

総合的雑草管理のための埋土種子診断

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター カバークロップ研究チーム 小林浩幸

はじめに

食の安全・安心、環境問題への関心の高まりなどを背景として、日本でも有機農業をはじめとした無除草剤・省除草剤栽培を試みる農業者が増えてきている。特に水稲栽培では既にアイガモ農法、紙マルチ栽培などさまざまな代替技術が試されており、一定の効果ありとして普及が進んでいる技術があるが、その一方で、他所で成功事例のある技術を試したところ、十分な効果が得られないのでやめてしまった、という事例もしばしば耳にする。畑作物栽培では水稲栽培ほどにはそのような試みは広がっていないが、研究レベルでは除草剤に替わる技術として狭畦・密植栽培、リビングマルチなど被覆作物の利用、帯処理など除草剤利用に関する技術、施肥関連技術、除草機など、さまざまなものが試されてきている。しかし、これらはいずれも効果の安定性に疑問があり、「万能技術の開発」はどうやら徒労に終わるであろうこと、そしてそうであるなら、より少ない除草剤散布も含めた複数の技術の適切な組合せによって効果を発揮させるべきものであろうとの共通認識が形成されつつあると思う。「総合的雑草管理」は、環境負荷の低減など経済的なメリット以外の視点も包含した概念だが（伊藤 1993）、実用的な意味では、それぞれの技術の脆弱さから、必然的に導き出された考え方であるようにも思われる。

私たちは、過去数年来、さまざまな技術を組み合わせることで除草剤を使わずに大豆の雑草防除ができないか検討をしている。これらの研究でもやはり圃場により、あるいは年次によってうまくいくときとうまくいかないときがあり、雑草防除効果の変動がなぜ生じるのか、その原因を明らかにすることの重要性を実感させられている。

一方で、私たちは雑草防除技術の開発に資するため、無除草剤・省除草剤栽培下での雑草の基礎的な生態を研究してきた。その過程で、雑草防除がうまくいかないのは多くの場合、もともとその圃場の土のなかにある雑草の種子（埋土種子）の量が多いためらしいということに気がついた。逆に、うまくいったと思われた防除技術も、実は埋土種子が少ない畑で試験をしたためであったと考えざるを得ないことも多くあった。埋土種子についての情報がないまま試験を行うことで、有望な技術が簡単に切り捨てられたり、逆にたいして防除効果のない技術が過大に評価されてしまうのは困ったことである。農業者には経営がかかっているのです、よかれと思って導入した防除技術が役立たずであっては大きな実害が伴う。

本稿で私は、総合的雑草管理のためには埋土種子に関する情報が重要であることを、私たちが手がけている大豆栽培での雑草防除や生態に

ついでの研究を例として説明するとともに、今後求められる技術開発の方向についての考えを述べたいと思う。

一年生雑草の生活史の一部としての種子世代

はじめに普通の畑で問題になる一年生雑草の生活史を少しおさらいしておきたい。総合的雑草管理のためには、雑草の個体群（雑草個体の集合体）を管理するという視点が必要だからである。

一年生雑草の生活史のスタートは土の中あるいは地表面にある種子（埋土種子）である。発芽した植物体が首尾良く地表面に現れ（出芽）、一定期間生育するといずれ花を咲かせて種子を散布する。新たに散布された種子は再び埋土種子となって翌シーズン以降の発生源になる（図-1）。雑草防除の対象は、普通は発芽後の個体である。作物を植えるときに予防的な意味で散布される土壌処理型除草剤も、出芽に向けて動き出した実生あるいは種子を殺すものである。

一方、埋土種子は目につきづらく、作物に直接害を与えることもおそくないので、植物個体と認識されることはなく、普通は直接の防除

の対象にもならない。しかし、耕地雑草には多産のものが多く、例えばメヒシバは中庸なサイズの個体で3万粒、スベリヒユは大きな個体だと実に20万粒もの種子を散布させるという（赤座 1940）。実際の畑では作物などとの競争があるのでこれほど多くの種子を散布するわけではないが、それでも大豆畑に生育するメヒシバは最大で1個体あたり4000粒の種子を生産したとの報告がある（野口ら 1983）。その結果、多くの耕地雑草では、出芽してくる個体数に比べて土中に存在する個体数、すなわち埋土種子数の方が桁外れに多いという現象が現れる（図-2）。メヒシバは耕地雑草のなかでは埋土種子集団が極端に小さい部類なのだが（Kobayashi & Oyanagi 2005）、それでも出芽数との間にこれだけの違いがある。個体数だけでなく、それぞれの個体の生活環を考えてみても、耕地雑草はかなりの期間を種子として土中で過ごすわけであり、地上部だけを観察するのはまさに氷山の一角だけを観察するのに等しい。実際、埋土種子数は植生遷移の初期段階ほど多い傾向があり（Roberts 1981）、頻繁に土壌が攪乱される農地は埋土種子が最も多い場所であると考えられて

