

## Weed Ecology and Cultural Control in No-tillage Soybean

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): No-till, Soybean, Weed vegetation, Annual weed, Digitaria ciliaris (Retz.) Koeler, Seed bank, Weed emergence, Cover crop, Winter barley 作成者: 小林, 浩幸 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/00001194">https://doi.org/10.24514/00001194</a>

## 不耕起ダイズ栽培における雑草の生態と耕種的防除

小林 浩 幸\*<sup>1)</sup>

**抄 録**：作業性向上，地力維持などの観点から将来的に期待されるダイズの不耕起栽培において，効果的・安定的な雑草防除体系を確立するためには，不耕起栽培で優占する雑草の種類とその生態を明らかにすることが必要である。本研究では，第一に耕起栽培との比較から不耕起栽培で問題となる雑草種を特定し，その発生生態を明らかにした。第二にそれらの知見に基づき耕種的防除技術として冬作カバークロープの活用を提案し，その有用性を検証した。

試験の結果，ダイズの不耕起栽培では一年生のイネ科雑草の出芽数が増加し，優占する傾向にあることがわかった。そして，イネ科のなかで最も重要な雑草であるメヒシバのシードバンク（土壌中と土壌表面に存在する生きた種子の集団）は不耕起栽培では土壌表面に集中し，出芽も多くが地表付近からとなるが，出芽は大麦による土壌表面の被蔭によって抑制されることが判明した。そこで，一年生雑草の出芽抑制をねらってカバークロープとしての冬作オオムギを導入したところ，顕著な抑草効果が認められた。抑草効果はダイズの狭畦化などで補完され，条件によっては無除草剤での栽培も可能であることが示された。さらに，冬作オオムギによってダイズの収量も高まることが分かった。

**キーワード**：不耕起，ダイズ，雑草植生，一年生雑草，メヒシバ，シードバンク，雑草の出芽，カバークロープ，冬作オオムギ

**Weed Ecology and Cultural Control in No-tillage Soybean** : Hiroyuki KOBAYASHI \*<sup>1)</sup>

**Abstract** : The goal of this study was to establish an effective weeding system in no-till soybean fields. We first clarified the dominant weed species and their ecological features in no-tillage soybean fields. Second, we tested the efficacy of cultural weeding systems including winter barley as a cover crop on the basis of the findings on weed ecology in no-tillage fields. The field surveys revealed that grass weeds such as *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler and *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli* were abundant in no-tillage fields mainly because of an increase in the frequency of emergence. *Digitaria ciliaris* seeds highly concentrated on or near the soil surface in no-tillage fields, so that many seedlings emerged from the soil surface. The emergence from the soil surface was markedly suppressed by the winter barley shade. Preceding winter barley as a cover crop in no-tillage soybean actually demonstrated strong suppression of annual weed emergence in the field experiments. The combination of winter barley and narrow-row soybean provided high soybean yield and appreciable weed suppression despite a lack of herbicide application and mowing.

**Key Words** : No-till, Soybean, Weed vegetation, Annual weed, *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, Seed bank, Weed emergence, Cover crop, Winter barley

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Fukushima 960-2156, Japan)  
2005年10月5日受付, 2005年12月19日受理

## 目次

I 序論	98	1. 材料および方法	120
1. 不耕起栽培における雑草植生	100	2. 結果	123
2. 日本のダイズ栽培における雑草防除の 現状と課題	101	3. 考察	127
3. ダイズ栽培における耕種的防除技術の 開発動向	102	4. 摘要	128
II 不耕起畑における雑草量の推定	105	V カバークロップ条件下における雑草植生の 特徴と雑草抑制効果	128
1. 材料および方法	105	V-1 雑草植生の変遷と主要一年生雑草の 発消長	128
2. 結果	106	1. 材料および方法	129
3. 考察	108	2. 結果	130
4. 摘要	108	3. 考察	135
III 不耕起畑における雑草植生の特徴	109	4. 摘要	135
1. 材料および方法	109	V-2 カバークロップによる地表面被覆が メヒシバの出芽に及ぼす影響	136
2. 結果	111	1. 材料および方法	136
3. 考察	113	2. 結果	137
4. 摘要	116	3. 考察	139
IV 不耕起ダイズ畑における主要イネ科雑草の 出芽およびシードバンクの特徴	116	4. 摘要	140
IV-1 主要イネ科雑草の出芽深度	116	VI 不耕起ダイズ栽培におけるカバークロップを 活用した耕種的防除体系の検証	140
1. 材料および方法	116	1. 材料および方法	140
2. 結果	117	2. 結果	142
3. 考察	118	3. 考察	144
4. 摘要	120	4. 摘要	146
IV-2 メヒシバのシードバンクと発芽生態	120	VII 総合考察	146
		引用文献	149

## 序論

不耕起栽培は土壌浸食防止、有機物含有量の増加などに伴う地力の維持、水分保持、省力化、低コスト化など、多くの利点から注目されている (Froud-Williams *et al.* 1983)。不耕起栽培の起源は、青銅器や鉄器が使用される以前の原始的農業にまでさかのぼることができるが (金沢 1995)、近代的な不耕起栽培が始まったのは 1940 年代に除草剤が発明された後のことである (Shear 1985)。その後、不耕起栽培は南北アメリカを中心として普及し、アメリカ合衆国では 1999 年時点でダイズの栽培面積の 30% 程度が不耕起栽培となっている (農林水産省 1999)。さらに、2003 年には除草剤耐性ダイズの栽培面積がアメリカ合衆国で 80%、全世界で 55% と急速に普及しつつあることから (James

2003)、不耕起栽培についても増加の一途をたどっていると考えられる。

不耕起栽培は究極の環境保全型農業であるという考え方もあるが (King and Holcomb 1985, Koskinen and McWhorter 1986)、耕起という最も効率的な除草法を放棄する農法でもあり、雑草防除が隘路となる可能性が高い (Gebhardt *et al.* 1985)。このため、大規模経営で効率化を追求するアメリカでは、不耕起栽培は除草剤の使用が前提となって普及してきた (Wiese 1985)。こうしたことから、不耕起は chemical tillage と呼ばれることがある (Koskinen and McWhorter 1986)。耕起の最大の意義が雑草の防除であるとするれば、除草剤の出現によって、耕起の必要性が減ぜられ (Shear 1985)、それにつれて不耕起栽培が増加していくのはむしろ当然ということもできる。近年の遺伝子組換えによる除草剤耐

性作物の普及は、不耕起栽培での除草剤の使用をさらに不可欠なものにしている。

一方、日本では平成14年に不耕起播種されたダイズは445 haであり（農林水産省生産局農産振興課2004）、いまだにほとんど普及していない。土壌浸食が深刻な問題となっているわけではなく、また、現状ではダイズ栽培の経営規模が大きいいため、不耕起栽培の大きな利点である省力化や低コスト化についても、生かしきれない状況にない（金沢1995）。しかし、不耕起栽培にはこれ以外にも多くの利点があり、今後の社会情勢の変化や播種機の性能の飛躍的な向上、低廉化といった技術の進展に伴って、将来的に広く普及する可能性を秘めている。

例えば、日本に特有な事情として、ダイズの播種や中耕作業の適期が梅雨に当たることが多く、耕起栽培では降雨によって作業が遅れ、収量や品質の低下の原因となる場合があるが、不耕起栽培では天候に影響されることが少ないので、適期に作業できる可能性が高い。また、連作の弊害が叫ばれて久しいが、ダイズ連作の面積割合は全国で35%、気候上の制約が大きい東北では実に75%にのぼる（農林水産省生産局農産振興課2004）。実際には輪作体系を導入したいが前後作との作業の競合のため耕起を行う時間的余裕がなく、連作を余儀なくされている地域も多く存在する。こうした地域では不耕起栽培が輪作体系確立の決め手となる可能性がある。近年問題となっている地力の低下についても、有機物含量の増加や植物の根系の発達、ミミズやトビムシ、ササラダニといった土壌動物や土壌微生物の増加などを通じて改善される可能性がある（坂井1988）。さらに、農政や社会情勢の動向によっては、今後、団地化、農作業委託などの進展で農地の集積が飛躍的に進み、南北アメリカなどと同様に経営上、省力化、低コスト化の利点が生じる可能性も否定はできない。日本における不耕起栽培の可能性について金沢（1995）は、「加速度的に肥沃な土壌が消え去り、わが国でも農業の生産コストの低減とエネルギー利用効率の向上が叫ばれている今、わが国独自の省資源・環境保全型農業としての不耕起栽培法の構築を真剣に考える時期にきている」と論じている。

ただし、高温多湿な日本では慣行栽培であっても雑草害が大きな生産阻害要因となっており、不耕起栽培ではそれが更に顕著になるのではないかと、という農家の不安は大きい。除草剤耐性作物を使用する

栽培体系であれば雑草害は問題とならないが、現時点での世論や農政の方向を考えると、日本での遺伝子組換え作物の普及は当分は難しい。今後、不耕起栽培が普及していくためには、耕種的防除技術を中心として、除草剤を合理的に使用する栽培体系の開発が求められる。そのためには、不耕起栽培を行う場合に問題となる雑草はどのような種類で、それはどのような生態的特性を有しているのかを明らかにしなくてはならない（Staniforth and Wiese 1985）。

不耕起畑の雑草植生に関しては、作物栽培に関する研究や雑草植生に関するいくつかの先駆的な研究から、多年生雑草の増加（Derksen *et al.* 1993）など、若干の一般化が可能である。しかしながら、多くの作物の栽培研究は数種の優占種のみにも焦点をあてたものであり、その結果、まれな種については十分な研究が行われてこなかった（Derksen *et al.* 1993）。このため、これらの研究から不耕起畑の雑草植生の全体を詳細に理解することは困難である。さらに、不耕起栽培が普及していない日本では、雑草に関する基礎的なデータがほとんど得られていない。そこで本研究では、ダイズの不耕起栽培における合理的な雑草防除技術を開発するための前提として、日本で不耕起栽培を行った場合の雑草植生の特徴と優占雑草種の生態的特性の解明を第一の目標に据え、ついで優占雑草の生態的特性に基づいて、耕種的防除技術を検討し、その効果を検証することとした。

本研究における実験は全て福島市で行ったが、福島市を含む南東北地域以南でのダイズ栽培ではメヒシバなどのイネ科一年生雑草が優占する 경우가多く、雑草植生は類似する（中山1988、伊藤1993）。さらに、韓国などの東アジアでは地理的な近さ、気候の類似性などから畑作における雑草植生は日本と類似するとされる（野口1993、榎本1994、1996）。したがって、これらの地域、すなわち日本の南東北地域以南および東アジアの一部では不耕起栽培における雑草生態も本研究の結果から類推可能であり、同じく本研究で試行された耕種的防除技術についても適用できる可能性がある。

本章では事前に不耕起栽培における雑草植生に関するこれまでの試験結果をとりまとめ、その生態的特性解明のための研究の方向性を示すとともに、日本におけるダイズ栽培での雑草防除の現状と耕種的防除技術の開発の動向をとりまとめ、不耕起栽培に

おける耕種的防除の可能性を検討した。

### 1. 不耕起栽培における雑草植生

表1は、海外、主として北アメリカでの過去の試験結果から、不耕起畑で優占した、あるいは問題となったと報告された雑草種をまとめたものである。不耕起栽培では多年生雑草 (Cussans 1975, Froud-Williams *et al.* 1983, Gebhardt *et al.* 1985, Herron *et al.* 1971, Koskinen and McWhorter 1986, Staniforth

and Wiese 1985) や風散布型の雑草 (Derksen *et al.* 1993, Froud-Williams *et al.* 1981, 1983) が増加し、作物の雑草化 (Cussans 1975, Thomas and Frick 1993) が問題になることが明らかになっている。一般的には、その土地に攪乱が全く加えられなければいずれ陽樹の群落に変していくが、攪乱が加えられる場合には遷移の進行が止められ、その強度に応じて特定の植生が維持される (伊藤・森田

表1 不耕起栽培により雑草種組成が変化したとする事例

科名	種名	生活環 <sup>2)</sup>	不耕起による雑草種の増 (↑) 減 (↓) <sup>1)</sup> と引用文献
キク科	ヒメムカシヨモギ <i>Erigeron sp.</i>	B	↑ Buhler (1992)
	<i>Conyza sp.</i>	B?	↑ Triplett & Lytle (1972)
	<i>Cirsium arvense</i>	B?	↑ Triplett & Lytle (1972)
	タイワンハチジョウナ	P	↑ Koskinen & Mc Whorter (1986), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	セイヨウタンポポ	P	↑ Blackshaw (1994)
ヒルガオ科	セイヨウヒルガオ	P	↑ Blackshaw (1994), ↑ Clements <i>et al.</i> (1996), ↑ Koskinen & Mc Whorter (1986), ↑ Thomas & Frick (1993), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	セリヨウヒルガオ	P	↑ Buhler <i>et al.</i> (1994)
ナス科	ワルナスビ <i>Physalis spp.</i>	P	↑ Herron <i>et al.</i> (1997) ↑ Herron <i>et al.</i> (1997)
キョウチクトウ科	<i>Apocynum cannabinum</i>	P	↑ Buhler <i>et al.</i> (1994), ↑ Triplett & Lytle (1972)
サクラソウ科	ルリハコベ	A	↓ Froud-Williams <i>et al.</i> (1983)
アブラナ科	グンバイナズナ	A	↓ Blackshaw (1994)
	クジラグサ	A	↓ Blackshaw (1994)
タデ科	<i>Polygonum pennsylvanicum</i>		↑ Wrucke & Arnold (1985)
	ソバカズラ	A	↓ Blackshaw (1994), ↓ Derksen <i>et al.</i> (1993)
ヒユ科	アオゲイトウ	A	↑ Blackshaw (1994), ↑ Buhler (1992), ↑ Mohler & Callaway (1995), ↑ Thomas & Frick (1993)
アカザ科	シロザ	A	↑ Cardina <i>et al.</i> (1991) ↓ Blackshaw (1994), ↓ Clements (1996)
	<i>Salsola iberica</i>	A	↑ Blackshaw (1994)
イネ科	アキノエノコログサ	A	↑ Buhler (1996), ↑ Buhler & Oplinger (1990), ↑ Cardina <i>et al.</i> (1991), ↑ Schreiber (1992)
	エノコログサ	A	↑ Buhler (1992), ↑ Teasdale & Daughtry (1993)
	キンエノコロ	A	↑ Teasdale & Daughtry (1993), ↑ Thomas & Frick (1993)
	<i>Setaria spp.</i>	A	↑ Stahl <i>et al.</i> (1999)
	オオクサキビ	A	↑ Cardina <i>et al.</i> (1991), ↑ Triplett & Lytle (1972)
	ウマノチャヒキ	A	↑ Blackshaw (1994)
	カラスムギ	A	↓ Derksen <i>et al.</i> (1993)
	イヌムギ	A	↑ Teasdale & Daughtry (1993)
	ノズメノテッポウ	A	↑ Froud-Williams <i>et al.</i> (1993)
	<i>Poa spp.</i>	A	↑ Froud-Williams <i>et al.</i> (1993)
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	A	↑ Mohler & Callaway (1995)
<i>Digitaria spp.</i>	A	↑ Herron <i>et al.</i> (1971), ↑ Thomas & Frick (1993)	
カヤツリグサ科	シヨクヨウガヤツリ	P	↑ Teasdale & Daughtry (1993), ↑ Thomas & Frick (1993)
	<i>Cyperus spp.</i>	P	↑ Herron <i>et al.</i> (1971)

注. 1) ↑は不耕起または省耕起畑で増加または問題となった種を示し、↓は減少した種を示す。減少した種にはアンダーラインを施した。当該種またはその同属他種が日本に自生するもののみをあげた。

2) A, B, Pはそれぞれ一年生雑草, 二年生雑草, 多年生雑草を示す。B?は二年生雑草とみられるが不確定である。

1999)。丁寧な管理が継続された耕起畑では多年生雑草はほとんど見られず、一年生雑草主体の群落となる。不耕起畑であっても機械除草や除草剤の処理などの管理作業は常に加えられるが、耕起栽培に比べれば攪乱の強度は小さいため、一年生雑草が残存しながら、一定量の多年生雑草が機会的に侵入し、定着することとなる。また、表中のキク科雑草の多くは風散布型であり、不耕起栽培での増加を見ることができる。これらの風散布型の雑草は一般に大きなシードバンク（埋土種子集団）を形成しないので、偶然飛来して発芽した実生が定着する機会の多い不耕起畑で増加するものと考えられる。ただし、表1によれば、生活環については多年生雑草よりも一年生雑草が問題であるとする報告がむしろ多い。特に、エノコログサ (*Setaria*) 属 (Buhler 1992, 1996, Buhler and Oplinger 1990, Cardina *et al.* 1991, Schreiber 1992, Stahl *et al.* 1999, Teasdale and Daughtry 1993, Thomas and Frick 1993) やメヒシバ (*Digitaria*) 属 (Herron *et al.* 1971, Koskinen and McWhorter 1986, Swanton *et al.* 1999, Thomas and Frick 1993, Tuesca *et al.* 2001) などイネ科一年生雑草が優占する (Froud-Williams *et al.* 1984, Tuesca *et al.* 2001, Streit *et al.* 2003) という報告が多くみられる。日本における試験例からひろってみると、転換畑でセイタカアワダチソウ (伊藤ら 1989) など風散布型のキク科多年生雑草が問題となったという報告がある一方、夏作ではイネ科一年生雑草が問題となったという報告も散見される (井上 1999, 佐合・中川 1999)。しかし、上述の報告では、不耕起栽培で一年生雑草、特にイネ科雑草が問題となるということはしばしば簡単に触れられるが、総説の中で明確に記述された例はなく、その原因も調べられていない。このように、イネ科雑草の優占が明確に認識されていないのは、現時点で参照しうる多くのデータが栽培試験のかたわらで得られた少数の優占種についてのものであり、雑草植生全体を調査対象とした研究が限られていることが原因の一つとして考えられる。したがって、日本の不耕起栽培における雑草生態の解明のためには、第一に、雑草植生を解析し、その特徴を明らかにすることが必要である。

さて、雑草の生育の場としての不耕起栽培と耕起栽培の違いは主に耕起の有無に起因する。特に一年生雑草にとっては、耕起の有無はシードバンクの成

り立ちと、そこからの出芽に直接的な影響を有していると考えられる。出芽は開花・結実とともに一年生雑草の生活史を決定づける要素であり、問題となる雑草についてその特性を明らかにすることは耕種的防除技術を考える上で有効であるに違いない。しかし、これまで多数行われてきた耕地雑草の生態に関する研究では、「農地とは耕起が行われる場所」という暗黙の了解があったように思われる (Baskin and Baskin 1998)。このため、定性的な理解として、不耕起栽培では埋土種子が地表付近に多くなる傾向があるということは広く受け入れられているが (Clements *et al.* 1996, Hoffman *et al.* 1998, Dorado and Del Monte 1999, Buhler *et al.* 2001, Tørrensen *et al.* 2003)、不耕起栽培における特定の優占雑草種のシードバンクについて詳細なデータがとられた例はない。また、出芽深度については、カラスムギ、コムギなど数種の一年生の植物で深化の傾向が見られたとする報告がある (du Croix Sissions *et al.* 2000)。しかし、日本におけるダイズの不耕起栽培で問題となる雑草種について、それが詳細に調べられた例はない。上述の日本の不耕起栽培における雑草の植生解析から抽出された重要雑草について、こうした生態的特性を明らかにしていくことが求められる。

## 2. 日本のダイズ栽培における雑草防除の現状と課題

日本のダイズ栽培は、研究レベルでの試みなどを除けば、すべてが播種前に耕起を行う耕起栽培である (有原 2000)。通常、耕起栽培では、播種直後に土壌処理型除草剤が散布される。後発生のイネ科雑草に対しては茎葉処理型除草剤を使用できるが、後述するように、広葉雑草に有効で全面散布が可能なものはごく限られる。このため1回ないし数回の中耕・培土が除草と倒伏防止を目的に行われる。シロザなど大型で1個体あたりの種子生産量の多い、いわゆる種草の残草が見られる場合には、拾い草と称して手取り除草が行われる場合もある (野口・森田 1997)。

一方、不耕起栽培では播種前の耕起が省略されるため、播種前に非選択性茎葉処理型除草剤などにより雑草を除いておく必要がある。また、中耕を省略するため、ダイズは狭畦とし、後発生の雑草がめだつ場合には茎葉処理型除草剤による防除が必要となる場合がある (中山ら 2001)。このように、不耕

起栽培における除草体系は耕起栽培とは異なる面があるため、耕種的防除技術についても、特有の技術の適用が必要となる場合がある。

除草剤に関しては、広葉雑草に有効な茎葉処理型除草剤のうち、ペンタゾン系をダイズの生育期に使用することが2005年から可能になり、除草手段が大きく広がった。しかし、ペンタゾンは品種によってはダイズに薬害を生じさせる場合がある一方、シロザやヒユ類など、熟畑において重要な雑草に対して十分な効果を有していない(渋谷 私信)。一方、これとは別に、近年、国内で除草剤の畦間・株元処理技術が注目を集めている(岡村ら 2005)。これはダイズの生育期に、ダイズの頂芽部分を避けるように茎葉処理除草剤を散布するものであり、不耕起栽培での活用も可能である。除草剤耐性ダイズと非選択性茎葉処理型除草剤の組み合わせによる防除技術につながる技術とも言え、今後の進展が期待されるが、効率的でドリフトの心配のない散布装置の開発など、解決すべき問題は多い。いずれにしても、今後とも除草剤の適用範囲を拡大していくと同時に、雑草の生態を解明し、それに基づいて耕種的防除も含めた効果的かつ安定した除草体系を構築していくことは極めて重要であると考えられる。

### 3. ダイズ栽培における耕種的防除技術の開発動向

一方で、ダイズ栽培における耕種的防除技術に関する研究が日本でも次第に目立つようになってきた。しかしながら、これを実際の栽培技術として確立するためには、雑草防除に関する基本的なデータの蓄積が不足している。他方、欧米、特に南北アメリカでは、省除草剤、省力化、除草の安定化などの観点から耕種的防除技術に関する試験研究が以前から数多く行われてきており、それらの知見は日本での技術開発においても参考になる。

省除草剤のために活用しうる個別技術の研究は、ダイズの狭畦・密植栽培、リビングマルチなど被覆作物の利用、除草剤の帯状処理など除草剤の利用に関する技術、施肥関連技術など幅広い。そこで、以下に、これらのうち、不耕起栽培での活用が期待できるとともに、本研究の場となった東北地域での研究実績もある被覆作物の利用と狭畦・密植栽培に絞って、南北アメリカを中心とした海外での試験結果も含めてとりまとめる。

#### 1) 狭畦・密植栽培

ダイズは「草抑え」などとも言われるように、本

来、自らの被蔭によって雑草の生育を抑制する能力が高い作物である(野口・森田 1997)。しかし、これは被蔭が完成した後のことで、播種から草冠が閉じるまでにはかなりの時間がかかり、それまでは決して被蔭程度が強いわけではない。そこで、被蔭をできるだけ早く完成させる手段として、狭畦や密植栽培が検討されてきている。両者は本来異なる概念であり、その効果も異なるものだが、圃場試験の場面では必ずしも明確に区分されてきていないので、ここではまとめて議論することとした。

南北アメリカで最近行われた狭畦・密植栽培に関する試験例を調べてみると、畦幅は20 cm以下、播種密度は5000個体  $a^{-1}$ 程度が標準的である(Mulugeta and Boerboom 2000, Swanton *et al.* 1998, Egli and Bruening 2000, Knezevic *et al.* 2003, Andrade *et al.* 2002, Pedersen and Lauer 2003, Dirks *et al.* 2000, Holshouser and Whittaker 2002, Pricelli *et al.* 2002)。一方、日本でも近年試験が行われるようになってきているが、畦幅は30 cm程度、播種密度は3000～4000個体  $a^{-1}$ 程度と狭畦・密植の程度は高くない(野口ら 1993, 山下 2002, 中山ら 2001, 大段ら 2003)。こうした試験が行われるようになった背景には、最近の新品種には耐倒伏性が高く、主茎型の生育を示すなど、概して密植耐性の高いものが多いことがあげられる。一方で、近年は売れないダイズを作っても仕方がないという考え方が浸透してきており、加工適性や、リポキシゲナーゼ欠失ダイズ、高いイソフラボン含量など品質を重視する育種が進んでいる。今後、アメリカ並みの狭畦、密植栽培も試されるべきだと思われるが、そのためには日本の実需者の求める品質を有しながら、密植適性の高い品種が開発されることが前提となる。

狭畦の効果は、草冠が早期に閉じることにある。播種量がある程度以上であれば、播種量が同じであっても、普通畦の半分程度の狭畦にすることで、草冠が閉じる期間が7～10日程度は早期化し(野口ら 1993, 大段ら 2003)、それに応じて必要除草期間も同程度短くなる(中谷・野口 1991, Knezevic *et al.* 2003)。一方、福島県農業試験場が狭畦と栽植密度の効果を実験で調べたところ、狭畦による草冠完成の早期化および抑草効果は大きかったが、栽植密度の効果ははっきりしなかった(未発表)。こうしたことから、栽植密度がある程度高い場合に

