から農薬が流出して河川の汚染を引き起こすのではないか」という疑問が社会問題として取り上げられた。そこで、その実態の把握と、芝地の除草剤流出条件について検討した。その結果、除草剤散布後間もなく、多量の降雨があった時に表面排水にもなって土壌粒子に載って除草剤が場外に流出するものの、その可能性は極めて低く、また流出には、芝草の刈高、散布水量、サッチ量、除草剤の物性が関わることも明らかにした。

その後、コウシュンシバもペレニアルライグラスと同様に、他感物質を生産し、季節的消長を示すこと、栽培条件が他感物質生産量に影響すること等を明らかにし、これをもとに芝地の除草体系を提唱した。コウシュンシバのアレロパシー研究の過程でコウシュンシバと隣り合ったバントグラスやケンタッキーブルーグラスは罹病しにくいことも観察した。

4. 現象の追跡

(1) 根寄生雑草

1970年代初頭、農産物の輸入急増にともなって、侵入した茎寄生性のアメリカネナシカズラの防除法についての問い合わせを受けた。MO-500などジフェニルエーテル系除草剤が有効であった。またアメリカネナシカズラに寄生されたキクの葉が脱色することから、強力な阻害物質の生産を予測したが、多量に分泌されるABAが原因であることを後年、共同研究者が明らかにした。

1980年にアメリカのノースカロライナ州とサウスカロライナ州のボーダー地域で、根寄生性の半寄生雑草、*Striga asiatica*に侵された、トウモロコシやソルゴーの畑を見聞した。1987年から1988年にノースカロライナ州立大学で行った研究から、*S. asiatica*は7日間位の前培養（コンディショニング）後に、宿主植物の根から分泌される発芽刺激物質と吸器形成物質によって、発芽、寄生するが、コンディショニング中に不良条件や発芽刺激物質に遭遇すると種子に二次休眠が誘導されること、そしてブラシノステロイドは、このコンディショニング期間を短縮し、その期間中の不良条件により誘導される二次休眠導入を回避できることを明らかにした。

その数年後、千葉県の花木生産農家の傾斜圃場で、地被植物のアカクローバーが全寄生性の根寄生雑草、*Orobancha minor*により大きな被害を受けて

いるところを見聞した。防除試験と同時に、発芽生理の研究に着手した。発芽及び寄生の機構は、*S. asiatica*にほとんど酷似していた。共同研究者がアカクローバーの生産する発芽刺激物質として、オロバンコールを単離、同定し、その後、いくつかの宿主から類縁化合物であるストリゴラクトン類を同定した。いずれも 10^{-8} から 10^{-10} Mという超微量で活性を示す。後年、ストリゴラクトン類は、殆どの植物の根に寄生する菌根菌を呼ぶための物質であることが、他のグループによって明らかにされた。また、宿主の発芽刺激物質生産量は施肥条件によって大きく変動することやコチレニンなどが根寄生雑草の発芽を誘導して自殺発芽を可能にすることを示した。フルリドンなどカロテノイド生合成阻害剤が、根寄生雑草のコンディショニング期間を短縮し、その期間中の不良条件を克服すること、寄生植物の草種によっては発芽を誘導し、二次休眠の導入も抑えることなどを明らかにした。さらに、イネのイモチ病防除剤として利用される抵抗性誘導剤のなかに、宿主作物に抵抗性を付与することも見出した。これらの知見は根寄生雑草に汚染されたアフリカ、中近東、東ヨーロッパ諸国で大いに寄与できるものと期待される。

(2) コナギ

1990年代初頭、冬期、低温のガラス室内で偶々、イネとコナギが単独、または混合してポットに播種される実験を行った。この時、コナギの出芽は単独区では極めて遅いのに対して、イネ共存区では極めて早いことを観察した。その後、イネ種子、モミ殻、ワラ、ヌカに暗条件でコナギの発芽を誘導する物質が存在することを見出し、長年かけた研究から、発芽はアミノ酸類とリン酸の組み合わせによって誘導されるが、それには特定の微生物の関与があることを突き止めた。また、コナギの出芽がアンモニア態窒素と尿素によって促進されること、それにはエチレンの生合成の関与があることなどを明らかにした。除草剤の中には濃度によってコナギ種子の休眠に対して覚醒促進と導入阻害の双方に有効なものがあつた。また水田でコナギが早く出芽した場合は、他の雑草の出芽も早まる様相も観察した。これらの知見を水田雑草の発消長や制御の研究に繋げたいと考えながら、今日に至った。

5. 雑草制御剤から植物成長促進物質へ

1980年代半ば、アメリカの研究者がクロロフィルの前駆体の5-アミノレブリン酸がジフェニルエーテル系除

草剤と同様の作用機構を持つ除草活性物質であることを公表した。その後日本の研究者とともに研究を進めたところ、除草効果を発現するには1%以上の高濃度を必要とするが、1~10ppm位では、むしろ植物の生長を促進し、さまざまな環境ストレスの回避作用も有すること、MgやFeなどの微量栄養元素を添加すると相乗的にこれらの作用が高まることなどを見出した。本研究を通じて生理活性物質によって発現する作用は濃度依存性であることを強く認識した。

最 後 に

筆者の40年間の研究はその時々々の要請に応えるべく、現場に対応して行ったものである。あるいは、それらの実験の過程で見出した現象の解析であった。ほとんどは、主に生理活性物質を通じての制御や現象の理解であった。しかし、長年、取り組んだ研究も基礎的な知識の欠如から結果を纏め上げることができなかった。

ただ、日々、小さいながら、新しい事実を見つけることができるのではないかという期待感に支えられ、40年も実験を楽しむことができた。