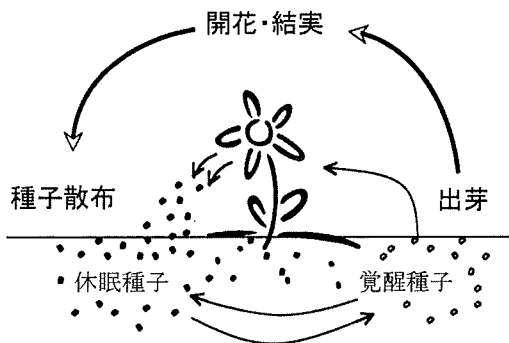


図-1 1年生雑草の生活史。埋土種子から発生（出芽）した植物体はしばらく栄養成長を続けたのちに開花・結実し、新たな種子を散布する。

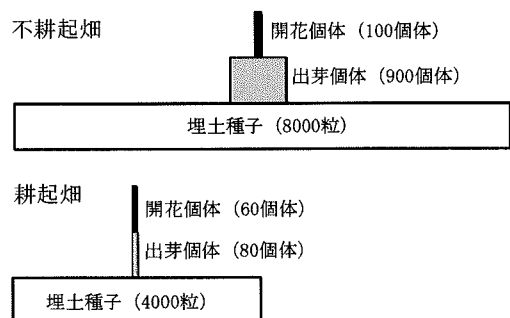


図-2 出芽個体は氷山の一角…メヒシバ個体群を構成する個体数の調査例(小林ら(2001)より作図)。年間の最大現存量(/m²)を示した。

いるのである。「雑草管理」の目的のために個体群の動きを明らかにしようとするのなら、種子の世代を無視するわけにはいくまい。

植物の個体群生態学、すなわち個体群の動きを調べる研究では、もちろん種子の世代が調べられて当然だが、後述するように、方法論的な難しさから、そのような基礎的な学問分野でも、特定の埋土種子集団の動態に関するまとまった情報はほとんどない (Silvertown 1987)。これが雑草防除のための研究となると、残念ながらほとんどの場合、埋土種子は無視されているのが現状だろう。埋土種子をとりあえずブラックボックスとして詳しい動きを端折るどころではなく、そもそも埋土種子などというものは存在せず、雑草はわいてでてくるもの、というような気分の実験さえも多く見られる。

そこで私は、総合的雑草管理の前提となる埋土種子に関する調査について、次のことを提案したい。第一に、今後の雑草防除試験では、実験に用いる圃場の埋土種子の量の初期値を調べるべきだと思う。第二に、総合的雑草管理の目的が、単に当作での雑草害を除くだけでなく、次のシーズン以降も雑草を増やさない（つまり埋土種子を増やさない）ことにもあるとするなら、雑草防除試験は1年だけでなく何年か継続するとともに、埋土種子の量の変化も継続的に調べていくべきだと思う。以上は、埋土種子の動きはとりあえずブラックボックスとして、そのストック量（あるいはその変化量）だけを調べようという試みだが、それをするだけでも、雑草防除試験の価値は飛躍的に高まるはずである。そして、次の段階として、いずれはブラックボックスにも光を当てるべきだと思う。つまり、埋土種子量の変動の要因を探るということであり、ストックだけでなく、フローの詳細も明らかに

しようとする試みである。これを明らかにできれば、埋土種子量、ひいては雑草個体群の動態予測に大きく寄与すると思うし、埋土種子に直接的に働く、新しい、効率的な防除手段の開発にもつながる可能性がある。繰り返して言うが、これらは個体群生態学では当たり前の研究プロセスである。それを作物の生産が行われる圃場に応用すべきである、と言っているに過ぎない。以下に、上述した3つの段階ごとにその意義と総合的雑草管理への応用の方向について説明をしていくことにする。

初期値としての埋土種子量を知る

雑草防除の効果は、無処理区に対してどれだけ雑草量が少ないかを割合で示すことが多い。例えば、雑草の乾物重が無処理区で100、処理区で20だったとすると、この処理による防除効果は80%となる。これは、雑草防除効果は無処理の場合の雑草量に依存している、ということを暗黙の了解としているからこそなりたつ考え方である。簡単なことをわざわざ難しくする必要はないと思うが、考え方をはっきりさせるために数式で書けば次のようになる。