は、狭畦と密植の効果を分離すれば、狭畦、すなわち個体の配置の抑草効果がより大きい可能性がある。狭畦栽培は、それに合った品種があれば比較的簡単に採用しうる技術なので、中耕・培土を前提としない不耕起栽培では、他の抑草技術を補完する手段として期待される。

2) 被覆作物の利用

被覆作物はアメリカ合衆国において、土壌浸食防止の観点から20世紀初頭からすでにその利用が認められるが (Hartwig and Ammon 2002), 雑草防除の観点からの本格的な研究は1950年代初頭に始まった (Shear 1985)。これらの研究の多くは、当時、発明まもない茎葉処理型除草剤によって休閑期に栽培したクローバーなどのカバークロップを枯殺した後に、麦類やダイズ、トウモロコシを栽培するというものであり (Barrons and Fitzgerald 1952), 除草剤の使用を前提とする技術であった。アメリカ合衆国では現在でもある時点で被覆作物を除草剤で枯殺、あるいは生育を抑制する体系が多い。

被覆作物の利用技術は、図1に示すように主作物と被覆作物の栽培時期の相対的な関係から大きく二つに分類される (Teasdale 1998, Hartwig and Ammon 2002)。一つはリビングマルチ、すなわち主作物と被覆作物が同時に生育することで被蔭を強化することにより主として雑草の生育を抑制し、場合によっては出芽も抑制しようとするものである。被覆作物との同時播種はその典型である。もう一つは冬作カバークロップとしての利用、すなわち休閑期、通常は冬作としてカバークロップを導入し、主作物の栽培時にはその残さで土壌表面をマルチして、雑草の出芽と初期生育を抑えるもので、技術の性格上、不耕起栽培で利用される。これらについて、以下に概説する。

(1) リビングマルチ

リビングマルチを利用した最も古典的な栽培体系は、トウモロコシとクローバーの組み合わせで (Hartwig and Ammon 2002), これまで欧米で数多くの試験が行われてきた。日本でも、東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) でトウモロコシにホワイトクローバをリビングマルチとして利用する研究が行われ、その有用性が実証されている (三浦ら 2002)。ダイズ栽培におけるリビングマルチの利用例は多くないが、東北地方に限っては、ほとんどの全県の農業試験場と東北農業研究センターで、ダイズ栽培にリビングマルチの試験が行われている。その先駆けは、秋田県農業試験場によって開発されたダイズとオオムギを散播した後、浅耕する技術である (井上ら 2000)。リビングマルチとして利用されているのは通常オオムギまたはコムギであるが、品種は地域によって異なっている。麦類およびダイズの播種方法は散播、条播かそれらの組み合わせによる。リビングマルチ栽培におけるダイズの収量は麦類との競争により若干減収するという報告が多いが、ダイズを狭畦にすることで減収を補い、慣行栽培よりも高い収量を確保することができたとする報告もある (福島県未発表)。

(2) カバークロップ

主作物の休閑期に被覆作物を栽培し、後作でその残さをマルチとして利用するカバークロップは、被覆作物の利用形態としては古典的な方法であり (Shear 1985), 様々な体系で、雑草防除のみならず土壌浸食防止、地力の維持向上など様々な観点から研究されてきた。雑草防除については、カバークロップの主要な効果は残さマルチによる土壌表面の被蔭による雑草の個体密度の低減にあるとされる。すなわち、残さ量が増えるほど被蔭は強くなり

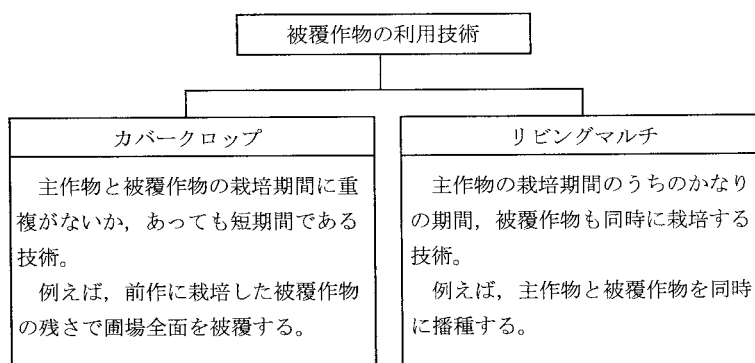


図1 栽培期間の主作物との相対的な関係にもとづく被覆作物の利用技術の分類



(Facelli and Pickett 1991, Teasdale and Mohler 1993), その結果, 雑草の個体密度も低くなる (Teasdale 1998)。Mohler and Teasdale (1993) によれば, 乾物重で  $1000 \text{ g m}^{-2}$  程度の残さが確保されると, 多くの雑草種の出芽はほぼ完全に抑制される。ダイズ栽培では日本でもヘアリベッチ (佐合ら 1999) やライムギ (小笠原ら 1999) がカバークロープとして試されている。また, カバークロープとしての利用ではないが, 以前から麦作の後には雑草が少ないということが言われており, 子実をコンバインで収穫した後の麦稈だけであっても, 被覆をていねいに行えば, 次作のダイズ栽培でかなりの防除効果があったとする報告もある (伊藤ら 1989)。なお, コムギ, ライムギなどカバークロープとして利用される作物のなかにはその残さから放出される物質, すなわちアレロパシーによって夏雑草を抑制する効果を有するものがあることも知られている (伊藤 1993)。

本研究では, 雑草学分野および雑草防除の基礎として, 日本では未解明である不耕起ダイズ栽培における雑草の生態学的知見を得ることを第一の目的とした。すなわち, 第II章においてまず, 調査を正確かつ効率的に実施するため, 本研究を通じて雑草量の指標として使用した乗算優占度 (MDR; Multiplied Dominance Ratio) の妥当性を検証した。ついで, 第III章では, 雑草植生を全体として植物群集ととらえ, 不耕起畑と耕起畑とを比較することにより, 不耕起畑雑草植生の特徴を明らかにした。ここでは, 不耕起栽培で防除の第一のターゲットは一年生の夏雑草であり, 特にイネ科雑草が重要であることを明らかにするが, それを受けて, 第IV章においてその種レベルでの生態的特性, とくにシードバンクと出芽に関する特性を解明した。以上の研究で得られた知見をもとに, 第V章以降で, 耕種防除手法について検討を行い, 栽培レベルでの適用を試みた。第V章では, ダイズの不耕起栽培における植生と主要一年生夏雑草の出芽との関連を解析した。すなわち, ダイズの不耕起栽培での一年生夏雑草, 特にイネ科雑草の優占が出芽数の増加と関連があることを明らかにするとともに, その抑制による効率的な防除の可能性を示し, カバークロープを活用した耕種防除技術の開発の端緒とした。さらに, 第VI章ではカバークロープに狭畦な

どの技術を組み合わせ, 雑草防除技術体系としての有効性を検証した。なお, 本研究におけるダイズの栽培試験では, 当初, 本研究の場となった福島県の奨励品種で, 現在最も作付面積の大きいスズタカを用いたが, 2002年にふくいぶきが奨励品種として採用されてからは, ふくいぶきを用いることとした。

なお, 本論文の第I章は小林 (2004a, b) に加筆の上, 再整理したものであり, 第II章は小林, 渡邊 (2000), 第III章は Kobayashi *et al.* (2003), 第IV-1章は小林ら (2002b), 第IV-2章は主として Kobayashi and Oyanagi (2005), 第V-1章は Kobayashi *et al.* (2004), 第V-2章は小林ら (2004a), 第VI章は小林, 小柳 (2005) にそれぞれ発表したものである。

本研究は農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室において行ったものであるが, 京都大学において研究の指導を受けたメヒシバの生態研究がその基礎となった。これらの研究の遂行と本稿のとりまとめにあたっては, 一貫して京都大学大学院農学研究科雑草学研究室の伊藤操子教授に懇切なご指導, ご助言を賜った。また, 東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室の小柳敦史室長には, 本研究の遂行にあたって貴重なご助言をいただくとともに, 本稿について懇切なご校閲を賜った。同研究室の渡邊好昭前室長には環境保全型農業の基礎技術として本研究を実施する端緒を与えられた。

次に記す各先生ならびに学兄からは, 研究の各段階において, 貴重なご助言をいただいた。京都大学大学院農学研究科雑草学研究室の草薙得一教授 (当時, 故人), 山末祐二助教授 (当時), 小林央往助手 (当時, 故人), 三浦励一講師, 農林水産省農林水産技術会議事務局振興課の岩元明久課長補佐 (当時), 東北農業研究センター畑地利用部の新田恒雄部長, 山田一郎部長 (当時), 飯塚隆治部長 (当時), 中村好男上席研究官 (当時), 中央農業総合研究センター耕地環境部の野口勝可部長 (当時), 高柳繁上席研究官 (当時), 東北農業研究センター畑地利用部作付体系研究室の長谷川浩主任研究官, 三浦重典主任研究官 (当時), 中央農業研究センター畑雑草研究室の與語靖洋室長 (当時), 渋谷知子主任研究官, 浅井元朗主任研究官 (当時), 東北農業研究センター企画調整部の伊藤一幸研究調整官 (当時), 同セ

ンター総合研究部総合研究第1チームの渡邊寛明チーム長、同センター水田利用部雑草制御研究室の中山壮一室長、九州沖繩農業研究センター水田作研究部雑草制御研究室の住吉正室長、京都大学農学部付属亜熱帯植物実験所の山河重弥講師（当時）、東北大学大学院農学研究科の吉岡俊人助手。

また、次に記す各先生からは、筆者の研究に対して格段のご配慮を賜った。農林水産省農林水産大臣官房の鈴木信毅技術総括審議官（当時）、大森昭彦技術総括審議官（当時）、農林水産技術会議事務局振興課民間研究推進室の桑名清文室長（当時）、同課の小林慎一課長補佐（当時）、農林水産省構造改善局の岡本芳郎次長（当時）、社団法人日本農業集落排水協会の谷山重孝理事長（当時）、菊岡保人専務理事（当時）、同協会農村水質工学研究所の小松康人次長（当時）、國弘実部長（当時）。

さらに、実験の実施および本論文の取りまとめに際しては、東北農業研究センター畑地利用部業務科の伊東健二氏、藤澤敏彦氏（故人）、宍戸力雄氏、菅正氏、吉田聖徳氏、櫻井貴雄氏、小笠原篤氏、井沢憲行氏、菅野光子氏、齊藤美菜氏、内田智子氏に多大なご協力をいただいた。

以上、記して深謝の意を表します。

### 不耕起畑における雑草量の推定

農耕地の雑草生態または雑草防除に関する試験研究においては、圃場に存在する雑草量の把握が不可欠である。雑草量の指標としては地上部乾物重が広く用いられているが、これは非破壊では測定できず、特に種ごとに測定する場合には多大な労力を要する。一方、植物群落の構成種の優占度を示す指数として、被度（単一の植物種が占有する単位面積当たりの面積）や常在度（植物種の出現頻度）、草高等をさまざまに組み合わせた相対優占度が用いられてきた。これらは非破壊かつ短時間で測定することが可能であり、圃場における雑草量を推定する指標として利用可能であれば、極めて有用と考えられる。

現在、植生の解析には優占度の指標として被度が用いられることが多く、また日本では被度や草高の相対値の単純平均値である積算優占度（SDR; Summed Dominance Ratio）も広く用いられている（沼田・依田 1957）。また、山本ら（1995）は積算優占度を改良し、調査時期や地点間での比較も可能な拡張積算優占度（E-SDR; Extended Summed

Dominance Ratio）を提案した。一方、乗算優占度（MDR; Multiplied Dominance Ratio）は種ごとに被度と草高を乗じることにより算出される指数で、これまでに雑草生態研究者が雑草の優占度指数としてしばしば使用してきている（根本・神田 1976）。定ら（1999）によれば、耕起畑の雑草植生において、乗算優占度は積算優占度などよりも雑草の乾物重と高い相関があった。このことを踏まえて、三浦（1999）は、トウジンビエ畑に生育する雑草の乾物重の推定値として活用している。

本研究では、被度と草高から算出した優占度指数が、不耕起畑および耕起畑の両方で年間を通じて出現する雑草植生を対象とした場合に、雑草の地上部乾物重の推定値として利用可能かどうかを検証するとともに、それをを用いて、畑雑草の地上部乾物重の季節消長の推定を試みた。

#### 1. 材料および方法

東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の腐植質黒ボク土および淡色黒ボク土の畑に、不耕起で夏作期間、刈り取り除草を頻繁に7回行う区（NF）、刈り取り除草を4回行う区（NR）および耕起を行う区（T）をそれぞれ設け、1998年6月から2000年5月まで処理を継続した。刈り取りは地際で行い、刈り取った茎葉はその場に放置した。NF区およびNR区の刈り取りは毎年それぞれ5月、6月、7月、8月、9月、10月、11月および5月、7月、9月、11月に行い、T区では5月、6月、7月、9月、10月、11月に1回ずつ、計6回行った。ただし、初年目の1998年については5月に全区を耕起し、各区の処理および調査は6月から開始した。1区画の面積は16 m<sup>2</sup>（4 m × 4 m）で、土壌タイプごとに4反復を設けた。被度および草高の調査は1か月に1回、処理を行う月についてはその直前に、各区に2枠ずつ設けた1 m × 1 m の方形枠について行った。被度等の調査の後、処理直前に上述した2つの方形枠の中央付近にそれぞれ1つずつ設けた0.5 m × 0.5 m の方形枠内の雑草の地上部を刈り取り、105℃で48時間以上乾燥させ、その重さを測定した。ただし、処理を行わない月にはこの調査は行わなかった。出現した全種について被度および草高それぞれの最大値を100とした相対値を加えて2で除することにより拡張積算優占度（E-SDR）を、被度および草高をそれぞれ乗じることにより乗算優占度（MDR）を算出した。

表2 処理, 土壌タイプおよび調査時期ごとの雑草全種の被度(C), 拡張積算優占度(E-SDR)および乗算優占度(MDR)の合計値と雑草地上部乾物重の合計値との単相関係数

処理などの区分		広葉雑草			イネ科雑草			合計		
		C	E-SDR	MDR	C	E-SDR	MDR	C	E-SDR	MDR
処理	不耕起除草7回(NF)	0.55**	0.69***	0.86***	0.89***	0.89***	0.88***	0.70***	0.63***	0.83***
	不耕起除草4回(NR)	0.33	0.62**	0.81***	0.88***	0.85***	0.96***	0.43	0.62***	0.78***
	耕起(T)	0.73***	0.62**	0.78***	0.86***	0.95***	0.92***	0.75***	0.74***	0.88***
土壌	腐植質黒ボク土	0.52**	0.76***	0.84***	0.80***	0.82***	0.89***	0.69***	0.78***	0.86***
	淡色黒ボク土	0.80***	0.90***	0.95***	0.78***	0.89***	0.91***	0.73***	0.79***	0.86***
調査時期	1999年7月	0.89*	0.98***	1.00***	0.97***	0.96***	0.99***	0.90***	0.97***	0.99***
	1999年9月	0.01	0.26	0.30	0.88*	0.35	0.92**	0.65	0.40	0.82*
	1999年11月	0.92**	0.96***	0.99***	0.50	0.84*	0.93**	0.91**	0.95**	0.99**
全体		0.60***	0.71***	0.85***	0.79***	0.85***	0.90***	0.69***	0.74***	0.86***

注. 処理, 土壌タイプおよび調査時期ごとの4反復の平均値を相関分析の対象とした。

\*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

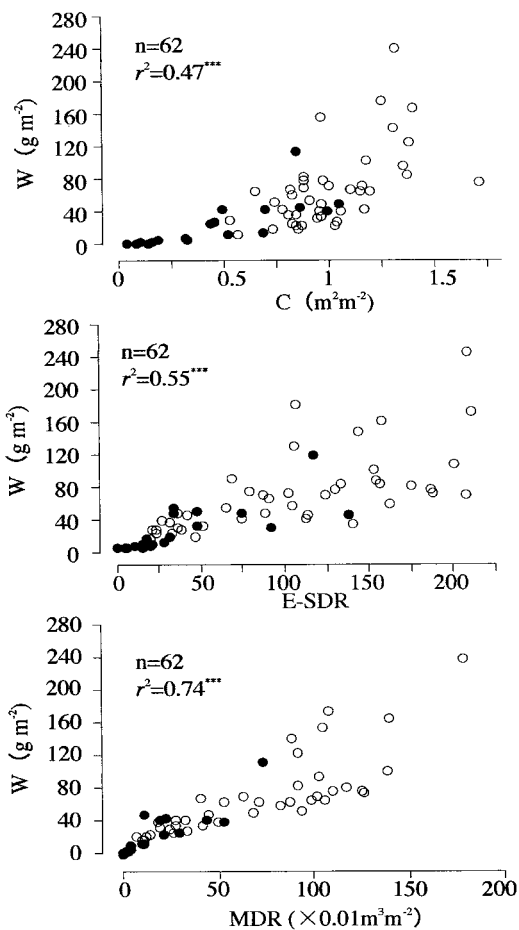


図2 雑草全種の被度(C), 拡張積算優占度(E-SDR)および乗算優占度(MDR)と雑草地上部乾物重(W)との関係

各プロットは土壌タイプ, 処理, 調査時期ごとの4反復の平均値で, ○および●はそれぞれ不耕起区(NF区, NR区)および耕起区(T区)を示す。

\*\*\*は, 0.1%水準で有意であることを示す。

算出方法は次式の通りである。

$$E-SDR = (C+H)/2$$

ここで,

C': 全調査期間, 全処理区を通じて被度合計が最大の種の値を100としたときの比数。

H': 全調査期間, 全処理区を通じての草高合計が最大の種の値を100としたときの比数。

また,

$$MDR (m^3 m^{-2}) = \text{被度} (m^2 m^{-2}) \times \text{草高} (m).$$

## 2. 結果

出現種数はNF区, NR区, T区でそれぞれ18科61種, 20科56種, 16科52種, 全体では20科70種であった。図2に, 出現雑草種の合計値について地上部乾物重と被度, 拡張積算優占度および乗算優占度との関係を示した。それぞれのプロットは土壌タイプ, 処理, 処理時期ごとの4反復の平均値である。いずれも1%水準で正の相関が認められたが, 乗算優占度と乾物重の関係が直線的で, 最も相関が高かった。なお, 被度と乾物重の関係は直線的ではない可能性が認められた。表2に, これらの指標と乾物重との単相関係数を処理区, 土壌タイプおよび調査時期ごとに示した。ほとんどすべての区分で, 乗算優占度は乾物重と安定して高い相関を示した。次に全出現種の合計値について乗算優占度を独立変数, 乾物重を従属変数として直線回帰を行い, 次式を得た。

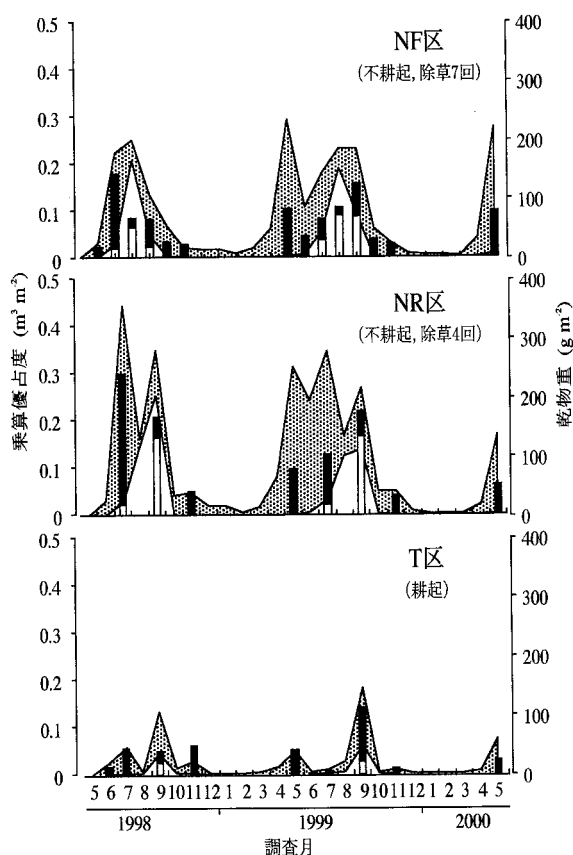


図3 腐植質黒ボク土の圃場における広葉雑草およびイネ科雑草の乗算優占度と地上部乾物重の推移

面グラフは雑草の乗算優占度で、およびはそれぞれ広葉雑草およびイネ科雑草を示す。棒グラフは地上部乾燥重で、およびはそれぞれ広葉雑草およびイネ科雑草を示す。

耕起畑 (T区) について、

$$y=1.84+0.596x \quad n=18 \quad r^2=0.772$$

不耕起畑 (NF区, NR区) について、

$$y=3.65+0.447x \quad n=44 \quad r^2=0.691$$

ここで、y : 地上部の乾物重 (g m<sup>2</sup>), x : 乗算優占度 (× 0.01 m<sup>3</sup> m<sup>2</sup>)。

上の2式の回帰係数には5%水準で有意差が認められなかった。すなわち、両区の傾向は同一と見なすことができる。そこで全ての区のデータをプールして、次式を得た。変数の意味は上の2式と同様である。

$$y=3.57+0.453x \quad n=62 \quad r^2=0.741$$

図3に腐植質黒ボク土における乗算優占度および乾物重の推移を広葉雑草およびイネ科雑草に区分して示した。すべての区で乗算優占度と乾物重の推移はよく一致した。淡色黒ボク土においては優占度は腐植質黒ボク土に比較して低い傾向が認められた

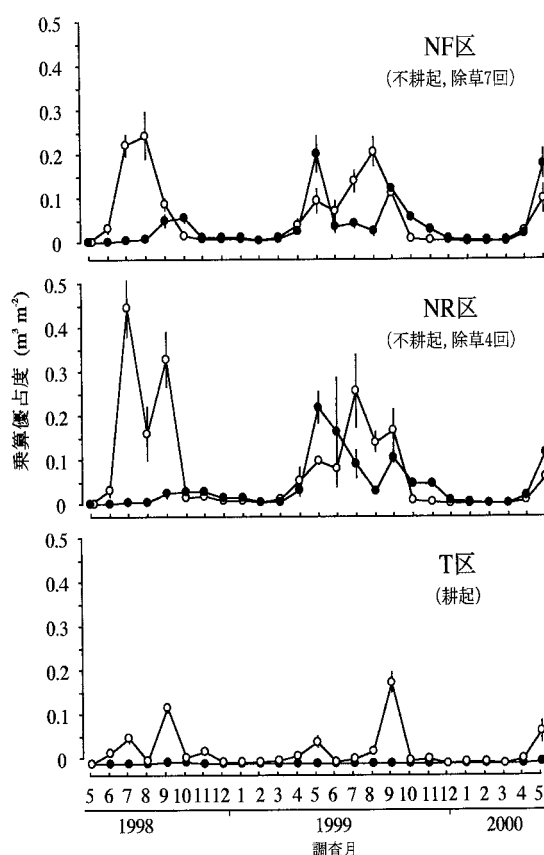


図4 腐植質黒ボク土の圃場における多年生雑草と一、二年生雑草の乗算優占度の推移

●および○はそれぞれ多年生雑草および一、二年生雑草。誤差線は標準誤差を示す (N = 4)

が、推移パターンは腐植質黒ボク土と同様であった (図省略)。どちらの土壌タイプでもNF区, NR区はT区に比較して乗算優占度は高く推移したが、すべての区で、冬の乗算優占度は夏季に比較して著しく低かった。すべての区で、広葉雑草の乗算優占度が相対的に高い期間が長かったが、初夏から秋にかけてはイネ科雑草の優占度が高くなった。イネ科雑草のほとんどはメヒシバであった。NF区, NR区では2年目の春期に広葉雑草の乗算優占度が高くなった。乗算優占度が特に高かったのはハルジオンであった。図4は、腐植質黒ボク土における乗算優占度の推移を雑草の生活環ごとに整理したものである。淡色黒ボク土の圃場における乗算優占度の推移パターンは腐植質黒ボク土の圃場と同様であった (図省略)。全ての処理区において1年目の秋期までは乗算優占度のほとんどを一年生雑草が占め、

NF区、NR区では秋以降、多年生雑草の乗算優占度が次第に高まり、特に2年目以降の春期にはその優占が著しかった。しかし、夏季には初年目と同じく一年生夏雑草が優占し、その多くはメヒシバであった。一方、T区では全期間を通じてほとんどが一年生雑草であった。