防除効果(%) = $(1 - \text{処理区の雑草量} / \text{無処理区の雑草量}) \times 100$
したがって、

処理区の雑草量 = $(1 - \text{防除効果}/100) \times \text{無処理区の雑草量}$
すなわち、処理区の雑草量 $\propto$ 無処理区の雑草量

さらに、なにも防除手段を講じない場合の雑草発生量は、その畑の埋土種子量に比例するだろうことは、常識の範囲で理解をしていただけたと思う。とすれば、防除効果も埋土種子量の多寡に比例（反比例）することになる（厳密に言えば、雑草の生育が進んだ後では密度効果などにより埋土種子量と雑草量はリニアな関係にはならない）。除草剤が良い条件で散布された時に

は埋土種子量にかかわらず雑草の発生はびたりと抑えられ、埋土種子のことには考えが及ばないことも多い。しかし、除草剤の散布がうまくいかなかったり、除草剤を使わずに作物を栽培した場合には、圃場によっては草ぼうぼうになって、ああ、この畑は雑草の種子が多かったんだ、と気付くことがある。「雑草の種子が多い畑では雑草の発生も多い」。簡単なことなのだが、現実に栽培をしたり圃場試験をしたりしている張本人はそのことに気付かないこともある。良い防除法、例えば除草剤を施せば、どんなときにも十分な効果が得られるだろう、という漠然とした思いこみがそのような錯覚を助長する。数式で表せば、

処理区の雑草量＝（一定）。

特段の根拠は持ち合わせていないのだが、経験上、無除草剤あるいは省除草剤栽培での雑草量は、普通に除草剤を散布した場合に比べて特に埋土種子量の多寡に大きく依存しているように思う。防除効果が除草剤のそれよりもずっと低いので違いが目立ちやすいということなのかもしれない。

私たちは、大豆のリビングマルチ栽培を東北農業研究センターの本所（盛岡市）と福島研究拠点（福島市）に加えて、東北地域内为数か所の農家圃場で試し、慣行栽培と比較することでその雑草防除効果などを調べている（小林ら 2007）。リビングマルチ栽培とは、雑草防除効果をねらって秋まき性の高い麦類を大豆と同時に播種する技術である（井上ら 2000；三浦ら 2005）。麦類は最初旺盛な生育をするが、夏になって気温が上がると出穂することなく枯れ、敷きわら状になって雑草を抑える。ご協力をいただいた農家の中には、この新奇な技術に大いに期待し、毎年特別に雑草が多く発生する圃場

を用意してくださった農家もあった。

ところが、雑草防除に関する試験結果は評価の難しいものだった（小林ら 未発表）。農家の圃場なので無処理区を設けることができなかったこともその原因の一つだが、それ以上に、地区間の違いが非常に大きいことが、リビングマルチ栽培の雑草防除技術としての評価を困難にした。雑草が最も繁茂した8月下旬の雑草量^注は、慣行栽培が0.01～0.31 m³/m²、リビングマルチ栽培では0.05～2.13 m³/m²と、圃場によって実に40倍以上の差があった。圃場によるこうした雑草量の違いは、土壤中の養分や、温度などの気象条件とはさほど関係がなさそうだったが、上述した毎年雑草発生が多かったという圃場では明らかな失敗だったことから、埋土種子との関係が疑われた。実はリビングマルチ栽培の開始時に土壌を採取しており、後日、比重分離法（比重の高い塩類溶液を用いて種子を浮かせて回収する方法）によって埋土種子の数を計測した。実圃場なのでたくさんの種類の雑草の種子が抽出されたが、そのうち、地上部の雑草量の調査に基づいて、主要な雑草としてメヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサ、タデ類、ヒユ類、シロザを選定してそれらの埋土種子数と地上部雑草量の関係を調べた。結果は明瞭で、栽培開始時の埋土種子量が多い畑では地上部雑草量も多くなる傾向が認められた。地表から15cmの深さまでの土壌に含まれていたこれらの草種の種子数の合計は最も少ないところで約200粒/m²、最も多いところで約1万粒/m²だった。大豆の収量および地上部雑草量の調査から、

注）雑草量：単位面積当たりの雑草群落の空間占有体積。雑草の種類ごとに被度（m²/m²）と草高（m）を計測し、それらを乗じた値を全ての雑草種について足しあわせた。こうして算出される値は、地上部乾物重との相関が高いことが知られている（定ら 1999）。