### 3. 考 察

乗算優占度は耕起畑の雑草植生について乾物重との相関が高いことがすでに示されているが(定ら1999)、本研究から、このことは不耕起畑、耕起畑の両方の雑草植生について、年間を通じてあてはまることが明らかになった。また、乗算優占度の季節消長を雑草の分類群ごとおよび生活環ごとに分析することで、不耕起畑と耕起畑における雑草量の季節消長の特徴をよくとらえることが可能であった。すなわち、不耕起で、しばしば刈り取り除草を行うような栽培方法をとった場合、除草剤を用いなければ雑草量は次のように推移することが示唆された。すなわち、全体として不耕起栽培の雑草量は慣行栽培よりも多い。また、不耕起栽培では、慣行栽培からの移行初年目の冬作から多年生雑草が次第に増加し、それは春期に特に多くなる。さらに、不耕起栽培では、夏作期間はメヒシバをはじめとする一年生夏雑草が優占する。

乗算優占度(MDR)は雑草の単位面積あたりの占有面積( $m^2 m^2$ )に草高(m)を乗じた指数であり、ディメンジョンを整理すれば、 $m^3 m^2$ となっており、単位面積あたりの占有体積を意味するといえる。このため、雑草の比重を $d (g m^{-3})$ とすれば、雑草の単位面積あたりの乾物重(W)は次式で推定できる。

$$W (g m^2) = d (g m^{-3}) \times MDR (m^3 m^2)$$

すなわち、 $d$ が一定であれば、乗算優占度は単位面積あたりの乾物重に比例する。耕起畑と不耕起畑に共通して、乾物重と乗算優占度の関係が直線的で相関が高かったのは、こうした乗算優占度の定義によると考えられる。一方、被度( $m^2 m^2$ )単独では乗算優占度( $m^3 m^2$ )とディメンジョンが合わないため、両者の関係が直線的でないのは当然である。また、積算優占度は、本来異なる単位ではかられる測度の相対値の平均値であり、やはり関係の直線性は得にくいと考えられる。実際、本研究においても、不耕起畑で雑草量が多い場合には特に直線性の乱れが問題となり、分散も大きくなることが明らかになった。積算優占度は被度や草高の他、常在度などさ

まざまな測度を加味することによって、単に方形枠内に現れた現存量だけではない「総合的な優占度」を表すことができるため(沼田・依田 1957)、調査の目的によってはその使用が望ましい場合があると考えられる。しかし、地上部の乾物重にかわる現存量の代表値としては、乗算優占度が実際のデータから、さらに理論的にも最も正確であることは明らかである。

また、本研究では、耕起畑と不耕起畑で、乗算優占度を独立変数、地上部乾物重を従属変数とする一次回帰式に違いが認められなかったことから、両圃場を一括して議論する場合にも乗算優占度を用いることが可能と判断された。以上から、本研究においては、以後、雑草の現存量は不耕起畑と耕起畑に共通する指標として、乗算優占度で代表させることとした。なお、本研究で乗算優占度から地上部乾物重を推定する場合には、耕起畑と不耕起畑のデータをプールして得た次の回帰式を用いることとした。

$$y = 3.57 + 0.453x$$

ここで、 $y$ ：地上部の乾物重( $g m^2$ )、 $x$ ：乗算優占度( $\times 0.01 m^3 m^2$ )。

### 4. 摘 要

不耕起畑において、雑草の現存量の推定を非破壊で、正確かつ効率的に行うのに適切な優占度を明らかにするため、3つの優占度指数(被度、乗算優占度、拡張積算優占度)と雑草の地上部乾物重との関係を調べた。

その結果、不耕起畑、耕起畑のいずれでも、土壌タイプや調査時期にかかわらず、乗算優占度と地上部乾物重との間には直線的な関係が認められ相関が高かった。

耕起畑と不耕起畑で、乗算優占度と地上部の乾燥重についての回帰係数には違いが認められなかった。したがって、乗算優占度は不耕起畑、耕起畑のいずれの雑草植生についても、雑草現存量の推定値として地上部の乾物重にかえて使用しうると考えられた。

算出された乗算優占度から、不耕起で、しばしば刈り取り除草を行うような栽培方法をとった場合、除草剤を用いなければ雑草現存量は慣行栽培よりも増加すること、慣行栽培からの移行初年目の冬作から多年生雑草が次第に増加し、それは春期に特に多くなること、夏作期間にはメヒシバをはじめとする一年生夏雑草が優占を続けることが示唆された。

## 不耕起畑における雑草植生の特徴

雑草の効率的な防除のためには、防除すべき雑草種を明らかにし、その生態を解明することが必要だが、防除すべき雑草種は多くの場合一種だけではなく、複数の種が同時に防除対象になるのが一般的である。したがって、防除対象は特定の「種」ではなく、植生、すなわち種の集合としてとらえるのが現実的である。また、防除対象がどのような生態的特性を有する雑草であるかを概括的にとらえるためにも、植生全体を把握することが必要である。

本章では、日本における不耕起畑の雑草植生の特徴を明らかにすることを目的として、福島市において雑草の植生調査を実施した。第一に、10年以上同じ栽培管理方法が継続された不耕起畑および耕起畑において、2年間にわたって毎月植生調査を行った。第二に、不耕起畑を含む複数の畑において雑草植生を調査し、その構造を分析した。解析に用いる優占度指数には、第Ⅱ章の試験結果に基づき乗算優占度を用いた。

近年、草地や森林を対象とした研究に続いて、畑地の雑草植生についても座標付け (Dale *et al.* 1992, Derksen *et al.* 1993, 1995) や分類 (Post 1988) などの多変量解析が試みられるようになってきた。座標付けは、種組成やそれぞれの種の優占度から構成される多次元データを要約し、時間的または空間的に連続した変化を視覚的に示すのに有用な手法である。分類手法も、同様に多次元データを要約するものだが、不連続な植生を不連続点で分割することで、グループ分けするのに用いられる。主成分分析や交互平均法は、植生データそれ自体に基づく座標付け手法としてよく知られているが、これらは、調査地点間の距離を正確に表現することができないという大きな欠点をもつ。これに対して、Hill and Gauch (1980) が開発した除歪対応分析 (DCA ; Detrended Correspondence Analysis) はこうした欠点を是正するため、交互平均法を改良したもので、現在、標準的な植生の座標付け手法のひとつとなっている (Gauch 1982)。この手法の名称は、交互平均法から傾向を除いた手法であることを示唆するものである。交互平均法では第2軸以上の高次の軸において、アーチ効果といわれる分布の歪みが現れる。これは、高次の軸は低次の軸と相関しない、すなわち直交するということが規制条件となるため

ある。除歪対応分析においては、第2軸以上の軸における直交という規制は、歪みの除去によって用意されるより強い基準で代替される。除歪対応分析における歪みの除去は、交互平均法による第1軸を多くのセグメントに分割し、それぞれのセグメントにおいて、第2軸の平均得点をゼロに調整することにより行われる (Gauch 1982)。本研究では、この除歪対応分析を雑草植生の季節変化を分析するために用いた。

TWINSpan (二元指標種分析 ; Hill 1979) は、ブラウン-ブランケ法 (Braun-Blanquet 1964) に類似した分類手法である。すなわち、いずれも指標種に着目して調査地点と種を同時に分類し、再配列表を得る。両者の決定的な相違の一つとして、TWINSpan が雑草の在・不在だけでなく優占度も考慮するという点が上げられる。雑草植生の分析にあたっては、作物生産に対する雑草の影響を常に配慮する必要があるが、影響の程度は、当然のことながら雑草の優占度と関係がある。その点で、TWINSpan は雑草植生の分類により適した手法であると考えられる。このため、本研究では、この TWINSpan を不耕起および耕起畑における雑草植生の分類に用いた。

### 1. 材料および方法

#### 1) 調査地点

表3に調査地点の概要を示した。調査地点は、耕起畑が10地点 (TG01 ~ TR10)、耕起から不耕起へ移行した畑が4地点 (TN01 ~ TN04)、不耕起畑が12地点 (NG01 ~ NF12) である。全ての調査地点は東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の試験圃場である。この試験圃場は、蔬菜畑や採草地として利用されていた場所を1984年に階段状に均平化して造成された。

これらの調査地点のうち、NG01とTG01はそれぞれ不耕起畑、耕起畑で、いずれも調査時点まで10年間同じ作付体系 (オオムギ・ダイズ) および同じ栽培方法が続けられていた。この2つの畑ではダイズ、オオムギとも同じロットの種子が毎年それぞれ6月および10月の同じ日に播種されてきた。

NH01 (不耕起畑) では、播種時に播種溝が切られたほかは、土壌は一切攪乱されていない。また、除草は機械除草または手取り除草により行われた。TG01 (耕起畑) は作物の播種前にロータリー耕が施され、播種後に土壌処理型の除草剤 (オオムギに

表3 調査圃場の概要

圃場 コード <sup>1)</sup>	(面積)	前作または作付体系 <sup>2)</sup>	2000年夏作					2000-2001年冬作				
			耕耘 <sup>3)</sup>	作目	除草剤 <sup>4)</sup>		調査 <sup>5)</sup>	耕耘 <sup>3)</sup>	作目	除草剤 <sup>4)</sup>		調査 <sup>5)</sup>
					土壌処理	茎葉処理				土壌処理	茎葉処理	
<b>【耕起畑】</b>												
TG01	(6a)	オオムギ-ダイズの1年2作 (12年連続)	+	ダイズ	+	-	*	+	オオムギ	+	-	*
TH02	(3a)	冬作コムギ	+	ヒマワリ	+	-	*	+	コムギ	+	-	*
TF03	(3a)	冬作コムギ	+	休閑	-	-	*	+	ライムギ			
TB04	(4a)	キャベツ単作(3年連続)	+	キャベツ	-	-	*					
TG05	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG06	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG07	(7a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-	*					
TG08	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		+	休閑	+	-	*
TG09	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		+	休閑	+	-	*
TR10	(3a)	ダイコン-オオムギの1年2作 (2年連続)	+	ダイコン	+	-		+	コムギ	+	-	*
<b>【耕起から不耕起に移行した畑】</b>												
TN01	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	休閑	-	-	*
TN02	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	休閑	-	-	*
TN03	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	オオムギ	+	-	*
TN04	(3a)	シロツメクサ(-)	+	ダイズ	+	-		-	オオムギ	-	-	*
<b>【不耕起畑】</b>												
NG01	(6a)	オオムギ(-)-ダイズ(-)の1年 2作(12年連続)	-	ダイズ	-	-	*	-	オオムギ	-	-	*
NZ02	(30a)	緑肥(-)-トウモロコシ(-)の1 年2作(3年連続不耕起)	-	トウモロ コシ	+	-	*	-	クリムゾン クローバー	+	-	*
NF03	(6a)	12年連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	休閑	-	-	*
NF04	(5a)	5年以上連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	コムギ	-	-	*
NF05	(5a)	5年以上連続不耕起	-	休閑	-	-	*	-	コムギ	-	-	*
NF06	(15a)	ヘアリーベッチ(-)	-	休閑	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NG07	(1a)	冬作オオムギ	-	ダイズ	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NG08	(1a)	冬作オオムギ	-	ダイズ	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*
NB09	(1a)	冬作オオムギ	-	キャベツ	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NB10	(1a)	冬作オオムギ	-	キャベツ	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*
NF11	(1a)	冬作オオムギ	-	休閑	-	-	*	-	ライムギ	-	-	*
NF12	(1a)	冬作オオムギ	-	休閑	+	+	*	-	ライムギ	-	-	*

注. 1) 圃場コード: 耕起の有無と2000年夏作の作目の略号の組み合わせにより生成した。略号の意味は次の通りである。  
T: 耕起, N: 不耕起, G: ダイズ, H: ヒマワリ, F: 休閑, B: キャベツ, R: ダイコン, Z: トウモロコシ。

2) (-)は不耕起栽培を示す。

3) +は耕起栽培を, -は不耕起栽培を示す。

4) +は除草剤を散布し, -は除草剤を散布しなかった。

5) \*は調査2を実施した圃場であることを示す。

はペンディメタリン, ダイズにはトリフルラリン)が通常量散布され, ダイズ栽培時にはさらに1回ないし2回の中耕が行われた。

## 2) 雑草植生の季節消長

合計26の調査地点のうち10年間同じ作付体系が続けられたNG01(不耕起畑)とTG01(耕起畑)について, 雑草植生を1998年11月から2000年11月までの2年間, コドラート法(方形の枠を設置し, 枠内の植生を調べる方法)により毎月1回調査した。

作物の条間に合わせて設定した1m×0.3mの方形枠について, 出現全種の被度と草高を調査した。方形枠はそれぞれの畑について54枠設けたが, そのうち27枠は作物の条付近, 27枠は条間に設け, それらの平均値を条付近および条間の値とし, 2つの値の平均値を当該圃場の代表値とした。

## 3) 雑草植生の分類

表3に示したすべての地点について, 2000年の8月または9月上旬および2001年の5月下旬の

2回またはそのどちらか一回、コドラート法により植生調査を行った。これらの2回の調査結果をそれぞれ夏作期および冬作期のデータと考えた。調査内容は方形枠内に出現した全種の被度および草高である。調査時期は後述するように、季節消長の調査結果に基づいて決定した。調査は1地点あたり8枠以上設定した方形枠について実施した。方形枠の大きさは作物の条付近と条間の植生調査の違いによる歪みが生じないように、作物の条方向に1 m、幅は作物の条間と同じまたはその倍数に設定した。例えば、作物の条間が0.65mの場合には1 m × 0.65mに、0.3mの場合には1 m × 0.6mに設定した。ただし、雑草植生に前作の痕跡を残さない休閒畑については、1 m × 1 mに設定した。

4) データの解析

出現全種について、乗算優占度 (MDR) を算出した (第II章参照)。

また、調査1において、次により Shannon の多様度指数 ( $H'$ ; Magurran 1988) を算出した。

$$H' = - \sum_i p_i \ln p_i, \quad p_i = n_i / \sum_i n_i,$$

ここで、 $n_i$  は  $i$  番目の種の乗算優占度である。

植生データについて、乗算優占度、被度および在・不在を指数として多変量解析を実施した。具体的には、第一の調査において、雑草植生の季節変動を解析するために除歪対応分析を、第二の調査において、不耕起および耕起畑の雑草植生を分類するために TWINSpan を実施した。これらの解析はいずれも McCune and Mefford (1999) のコンピュータプログラムにより計算を行った。

2. 結 果

1) 雑草植生の季節消長

10年間同じ作付体系が続けられた2つの地点において雑草植生の季節消長を調べたところ、NG01 (不耕起畑) および TG01 (耕起畑) では2年間にそれぞれ20科40種および18科49種が認められた。NG01 (不耕起畑) ではイネ科多年生雑草 (6種) やナデシコ科 (4種) が、TG01 (耕起畑) ではキク科 (14種) やアブラナ科 (3種)、カヤツリグサ科 (4種) が多く見られた。雑草についての乗算優占度の和 (図5(a)) は、8月から9月の間に増加したが、これは一年生夏雑草の繁茂によるものである。NG01 (不耕起畑) では多年生雑草が年間を通じて存在したため、乗算優占度の和は0になるこ

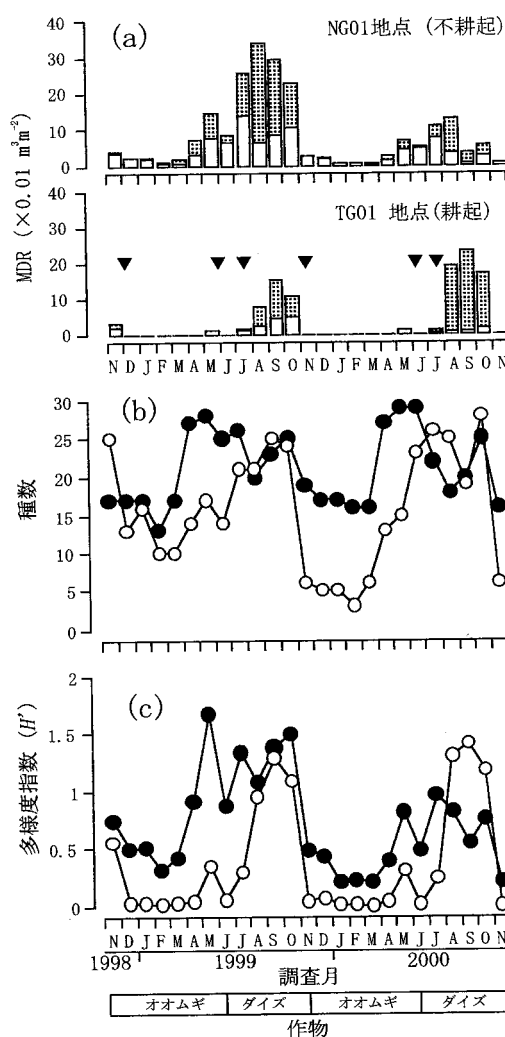


図5 10年間同じ作付体系が続けられた2地点における雑草の乗算優占度 (MDR) の季節消長(a)、出現雑草種数(b)および雑草群集の多様度指数(c)

(a)において、 $\square$ および $\square$ はそれぞれ一年生雑草および多年生雑草を示す。 $\blacktriangledown$ は耕耘時期 (中耕を含む) を示す。

(b)および(c)において、 $\bullet$ および $\circ$ はそれぞれNG01地点 (不耕起) およびTG01地点 (耕起) を示す。

とはなかった。一方、TG01 (耕起畑) では冬季は乗算優占度は0かそれに近い値であった。種数については、TG01 (耕起畑) では夏季、特に9月頃に最大となり、冬季には著しく減少した (図5(b))。観察された種数は、NG01 (不耕起畑) では、オオムギ収穫直前の5月頃および9月から10月に2回のピークが認められたが、年間を通じての変動はTG01 (耕起畑) よりも小さかった。Shannonの多様度指数は、年間を通じてNG01 (不耕起畑) で若干高く推移している傾向が認められた (図5(c))。



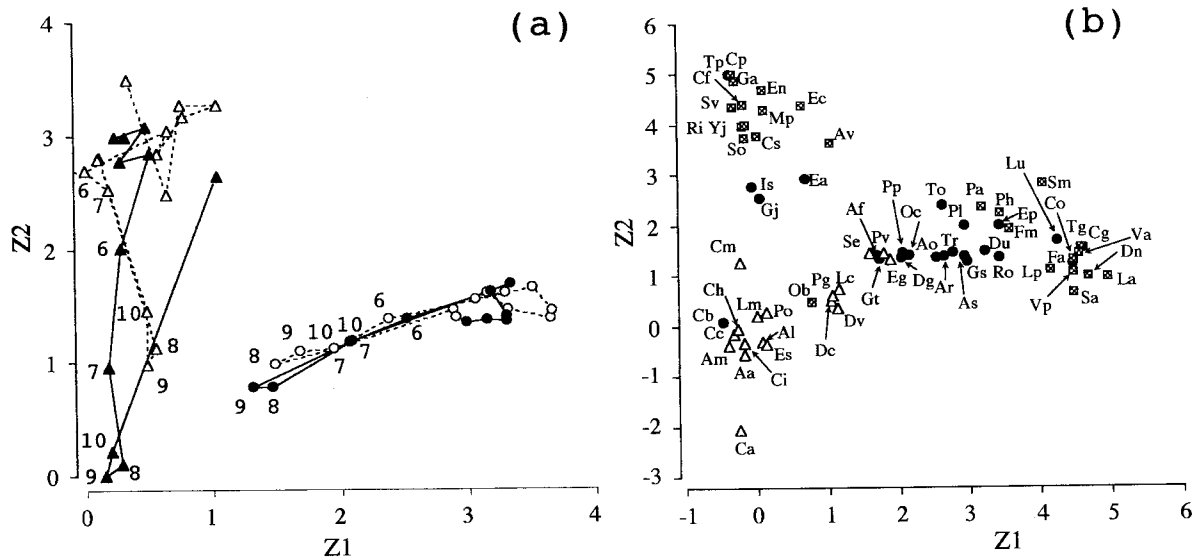


図6 除歪対応分析 (DCA) による調査地点(a)および雑草種(b)の座標付け

(a) ○および●はNG01地点(不耕起)における1999年および2000年のデータを, △および▲はTG01地点(耕起)における1999年および2000年のデータを示す。1999年の調査は1998年11月~12月, 2000年の調査は2000年1月~11月に実施した。図中の数字は, 調査月(夏作期間のみ表示)を示す。  
 (b) ●, ■および△はそれぞれ多年生雑草, 冬生一年生雑草+二年生雑草および夏生一年生雑草を示す。種の略号: Aa=エノキグサ, Af=ヒナタイノコヅチ, Al=イヌビユ, Am=ブタクサ, Ao=ハルガヤ, Ap=ヨモギ, Ar=アオカモジグサ, As=Agrostis sp., Av=カラスムギ, Ca=チャガヤツリ, Cb=ヒメクグ, Ci=カヤツリグサ, Cc=ツククサ, Cf=タネツケバナ, Cg=オランダミミナグサ, Co=ミミナグサ, Ch=シロザ, Cm=トキンソウ, Cp=ナズナ, Cs=オオアレチノギク, Dc=メヒシバ, Dv=アキメヒシバ, Dg=カモガヤ, Dn=イヌナズナ, Du=ヘビイチゴ, Ea=スギナ, Ec=ヒメムカシヨモギ, En=ヒメジョオン, Ep=ハルジオン, Eg=イヌビエ, Es=コニシキソウ, Fa=オニウシノケグサ, Fm=ナギナタガヤ, Ga=チチコグサ, Gj=ハハコグサ, Gs=ヤエムグラ, Gt=ゲンノショウコ, Is=イワニガナ, La=ホトケノザ, Lp=ヒメオドリコソウ, Lc=アゼガヤ, Lm=ヒンジガヤツリ, Lu=スズメノヤリ, Mp=トキワハゼ, Ob=メマツヨイグサ, Oc=カタバミ, Pa=スズメノカタビラ, Pp=ナガハグサ, Pg=イヌタデ, Pv=ハルタデ, Ph=ヒメミカンソウ, Pl=オオバコ, Po=スベリヒユ, Ri=スカシタゴボウ, Ro=エゾノギシギシ, Sa=ウシハコベ, Sm=コハコベ, Se=アキノエノコログサ+キンエノコロ, So=オニノゲシ, Sv=ノボロギク, Tg=キュウリグサ, To=セイヨウタンポポ, Tp=アカツメクサ, Tr=シロツメクサ, Va=タチイヌノフグリ, Vp=オオイヌノフグリ, Yj=オニタビラコ。

図6は, 乗算優占度に基づく除歪対応分析による調査地点(a)および種(b)の座標付けの結果である。これらの2つの圃場における雑草植生の季節消長は明確に異なった。第一軸については, 多くの多年生雑草のスコアは中庸またはやや高く, 多くの一年生または二年生の雑草のスコアは小さかったが, 冬雑草の一部は多年生雑草よりも高いスコアを示した。また, 第二軸については, 冬雑草のスコアは大きく, 夏雑草のスコアは小さかった。この除歪対応分析による座標付けの結果は, TG01(耕起畑)では季節的に夏雑草と冬雑草の入れ替わりが明瞭である一方, こうした季節変動はNG01(不耕起畑)では相対的に不明瞭であると解釈される。これは, NG01(不耕起畑)では多くの多年生雑草が年間を通じて認められたことによる。しかしながら, 夏季はメヒシバなどの一年生夏雑草が両方の圃場で優占したた

め, 両圃場のプロットは互いに近くに位置づけられた。さらに, *Veronica* spp. (オオイヌノフグリ, タチイヌノフグリ), *Lamium* spp. (ヒメオドリコソウ, ホトケノザ), オランダミミナグサ, イヌナズナなどの一年生または二年生の冬雑草は第一軸について多年生雑草よりも大きなスコアを示した。これは, これらの種が, その生活環にかかわらず, 耕起畑よりも不耕起畑に特徴的に多く見られる種であることを示唆する結果であると考えられる。

夏作期の雑草の乗算優占度の和は, いずれの圃場においてもダイズの条間よりも条付近で大きかった。これは, 条間で雑草管理がより効果的に行われたためである。しかし, 条付近および条間の雑草植生は, 除歪対応分析による座標付けにおいて, 相互に極めて近く位置づけられ(データ略), 種組成において, 両者には差異が認められなかった。この結

果は、雑草量の多寡にかかわらず、種組成に関しては、条付近と条間を必ずしも別個に調査する必要はないことを示すものである。

植生構造が典型的であることや乗算優占度の和が大きくなることから、植生調査をそれぞれ1回だけ行う場合には、夏作期としては8月から9月、冬作期としては5月前後が調査時期としては適切であると考えられた。さらに、これらの時期は作物の生育にとっても重要な時期にあたることから、得られたデータは作物に対する最終的な雑草害と密接な関係があると思われる。

## 2) 雑草植生の分類

合計26地点の調査の結果、夏季および春季の調査でそれぞれ21科61種、15科56種が確認された。生活環の内訳は、夏および春がそれぞれ一年生雑草40種、多年生雑草21種および一年生雑草36種、多年生雑草20種であった。在・不在に基づくTWINSPANの分類結果は解釈が困難であった。乗算優占度および被度に基づく分類の結果は類似していたが、乗算優占度によるものの方がより明確に分類され、結果の解釈も比較的容易であった。表4および表5は乗算優占度に基づくそれぞれ夏季(夏作期)および春季(冬作期)の植生の分類結果である。調査圃場の植生は、夏季、春季ともに、不耕起を継続した期間に応じて3類型に分類された。TWINSPANで分類された植生タイプIおよびIIはそれぞれ主として耕起畑および3年未満の不耕起畑からなり、植生タイプIIIは3年以上の不耕起畑のみからなっていた。しかしながら、不耕起の有無およびその継続期間以外の要因、例えば作物の種類や除草剤の効果は明らかでなかった。したがって、植生タイプI、IIおよびIIIはそれぞれ耕起型、短期不耕起型および長期不耕起型の植生であると判断された。