雑草害の影響なしと判断されたのは4か所だったのだが、これらの圃場の埋土種子数はいずれも2000粒/m²未満だった。一方、雑草害が認められたそれ以外の5か所の圃場の埋土種子数は5000粒/m²を超えた。地上の個体数と埋土種子数にはあまり関係がないのが普通であるとされているが(Silvertown 1987)、定期的に土壌が攪乱される農耕地では両者に相応の対応があり、埋土種子の分析によって雑草の発生量を予測し得ると考えられている(佐合 1995; 高柳 2004)。私たちのリビングマルチ栽培での埋土種子数の調査は、ごく短時間で、圃場内の数カ所から掘り出した土壌を混合した試料を用いて行ったもので、また、地上部雑草量の調査地点は土壌採取地点とは一致していない。それでも地上部雑草量、雑草害との関係がこれほど明瞭に示されたことはむしろ意外だった。この試験結果は、埋土種子の分析によって将来の雑草発生量、さらには雑草害の程度を予測しようということを確認するのに十分なものであると考えている。

さて、埋土種子の数を計測する方法には大きくは2つの種類がある(表-1)。一つは「分離

同定法」、もう一つは水をやって発芽した実生の数を数える「発芽法」である。分離同定法には今回採用した「比重分離法」と、ふるいなどを用いて直接洗い出す「直接法」があるが、いずれも手法の細部については実験の目的によってさまざま、どのような目的にもこれが一番、というものはない。圃場での発芽数と最もよく一致するのは播種時に採取した土壌を用いて発芽法で調べるやり方である(佐合 1995)。これはメヒシバのように種子休眠の浅い種類では特に有効なようで、私たちの試験結果でも春に採取した土壌を用いて発芽法によって推定されたメヒシバの埋土種子数は、畑での当年のメヒシバの出芽個体数と比較的よく一致していた(小林ら 1999)。分離同定法でも、播種時に土壌を採取すれば、少なくとも土壌採取地点のごく近傍における出芽個体数と埋土種子数の間には、雑草の種類によっては極めて高い相関が認められる(Rahman et al. 2006)。しかし、私たちがめざしているのは、圃場ごとに迅速・簡便に埋土種子数を推定することによって合理的な総合的雑草管理のための技術の組み立てを助けることにある。埋土種子数がわかるのが畑での発生と同

表-1 埋土種子を調べる主な手法の特徴の比較

手法の名前	手法の概要	手法の特徴	
		作業性	データの正確さ
分離同定法	種子を数える	×作業は繁雑 ○結果はすぐに出る	○回収率が高い ×圃場での発芽数と必ずしも一致しない
比重分離法	比重が高い溶液で浮かせて回収	○相対的に簡便、回収に必要な作業時間が短い	×発芽性が変化する恐れ
直接法	ふるいなどを使って直接回収	×回収に必要な作業時間が長い	○発芽性の変化が小さい ×小さな種子の回収は困難
発芽法	発芽させた実生を数える	○作業は単純 ×結果が出るのに時間がかかる	×回収率が低い ○時期を選べば圃場での発芽数とよく一致 ×時期により回収率が異なるなど再現性に問題

注) 利点と考えられる特徴には○を、欠点と考えられる特徴には×を付した。

じ時期になってしまうやり方は、私たちの目的にはかなわない。雑草発生量を事前に予測して、雑草管理法の策定に役立てるためには、遅くとも圃場で雑草が発生してくる前までには結果が分かっている必要はない。とすると、分析は季節はずれに行う必要があるわけで、外気温が発芽適温から外れている可能性が高いことや、多くの草種の埋土種子は休眠性が季節的に変動すること (Baskin & Baskin 1998) を考え合わせると、今のところ分離同定法に歩があるように思われるが、詳細な検討は今後の課題として残されている。

ここまで草種については特に説明をしてこなかった。分析を草種ごとに詳しくすればするほ

ど予測は正確になるが、現場で使える技術から遠くなっていく。分析をだんだんと詳しくしていくのではなく、実用上は、むしろ分析が必要な草種を可能な限り絞り込み、あるいは可能な限りひっくるめた分析としていく方向で検討を進める必要があると考えている。なお、実用上必要な情報はあくまでも雑草の発生や雑草害の予測値であって埋土種子数の推定値ではない。そのことからすると、必ずしも埋土種子数の推定を正確にすることを考える必要はなく、例えば前年のある特定の時期に生育している雑草の個体数や現存量など、埋土種子数以外のデータについても広く検討のまな板にのせる必要があるかもしれない。