夏季における植生タイプIは、イヌタデを除くタデ類、シロザなどの一年生夏雑草により特徴づけられた(表4)。シロツメクサ、ハルガヤ、エゾノギシギシなどの多年生雑草は植生タイプIIIにのみ認められた。植生タイプIIは、オニタビラコ、チチコグサ、ハハコグサなどのキク科雑草やツユクサにより特徴づけられた。ハルジオン、ヒメジョオン、ヒメムカシヨモギ、セイヨウタンポポなどのキク科の二年生および多年生雑草は、植生タイプIIおよびIIIに共通して見られた。メヒシバやアキノエノコログサは、全ての植生タイプに見られた。特にメヒシバは、

多くの圃場で優占した。

10年間耕起が続けられた圃場であるTG01(耕起畑)の植生は、耕起畑としてはやや特殊な場所に位置づけられたが、これは、キク科雑草が相対的に多く見られたことによる。類似の作用性を持つ除草剤を長年連用したことが、見かけ上、短期不耕起型に類似した種組成を示した理由であると考えられた。

春季には、ハルガヤやエゾノギシギシなどの多年生雑草は植生タイプIIIにのみ認められ、また*Veronica* spp.はこの植生タイプに特徴的に見られた(表5)。オニタビラコ、セイヨウタンポポ、ヒメジョオン、メマツヨイグサなどは植生タイプIIに多く見られた。ハルジオンは植生タイプIIおよびIIIに共通してみられ、ナズナやコハコベは全ての植生タイプに共通してみられた。植生タイプIについては、指標的な種は認められなかった。

## 3. 考察

多くの一年生雑草は、不耕起畑よりも耕起畑で優占度が高いことが予想されたが、実際には一年生雑草は不耕起畑でも多く認められ、さらにそのうちのいくらかは明らかに不耕起畑を好む傾向があった。特に、夏季には植生タイプにかかわらず一年生雑草が優占したが、この結果は、これまでのいくつかの報告例(Thomas and Frick 1993, Mohler and Callaway 1995)と一致している。メヒシバ属やエノコログサ属などのイネ科一年生雑草が不耕起畑での優占することは多数報告されてきたが(Buhler 1992, 1996, Buhler and Oplinger 1990, Cardina *et al.* 1991, Herron *et al.* 1971, Mohler and Callaway 1995, Schreiber 1992, Stahl *et al.* 1999, Thomas and Frick 1993)、本研究において最も重要な夏雑草は、イネ科一年生雑草であるメヒシバであった。これらの結果は、不耕起畑であっても、夏畑作物で防除目標となる雑草は一年生夏雑草であり、特にメヒシバなどのイネ科雑草が問題となることを示すものである。

不耕起畑への二年生および多年生雑草の侵入および定着に関しては、次のような一般化が可能である。すなわち、

- ・風散布型(風に飛ばされて種子が広がっていく型)の種子を持つキク科の二年生または多年生雑草は短期間のうちに不耕起畑に侵入する。
- ・種子を散布させるための特別なしくみを持たない多年生雑草は、圃場が1年以上不耕起で維持された場合に、徐々に増加する。

表4 TWINSPAN<sup>1)</sup>による夏季の雑草植生の再配列結果

圃場コード <sup>2)</sup>		・TG06	・TG07	・TG05	□NZ02	・TH02	・TF03	・TB04	□NF06	□NG07	□NG08	□NB09	□NB10	□NF11	□NF12	・TG01	■NG01	■NF04	■NF05	■NF03		
植生タイプ <sup>3)</sup>		I						II						III								
調査枠面積 (m <sup>2</sup> )		0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0		
調査枠数		12	12	12	12	9	10	10	12	9	9	9	9	9	9	54	54	10	10	10		
F <sup>4)</sup>	種名	LC <sup>5)</sup>	DF <sup>6)</sup>	MDR (×0.001m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) <sup>7)</sup>																		
Pol	ハルタデ+オオイスタデ	a	4	28	41	3																
Ama	イヌビユ	a	4	1	0	30	4	22	0	9	0				0	0	0					
Ama	ホソアオゲイトウ	a	4	176		107	3	25														
Poa	イヌビユ	a	4	26	39	118	6	11	0	28				1	0							
Poa	ヌカキビ	a	4	12	0	0				1	0	0										
Por	スベリヒユ	a	4		0	0	0	0	1	9	2	0			3	0	0					
Che	シロザ	a	4	320	51	40				3		9	1	4	16	0	1	0				
Ast	オニタビラコ	a	1	0		0				0	0	0	1	0	0	0	0	0				
Lam	ナギナタコウジュ	a	4			0						0	0		0	0						
Ona	メマツヨイグサ	b	4				0	0				3	6	1	0	1	4	1	1	2		
Bra	スカシタゴボウ	a	4				0			0												
Car	コハコベ	a	4			0				0			0	0	0	0	0	0				
Com	ツユクサ	a	4			28		1	1	1	85	23	23	35	7	12	2					
Ast	ブタクサ	a	4								63	4					62					
Ast	トキンソウ	a	4							0				0								
Ast	チチコグサ	b	1							0	0	0	0	0	0	0	0					
Ast	ハハコグサ	p	1							0	0	0	0	0	0							
Ast	イワニガナ	p	1							0										3		
Ast	ノボロギク	a	1										0	0	0	0	0					
Ast	オニノゲシ	a	1							0	0			0	0	0	1					
Ast	ノゲシ	a	1									1										
Scr	トキワハゼ	a	4							0												
Pla	オオバコ	p	2.4							0	0											
Eup	コニシキソウ	a	3					0		0	0		0	1	0	1	0	0				
Fab	ナヨクサフジ	a	4							0												
Bra	ナズナ	a	4							1												
Bra	タネツケバナ	a	3														0				0	
Bra	イヌガラシ	p	4							0											0	
Cyp	コゴメガヤツリ	a	4							0												
Cyp	ヒンジガヤツリ	a	4														0					
Ast	セイヨウタンポポ	p	1							1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eup	エノキグサ	a	3													0	34				4	
Cyp	カヤツリグサ	a	4							8			0		0	0	4			0	0	
Equ	スギナ	p	1									1		0	0	0	5					
Poa	メヒシバ	a	4	59	22	86	236	13	15	206	67	295	11	337	24	55	5	78	88	541	348	201
Ast	ヒメジョオン	b	1				0				0	0	0	0	0	0	0		1	2	1	
Cyp	チャガヤツリ	a	4							0							1				0	
Pol	イスタデ	a	4			2				9	0						0		0	0	0	
Ast	ヨモギ	p	4			0	1			1			1	0	0						7	
Ast	ヒメムカシヨモギ	b	1							0		0	1		0				1	6	0	
Ast	ハルジオン	p	1				3			0	0	3	1	1	0	0	0		1	5	23	30
Oxa	カタバミ	p	3.2				0			0		0		0	0				1	4	0	4
Ast	オオアレチノギク	b	1																3			1
Scr	オオイヌノフグリ	b	4																			
Ger	ヤエムグラ	p	3																0			
Eup	ヒメミカンソウ	a	3																			0
Fab	アカツメクサ	p	4																			
Fab	シロツメクサ	p	4																0	10	6	1
Ros	ヘビイチゴ	p	2																0			0
Pol	ヒメスイバ	p	4																			
Pol	エゾノギンギク	p	4				1												0	1	1	
Car	オランダミミナグサ	a	4																0	3	2	5
Car	ツメクサ	a	4																			0
Orh	ネジバナ	p	1.4																			1
Poa	Agrostis sp.	p	4																0			7
Poa	ハルガヤ	p	4													0			31	0	3	12
Poa	カモガヤ	p	4																0	22	39	
Poa	ススキ	p	1																			18
Poa	ナガハグサ	p	4																1			
Poa	キンエノコロ	a	4																			1
Poa	アキノエノコログサ	a	4	7	4	7		2						0					6	3	8	

注. 1) 仮定種のカットレベルは、0, 0.002, 0.005, 0.01および0.02 (m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) とした。種の分割位置は、最初の分割および2度目の分割を実線で、3度目の分割を波線で示した。

2) 圃場コードの冒頭に示した記号は、調査時点における不耕継続期間を示す：・=耕起畑；○=1年未満の不耕起；□=1年以上3年未満の不耕起；■=3年以上の不耕起。圃場の詳細については表3を参照されたい。

3) 分類はTWINSPANによる。

4) 科名の略号：Ama=ヒユ科，Ara=サトイモ科，Ast=キク科，Bra=アブラナ科，Car=ナデシコ科，Che=アカザ科，Com=ツユクサ科，Cyp=カヤツリグサ科，Equ=トクサ科，Eup=トウダイグサ科，Fab=マメ科，Ger=アカネ科，Jun=イグサ科，Lam=シソ科，Ona=アカバナ科，Orh=ラン科，Oxa=カタバミ科，Pla=オオバコ科，Poa=イネ科，Pol=タデ科，Por=スベリヒユ科，Ros=バラ科，Scr=ゴマノハグサ科。

5) 生活環：a=一年草；b=二年草；p=多年草。

6) 散布器官型：1=風散布；2=動物散布；3=果皮の裂開力による散布；4=特別な散布器官を持たないもの。

7) 0は当該種が存在するが、優占度が0.5未満であることを示す。

表5 TWINSPAN<sup>1)</sup>による春季の雑草植生の再配列結果

圃場コード <sup>2)</sup>		I										II						III						
植生タイプ <sup>3)</sup>		• TH02	• TG01	• TR10	• TF03	• TG09	• TG08	○ TN03	○ TN04	○ TN02	○ TN01	□ NB10	□ NB09	□ NG08	□ NG07	□ NF12	□ NF11	□ NF06	■ NF03	■ NF05	■ NF04	■ NG01	■ NZ02	
調査枠面積 (m <sup>2</sup> )		0.7	0.6	1.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	
調査枠数		10	18	18	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	12	10	10	10	18	12	
F <sup>4)</sup>	種名	LC <sup>5)</sup>	DF <sup>6)</sup>	MDR (×0.001m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) <sup>7)</sup>																				
Ast	ヨモギ	p	4						0	0				2	3	2		3	3			1		1
Ast	ヒメジョオン	b	1		0					0	1	16	2		2	51	6	2	1		1			
Ast	ブタクサ	a	4		1							0		0	0	0								
Ast	ハルジオン	b	1								0	1				2	1							
Ast	チチコグサ	b	1									0	0	1		2	5	0						
Ast	ハハコグサ	p	1									0	0			1	4		0					
Ast	ノボロギク	a	1			0						0	0		0		1							
Ast	セイヨウタンポポ	p	1							0	0	4	2	1	3	7	10	13				1		
Ast	オニタビラコ	a	1							0	0	4	17	13	6	6	52	64	0					
Scr	トキワハゼ	a	4													0								
Ona	メマツヨイグサ	b	4			0				0		2		4	0		1	1						
Fab	ナヨクサフジ	a	4																					2
Car	ノミノフスマ	a	4																					6
Car	ウシハコベ	a	4											0	0									3
Poa	ヌカキビ	a	4									0	0		0									
Ast	イワニガナ	p	1		1																			4
Pol	ハルタデ+オオイヌタデ	a	4	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	1						
Che	シロザ	a	4				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
Com	ツユクサ	a	4		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0							
Bra	タネツケバナ	a	3					0			1													
Bra	イヌガラシ	p	4				0	0	0							1								
Bra	スカシタゴボウ	a	4			0	0																	
Poa	スズメノテッポウ	a	4								0													
Poa	メヒシバ	a	4								0				0									
Poa	イヌビエ	a	4					0	0	0														
Ara	カラスビシャク	p	4			0																		
Bra	ナズナ	a	4	1	0	0	2	0	0	0	2	26	15	0	0	1	0	49	0	13		2		35
Pol	イヌタデ	a	4				0	0	0	0		0	0	0		0	0							0
Fab	シロツメクサ	p	4				0	0	0	0	0	0	0							5				
Car	オランダミミナグサ	a	4				3			0	3	3	10	0	7	1	11	15	0		11	8	32	7
Car	コハコベ	a	4	0			1	0			0	1	7	3	2	14	10	10	2	3	3	3		151
Ast	オニノゲシ	a	1													2	1	1			0	0		
Lam	ホトケノザ	a	4				0														0			
Equ	スギナ	p	1	1	5	0	0							0		1	0	0		0	1	1	1	5
Ast	ハルジオン	p	1		1	0						35	4	25	12	26	35	7	58	43	39	35	20	
Oxa	カタバミ	p	3.2									0				0	0			1	0	1	1	
Scr	トキワハゼ	p	4																	0				
Scr	タチイヌノフグリ	a	4												0			0		1	5	10	9	1
Scr	オオイヌノフグリ	b	4				0														5	5	1	11
Lam	ヒメオドリコソウ	b	4																	0			17	11
Lam	キュウリグサ	a	4																	0			1	
Fab	カラスノエンドウ	a	3																		0	0		
Bra	イヌナズナ	a	4																		0	0	1	14
Pol	ヒメスイバ	p	4																		4	5		
Pol	エゾノギシギシ	p	4																		0	6	19	0
Car	オランダミミナグサ	a	4																		0	0		0
Car	ツメクサ	a	4																		0			
Poa	アオカモジグサ	p	4																					2
Poa	Agrostis sp.	p	4																		8	12		0
Poa	ハルガヤ	p	4													0	2	1	60	12	12	39		
Poa	カモガヤ	p	4																		59	53		0
Poa	ナギナタガヤ	a	4									0			0	0				2	4	7	13	
Poa	ススキ	p	1																	3				
Poa	ナガハグサ	p	4																					8
Poa	アキノエノコログサ	a	4																					0
Jun	スズメノヤリ	p	4																					0

注. 1)~7) 表4の脚注を参照されたい。

以上は、多年生雑草の不耕起畑への侵入速度は繁殖器官の散布様式に依存するというを示唆している。これらはまた、不耕起畑で多年草が優占する傾向があるという多くの報告 (Cussans 1975, Froud-Williams *et al.* 1983, Gebhardt *et al.* 1985, Koskinen and McWhorter 1986) と一致している。多年生雑草はいったん侵入すると、除草剤の集中的な散布以外の方法で根絶させることは難しい。したがって、耕起なしで畑地を維持していくためにはこれらの侵入を未然に防ぐことが重要である。

本章では、雑草植生に対する耕起の効果を強調したが、他の要因の効果についてはほとんど考察をしなかった。例えば、非選択性の除草剤の使用は多年生雑草の増加を遅延させる。また、選択性の除草剤を連用すると、その剤に効果の小さい特定の種の優占をもたらすと考えられる。

被度と草高の測定は単純かつ簡便であり、それらに乗じることにより算出される乗算優占度は、不耕起畑でも耕起畑でも雑草の地上部の乾物重との相関が高いことを第II章で明らかにした。そして、本章で得られた結果から、乗算優占度に基づく多変量解析は被度や積算優占度よりも理解しやすい結果をもたらすことが明らかになった。なお、他の研究で、異なる場所で異なる年に得られた植生データについても、同じ方法で同じ季節に取られたものであれば、同時に分析することができる可能性がある。これら共通の方法で得られた植生データの蓄積は、雑草防除法や気象条件が畑地雑草植生に及ぼす影響を解明するために有効である。

#### 4. 摘要

南東北地域の不耕起畑における雑草植生の特徴を明らかにすることを目的として、2段階の植生調査を実施した。データの解析は雑草の乗算優占度に基づいて行った。

10年以上不耕起および耕起栽培を継続している2つの畑で、2年間にわたって比較したところ、不耕起畑における雑草植生は、耕起畑とは違った季節消長を示した。すなわち、耕起畑では夏に夏生一年生雑草が優占し、冬には冬生一年雑草に置き換わったが、不耕起畑では、春季には多年生雑草が優占し、夏には耕起畑と同様、夏生一年生雑草が優占した。

次に、2000年夏および2001年冬の2回、不耕起畑を含む19地点および22地点の畑で植生調査を行った。TWINSPANによる分類の結果、雑草植生は夏

季、冬季のいずれについても、主として不耕起継続年数に応じて3つの植生タイプに大別することができた。

植生タイプIおよびIIはそれぞれ主として耕起畑および3年未満の不耕起畑から構成され、植生タイプIIIは3年以上の不耕起畑と一致した。植生タイプIIは主としてキク科二年生雑草または多年生雑草によって、植生タイプIIIは、植生タイプIIと同じ種に加えて、ハルガヤなどの多年生雑草の存在によって特徴づけられた。夏季は、植生タイプに関わらず、メヒシバなどの夏生一年生雑草が多くの畑で優占した。

### 不耕起ダイズ畑における主要イネ科雑草の出芽およびシードバンクの特徴

#### -1 主要イネ科雑草の出芽深度

第III章で論じたように、夏畑作では、不耕起栽培でも多くの場合、一年生夏雑草、特にメヒシバなどのイネ科が優占して防除上問題となる。一年生雑草の防除では第一に出芽抑制を考えるべきであり、どのような防除方法であれ、その効率化のためには雑草の出芽に関する特性を知る必要がある。

雑草の出芽深度は種子の大きさといった種の本来の特性のほか、土壌条件などによっても変化することが知られており、耕起が行われない不耕起畑では耕起畑と大きく異なることが予想される。出芽深度は処理層の深さとのかねあいから土壌処理型除草剤の効果に影響を及ぼす要因であり (伊藤 1989)、また、耕種的防除技術でも、カバークロープなど雑草の出芽抑制が期待されるものではその効果に大きな影響を及ぼすものと考えられる。本章では、南東北地域の畑作における主要なイネ科一年生夏雑草3種を例にとり、不耕起畑と耕起畑に自然発生した実生の出芽深度を調査し、両者を比較することにより、これらの不耕起畑での出芽深度の特徴を明らかにする。

#### 1. 材料および方法

調査対象とした種は南東北地域における夏畑作物栽培で優占する場合の多いイネ科の一年生雑草、メヒシバ、イヌビエおよびアキノエノコログサである。東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の試験圃場内に自然発生したこれらの実生の出芽深度を個体ごとに調査した。具体的には、宿存する穎の一部が地表に露出している個体の出芽深度を0とし、それ以外については、地際から土中に宿存する穎までの深さを測定し、その値を出芽深度とした。

1) 耕起，除草剤散布の有無および出芽時期による出芽深度の相違

2000年にダイズ（品種：スズユタカ）を慣行（耕起）栽培した後，2000年秋に不耕起無除草剤区（N-），不耕起除草剤区（N+），耕起無除草剤区（T-），耕起除草剤区（T+）を設定し，2002年まで連作した（表6）。試験区面積は0.9aで，反復はない。調査は2002年4月18日，5月22日および6月17日の3回行った。調査個体数は，4月の調査では出芽全個体，5月および6月については出芽時期を限定するため，1～3葉の個体からそれぞれ種ごとに無作為に選んだ25個体とした。ただし，出芽数が25個体を下回ることがあり，その場合には出芽全個体を調査した。

2) 出芽深度に及ぼす不耕起継続期間の影響

不耕起継続期間が異なる5つの畑（N-A，13年，T-A；6か月，N-B；3年，TN-B；11か月，TT-B；10か月）で，2002年5月10日（N-B，TN-B，TT-B）または5月31日（N-A，T-A）に出芽深度の調査を行った。供試圃場の概要を表7に示す。調査個体数は，出芽がみられた全個体から種ごとに無作為に選び50としたが，出芽数がそれを下回る場合があった。アキノエノコログサは，全ての畑でほとんど発生がみられなかったため，データとりまとめの対象としなかった。

2. 結 果

1) 耕起，除草剤散布の有無および出芽時期による出芽深度の相違

表6 雑草の出芽深度調査畑の概要

年次	2001年				2002年		
播種・収穫日	5月30日・10月22日				5月29日・10月23日		
処理区	除草剤	耕起を行った日			除草剤	耕起を行った日	
		播種前	中耕	秋耕		播種前	中耕
不耕起無除草剤区	-				-		
不耕起除草剤区	グリホサートアンモニウム塩，トリフルラリン	-	-	-	グリホサートアンモニウム塩，アラクロール・リニュロン <sup>®</sup> の混用	-	-
耕起無除草剤区	-				-		6月18日
耕起除草剤区	トリフルラリン	5月30日	7月2日	11月5日	-	5月29日	7月5日

注. 除草剤の処理量および剤型（かっこ内）は次の通りである。グリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup>（41%液剤），トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup>（44.5%乳剤），アラクロール：0.13g ai m<sup>-2</sup>（43%乳剤），リニュロン：0.05g ai m<sup>-2</sup>（50%水和剤）。

表7 出芽深度におよぼす不耕起期間の影響調査を行ったダイズ畑の概要

圃場	圃場面積	不耕起継続期間	2001年夏作				2001-2002年冬作		
			ダイズ品種栽培期間	除草剤	耕耘		オオムギ品種栽培期間	除草剤	播種前耕耘
					播種前	中耕			
N-A	6.0a	13年	スズユタカ 5月21日播種， 11月6日収穫	-	-	-	べんけいむぎ 11月9日播種， 6月10日収穫	-	-
T-A	6.0a	6か月		トリフルラリン	5月21日	7月2日		ペンディメタリン	11月9日
N-B	0.3a	3年	スズユタカ 6月28日播種， 10月31日収穫	グリホサートアンモニウム塩，トリフルラリン	-	-	休閑	-	-
TN-B	0.3a	11か月		トリフルラリン	6月28日	-			
TT-B	0.3a	10か月				7月27日			

注. 除草剤の処理量および剤型（かっこ内）は次の通りである。グリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup>（41%液剤），トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup>（44.5%乳剤），ペンディメタリン：0.12g ai m<sup>-2</sup>（30%乳剤）。

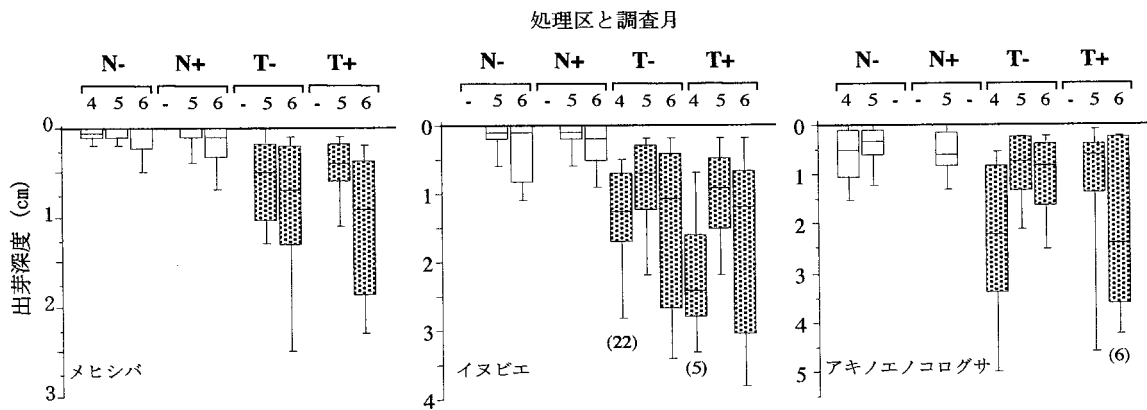


図7 不耕起畑および耕起畑におけるイネ科一年生夏雑草の出芽深度

グラフは箱ひげ図で、上側の誤差線の上端、箱の上端、箱の中央線、箱の下端および下側の誤差線の下端は10, 25, 50, 75および90パーセンタイルを表している。N-, N+, T-, T+はそれぞれ不耕起無除草剤区、不耕起除草剤区、耕起無除草剤区、耕起除草剤区を示す。白抜きは不耕起畑、網かけは耕起畑である。標本数が5未満の場合にはグラフを省略し、5以上25未満の場合にはその数を付した。それ以外の標本数は25である。

3種とも、不耕起区(N-, N+)における出芽深度は耕起区(T-, T+)に比べて浅く、深度のばらつきが少なかった(図7)。種間で比較すると、出芽深度は不耕起区、耕起区ともに、メヒシバ<イヌビエ<アキノエノコログサであった。特に不耕起区におけるメヒシバの出芽深度は浅く、半数前後の実生は地表からの出芽であり、それ以外もほとんどが0.8cm未満の浅い層からの出芽であった。無除草剤区と除草剤区の間には明確な傾向が認められなかった。出芽時期については、不耕起区では、メヒシバとイヌビエで出芽時期が遅い場合に、出芽深度がやや深い方向に広がる傾向がみられた他は、大きな違いは認められなかった。耕起区では、出芽時期による違いが大きく、特に、耕起直後に深く、ばらつきが大きくなる傾向が認められた。イヌビエとアキノエノコログサについては、4月以前に出芽した個体の出芽深度が、5月に出芽した個体よりも深い傾向がみられた。