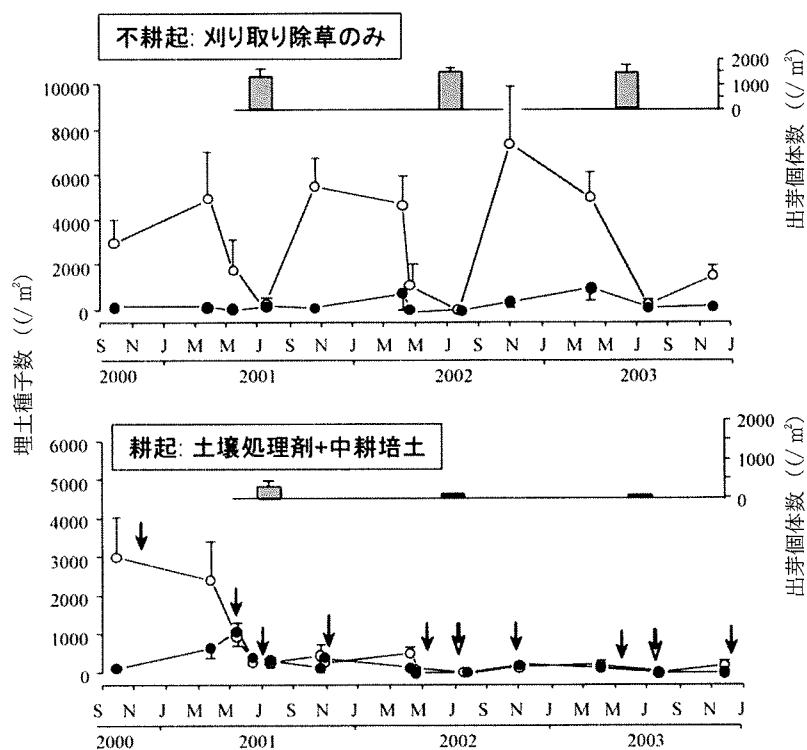


図-3 大豆畑での埋土種子数と出芽個体数の年次変化 (Kobayashi & Oyanagi (2005)より作図)。○: 地表面から5cmまで, ●: 5cmから10cmまでの土層中の埋土数。↓は耕耘(中耕を含む)。

埋土種子量の増減を知る

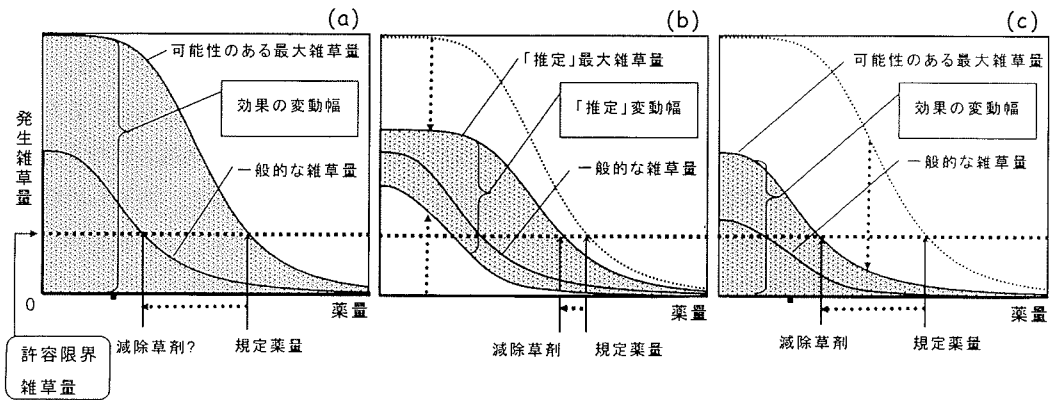
ここまでの話は、当作の発生雑草量や雑草害を、埋土種子数の事前の分析で予測するという単純な話だった。しかし、農業の持続的な生産を担保するためには、当作で雑草害が出なければ多少雑草が多くてもいいや、という考え方は許容されない。埋土種子を中長期的に適切な水準以下に管理するという視点がどうしても必要である。私たちの過去の研究から一つ例を示したい。

図-3は、異なる2つの栽培体系を3年間続けた大豆畑での埋土種子数の変化を示したものである。両体系で栽培された大豆の品種や栽植様式、播種・収穫日は同一だが、一方は不耕起栽培で除草は畦間の刈り取り除草により（不耕起体系）、もう一方は耕起栽培で、除草は土壌処理型除草剤と中耕によった（耕起体系）。大豆の収量は少なくとも2作目までは両体系で違いがなく雑草害の影響は認められなかった。つまり、当作だけの評価では、どちらの雑草防除法も問題がなかったと判断されるのだが、埋土種子数には大きな違いが認められた。すなわち、耕起体系では埋土種子数は年々減っていったが、不耕起体系では季節変動はあるものの、次第に増えていく傾向があった。生産の持続性という点ではこの不耕起体系は失敗だったと結論せざるを得ない。図を見て分かるとおりメヒシバは埋土種子の寿命が短く、大きな埋土種子集団を作らない種類なので、埋土種子量の増加はゆるやかなのだが、埋土種子の寿命が長い種類では、埋土種子は急速に増える可能性がある。このような、ある一定の栽培条件下での埋土種子量の長期的な変動についての知見は、中長期的な視点から雑草を適切に防除していくためにはどうしても必要なものなのだが、日本で、まとまった

データが取られた例はタイヌビエ(渡邊ら 2003)などごくわずかな種類にとどまっている。

ところで、雑草の発生がほとんどみられないようなときでも予防的に除草剤を散布することで生じる無駄なコストを抑え、あるいは環境への影響の低減という観点から「許容限界」という概念が用いられることがある。これくらいまでなら雑草が生えていても作物の収量・品質に影響がないから防除はやめよう、という雑草量の限界である。長期的な視点に立って、経済的な観点から設定される雑草量の許容限界は「Economic Optimum Threshold; 経済的最適許容限界」と呼ばれ、そのシミュレーションには埋土種子数がパラメータとして取り込まれる(Cousens 1987)。経済的最適許容限界の意義と限界については三浦(2005)によって要領よくまとめられている。それによれば、経済的最適許容限界は当作で雑草害が生じないための許容限界よりもはるかに厳しいため、残念ながら単純に経済的最適許容限界を採用しただけでは、毎年無条件に除草剤を散布する場合と比べて経済的な利点はあまりないことが、主要雑草を対象としたシミュレーションで明らかになってきている。

除草剤の薬量は、通常、効果の変動、つまり雑草量の変動を想定した上で、悪条件下でもそれなりに効果が得られるようなものとして決められる(Blackshaw *et al.* 2006)。許容限界という考え方が成立する根拠の一つである。つまり、多くの場合、除草剤は「結果として」やや過剰にまかれているので、不要な時にはそれを省略しようというわけである(図-4(a))。しかし、省略できるのはあくまでも不要なことが事前に分かっているときだけであり(図-4(b))、不要か必要か分からないのに闇雲に除草剤を減らすの



図－4 除草剤の薬量反応曲線を用いて、「雑草発生予測」と「総合的雑草管理」の意義を考える。グラフの横軸は除草剤の薬量、縦軸は発生雑草量で、薬量が少ないほど発生雑草量は多くなる。許容限界雑草量は、作物収量や埋土種子量の増減の解析から別途設定される。

(a) なにも手段を講じないまま除草剤を減らしても問題がないこともあるが、効果は不安定になる。

(b) 埋土種子の分析等から雑草発生量を予測することで、効果を不安定にさせることなく減除草剤が可能になる。

(c) 総合的雑草管理の考え方で、除草剤以外の除草手段を組み合わせることで薬量反応曲線自体を下げれば(同じ薬量で発生する雑草量を減少させれば)さらに除草剤を減らすことができる。

では省除草剤「技術」とは言い難い。ここまで説明してきた埋土種子分析の第一の目的は、防除手段の遂行が不要か必要かを事前に知ることにはほかならない。ところが、上に述べたように、許容限界として経済的最適許容限界を採用したとすると、そのような省除草剤のメリットはどうやらあまりない。総合的雑草管理が必要とされる理由がここにある(図－4(c))。すなわち、これまで除草剤一辺倒だった雑草防除を、耕種的防除、機械防除など、それ以外の防除法を中核とした体系として組み替えるのである。そのためには、より少ない除草剤散布を含む複数の技術の組み合わせが求められるだろう。上述のように、耕種的防除技術等は除草剤よりも効果が弱いことが多いからである。このような複数の技術の組み合わせを試行する場合も、埋土種子の分析から雑草発生量を予測する手法はおそらく役に立つ。つまり、ある段階までは無条件で無(省)除草剤が可能、次いで、何らかの防除手

段を組み合わせれば無(省)除草剤栽培が可能。埋土種子量水準、さらに多くの防除手段を組み合わせなければいけない水準、慣行による除草剤栽培が望まれる水準、というように、圃場毎に、技術を組みたてるためのツールとしての利用が可能になると思われる。

増減の要因を探る

雑草発生量、もう少し具体的には雑草個体群の動態予測をあらかじめ正確に行い、ひいては雑草害の程度を正確に予測するためには、その変動要因を明らかにしていく必要がある。特に、長期に及ぶ予測のためには、埋土種子の動態に影響を及ぼす要因の解明が重要になる。埋土種子動態の要因解明は、予測モデルの作成に寄与するだけでなく、埋土種子量を直接低減させる技術の開発にも結びつくかもしれない。さて、埋土種子の増加の要因としては種子散布と他所からの移入が、減耗の理由としては発芽以外では