#### 2) 不耕起継続期間が出芽深度に及ぼす影響

メヒシバとイヌビエの出芽深度は、不耕起期間が長くなるに従って次第に浅くなる傾向が認められた(図8, 図9)。特にメヒシバはごく短期間の不耕起で出芽深度が浅くなる傾向がみられた。前年にダイズを慣行栽培した後、調査時点まで不耕起状態だったTN-BやTT-Bでは、なお土中からの出芽が相当数みられた。N-Aでは作物や雑草の残さが多く、その下からの出芽があったため、13年不耕起

を継続してもなお地表より僅かに下の層からの出芽個体がみられた。アキノエノコログサについても、N-Aで少数みられた個体の出芽は全て地表付近からであった。

#### 3. 考 察

調査結果から、イネ科の主要雑草であるメヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサの出芽深度は不耕起畑では耕起畑に比較して明らかに浅く、特にメヒシバとイヌビエでは比較的短期間の不耕起で浅くなる傾向が明らかになった。ただし、第三章における植生調査の結果から考えると、イヌビエは不耕起期間が長くなると発生量が減少する傾向があるようである。このような出芽深度の浅化の原因としては不耕起栽培の継続による土壌の硬化のほか、シードバンクの地表への集中が考えられる。一般に耕起には雑草種子の埋土を助長する効果があるが(Baskin and Baskin 1998, Roberts 1981)、不耕起栽培では自然散布された種子の多くは地表付近にとどまるものと思われる。不耕起栽培開始前に埋土種子が多量に存在し、その死亡注)や出芽による減耗速度が遅ければ、新たに生産された種子が地表にとどまってもシードバンクの深度分布が極端に地表付近に偏ることはない。逆に、埋土種子が少なく、その減耗速度が速い場合には、シードバンクの深度分布は速やかに地表付近に集中することになる。すなわち、本章で調査を行った3種、特にメヒシバは、土中における種子の減耗速度が速いことが推察される。

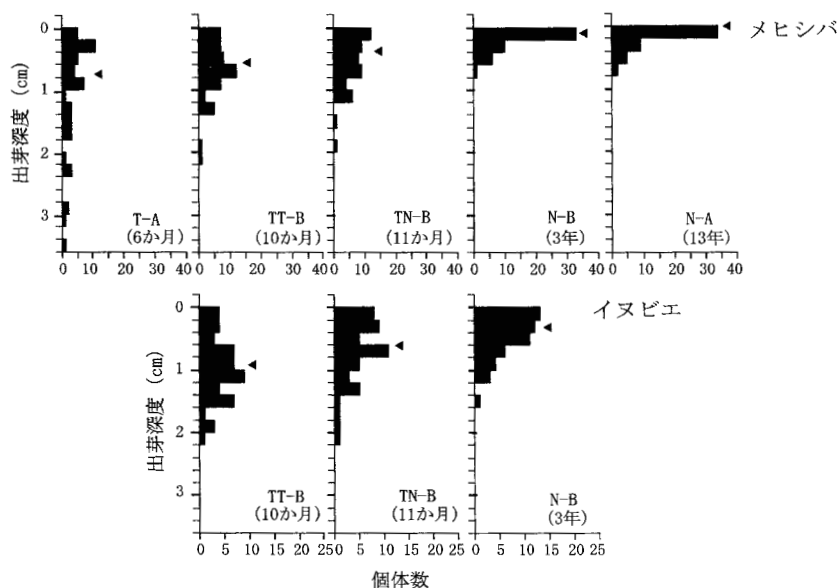


図8 不耕起継続期間が異なる畑におけるメヒシバ（上段）とイヌビエ（下段）の出芽深度の度数分布

◀は中央値を示す。標本数はいずれも50である。T-A, TT-B, TN-B, N-BおよびN-Aはそれぞれ不耕起を6か月、10か月、11か月、3年及び13年間継続した畑である。

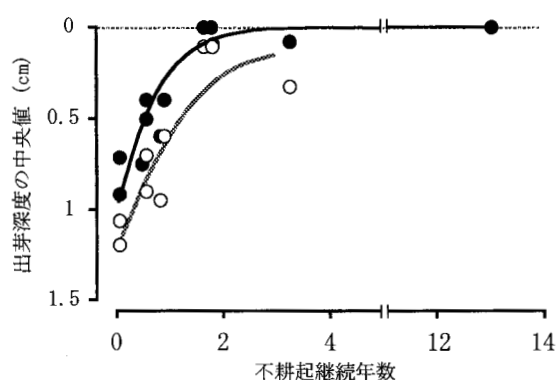


図9 メヒシバとイヌビエの出芽深度と不耕起継続年数の関係

●および○はそれぞれメヒシバおよびイヌビエを示す。各プロットは調査圃場における各草種の出芽深度の中央値である。  
図8のデータに、図7のデータを追加した。

注) 本論文では、種子を含めた生活史の全ての段階において植物が生命を失うことを、その原因を特定せずに表現するのに「死亡」を用いた。

この出芽深度の浅化は、雑草防除技術を考える上で重要な情報である。例えば、通常、土壤処理型除草剤は表層付近に処理層を形成するが、その深さは剤の土壤中での移動性に依りて異なる。出芽前の雑草の種子、幼芽、幼根あるいは生育初期の雑草の根

系から吸収させて防除する(伊藤 1993)という土壤処理型除草剤の特性を考えれば、不耕起栽培では移動性が小さく、処理層が表層付近に限定される剤が有利となる可能性がある。ただし、吸収が主として幼芽で行われるのか、幼根で行われるかは剤によって異なり(Knake et al. 1967), また、出芽深度が同じであっても中胚軸の伸長特性に起因する生長点深度の違いによって、土壤処理型除草剤に対する反応が異なることも報告されている(森田 1994)。出芽深度に加え、これらの情報を総合的に検討することで、不耕起栽培において土壤処理型除草剤の合理的な使用が可能になると考えられる。

一方、物理的または化学的に埋土種子を減少させる技術についても検討されてきている。これらは地表から熱水(牛木ら 2002)やある種の化学物質(野口・中谷 1992)を散布することで埋土種子を殺そうとするものであり、エネルギーや薬量の効率から考えて、不耕起栽培との組み合わせによって、その効果を高めることができる可能性がある。さらに、多くの雑草種子は光や変温によって発芽が促進されると考えられている(Wesson and Wareing 1967, 1969, Thompson and Grime 1983)。したがって、地表からの出芽は、なんらかの被覆による光量の低減や土壤温度の日較差の縮小を通じて、雑草の



出芽を抑制し、効果的に抑草できる可能性がある。不耕起畑におけるイネ科夏雑草の防除は、こうした出芽深度に関する特徴を踏まえて、効率よく行うことが重要である。

#### 4. 摘 要

13年連続不耕起畑を含む複数の圃場において、主要なイネ科夏雑草であるメヒシバ、イヌビエおよびアキノエノコログサの出芽深度を調べた。

出芽深度は不耕起畑、耕起畑のいずれにおいてもメヒシバ<イヌビエ<アキノエノコログサであった。

出芽深度は3種いずれも不耕起畑で耕起畑よりも明らかに浅く、また、不耕起期間が長くなるほど浅くなる傾向にあることが分かった。

とくにメヒシバは1年未満の不耕起で出芽深度が浅くなり、ほとんどが地表または地表付近からの出芽となることが明らかになった。その原因としては、シードバンクの地表への集中が考えられた。

不耕起畑におけるイネ科夏雑草の防除においては、このような出芽深度の特徴を活用することが重要である。

#### -2 メヒシバのシードバンクと発芽生態

雑草の生育場所としての不耕起畑と耕起畑の決定的な相違は、耕起による土壌の攪拌の有無にある。耕起には、種子の発芽を促進する一方で、地表の種子の埋土を助ける効果が認められる(Baskin and Baskin 1998, Roberts and Ricketts 1979, Roberts and Potter 1980, 渡邊 1977)。このため、雑草種子は不耕起または省耕起栽培では耕起栽培と比べ地表付近に多くなる傾向があり(Clements *et al.* 1996, Hoffman *et al.* 1998, Dorado and Del Monte 1999, Buhler *et al.* 2001, Tørrensen *et al.* 2003)、前節で明らかにした出芽深度における相違も、このことに起因していると推察される。また、不耕起では土中に存在する種子についても、深い場所からの出芽は少なくなる傾向が認められる(Benvenuti *et al.* 2001)。このように、不耕起畑ではシードバンクの垂直分布と消長が耕起畑と異なることから、出芽数やその季節消長も変化すると考えられる。

畑作物の不耕起栽培では一般的に一年生雑草、特にイネ科雑草が増加する傾向のあることが報告されているが(Froud-Williams *et al.* 1984, Streit *et al.* 2003)、なかでもメヒシバ(*Digitaria ciliaris* (Retz.)

Koeler)は南東北地域でのダイズの不耕起栽培における最強害雑草であることを第Ⅲ章において明らかにした。

メヒシバの埋土種子に関しては、土中での寿命は3年程度と比較的短いと考えられている(高柳 1986, 伊藤 1993)。また、休眠性や発芽性に関しては、埋土位置によって翌春までの死亡率や休眠覚醒程度が異なること(露崎・中川 1987)、光発芽性を有し、変温は発芽を促進すること(露崎ら 1984)が知られている。休眠性の季節変動の有無は現時点では不明であるが(Marks and Nwachuku 1986, Baskin and Baskin 1998)、既報には、夏季以降、土中に残った種子が光発芽性を再び獲得する可能性が示されている(萩森 1965, 高林・中山 1981b)。以上は耕起畑において、または耕起畑を想定した実験系で得られた結果であり、不耕起条件でのシードバンクの消長は、その数についても、また、休眠性や発芽性についても報告例がない。

本節では、メヒシバを例として、不耕起畑におけるシードバンクの特徴、具体的には深さ別にみた種子数の消長を耕起畑との比較から明らかにする。さらに、本研究の調査対象となった東北農業研究センター畑地利用部(福島市)の不耕起ダイズ畑圃場で採種したメヒシバを用いて、発芽に及ぼす光と温度の影響を確認するとともに、これまで明らかになっていないメヒシバの光発芽性に対するフィトクロムの関与について、単色光の照射実験によって明らかにし、シードバンクからの出芽に対する環境条件の関与についての基礎的知見を得る。

#### 1. 材料および方法

##### 1) 圃場における埋土種子数の季節的变化および深度分布

##### (1) 試験区の設定

東北農業研究センター畑地利用部の黒ボク土壌の試験圃場にて2000年の夏作にダイズを全面耕起栽培して圃場を用意し、2001年早春に試験区を設定して、2001年から2003年までダイズを3作した。実験計画は4処理3反復の乱塊法であり、1区の大きさは88㎡(8m×11m)である。処理は、不耕起ダイズ単作の除草剤散布区(N1+)および無除草剤区(T1-)、耕起ダイズ単作の除草剤散布区(T1+)および無除草剤区(T1-)からなる。ダイズの播種日および収穫日は毎年5月末および10月末である。無除草剤区では、除草剤散布の代わりに、

条間の刈り取り除草（機械除草）を1作につき1回ないし数回実施した。処理区における耕起の有無、除草剤の種類と量および中耕ないし条間の刈り取り除草の回数を表8に示した。なお、本調査における試験区は、第V章に記述する圃場試験を構成する試験区の一部である。

(2) 土壌の採取

a 埋土種子数の季節的变化

試験区から、2000年秋から2003年秋まで、経時的に合計12回ないし14回、土壌を採取した。採取時期は毎年異なるが、10月ないし11月（種子の自然散布後）、4月（出芽開始直前）、7月ないし8月（出芽終了後）を基本とし、それ以外の時期にも何回か採取を行った。土壌は、断面積5cm<sup>2</sup>の土壌採取器（特注品）を用いて地表から5cmまでおよび5cmから10cmまでの2層に分けて採取した。採取場所は、各試験区の周縁部を除いて無作為に選んだ10か所で、それらを層別に混合してサンプルとした。ただし、最初の採取（2000年10月）については、試験圃場全体から無作為に選んだ90か所から採取して、2001年春に設定されたブロックごとに30か所ずつを混合してサンプルとし、その平均値をもって全ての試験区についての初期値とみなした。なお、種子生産・自然散布量の指標として、2000年から2003年までのそれぞれ8月下旬にメヒシバの被度

と草高を測定し、それらを乗じることにより乗算優占度を算出した。さらに2001年から2003年までの毎年、出芽総数を調査した。乗算優占度および出芽総数の調査方法の詳細については、第V章に準じた。

b 種子の深度分布

上述した圃場試験の圃場のうち、不耕起無除草剤区および耕起無除草剤区において、2003年12月2日および2004年4月19日の2回、断面積20cm<sup>2</sup>の円筒形の土壌採取器（藤原製作所製 HS-25/30）にて、15cmの深さまでの土壌を1試験区あたり2か所から採取した。サンプルは地表から1cmまで、1cmから2cmまで、2cmから3cmまで、3cmから5cmまで、5cmから10cmまでおよび10cmから15cmまでの6層に分け、2つのサンプルを土層別に混合して、種子抽出用のサンプルとした。

(3) 土壌の調整と種子の抽出

サンプル土壌は40℃の乾燥器で2～3日間乾燥させた後、-20℃の冷凍庫内で、種子の抽出を行うまで数ヶ月～2年間保存した。解凍後、粗大な残さを除いたのち、高柳ら（1990）の浮選法を若干変更した方法で種子を抽出した。変更点は、フィルターとして0.2mm角目のポリエステルメッシュを用い、またブフナーロートではなく通常のロートを用いて、吸引した種子を含む溶液を自由落下させたことである。ポリエステルメッシュ上に残った種子を

表8 メヒシバのシードバンク調査畑の概要

処理区	年次	秋耕	ダイズ			
			播種前耕起	除草剤 <sup>1)</sup>	中耕	刈取除草
不耕起除草剤区 (N1+)	2001	-	-	T+G	-	1回
	2002	-	-	AL+G	-	1回
	2003	-	-	G, T+G	-	1回
不耕起無除草剤区 (N1-)	2001	-	-	-	-	1回
	2002	-	-	-	-	1回
	2003	-	-	-	-	1回
耕起除草剤区 (T1+)	2001	+	+	T	1回	-
	2002	+	+	AL	1回	-
	2003	+	+	T	1回	-
耕起無除草剤区 (T1-)	2001	+	+	-	1回	-
	2002	+	+	-	3回	-
	2003	+	+	-	2回	-

注. 除草剤の略号の意味は次の通りである。T=トリフルラリン：0.13g ai m<sup>-2</sup> (44.5%乳剤), AL=アラクロール：0.13g ai m<sup>-2</sup> (43%乳剤) とリニューロン：0.05g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤) の混用, G=グリホサートアンモニウム塩：0.16g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤)。播種約1か月前にグリホサートアンモニウム塩：0.2g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤) を散布した。

含む残さは、速やかに流水中で十分に洗浄した。回収された残さから、実体顕微鏡(10~20倍)下で生存種子を選び出し、その数を計測した。原則として種子の内容物が充実し、かつ変形・変色が見られないものを生存種子とみなしたが、まぎらわしいものについては穎を取り外して胚乳および胚を直接観察し、変形・変色の有無を確認した。

## 2) 圃場に置かれた種子の季節的变化

2001年にオオムギを不耕起栽培する区(前冬作オオムギ区)および不耕起のまま休閑する区(前冬作休閑区)を設けた。オオムギは10月31日に条間20cmで不耕起播種し、翌年6月4日に全量を刈り敷いた。翌日の6月5日に全ての区についてダイズを畦間60cmで不耕起播種し、同一条件で栽培した。試験区の設計は3反復の乱塊法で1区14㎡である。2001年秋に不耕起栽培1年目のダイズ畑で集団採種したメヒシバ種子を透明ポリエステルメッシュで作成した扁平な袋に100粒ずつ、種子が重ならないように封入したものを2001年11月20日に、各区とも地表と2cmの深さに複数置床した。地表への置床については可能な限り均平な場所を選び、袋を地表に密着させ、虫ピンを用いて固定した。地表、土中とも、1処理1反復1回あたり4袋(400粒)ずつを回収し、発芽性および生死の判別を行った。圃場からの回収は種子の露光をさけるため夜間に行い、純緑色の蛍光灯(ナショナル製 FL20S・G-F)に厚紙を巻くことで得た弱い光の下で発芽の有無の確認、培地への播種等の操作を行った。発芽試験にはプラスチックシャーレを用い、1%の寒天培地上に播種し、20℃(12時間)/30℃(12時間)の変温、明条件および暗条件に置いた。明条件については、1日12時間、高温期に同調させて陽光型のハロゲンランプ(東芝製 MF400・L-J/BU-P)の光を連続照射した。置床10日後に発芽数の測定および未発芽種子の生死の判別を行った。判別方法は上述の圃場試験と同様である。

## 3) 乾燥貯蔵した種子の温度と光に対する反応

2003年10月7日に不耕起ダイズ畑で集団採種し、20℃で約3か月乾燥貯蔵したメヒシバ種子を用い、次の2つの実験を行った。

第一に、メヒシバの種子をプラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種してインキュベータ(東京理化器械製 MTI-202)内に置き、10日間の発芽数を調べた。発芽条件は、変温幅10℃および

5℃でそれぞれ5段階および6段階(5/15℃、10/20℃、15/25℃、20/30℃、25/35℃、5/10℃、10/15℃、15/20℃、20/25℃、25/30℃、30/35℃)を設定し、それぞれについて明条件および暗条件を設けた。低温期、高温期ともに12時間で、明条件については高温期に同調させて昼白色の高演色性蛍光灯(ナショナル製 FL40S・N-EDL)を連続照射した。10日間の処理終了後、全ての発芽条件について20/30℃の明条件に移し、さらに10日後の発芽総数を調べた。供試した種子数は1処理あたり150粒で、50粒ずつを異なる3のシャーレに播種し、それぞれのシャーレにおける発芽率の平均値を当該処理における発芽率とした。統計数値の算出にあたっては、事前に逆正弦変換(スネデカー・コ克蘭1972)を施した。

第二に、プラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種したメヒシバに赤色光(R; 660nm)、近赤外光(FR; 730nm)またはそれらを交代で複数回、連続的に短時間照射する処理を施し、10日以内の発芽率を調べた。FRのみ1回、Rのみ1回ならびにR-FR、R-FR-RおよびF-FR-R-FRの順番でそれぞれ合計2回、3回および4回の照射を行う5つの処理を設定した。1回あたりの照射時間は3分であり(例えばR-FR-R-FRの照射は合計12分)、そうした一連の処理を24時間ごとに10回繰り返した。単色光はハロゲンランプ(JCD100V 150W2VL)にバンドパスフィルター(ケンコー製 BP-660およびBP-730)を組み合わせて作成した。照射時間以外は20℃(12時間)/30℃(12時間)の変温、暗条件に置いた。供試した種子数は1処理あたり150粒であるが、50粒ずつを異なるシャーレに播種し、それぞれ別個に処理を施して3反復とみなした。発芽率の算出は上述の試験と同様の方法による。

## 4) 圃場に置かれた種子の発生盛期における光質と変温に対する反応

2002年9月11日に不耕起ダイズ畑で集団採種し、20℃で乾燥貯蔵しておいたメヒシバの種子を透明ポリエステルメッシュで作成した扁平な袋に種子を重ならないように封入し、同年12月25日にオオムギ栽培畑内の地表に置床した。これを不耕起畑におけるメヒシバの発生盛期にあたる2004年5月24日に回収し、プラスチックシャーレ内の1%の寒天培地上に播種してインキュベータ(東京理化器械製 MTI-202)内に置き、置床10日後に発芽数の

測定および未発芽種子の生死の判別を行った。圃場からの回収、播種や生死の判別方法は上述の圃場試験と同様である。発芽条件は、温度については変温幅 10℃および 5℃でそれぞれ 5 段階（5/15℃、10/20℃、15/25℃、20/30℃、25/35℃；10/15℃、15/20℃、20/25℃、25/30℃、30/35℃）を設定し、それぞれについて明条件、暗条件および低 R/FR 条件を設けた。低温期、高温期ともに 12 時間で、明条件については高温期に同調させて昼白色の高演色性蛍光灯（ナショナル製 FL40S・N-EDL）を連続照射した。低 R/FR 条件については高温期に同調させて明条件と同じ蛍光灯に濃緑色の着色アクリル板（三菱レイヨン製 アクリライト #540）を組み合わせたものと、緑色白熱灯（東芝ライテック製 SIGN100/110V10SEGA）を併用することで、オオムギによる緑蔭に類似する分光特性を有する光（R/FR 比は概ね 0.1）を連続照射した。供試した種子数は 1 処理あたり 150 粒で、50 粒ずつを異なる 3 のシャーレに播種し、それぞれのシャーレにおける発芽率の平均値を当該処理における発芽率とした。統計数値の算出にあたっては、事前に逆正弦変換（スネデカー・コ克蘭 1972）を施した。

## 2. 結 果

### 1) 圃場における埋土種子数の季節的変化および深度分布

#### (1) 埋土種子数の季節的変化

1 回目の土壤採取は、試験区設定前の 2000 年に夏作としてダイズを耕起栽培し、収穫した直後であるが、その時点ですでに種子は下層にはほとんど無く、上層のみに見られた（図 10）。その後、不耕起除草剤区（N1+）および不耕起無除草剤区（N1-）では、上層の種子は春から初夏にかけて急激に減少し、夏季には著しく少なくなった。その後、新たな種子の自然散布があると急激に増加し、夏季には再び著しく少なくなるという消長を繰り返した。最も多くの種子が見られた時期で、1 m<sup>2</sup>あたりの種子数は不耕起除草剤区（N1+）で 667 粒から 4533 粒、不耕起無除草剤区（N1-）で 5067 粒から 7667 粒と、不耕起除草剤区（N1+）で少ない傾向が見られたが、基本的な変動パターンには違いがなかった。この間、毎年 1 m<sup>2</sup>あたりの出芽総数は不耕起除草剤区（N1+）および不耕起無除草剤区（N1-）でそれぞれ 165 個体から 664 個体および 1295 個体から 1503 個体であり、両区をこみにした場合、前年

の散布直後の上層の埋土種子量と正の相関がみられた（ $r=0.837$ ;  $n=6$ ;  $p<0.05$ ）。不耕起区（N1+, N1-）の下層の埋土種子数は試験期間を通じて著しく少ないか、全く見られなかった。下層で若干の埋土種子が認められたのは散布直後から春にかけてであるが、これは、土壤の割れ目への落下や土壤動物の活動による可能性（Thompson *et al.* 1993, 中村 2000）が否定できない。しかし実際には、土壤採取器の押し込みによる上層の種子の下層サンプルへの不可避的な混入がしばしば観察されたことから、真の値は試験期間を通じて 0 に近かった可能性が高い。

耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）では、耕起によって、上層と下層の種子数の均一化が認められたが、夏季には上層、下層ともほとんど種子が見られなかった（図 11）。試験期間を通じて新たな種子の自然散布があると増加し、夏季には著しく減少するという変動パターンは、不耕起区と同様であった。耕起除草剤区（T1+）では耕起無除草剤区（T1-）よりも種子数は少ない値で推移したが、いずれも種子数は次第に減少する傾向が認められた。毎年 1 m<sup>2</sup>あたりの出芽総数は、耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）でそれぞれ 36 個体から 336 個体および 112 個体から 607 個体程度であった。耕起区（T1+, T1-）における出芽総数は、不耕起区（N1+, N1-）と同様、前年の散布直後の上層の埋土種子数が多いほど多い傾向があったが、両区をこみにした場合の相関は低く（ $r=0.486$ ;  $n=6$ ）、5%水準で有意差は認められなかった。ただし、翌年春における全層の埋土種子数との相関は高く、有意であった（ $r=0.843$ ;  $n=6$ ;  $p<0.05$ ）。

#### (2) 種子の深度分布

2003 年 12 月の深さ 15 cm までの埋土種子数の合計は、不耕起無除草剤区（N1-）で最も多く、1 m<sup>2</sup>あたり 6485 粒、ついで不耕起除草剤区（N1+）で多く、1429 粒、耕起除草剤区（T1+）および耕起無除草剤区（T1-）ではそれぞれ 782 粒および 771 粒であった。深度分布は不耕起区と耕起区で明らかに異なり、前者ではほとんどの種子が 1 cm までの表層に集中していたが、後者では 15 cm の深さまでほぼ均一に分布していた（図 12）。2 回目の採取を行った 2004 年 4 月では埋土種子数は 12 月の 8%（耕起除草剤区；T1+）から 56%（不耕起除草剤