動物による摂食、発芽の失敗、種子の移出、加齢と病原菌による死亡が考えられる。種子散布と他所からの移入についてはトラップを仕掛けることでだいたいの評価はできるだろう。また、発芽の失敗や加齢、病原菌による死亡についても、それらの中身はブラックボックスとしても、それらを全て込みにした減耗率については多くのデータが出されている（ただし、これまでの試験では病気による死亡が過大評価されていた可能性が指摘されている（Van Mourik *et al.* 2005））。しかし、動物による摂食、種子の移動についてはなかなか信頼できるデータがそろわない。例えば、虫による摂食は時間的・空間的にばらつきがたいへん大きいので、減耗率を調べるための試験では、むしろそれを排除するような操作が行われてさえいた。さて、Salkhan (1974)が調べたキンポウゲ属3種の個体群動態データは発表から30年余を経た今でも多くの雑草学関係の教科書やレビューで引用されており、いわば個体群動態研究の古典的となっている。研究のなかで、彼は埋土種子の運命についても調べており、それによればそのうちの1種、ハイキンポウゲの種子の実に54%以上が食害によって失われたという。ところが、この論文を良く読んでみるとなんのことはない、どこかへ行ってしまうた種子をとりあえず食害にあてているだけだということが分かる。しかし、当時から、食害は種子の損耗原因として相当重要視されていたことが分かって興味深い。現在では食害による種子の損耗についてはかなりのデータ蓄積がなされてきている。齧歯類や鳥、地表徘徊性の昆虫など様々な動物が散布された雑草の種子のかんりの量を食えることが、より直接的なデータで明らかになってきており（例えば Cardina *et al.* (1996)）、同じ地点での

複数の動物の寄与をそれぞれ明らかにする研究（Westerman *et al.* 2003）も行われている。一方、種子の移動には、大型ミミズ類が摂食・排泄を通じて大きな役割を果たしているとの報告がある（Smiths *et al.* 2005）。今のところ、日本では動物が雑草種子の動態に及ぼす影響に関する研究は決定的に立ち後れているが、私たちは、ゴミムシ類（小林・山下 2006；山下・小林 2007）やミミズ類（内田・小林 2006）が雑草種子に与える影響について検討を少しずつ始めているところである。また、岩手県（中山ら 2007）、静岡県（市原ら 2007）などでも調査が行われており、これらのデータを見る限り、少なくとも不耕起条件ではゴミムシ類などによる摂食の効果は相当大きいようである。研究はどれも始まったばかりであり、まとまったデータが得られるのはもう少し先になりそうだ。

おわりに

雑草の個体群動態モデルや適切な雑草防除手段を探るためのモデルには単純なものから複雑なものまで、実に様々なものが提案されてきている（Cousens & Mortimer 1995）。モデルについては本稿では抽象的な議論に留めたが、どのようなモデルを採用するにせよ、必要なデータをもれなく詳細に採ることが、秀逸なモデルの作成の大前提となる。しかし、最終的に得られる予測モデルがたくさんのパラメータを必要とした複雑怪奇なものであるとするのなら、それは早晩ほこりにまみれることだろう。現象の本質をとらえつつも単純明快で、農家と一緒に対策を考えることができる、そのような分析ツールを私たちはめざしたい。詳細なデータは、モデルを複雑にするためにではなく、現象の本質を掘り下げること、モデルを単純化すること