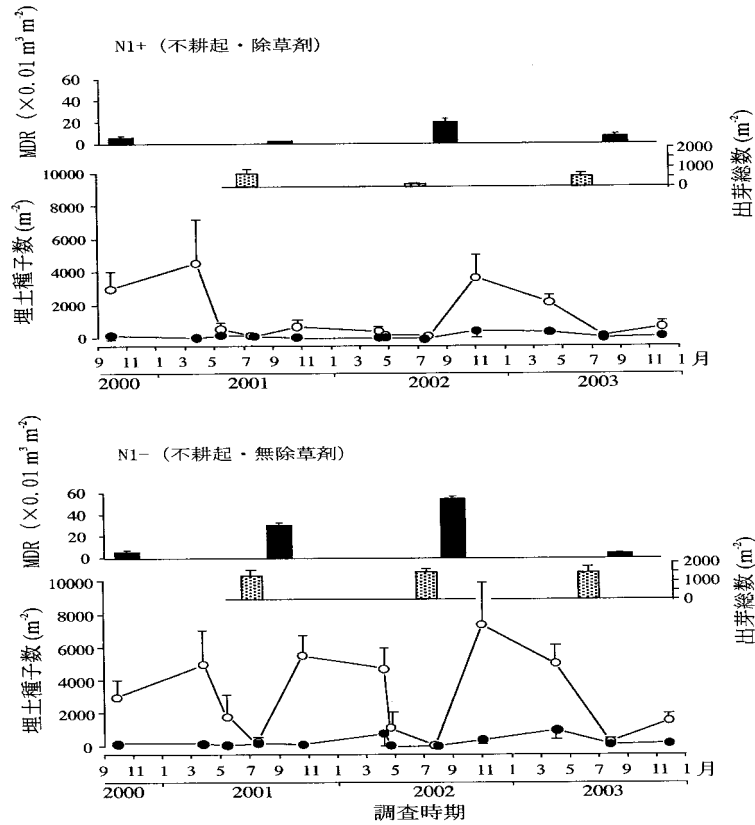


図10 不耕起区におけるメヒシバの埋土種子数の消長ならびに年次ごとの出芽総数および8月下旬の乗算優占度(MDR)

○：0～5 cm層，●：5～10 cm層のメヒシバ種子数。データはいずれも3反復の平均値と標準誤差で示す。

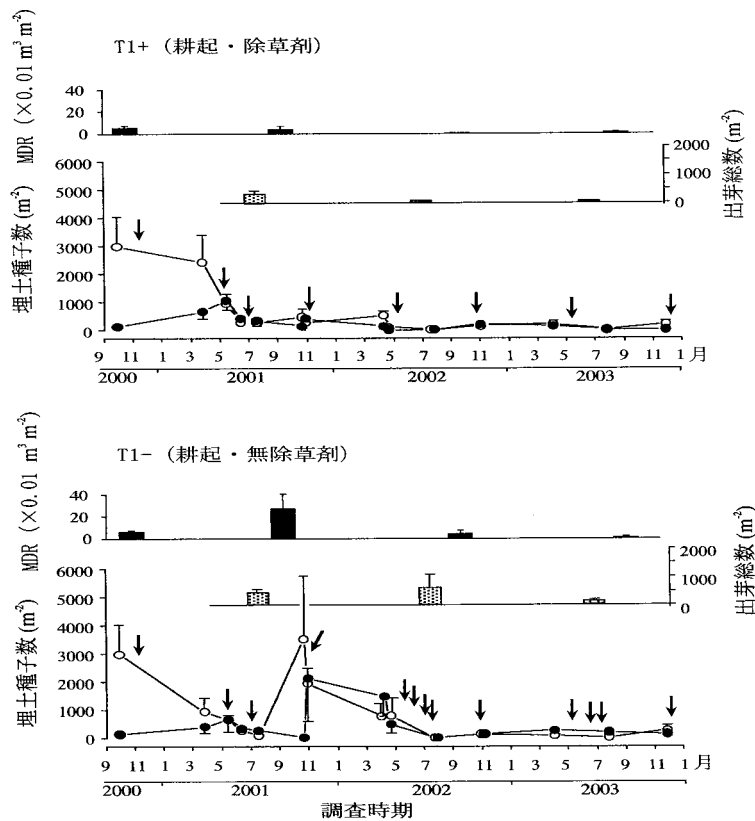


図11 耕起区におけるメヒシバの埋土種子数の消長ならびに年次ごとの出芽総数および8月下旬の乗算優占度(MDR)

○：0～5 cm層，●：5～10 cm層のメヒシバ種子数。データはいずれも3反復の平均値と標準誤差で示す。下向きの矢印は、耕起時期(中耕を含む)を示す。

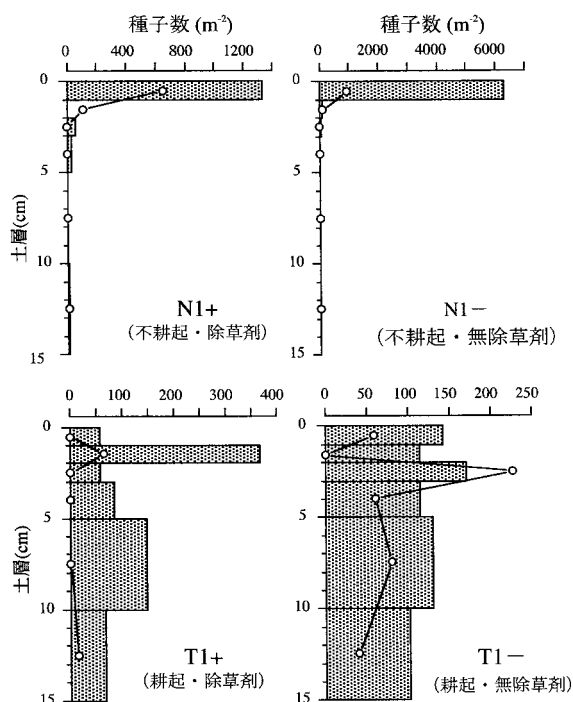


図 12 種子散布当年および翌春におけるメヒシバ埋土種子の土中深度分布

棒グラフおよび折れ線グラフはそれぞれ 2003 年 12 月 2 日（種子散布当年）および 2004 年 4 月 19 日（翌春）に採取した土壌中の種子数を示す。

区；N1+) にまで減少していた。この時点ではメヒシバの発生はまだ始まっていないので、減耗は死亡によるものと考えられた。減耗程度には埋土の深さによって傾向は認められず、不耕起区で地表に集中し、耕起区ではほぼ均一という垂直分布パターンは 12 月時点と同様であった。上述した種子数の季節消長についての調査では、上層を深さ 5 cm まで、下層を深さ 5 cm から 10 cm までで代表させたが、本調査から、不耕起区における上層の種子は、実際には表層から 1 cm 程度までの極めて浅い層に集中分布していることが明らかになった。

2) 圃場に置かれた種子の季節的变化

土中の種子は、前冬作オオムギ区、前冬作休閑区ともに、冬から春にかけて多くが死亡したため、秋以降への種子の持ち越しは 10% 程度とわずかであった（図 13）。地表に置かれた種子は、前冬作休閑区では発芽数が多かったため、また、前冬作オオムギ区では発芽数は少なかったが、その分死亡率が高

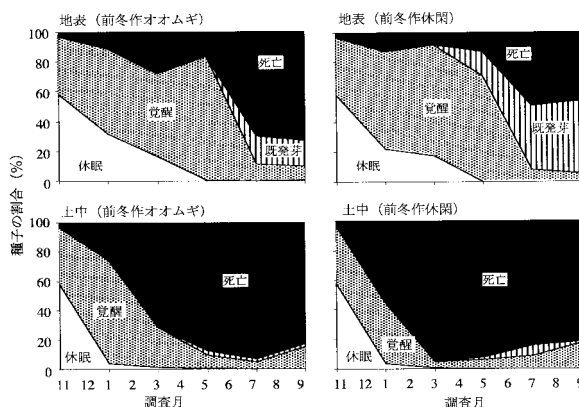


図 13 圃場条件下で地表および土中に置かれた種子の季節的变化

それぞれ 3 反復の平均値である。30℃/20℃，明条件で 10 日以内に発芽した種子を休眠覚醒種子とみなした。

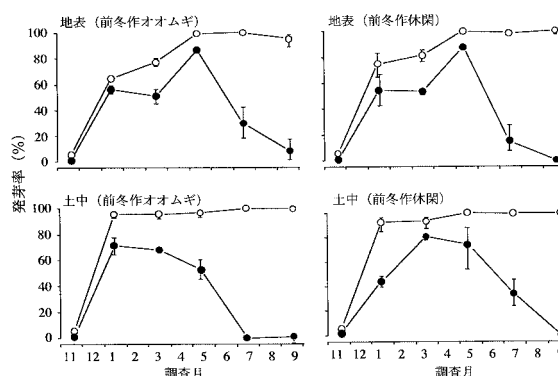


図 14 圃場条件下で地表および土中に置かれたメヒシバ種子のうち生残種子の発芽率の季節的变化

種子は前年 11 月に圃場に置いた。○および●はそれぞれ明条件および暗条件で 30℃/20℃，10 日間の発芽率で、それぞれ 3 反復の平均値と標準誤差を示す。

かったため、最終的には冬作の有無にかかわらず、秋以降への種子の持ち越しは前冬作休閑区と同様 10% 程度であった。以上から、作付体系、発芽数の多寡にかかわらず、秋以降への種子の持ち越しは 10% 程度とわずかであることが明らかになった。土中の種子は、作付体系に関わらず冬の間速やかに休眠性を失ったが、地表に置かれた種子は、休眠覚醒が若干遅れる傾向が見られた（図 14）。しかし、地表であっても、発生期である 5 月にはほぼ全ての生残種子の休眠が覚醒していた。暗条件では常に明

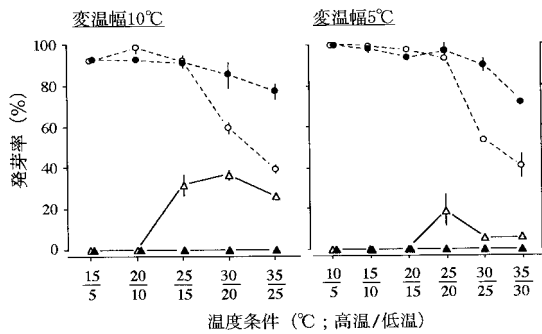


図15 メヒシバ種子の発芽に及ぼす光と変温の影響

各変温条件について、明条件および暗条件で10日間の発芽率を調べた後、すべてを30℃/20℃、明条件に移してさらに10日間(合計20日間)の発芽率を調べた。△および▲はそれぞれ最初の10日間の明条件および暗条件での発芽率を、○および●はそれらを30℃/20℃、明条件に移した後、10日間の発芽を加えた発芽率を示す。誤差線は標準誤差である(n=3)。

条件よりも発芽が劣り、特に夏から秋にかけては、地表に置かれた種子も含め、発芽率が著しく低下した。

3) 乾燥貯蔵した種子の温度と光に対する反応  
供試したメヒシバの種子は採取後3か月しか経過しておらず、休眠が十分に覚醒していない種子が多く存在したため、10日間の発芽率は最高であった20℃/30℃の明条件でも40%を超えなかった(図15)。明条件では、高温が25℃以上の温度条件で発芽が見られ、変温幅が10℃の場合に、5℃の場合よりも発芽率が高かった。暗条件では全ての温度条件で発芽が見られなかった。20℃/30℃、明条件に移した後の発芽を含めた発芽率は、高温が25℃以下の温度条件では光条件に関わらず100%近かった。高温が30℃以上の温度条件では発芽率がやや低下する傾向が見られた。明条件ではその傾向が特に顕著であり、25℃/35℃、明条件では20℃/30℃、明条件に移した後の発芽はごく少数であった。

上述の実験と同様に休眠覚醒の不十分な種子について、赤色光のみを照射した場合(R)、発芽率は50%近くになったが、近赤外光のみを照射した場合(FR)の発芽率は10%未満にとどまった(図16)。赤色光を照射しても、引き続いて近赤外光を照射した場合(R-FR)には赤色光照射の効果は打ち消され、発芽率は10%未満となった。この赤色光で発芽が促進され、近赤外光でその効果が打ち消されるという反応は可逆的であった(R-FR-R, R-FR-R-FR)。こうした赤色-近赤外光可逆的現象に

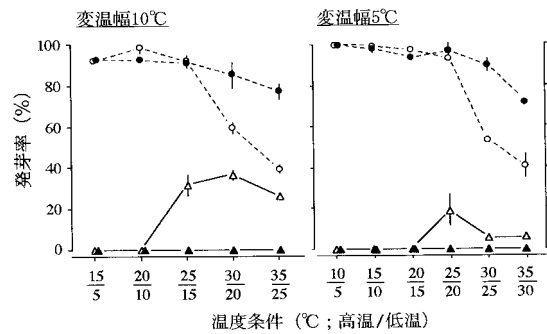


図16 赤色光(R;660nm)と近赤外光(FR;730nm)の断続照射がメヒシバ種子の発芽率に及ぼす影響

データは3反復の平均値と標準誤差で示す。

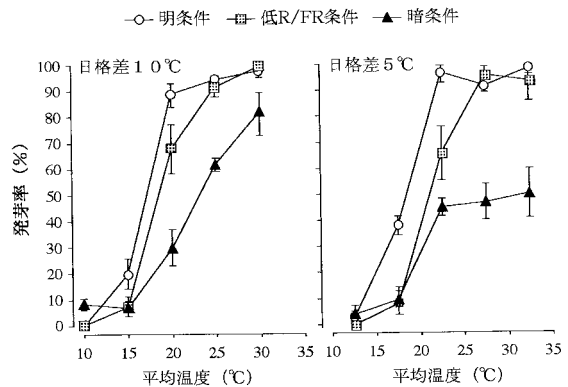


図17 地表のメヒシバ種子の発芽に及ぼす光質と変温の影響

前年秋にオオムギ畑の地表に置いた種子を翌年5月24日に回収し、発芽試験を行った。低R/FR条件におけるR/FR比は約0.1である。10日間の発芽率で、3反復の平均値と標準誤差を示す。

はフィトクロムが光受容色素として関与しているとされることから(井上1982)、メヒシバの光発芽性についてもフィトクロムが関与していると判断できる。

#### 4) 圃場に置かれた種子の発生盛期における光質と変温に対する反応

日較差10℃、5℃のいずれでも、明条件および低R/FR条件では平均温度が25℃以上の場合、発芽率は100%に近かったが、暗条件では発芽率は明らかに劣った(図17)。明条件および低R/FR条件でも低い温度域では発芽率は劣り、低R/FRではそれが顕著で、日較差10℃の場合には平均温度15℃以下、日較差5℃の場合には平均温度17.5℃

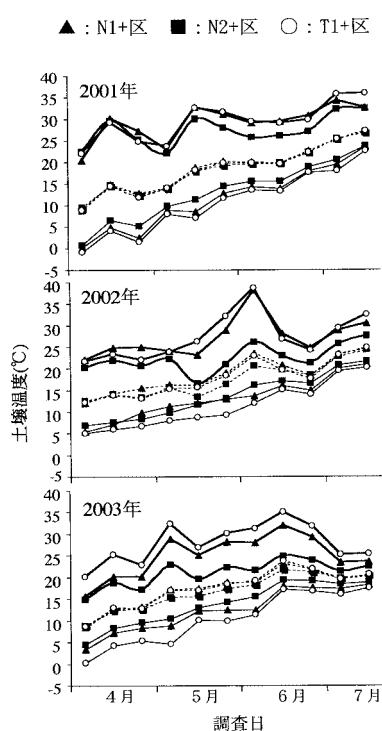


図 18 土壌の日最高温度（太線），日平均温度（点線）および日最低温度（細線）

土壌温度は地表から 0.5 cm の深さで測定した。データは 10 日毎の平均値である。

以下における発芽率は暗条件とかわりがなかった。同じ平均温度でみると，日較差 5℃では 10℃よりも発芽率は劣る傾向が見られた。発生盛期における地表の平均温度は 17℃～20℃程度であり（図 18 参照），この温度域では日較差 10℃で明条件または低 R/FR 条件では発芽率は 50%から 90%程度だったが，日較差 5℃で低 R/FR 条件では発芽率は暗条件とかわらず，10%から 30%程度であった。

### 3. 考 察

本試験の結果から，メヒシバのシードバンクは不耕起栽培では地表付近に集中するが，新たな種子が散布される直前である夏季には著しく減少することが明らかになった（図 10，図 12）。この地表への集中分布は，1 年未満の不耕起であっても観察された。一方，耕起栽培では，種子は耕起によって土壌の全層に分布するが，不耕起栽培同様，夏季には著しく減少することが明らかになった（図 11，図 12）。これらの事象は，メヒシバ種子の寿命がごく短く，次に種子が自然散布される時期まで残存する種子がわずかであることを示している（図 13）。

メヒシバ種子の出芽限界深度は砂土以外では 3～

4 cm 程度であり（伊藤 1993），平均的には 1 cm 以内と比較的浅いため，下層に位置する種子の多くは出芽することなく短期間で死亡したと考えられた。また，露崎・中川（1987）の試験結果と同様，土中の種子の死亡は地表の種子のそれよりもむしろ速やかであった（図 13）。このように，メヒシバの種子は寿命が短く，埋土によっても寿命は長くないため，耕起にはシードバンクを大きくする効果はなく，むしろ，出芽が可能な深度内の種子数を減少させることを通じて出芽数を減少させる効果が大きいと考えられた（図 11，図 12）。一方，不耕起栽培では，ほとんどの種子が，自然散布された翌年まで出芽可能な地表付近にとどまり，直接出芽数に反映するため，その数が多くなるものと考えられた。高林・中山（1981a）は，メヒシバの種子をポットの表層に播種し，攪拌を行わなかった場合，攪拌を繰り返した場合よりも出芽総数が多くなったが，3 年後の残存種子数はどちらもわずかであったと報告しているが，本研究の結果はこれらの報告と一致している。

乾燥貯蔵した種子を用いた発芽試験において，メヒシバの種子は明らかな光発芽性を示し，変温幅が大きい場合に発芽が促進された（図 15）。これらは既報（露崎ら 1984，露崎・中川 1987）と一致する結果であった。さらに，赤色光と近赤外光の照射実験から，この光発芽性にはフィトクロムが光受容色素として関与していることが明らかにされた。また，25℃以下で湿潤条件に 10 日間置くことで，種子の休眠覚醒が進むことが明らかになった。多くの夏雑草の種子は低温湿潤条件で休眠覚醒が進行することが明らかにされており（伊藤 1993），メヒシバの種子も同様であることが確認された。一方，30℃以上の高温で湿潤条件を与えても種子の休眠の覚醒は進むが，このとき，光の照射があると暗条件下に置かれた場合と比較して覚醒速度が鈍化する傾向がみられた。明条件で与えた光の R/FR 比は十分に高いことから ( $1.2 < R/FR$ )，この阻害作用にはフィトクロム以外の光受容色素が関与している可能性もあるが，本実験の範囲ではそれを明らかにすることはできなかった。

一般に，雑草種子が示す光発芽性は，埋土によるシードバンクの形成に貢献していると考えられている（Wesson and Wareing 1967, 1969）。しかし，埋土されなくても，光発芽性があるのなら，地表の



微細な環境,あるいは作物や他の雑草個体の被蔭によって発芽が抑制されることは十分考えられる。特に,メヒシバの種子の光発芽性にはフィトクロムが関与していることから,暗条件ではなくても,作物草冠の緑蔭効果でR/FR比が低下すれば,発芽が阻害される可能性がある。実際,地表に置かれたメヒシバの種子は,発生盛期に温度の日較差の縮小とR/FR比の低下が同時に生じれば発芽率が暗条件と同程度にまで低下することが明らかになった(図17)。このことから,メヒシバの発生盛期において,オオムギなどのカバークロップの緑蔭下では温度の日較差の縮小とR/FR比の低下によって発芽が抑制されることが示唆された。なお,メヒシバの種子は,不耕起栽培で種子が地表付近にとどまったとしても,わずかながら次の自然散布が生じるまで種子は残存した。その要因の一つとして,メヒシバ種子の示す光発芽性が考えられ,特に夏以降それが強化されること(図14)の影響が大きいと推測された。

#### 4. 摘 要

ダイズの不耕起および耕起栽培畑におけるメヒシバのシードバンクの深度分布および季節消長を,自然散布が行われる圃場での調査および採種後,圃場の地表および土中に置かれた種子の変化を調査することにより明らかにした。

メヒシバのシードバンクは不耕起栽培では地表付近に集中し,種子数も夏季には著しく減少した。地表への集中分布は最終耕起後1年未満ですでに観察された。

耕起栽培では,耕起によって種子が土壌の深い層まで分布するが,種子数は不耕起栽培と同様に,夏季に著しく減少した。

これらの事象は,メヒシバ種子の圃場での寿命が短く,次の生産・自然散布の時期まで残存する種子がわずかであることによる。

発芽試験により,メヒシバの種子は光発芽性を有し,変温幅が大きい場合に発芽が促進されることが確認された。また,この光発芽性にはフィトクロムが光受容色素として関与していることが判明した。

地表に置かれたメヒシバの種子は,発生盛期に温度の日較差の縮小とR/FR比の低下が同時に生じれば発芽率が暗条件と同程度にまで低下することが明らかになった。このことから,草冠の緑蔭効果によって発芽が抑制されることが示唆された。

圃場においては,メヒシバの種子は通年にわたり

光発芽性を示し,特に夏季から秋季にかけては暗条件ではほとんど発芽がみられなかった。こうした光発芽性は,土中のみならず地表に置かれた場合でも同様に認められたことから,不耕起栽培においても次の種子生産・自然散布まで生存種子が持ち越される原因の一つとして,緑蔭効果が考えられる。

### カバークロップ条件下における雑草植生の特徴と雑草抑制効果

#### -1 雑草植生の変遷と主要一年生雑草の発消長

第Ⅲ章において,夏畑作物の不耕起栽培では一年生夏雑草,特にイネ科雑草が優占する傾向があることが示された。しかし,イネ科雑草が優占する原因については明らかになっておらず,合理的な防除法を開発するためにはそれを解明することが必要である。

イネ科雑草の不耕起栽培下での生態については,第Ⅳ章において,不耕起栽培ではシードバンクは地表付近に集中し,出芽深度が浅くなることを明らかにした。この事実は,種子が土中に薄く散在する耕起栽培よりも,不耕起栽培の方が埋土種子の管理が容易である可能性を示すものである。また,地表付近からの出芽については,地表面に到達する光量を減少させたり,土壌温度の日較差を縮小させることで効率的に抑制し得ると考えられる。

第Ⅰ章で述べたように,北アメリカを中心に実施されてきた研究から,ある種のカバークロップには雑草を抑制する効果があることが明らかになっている(Teasdale 1998, Hartwig and Ammon 2002)。多くの研究では,カバークロップの雑草抑制効果とその残さによる土壌表面の被覆に起因した雑草の個体密度の低減によっていると結論づけている(Crutchfield *et al.* 1985, Mohler and Teasdale 1993)。しかし,ある時点における雑草の個体密度は,出芽数のみならず出芽後の定着率,すなわち実生の生存率にも影響される。雑草の個体密度が低減する理由がそのどちらであるかについては明らかになっていない。

本節では,ダイズの不耕起栽培において,一年生夏雑草,特にイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであり,冬作カバークロップが抑草効果を有するのは,その出芽を抑制するためである,という仮説を設定した。その検証のため,圃場試験を3年間連続して実施し,耕起およびカバークロップ

が雑草植生の変遷および一年生夏雑草の出芽に及ぼす影響を調べた。

なお、カバークロップとしては冬作オオムギを採用した。その理由は、第一に予備試験から、オオムギの茎葉はライムギなどこれまでカバークロップとしてしばしば利用されてきた作物に比べて軟弱で、その刈り敷き直後であっても不耕起播種機を用いたダイズの播種が容易であることが分かったからである。第二には試験を実施した東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の位置する福島県では、かつてオオムギダイズの1年2作体系が行われ、作付体系として受け入れられやすいと考えたためである。

1. 材料および方法

1) 処理区の設定

東北農業研究センター畑地利用部（福島市）の黒ボク土壌の畑圃場にて3年間の試験を実施した。試験開始に先立つ2000年の夏作にプラウ耕および2回のロータリー耕を行った後、ダイズを均一栽培して圃場を準備した。実験計画は3反復の乱塊法であり、次の6処理を設けた。すなわち、不耕起ダイズ

単作の除草剤散布区 (N1+) および無除草剤区 (N1-), 不耕起オオムギダイズ1年2作の除草剤散布区 (N2+) および無除草剤区 (N2-) ならびに耕起ダイズ単作の除草剤散布区 (T1+) および無除草剤区 (T1-) である。表9に処理区の栽培管理方法の概要を示した。除草剤は、2003年にN1+においてグリホサートをダイズの播種1か月前に散布した以外は、作物の播種直後に散布した。