に用いるのである。

引用文献

- 赤座光市 (1940) 農地雑草種子の早産性及び多産性. 農及園 15: 161-162.
- Baskin C. C. and Baskin J. M. (1998) Seeds Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, Academic Press, Sandiego.
- Blackshaw R. E., O' Donovan J. T., Harker K. N., Clayton G. W. and Stougaard R. N. (2006) Reduced herbicide doses in field crops: A review. Weed Biol. Manage. 6: 10-17.
- Cardina J. Norquary H. M. Stinner B. J. and McCartney D. A. (1996) Postdispersal predation of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. Weed Sci. 44: 534-539.
- Cousens R. (1987) Theory and reality of weed control thresholds. Plant Protection Quarterly 2: 13-20.
- Cousens R. and Mortimer M. (1995) Dynamics of weed populations, Cambridge University Press, Cambridge.
- 市原実・鈴木智子・山下雅幸・澤田均・稲垣栄洋・木田揚一 (2007) 節足動物による圃場地表面のネズミムギ種子捕食量の推定. 雑草研究 52 (別): 16-17.
- 井上一博・宮川秀雄・佐々木和則 (2000) 大麦のマルチ効果を利用した大豆の省力栽培法 第1報 混播による大豆の生育及び収量. 東北農業研究 53: 103-104.
- 伊藤操子 (1993) 雑草学総論, 養賢堂, 東京.
- 三浦励一 (2005) 許容限界 (要防除水準) はどこへ行く? - ETからEOTへ-. 雑草研究 50: 340.
- 三浦重典・小林浩幸・小柳敦史 (2005) 東北地域における秋播き性オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培. 日作紀 74: 410-416.
- 野口勝可・松尾和之・奈良正雄 (1984) 寒冷地畑作における雑草の増殖防止技術の確立に関する研究 2. 大豆栽培下における雑草の種子生産特性. 雑草研究 29(別): 15-16.
- Rahman A., James T. K. and Grbavac N. (2006) Correlation between the soil seed bank and weed populations in maize fields. Weed Biol. Manage. 6: 228-234.
- Silvertown J. W. (1987) Introduction of plant population ecology: second edition, Longman, London.
- 小林浩幸・中村好男・渡邊好和 (1999) 不耕起有機栽培におけるメヒシバの埋土種子数と夏作初期における消長. 東北雑草研究会99要旨集: 9.
- Kobayashi H. and Oyanagi A. (2005) *Digitaria ciliaris* seed banks in untilled and tilled soybean fields. Weed Biol. Manage. 5: 53-61.
- 小林浩幸・島崎由美・好野奈美子・内田智子・酒井真次・坂上修・小柳敦史 (2007) 東北地域におけるムギ類を用いたダイズのリビングマルチ栽培技術の開発と普及への取り組み. 雑草研究 52(別): 154-155.
- 小林浩幸・山下伸夫 (2006) 地表徘徊性昆虫クロゴモクムシ (*Harpalus niigatanus* Schauburger) はメヒシバの種子を好んで食べる. 雑草研究 51 (別): 164-165.
- 小林浩幸・渡邊好昭 (2001) メヒシバの出穂性に関する集団構造の不耕起および慣行栽培大豆畑の間の差異. 雑草研究 46(別): 74-75.
- 中山壮一・渋谷幸憲・天羽弘一・大谷隆二 (2007)

- 収穫損失により地表に散布されたナタネ種子の生存に対する耕起および湛水の効果. 雑草研究 52(別): 52-53.
- Roberts H. A. (1981) Soil seed banks in soils. Ann. Appl. Biol. 6: 1-55.
- 定由直・三浦励一・伊藤操子 (1999) 被度と草高に基づく雑草バイオマス量推定の可能性について. 雑草研究 44 (別): 106-107.
- 佐合隆一 (1995) 農耕地における埋土種子. 雑草研究 40: 252-261.
- Sarukhan J. (1974) Studies on plant demography: *Ranunculus repens* L., *R. bulbosus* L. and *R. acris* L. II. Reproductive strategies and seed population dynamics. J. Ecol. 62: 151-177.
- Smiths R. G., Gross K. L. and Januchowski S. (2005) Earthworm and weed seed distribution in annual crops. Agric. Ecosyst. Environ. 108: 363-367.
- 高柳繁 (2004) 関東黒ボク土地帯における主要一年生夏雑草の定量的発生予測. 中央農研報告 5: 23-58.
- 内田智子・小林浩幸 (2006) 休閑期も雑草が生育していた不耕起ダイズ畑ではミミズが多いーミミズと雑草植生の意外な関係ー. 東北の雑草 6: 33-36.
- Van Mourik T. A., Stomph T. A. and Murdoch A. J. (2005) Why high seed densities within buried mesh bags may overestimate depletion rates of soil seed banks. J. Appl. Ecol. 42: 299-305.
- 渡邊寛明・内野彰・橘雅明 (2003) 積雪寒冷地水田におけるタイヌビエの土中種子数の推移. 雑草研究 48(別): 52-53.
- Westerman P. R., Hofman A., Vet L. E. M. and van der Werf W. (2003) Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeic weed seed predation in organic cereal fields. Agric. Ecosyst. Environ. 95: 417-425.
- 山下伸夫・小林浩幸 (2007) ウスアカクロゴモクムシは地表のイヌビエ種子を食害するが, 地中の種子は殆ど食害しない. 東北の雑草 7: 17-20.



カヤツリグサ科入門図鑑

谷城 勝弘
A5変形判 定価2,940円(税込)

ごく普通に見られる約200種を取り上げ、大きな写真、
ていねいな写真説明でわかりやすく解説します。

- 第1部 カヤツリグサ科の形
- 第2部 カヤツリグサ科200種
- 第3部 カヤツリグサ科の生える環境
- 第4部 標本でみるカヤツリグサ科

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-27-11
TEL03-3839-9160 FAX03-3839-9172

<http://www.zennokyo.co.jp>