1区の面積は88㎡ (8m × 11m) である。冬作オオムギ (品種: べんけいむぎ) は10g/m<sup>2</sup>の種子を条間32.5cmで不耕起播種した。オオムギには基肥としてN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>Oをそれぞれ6g/m<sup>2</sup> (くみあい複合硝磷加安S444), 播種と同時に施肥した。オオムギはダイズの播種前日にハンマーナイフモア (共栄社製HMA80) にて刈り取り, 粉碎してその場に敷いた。ダイズ (品種: 2001年, 2002年についてはスズユタカ, 2003年についてはふくいぶき) は種子5g/m<sup>2</sup>を畦間65cmで条播した。ダイズには基肥としてN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>Oをそれぞれ2.5g/m<sup>2</sup>, 10g/m<sup>2</sup>および10g/m<sup>2</sup> (くみあい化成高度500) を播種と同時に施肥した。N2+を除く

表9 処理区の概要

処理区	年次	秋耕	前冬作オオムギ		ダイズ				
			播種日	除草剤 <sup>1)</sup>	播種前耕起	播種日	除草剤 <sup>1)</sup>	中耕	刈取除草
不耕起ダイズ単作除草剤区 (N1+)	2001	-			-	5月28日	T+G	-	1回
	2002	-			-	5月29日	AL+G	-	1回
	2003	-			-	5月29日	G <sup>2)</sup> , T+G	-	1回
不耕起ダイズ単作無除草剤区 (N1-)	2001	-			-	5月28日	-	-	2回
	2002	-			-	5月29日	-	-	3回
	2003	-			-	5月29日	-	-	2回
不耕起オオムギダイズ除草剤区 (N2+)	2001	-	10月24日	-	-	5月28日	T	-	-
	2002	-	10月23日	Pr+G	-	5月29日	AL	-	-
	2003	-	10月25日	Pe+G	-	5月29日	T	-	-
不耕起オオムギダイズ無除草剤区 (N2-)	2001	-	10月24日	-	-	5月28日	-	-	1回
	2002	-	10月23日	-	-	5月29日	-	-	1回
	2003	-	10月25日	-	-	5月29日	-	-	1回
耕起ダイズ単作除草剤区 (T1+)	2001	+			+	5月28日	T	1回	-
	2002	+			+	5月29日	AL	1回	-
	2003	+			+	5月29日	T	1回	-
耕起ダイズ単作無除草剤区 (T1-)	2001	+			+	5月28日	-	1回	-
	2002	+			+	5月29日	-	3回	-
	2003	+			+	5月29日	-	2回	-

注. 除草剤の略号の意味は次の通りである。AL=アラクロール0.13g ai m<sup>-2</sup> (43%乳剤) とリニュロン0.05g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤) の混用, G=グリホサートアンモニウム塩0.16g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤), Pe=ペンディメタリン0.12g ai m<sup>-2</sup> (30%乳剤), Pr=プロメトリン0.1g ai m<sup>-2</sup> (50%水和剤), T=トリフルラリン0.13g ai m<sup>-2</sup> (44.5%乳剤)。播種約1か月前にグリホサート0.2g ai m<sup>-2</sup> (41%液剤) を散布した。

不耕起区 (N1+, N1 -, N2 -) については、6月から7月の間に、刈り幅 50 cm の小型ロータリーモア (オーレック製 SP50) にて条間の除草を行った。T1+ および T1 - については6月から7月の間に中耕除草を行った。N1+, N2+ および T1+ の地表から 0.5 cm の深さの地温を自記式温度計 (Espec 製 Thermo Recorder RT-11) によって冬季を除き連続測定した。

## 2) 雑草植生

作物および雑草の被度および草高をオオムギを刈り敷く直前の5月末および8月末に測定した。調査時期は第Ⅲ章で明らかにしたように、冬作および夏作の典型的な雑草植生となり、かつ乗算優占度が最大となることから決定した。調査は1区あたり3枠ずつ設置した 0.65 m<sup>2</sup> (1 m × 0.65 m) の方形枠内について実施し、3つの方形枠の平均値をその区の値とした。

## 3) 一年生夏雑草の発生

調査は1区あたり3枠ずつ設置した 0.195 m<sup>2</sup> (0.30 m × 0.65 m) の方形枠内について毎年3月に実施した。4月上旬から8月上旬まで、雑草の全発生個体を概ね10日ごとに土壌を攪乱しないように抜き取り、一年生夏雑草の個体数を記録した。調査対象種は、メヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサ、シロザ、ヒユ類 (イヌビユおよびホソアオゲイトウ) およびタデ類 (イヌタデおよびオオイヌタデ) である。3つの方形枠の平均値をその区の値とした。

## 4) オオムギの生長量およびダイズ収量

オオムギについては、毎年12月に処理区の中央付近の2 m、2条分について出芽密度を測定するとともに、刈り敷き直前の5月末に1区あたり2カ所から2 m × 2条を地際から刈り取り、その風乾重を測定した。ダイズについては、10月末の収穫時に1区あたり2 m × 2条分を2カ所から刈り取り、子実収量を調査した。

## 5) データの解析

雑草の空間占有体積の指標として、第Ⅱ章で述べた乗算優占度 (MDR) を種ごとに算出した。

雑草乗算優占度、出芽数、オオムギの個体密度および乾物重ならびにダイズの子実収量について、反復測定型の多変量分散分析 (MANOVA) を行い、ついで年次ごとに分散分析 (ANOVA) を行った。乗算優占度および出芽数については対数変換値について分析を行った。ANOVA において有意性が認

められた場合には、Tukey の HSD 検定にて5%水準で処理区間の対比較を行った。これらの統計処理には JMP version 5 (SAS Institute, Inc. 2002) を用いた。

## 2. 結 果

### 1) 環境条件とオオムギの生育量およびダイズ収量

2001年および2002年はダイズの生育期間を通して気温は平年並みで推移したが、2003年は冷夏であり、地温も低く経過した。日平均地温は、N1+区、N2+区およびT1+区の間で大きな違いがなかったが、オオムギの生育期間、特に4月以降についてはN2+区で若干低く推移した (図18)。N2+区では、4月から7月にかけて、他の区よりも明らかに日最高地温は低く、最低地温は高く推移した。オオムギの個体密度は多変量分散分析において、年次および処理区間で有意差が認められず、いずれの年次も350個体 m<sup>2</sup> 程度であった。また、カバークロップとして用いたオオムギの風乾重についても有意差はなく、平均で877 g m<sup>2</sup> であった。

ダイズは4つの不耕起区において旺盛な初期生育を示した。図19は3年間のダイズの収量を示したものである。ダイズの収量は、多変量分散分析において年次、処理および年次と処理の交互作用のいずれも有意となった ( $p < 0.001$ )。2001年はオオムギ-ダイズ区 (N2+, N2-) で収量が高かった。無除草剤区 (N1-, N2-, T1-) では、雑草害の

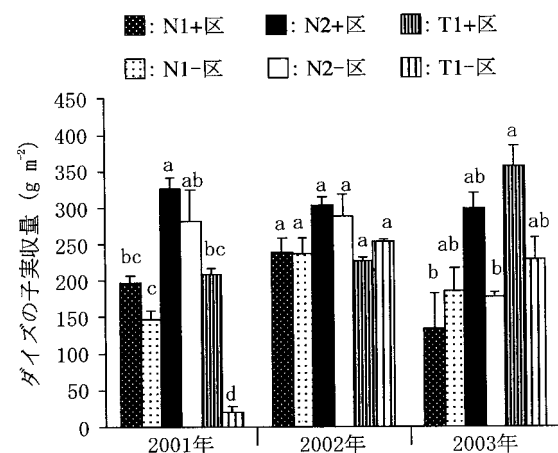


図19 各処理区におけるダイズの子実収量

誤差線は3反復の標準誤差である。同一年次内で同一アルファベットは Tukey の HSD 検定において5%水準で有意差がないことを示す。

表 10 春季（5月）および夏季（8月）における雑草の乗算優占度（MDR）

年次	処理	MDR <sup>1)</sup> (×0.01m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )					
		5月			8月		
		多年生雑草	一年生雑草 <sup>2)</sup>		多年生雑草	一年生雑草 <sup>2)</sup>	
イネ科	広葉		イネ科	広葉			
2001	N1+	0.0	0.0	2.8 a	0.0	7.0 abc	11.8 b
	N1-	0.0	0.0	3.1 ab	0.0	40.5 ab	11.9 b
	N2+	0.0	0.0	0.0 c	0.1	0.7 c	1.4 c
	N2-	0.0	0.0	0.3 c	0.0	4.4 abc	0.7 c
	T1+	0.0	0.0	0.1 bc	0.2	9.3 bc	35.2 ab
	T1-	0.0	0.0	0.2 abc	0.0	50.3 a	85.1 a
2002	N1+	4.8 a	0.0	29.2 ab	2.0 a	30.3 a	7.8 a
	N1-	3.3 a	0.1	34.9 a	1.2 ab	73.5 a	8.3 a
	N2+	0.2 b	0.0	0.4 c	0.7 ab	3.0 b	1.4 bc
	N2-	0.7 b	0.0	13.2 b	1.4 ab	13.8 b	0.3 c
	T1+	0.1 b	0.0	0.1 c	0.0 b	2.8 b	1.9 bc
	T1-	0.0 b	0.0	0.3 c	0.0 b	11.1 ab	6.3 ab
2003	N1+	0.1 b	0.2	0.0 b	0.1 b	40.5 a	11.1
	N1-	32.5 a	0.3	10.9 a	1.3 a	33.1 a	11.6
	N2+	2.7 b	0.0	1.0 cd	0.3 ab	1.9 b	9.9
	N2-	13.2 a	0.0	5.7 ab	0.2 ab	18.6 ab	12.2
	T1+	0.0 b	0.0	1.2 cd	0.0 b	3.1 b	33.1
	T1-	0.0 b	0.1	2.4 bc	0.0 b	17.2 ab	47.0

注. 1) 表中の数値は平均値±標準誤差 (n = 3) である。同一年次同一列内で、同一アルファベットを付した平均値間には有意差がない (P<0.05)。  
 2) 二年生雑草を含む。

影響により収量が低い傾向が見られた。悪天候で、中耕を1回しか行えなかったT1-区では、特に収量が低かった。有意差は認められなかったものの、オオムギ-ダイズ区において収量が高い傾向は2002年も継続した。

不耕起区 (N1+, N1-, N2+, N2-) では、2002年の8月末の台風の影響で倒伏が著しかったが、収量への大きな影響は認められなかった。2003年には、開花期に当たる8月上旬の台風による倒伏で不耕起区のダイズは著しい被害を被ったが、耕起区ではダイズの生育が遅く、植物体が小さかったため、台風の影響はわずかであった。このように2003年は台風の影響によりダイズの収量に対する処理の影響がそれまでの2年間と異なった。すなわち、前年までと同様 300 g m<sup>2</sup> 程度の収量を確保したN2+区をのぞき不耕起区では低収となった。N2+区で台風の影響が小さかったのは、他の3つの不耕起区と比較して雑草量が少なかったため主茎の徒長がなく、また、風によって倒れた雑草がダイズの倒伏を助長することがなかったためである。

2) 春季および夏季における雑草植生

表10は5月末および8月末における雑草の乗算優占度を示したものである。多変量分散分析の結果、多年生雑草および広葉雑草については、5月、8月ともに、年次、処理および年次と処理の交互作用のいずれも有意 (p<0.01) であった。またイネ科雑草については、8月の処理 (p<0.001) および年次と処理の交互作用 (p<0.05) が有意となった。

多年生雑草は2001年には5月、8月ともにほとんど観察されなかったが、2002年には不耕起区で次第に増加する傾向が認められた。実験期間を通じて最も多く見られた多年生雑草はハルジオンであり、2003年には不耕起区、特にN1-区およびN2-区で乗算優占度が増加した。2003年、N1+では多年生雑草の乗算優占度が小さかったが、これは春先の雑草量が極めて多く、このままではダイズの播種が困難と考えられたため、播種1か月前にあたる4月28日に非選択性の茎葉処理型除草剤 (グリホサートアンモニウム塩 0.2 g a.i. m<sup>2</sup> (41%液剤)) を散布したことによる。多年生雑草の乗算優占度は

除草剤, 条間の機械除草およびダイズの被蔭により8月の調査では大きく減少していた。

2001年の5月には数種の一年生および二年生雑草が観察され, N1-区で最大の乗算優占度を示した(表10)。優占種はナズナであった。2002年の5月には, 一年生および二年生の乗算優占度は不耕起単作区(N1+, N1-)で顕著に増加した。優占種はナズナであり, 次優占種はオニタビラコであった。2003年の5月には, N1+区を除く不耕起区でオニタビラコの乗算優占度が特に高かった。実験期間を通じて, 5月はイネ科の乗算優占度は小さかった。

実験期間を通じて, 全ての試験区で乗算優占度は8月には5月よりも大きな値を示した。不耕起区では, 2001年のN1+区, N2+区, 2003年のN2+区を除き, イネ科雑草の乗算優占度は広葉雑草のそれよりも大きかった。不耕起区での優占種はメヒシバであり, 次優占種はイヌビエであった。シロザ, ホソアオゲイトウなどの広葉雑草も見られたが, その乗算優占度は耕起区のそれよりも小さかった。イヌタデは, 耕起区よりも不耕起区で多く見られる唯一の広葉雑草であった。耕起区では広葉雑草はイネ科雑草よりも常に大きな乗算優占度を示し, 特にシロ

ザ, オオイヌタデ, ホソアオゲイトウが多く見られた。イネ科雑草のなかではイヌビエ, アキノエノコログサおよびヌカキビが耕起区で比較的多く見られた。

いずれの年次も, オオムギ-ダイズ区における一年生夏雑草の乗算優占度は不耕起単作区よりも明らかに小さかった。後述するように, 不耕起単作区では相対的にイネ科雑草が多く見られたので, 冬作オオムギは主としてイネ科雑草を抑制しているものと考えられた。オオムギ-ダイズ区, 特にN2-区では一年生夏雑草の乗算優占度は年次とともに増加する傾向が見られた。

### 3) 一年生夏雑草の出芽

図20および表11はそれぞれ3年間の出芽の季節消長およびシーズン中の総出芽数を示したものである。総出芽数についての多変量分散分析の結果, メヒシバ, アキノエノコログサおよびヒユ類については年次, 処理および年次と処理の交互作用で有意( $p<0.01$ ), イヌビエおよびシロザについては処理および年次と処理の交互作用で有意( $p<0.05$ )となったが, タデ類については有意性が認められなかった。

除草剤散布はメヒシバの出芽を常に抑制した。メ

表11 イネ科雑草および広葉雑草の年次別の出芽総数

年次	処理	出芽総数 <sup>1)</sup> (m <sup>-2</sup> )					
		イネ科雑草			広葉雑草		
		メヒシバ	イヌビエ <sup>2)</sup>	アキノエノコログサ <sup>2)</sup>	シロザ	ヒユ類	タデ類
2001	N1+	664 ab	492		543	882	192
	N1-	1295 a	249		946	1011	25
	N2+	166 ab	55		41	95	16
	N2-	441 b	63		769	519	22
	T1+	336 ab	227		186	512	8
	T1-	443 ab	842		228	1104	30
2002	N1+	165 bc	274	0 b	124 ab	370 ab	17
	N1-	1503 a	311	4 b	442 ab	259 ab	6
	N2+	31 c	56	3 b	105 b	14 c	24
	N2-	82 bc	38	0 b	201 ab	43 bc	1
	T1+	64 bc	101	26 a	971 ab	666 a	26
	T1-	607 ab	516	89 a	1440 a	1263 a	126
2003	N1+	539 ab	393 a	7	483 ab	194	25
	N1-	1437 a	415 a	30	869 ab	168	18
	N2+	228 bc	72 ab	9	148 b	26	131
	N2-	935 ab	108 ab	3	174 b	60	5
	T1+	36 d	25 b	7	455 ab	74	11
	T1-	112 cb	173 ab	63	1259 a	193	100

注. 1) 数値は平均値±標準誤差 (n = 3) である。同一年次の同一列内で, 同一アルファベットを付した平均値間には有意差がない ( $P<0.05$ )。

2) 2001年については, イヌビエとアキノエノコログサを区別しなかった。

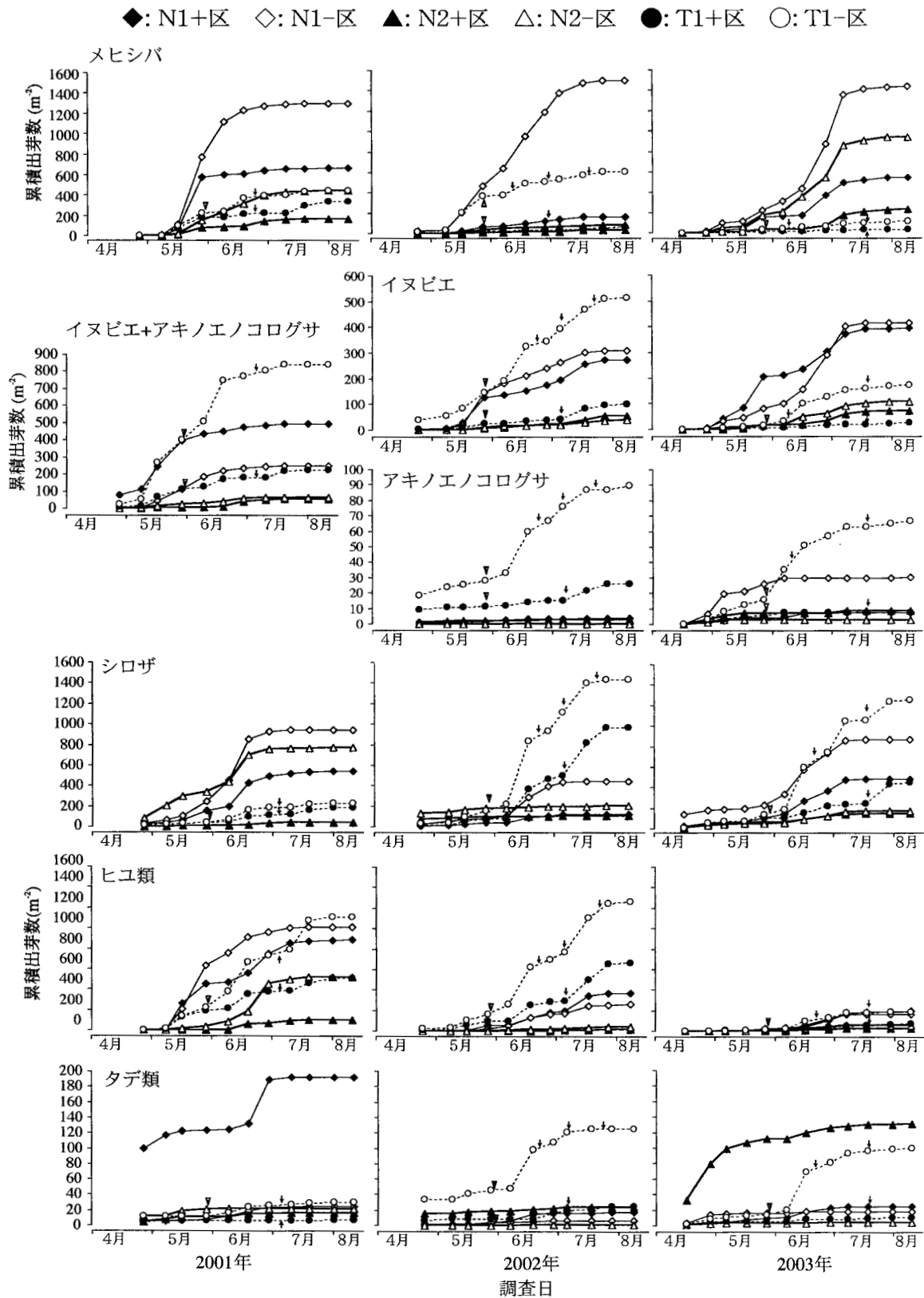


図 20 優占したイネ科雑草および広葉雑草の年次別の累積出芽数

▼および↓はそれぞれ播種前の耕耘時期および中耕時期を示す。

ヒシバの出芽は 4 つの単作区の中では耕起区よりも不耕起区で多かったが、オオムギ・ダイズ区では不耕起単作区よりも少なかった。冷夏となった 2003 年にはメヒシバの出芽は全ての区で遅延したが、オオムギ・ダイズ区ではそれまでの 2 年次と比較して出芽数が増加した。

イヌビエの出芽数についても、4 つの単作区の中では 2002 年の T1 - 区を除き、耕起区よりも不耕起区で多かったが、オオムギ・ダイズ区では不耕起単作区よりも少なかった。

アキノエノコログサの出芽数は 2002 年には耕起区で多かったが、2003 年には不耕起区で増加した。アキノエノコログサの出芽数はオオムギ・ダイズ区では他の区よりも常に少なかった。

除草剤散布区ではシロザとメヒシバの出芽が少なかった。また、これらの出芽は 2001 年の N2 - 区を除き、オオムギ・ダイズ区でも少なかった。なお、2001 年にはシロザは不耕起区で多く出芽したが、2002 年には、N2+ 区を除き出芽数が減少した。しかし、2003 年には再び不耕起区での出芽が増加した。これはダイズの播種時に播種機に不具合が生じ、

土壌に攪乱が加えられたため、ダイズの条付近の出芽はこの部分に集中していた。なお、2002 年および 2003 年は、耕起区におけるシロザの出芽が著しく多かった。

試験区で出芽が見られたヒユ類はホソアオゲイトウおよびイヌビエであったが、後者は前者に比べ稀であった。ヒユ類は 2002 年まで、耕起区で非常に多く出芽が見られたが、2003 年には不耕起単作区と耕起区で出芽数が急激に減少した。オオムギ・ダイズ区では 2001 年の N2 - 区を除き、ヒユ類の出芽が顕著に抑制された。試験区で出芽がみられたタデ類はオオイヌタデおよびイヌタデであったが、前者は耕起区で、後者は 2001 年の N1+ 区を除き、不耕起区で多く見られた。2002 年以降、オオイヌタデは T1- 区で多く出芽したが、2003 年にはイヌタデが N2+ 区で多く出芽した。カバークロップの効果はタデ類に関しては明確でなかった。図 21 は 8 月末における上述した一年生夏雑草 8 種の総出芽数と乗算優占度の関係を示したものである。8 種についての乗算優占度の和は、出現した全種についての乗算優占度の和の 80 % 以上であった。イネ科雑

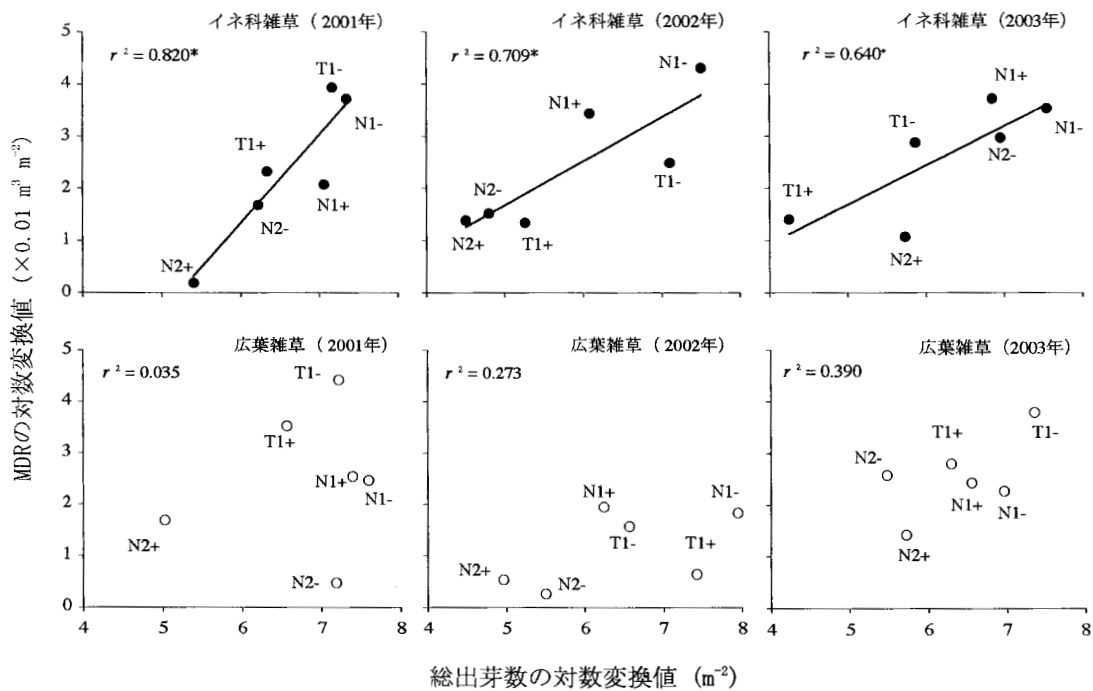


図 21 イネ科雑草と広葉雑草の総出芽数と乗算優占度 (MDR) の関係

図中の記号は処理区である。  
 イネ科雑草 (●) は、メヒシバ、イヌビエ、アキノエノコログサの和であり、広葉雑草 (○) は、シロザ、ヒユ類、タデ類の和である。  
 \*および + は相関がそれぞれ 5 % および 10 % 水準で有意であることを示す。

草については、毎年、乗算優占度は総出芽数と相関が認められたが、広葉雑草については相関が有意でなかった。2001年および2002年に不耕起区ではシロザとヒユ類の実生が早期に枯死する例が多く認められた。広葉雑草の発消長は、中耕を含む耕起直後の発生フラッシュのため断続的であった(図20)。

### 3. 考 察

乗算優占度の調査から、夏季の雑草植生は不耕起畑では耕起畑と同様、多くが一年生夏雑草からなり、特にイネ科雑草が広葉雑草よりも相対的に多いことが示された(表10)。この結果は、既往の報告と一致している(Froud-Williams *et al.* 1984)。一年生雑草の出芽数の調査結果から、夏季におけるイネ科の雑草量の増加は主として出芽数の増加によっていることが明らかになった(表11, 図20, 図21)。イネ科雑草のなかではメヒシバが不耕起畑で最も多く見られ、ついでイヌビエが多かった。アキノエノコログサは不耕起畑と耕起畑の両方に見られた。一方、シロザやホソアオゲイトウなどの広葉雑草は耕起畑で多く見られた。ただし、これらの種は不耕起畑であっても土壤が攪乱された場合には多くみられた。以上の結果は、これらの種が耕起による土壤攪乱によって増加することを示唆するものである。タデ類については不耕起畑と耕起畑で多くみられる種が異なり、イヌタデは不耕起畑で多く、オオイヌタデは耕起畑で多かった。

不耕起ダイズ栽培においては、冬作にオオムギを栽培し、茎葉を刈り敷くことで不耕起一年生夏雑草の現存量が著しく少なくなった。不耕起畑で優占する傾向のあるイネ科雑草は一年生夏雑草の中でも特に現存量が少なくなった(表10)。こうしたイネ科雑草の抑制は、出芽数の減少によっていることが示唆された(表11, 図21)。出芽数が減少する原因としては、不耕起条件の地表ではオオムギ茎葉の被覆により土壤温度の変温幅が顕著に小さくなること(図18)や光量が減少することのほか、オオムギの茎葉は刈り敷き時にはまだ緑色を残しており、低いF/FR比が持続することが考えられる。冬作カバークロップの残さについては、その量に応じて夏作における雑草の個体密度に影響を与えることが報告されている(Facelli and Pickett 1991, Teasdale 1998)。これらの報告から、本研究におけるオオムギの残さの量は、雑草の個体密度を抑制するのに十分であったと考えられる。また、不耕起ダイズ単作

区では、オオムギの刈り敷き前にすでに相当量の雑草が出芽していたことから、ダイズの播種直前までオオムギが生育していたことも雑草の出芽が抑制された原因のひとつと考えられた。

冬作にオオムギを栽培し茎葉を刈り敷いた場合は、広葉雑草の出芽も抑制されたが、出芽数と夏季における乗算優占度には相関が認められず、出芽の抑制が雑草量の抑制に結びついていると結論することはできなかった。本研究の範囲ではその原因を明らかにすることはできなかったが、シロザ、ヒユ類などの広葉雑草の実生の死亡率は全般的に高く、出芽数と夏季の雑草量の関係が低いことによる可能性が考えられる。一方、冬作オオムギはダイズの出芽および生長を抑制しなかった。

オオムギ-ダイズ体系により、最初の2年間、ダイズで高い収量を得ることができた。全般的に、夏季の雑草量が少ない場合には、雑草との競争の回避によってダイズの収量が高くなったものと考えられた(図19, 表10)。なお、2003年には例外的に不耕起畑でダイズが低収となったが、これは台風によるダイズの甚だしい倒伏とそれに伴う被蔭の減少により雑草の実生の生存率が上昇したことによると考えられた。

### 4. 摘 要

ダイズの不耕起栽培において、一年生夏雑草、特にイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであり、冬作カバークロップが抑草効果を有するのはその出芽を抑制するためである、という仮説を検証するため、不耕起単作区、不耕起オオムギ-ダイズ区および耕起単作区において、雑草の乗算優占度と一年生夏雑草の出芽数を3年間にわたって調査した。

乗算優占度については、春季には不耕起区において多年生雑草が年々増加したが、夏季には不耕起区を含む全ての区で、試験期間を通じて一年生夏雑草の割合が最も高かった。一年生夏雑草のなかでは、不耕起区ではイネ科雑草の割合が、耕起区では広葉雑草の割合が高かった。

不耕起オオムギ-ダイズ区と不耕起単作区を比較すると、前者では一年生夏雑草、特にイネ科雑草の乗算優占度が著しく小さかった。一年生夏雑草の出芽数については、メヒシバとイヌビエはほとんど例外なく耕起区よりも不耕起単作区で多かった。一方、広葉雑草は不耕起区よりも耕起区で多かった。



不耕起オオムギ・ダイズ区と不耕起単作区を比較すると、前者で出芽が少なく、それは特に最初の2年間に顕著であった。夏季のイネ科雑草の乗算優占度と出芽数には高い相関が認められた。

以上から、夏季における不耕起区でのイネ科雑草の雑草量の増加は主として出芽個体数の増加によること、および冬作オオムギによる抑草は、主として一年生夏雑草、特にイネ科の出芽抑制によることが明らかになった。

ダイズの収量は最初の2年間、不耕起オオムギ・ダイズ区で高い傾向がみられた。

## 2 カバークロップによる地表面被覆がメヒシバの出芽に及ぼす影響

前節までの研究で、ダイズの不耕起栽培で一年生夏雑草、特にメヒシバなどのイネ科雑草が優占するのは出芽数が増加するためであること、カバークロップとしての冬作オオムギの導入がその出芽を抑制して雑草の現存量を低減して雑草害を軽減し、ダイズの収量を確保できることなどを明らかにした。冬作カバークロップによる雑草抑制効果をより高めるためには、その抑制メカニズムに関わる優占雑草種の消長を明らかにする必要がある。

カバークロップの雑草抑制効果は、主として一定量以上の作物残さによる土壌表面の被覆を通じた雑草の個体密度の低減にあるとされているが (Teasdale 1998)、日本の南東北地域以南でダイズの不耕起栽培を行う場合には、通常、ダイズの播種期が多く的一年生夏雑草の発生始期と比較して遅いため、ダイズ播種以前に一年生夏雑草の大半が出芽している。したがって、冬作カバークロップによる一年生夏雑草の出芽抑制メカニズムを解明するためには、カバークロップ立毛中における発生に着目する必要がある。

第IV章で明らかにしたとおり、不耕起畑ではイネ科雑草の多くは地表付近から出芽するので、冬作オオムギの被蔭による土壌表面の環境条件の変化が出芽抑制の一つの要因であると推測される。そこで本節では、ダイズの不耕起栽培において、カバークロップとしての冬作オオムギとの1年2作体系およびダイズ単作でのメヒシバの発生と土壌表面の環境条件との対応関係をオオムギ立毛中に重点を置いて検討することで、カバークロップによる雑草の出芽抑制のメカニズムを解明する。

## 1. 材料および方法

### 1) 試験区の設定

試験は、東北農業研究センター畑地利用部(福島市)の黒ボク土の畑圃場(約5a)で行った。1999年の冬作にオオムギを不耕起栽培し、さらに2000年の夏作にダイズを不耕起栽培して圃場を準備し、2000年秋にオオムギ(品種:べんけいむぎ)を3つの異なる条間幅の不耕起栽培区(オオムギ・ダイズ区)および不耕起休閑区(ダイズ単作区)の4区を設けた。オオムギ・ダイズ区で設定したオオムギの条間は、20cm、40cmおよび60cmである。オオムギの条とダイズの畦はいずれも東西方向に設けた。実験計画は3ブロックの乱塊法で1区14m<sup>2</sup>とした。オオムギは10月31日に種子量で10g m<sup>-1</sup>をドリル播きし、登熟後期にあたる翌年6月4日にハンマーナイフモア(共栄社製HMA80)にて刈り取り、粉碎のうえ、その場に敷いた。なお、刈り敷きに先だって、オオムギの一部を刈り取り、地上部の風乾重を調査した。続いて6月5日に全ての区でダイズ(品種:スズユタカ)を同一条件で不耕起でドリル播きした。ダイズの畦は、オオムギの条と条間の中央付近に設けた。ダイズは種子量で5.5g m<sup>-2</sup>を畦間60cm、株間18cmで2粒播きした。施肥量はオオムギ、ダイズともに全量基肥で、窒素成分でそれぞれ6g m<sup>-2</sup>、3g m<sup>-2</sup>である。播種後、オオムギについてはプロメトリン0.1g a.i. m<sup>-2</sup>(50%水和剤)を、ダイズについてはグリホサートアンモニウム塩0.2g a.i. m<sup>-2</sup>(41%液剤)、アラクロール0.13g a.i. m<sup>-2</sup>(43%乳剤)、リニユロン0.05g a.i. m<sup>-2</sup>(50%水和剤)を散布した。ダイズはその後、無中耕、無培土で栽培した。

3月下旬から6月上旬のオオムギ刈り敷きまでの間、オオムギの草高を経時的に調べるとともに、土壌表面の温度を自記温度センサー(タバイエスペック製サーモレコーダーRT11)にて計測した。さらに、5月中~下旬の晴天時、正午頃に光量子センサー(小糸工業製IKS-27)および分光器(Ocean Optics製USB2000にコサインコレクタCC-3を装着)にてオオムギ群落内の土壌表面付近およびオオムギ群落直上の光量(近光合成有効放射)および分光特性を測定した。分光特性データから、次式(Smith 1994)によりR/FR比を算出した。

$$R/FR \text{ 比} = \frac{(655 \sim 665 \text{ nm の光量子束密度})}{(725 \sim 735 \text{ nm の光量子束密度)}$$

## 2) メヒシバ播種試験

同じく畑地利用部内のダイズの10年連続不耕起栽培畑、2年間連続不耕起栽培畑および耕起栽培畑でメヒシバの種子を集団採種し、2001年11月20日に、上述の試験区内にあらかじめ用意しておいた播種床に取り播きした。メヒシバには休眠・発芽性に関して種内に著しい変異が見られ、発消長も異なる可能性が考えられたため、由来の異なる複数系統の種子を用いた。メヒシバ種子は精選後、各試験区内の無作為に選んだオオムギの条に相当する場所(条付近)と2つの条の中央付近(条間)の土壤表面にそれぞれ100粒ずつ(ダイズ単作区については2か所に100粒ずつ)播種した。各々の播種床は断面積26cm<sup>2</sup>、長さ1.5cmの円筒型のプラスチックを埋込んだもので、筒内に充填する土は、埋土種子を死滅させるため事前に100℃で48時間の加熱を行っていた。翌春、メヒシバの出芽開始から終了まで概ね5日おきに、出芽した実生をていねいに取り除くと同時にその個体数を記録した。なお、オオムギ刈り敷き時には、播種床も残さず均一に被覆されるようにした。ダイズはこれらの播種床が条と条の中央付近に位置するように播種し、播種床には除草剤は散布しなかった。

## 3) 自然発生調査

ダイズ播種前・オオムギ刈り敷き前の5月21日に、各試験区内の中央付近に幅30cm、長さがオオムギの条間幅(ダイズ単作区ではその畦間)に等しい帯状の調査枠をオオムギ-ダイズ20cm区、40cm区、60cm区およびダイズ単作区についてそれぞれ6、3、2および2か所ずつ設け、長さ10cm(300cm<sup>2</sup>)ごとにメヒシバの出芽実生数を計測した。出芽実生数にはすでに枯死している実生も含め、その値を調査日までの総出芽数とした。

## 4) 統計処理

試験および調査に応じてモデルを選択して分散分析を行い(奥野1984, 奥野・芳賀1969)、有意差が認められた場合には、TukeyのHSD検定により5%水準で対比較を行った。オオムギ地上部の風乾重については、4水準3ブロックの乱塊法として分析した。

メヒシバの播種試験における出芽総数については、オオムギの条間(ダイズ単作区にあっては2か所)の平均値を当該処理区の値と考え、オオムギの有無ないし条間幅(20cm区、40cm区、60cm区、ダ

イズ単作区)を一次因子、メヒシバ種子の系統(3系統)を二次因子とする3ブロックの分割区法として分析した。つづいて、ダイズ単作区を除き、オオムギの条間幅(20cm区、40cm区、60cm区)を一次因子、メヒシバ種子の系統、処理区内の位置(条付近、条間)の位置を二次因子とする3ブロックの分割区法として分析した。

自然発生個体数については、まず同一処理区内の複数の調査枠における全てのデータの平均値を当該処理区の値とし、4水準3ブロックの乱塊法として分析した。つづいて、試験区内の位置による効果を明らかにするため、ダイズ単作区および20cm区を除き、オオムギの条間幅(40cm区、60cm区)を一次因子、調査枠内の位置(株元の南側、条間、株元の北側)を二次因子とする3ブロックの分割区法と考え、分析を行った。その際、条間については、40cm区では調査枠の中央20cm分を、60cm区では同40cm分をプールした。

以上の統計処理上の計算は、JMP-5J(SAS Institute Inc. 2002)により行った。

## 2. 結 果

### 1) 試験区の植生と地表の環境

オオムギの生育の進行とともに地表の被蔭の程度は強くなり、4月下旬頃に最大に達したが(図22)、その後は大きな変化はなかった。オオムギの出穂期は各区とも4月23日頃で、それから概ね1か月後、メヒシバの発生盛期にあたる5月中下旬は、オオムギの登熟中期から後期にあたり、下葉から退色が始まりつつあった。このとき、オオムギ群落直上から

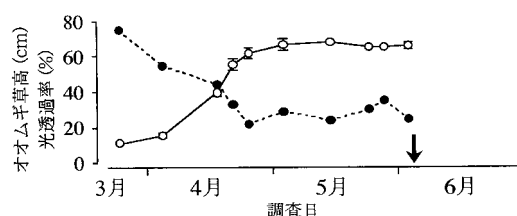


図22 オオムギ-ダイズ区(オオムギ条間20cm区)におけるオオムギの草高(○)およびオオムギ群落内への光の透過率(●)の推移

オオムギ草高に付した誤差線は標準誤差を示す(n=3)。光透過率は、群落直上に対する群落下の光合成有効放射の割合である。

矢印は、オオムギを刈り敷き、ダイズを播種した日を示す。

観察すると、条間の被覆は条間幅 20 cm区ではほぼ完全であったが、40 cm区、60 cm区ではなお不完全であった。地表では、立毛中のオオムギの被蔭によって光量が減少(被蔭の強い場所で正午頃、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度)するとともに R/FR が低下していた(図 22)。また、日平均地温には処理区間でほとんど差がなかったが、オオムギの被蔭によって地温の日較差が縮小する傾向が認められた(図 23)。これらのオオムギの被蔭効果は 60 cm区など条間幅が広い場合には、条付近で顕著であった。

オオムギ地上部の刈り敷き時の風乾重の平均値および標準誤差 (n=3) は 20 cm区、40 cm区、60 cm区でそれぞれ  $790 \pm 160 \text{ g m}^{-2}$ 、 $759 \pm 148 \text{ g m}^{-2}$ 、 $718 \pm 161 \text{ g m}^{-2}$  であった。刈り敷き時の各区における優占雑草はメヒシバであり、他にシロザ、ハルタデなどの一年生夏雑草の実生が見られた。さらに、越冬したナズナやコハコベ、ヨモギが散見された。ヨモギなどの多年生雑草はどの区にも散発的に見られたが、一年生夏雑草は全般にオオムギ-ダイズ区で少なく、ダイズ単作区で多い傾向が見られた。

2) 前年秋に取り播きしたメヒシバの出芽

オオムギ-ダイズ区ではダイズ単作区と比較して

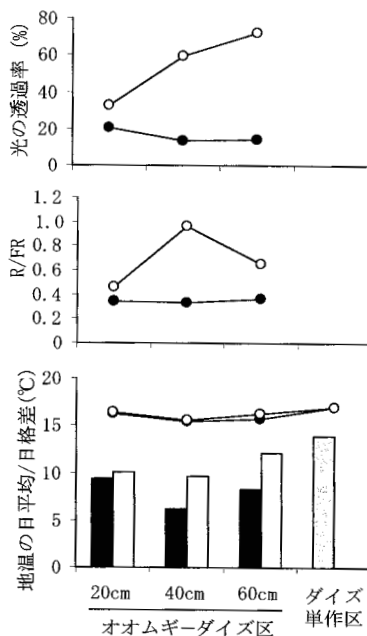


図 23 メヒシバの出芽盛期における土壌表面付近の環境条件

光の透過率の意味は図 22 と同じである。群落直上の光合成有効放射は  $1,800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  程度であった。地温のグラフの折れ線は日平均で、棒グラフは日格差である。オオムギ-ダイズ区において、●および■は条付近、○および□は条間を示す。ダイズ単作区については条付近と条間を区別していない。地温は 5 月 20 日～31 日の平均である。光の透過率、R/FR はそれぞれ 5 月 19 日、5 月 24 日の正午頃に測定した。

メヒシバの出芽が減少し、遅延する傾向がみられた(図 24, 図 25)。この傾向は、ダイズ単作区におけるメヒシバの出芽開始時(4 月)にすでに現れていたが(図 24)、その時期はオオムギの生育が急速に進行し、被蔭の程度が強くなった時期に当たる(図 22)。一方、ダイズ播種以降のメヒシバの出芽数は

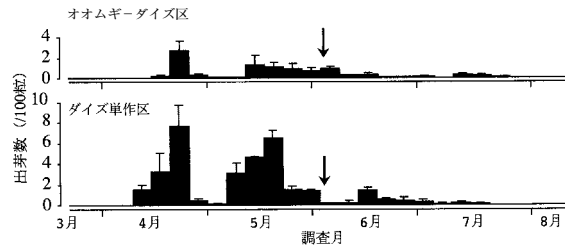


図 24 オオムギ-ダイズ区(条間 20 cm)とダイズ単作区におけるメヒシバの発生長

メヒシバの種子は前年の秋に取り播きした。出芽数はメヒシバ 3 系統と処理区内の位置(条付近、条間)を全てこみにした値で、誤差線は標準誤差 (n=3) を示す。メヒシバ種子は前年の 11 月に取り播きした。矢印は、オオムギを刈り敷き、ダイズを播種した日を示す。

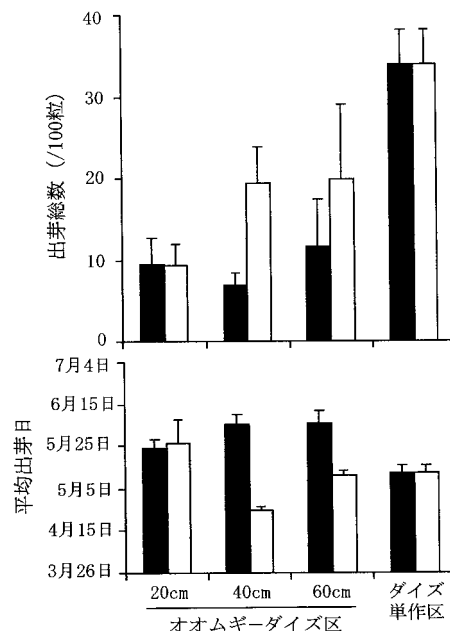


図 25 播種したメヒシバの出芽総数と平均出芽日

メヒシバの種子は前年の秋に取り播きした。■および□はそれぞれ条および条間のデータを示す。いずれもメヒシバ 3 系統をこみにした値で、誤差線は標準誤差 (n=3) を示す。

オオムギ-ダイズ区、ダイズ単作区ともに、出芽総数の10%から23%とわずかで、主にダイズ播種前の出芽数が総出芽数の違いに寄与することが分かった。出芽総数について、3つのオオムギ-ダイズ区ともにダイズ単作区と比較して有意に少なかった ( $p < 0.01$ )。

つづいて、オオムギの条間幅を一次因子、メヒシバ種子の系統、処理区内の位置(条付近、条間)を二次因子とする分析では、処理区内の位置が有意となった ( $p < 0.05$ )。具体的には、抑制程度は条付近で強く、条間では小さかった(図25)。すなわち、メヒシバの出芽抑制の顕著な場所はオオムギの被陰効果が大きい場所と一致した(図26)。

### 3) 自然散布されたメヒシバの出芽

ダイズ播種前のメヒシバの自然発生個体数について、3つのオオムギ-ダイズ区でダイズ単作区と比較してそれぞれ有意に少なかった(図26,  $p < 0.05$ )。またオオムギの条間幅を一次因子、調査枠内の位置(株元の南側、条間、株元の北側)を二次因子とした分散分析では、株元の北側が他の位置よりも有意に少なかった ( $p < 0.001$ )。条間幅は有意ではなかったが、F値は6.6と比較的大きく、実際には違いがあるが、一次因子であったため、有意性を検出できなかった可能性が考えられる。試験区内における自然発生個体数を詳しく見てみると(図26)、オオムギ-ダイズ区では出芽は条に接する北側の位置で少なく、条間で有意に多いという明瞭な傾向が認められた。また、60 cm区における自然発生個体数は、20 cm区、40 cm区よりも明らかに多かった。こうした傾向は、オオムギ立毛中の光透過率、すなわち被陰の傾向とよく一致した。ダイズ単作区では場所によるばらつきが大きく、明瞭な傾向は認められなかった。

### 3. 考 察

多くの雑草種子と同様に、メヒシバ種子は光発芽性を有しているが(萩森 1965)、露崎ら(1984)によれば、発芽促進に必要な光量は連続照射なら5 lux程度と極めて少ない。本研究で測定された光量は条付近、条間ともにこれをはるかに上回っており、発芽の誘発に十分であったと考えられる。しかし、第IV章で明らかにしたように、メヒシバの光発芽性にはフィトクロムが関与しており、必要な光量以上の照射を受けても、R/FR比が低い場合には同様に発芽が抑制されると考えられる。さらに、メヒシバ

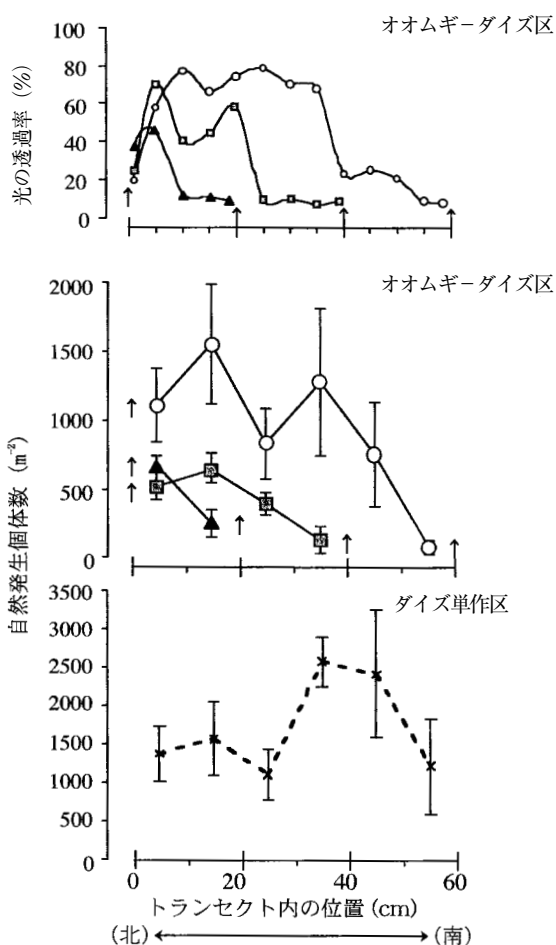


図26 処理区内の位置によるメヒシバの自然発生個体数と群落内への光透過率の相違

調査はオオムギの条と直角(南北方向)に設けた60 cmのトランセクトで行った。自然発生個体数は、発生開始から5月21日までの累積数を示す。▲, ■, ○はそれぞれ20 cm, 40 cm, 60 cm区を示す。自然発生個体数のグラフの各プロットは3反復の平均値と標準誤差である。矢印は、オオムギの条に相当する位置を示す。光の透過率の意味は図23と同じである。透過率の測定は5月14日に行った。

は、変温幅が大きい場合に発芽が促進されることがわかっている(露崎ら1984)。以上から、本試験でみられたメヒシバの出芽抑制は、主としてオオムギ立毛中の被陰による土壌表面の物理的環境条件の変化、特に光量、光質の変化と地温の日較差の縮小によっていることが示された。

これまでのカバークロープに関する研究から、カバークロープの残さ量と土壌表面の被陰程度との間には、種ごとに一定の関係があり、残さ量の増加とともに光量は指数関数的に減衰することがわか

っている (Facelli and Pickett 1991, Teasdale and Mohler 1993)。また、カバークロープの残さ量によって雑草の個体密度の抑制効果が異なることが、主要な雑草において明らかにされている (Teasdale 1998)。本研究では、カバークロープによる具体的な抑草メカニズムとして、メヒシバの出芽抑制について、カバークロープ刈り敷き前の立毛中の被蔭による土壌表面の温度や光環境の変化が重要な役割を果たしていることを初めて明らかにした。

また、自然散布された種子、取り播きした種子ともに、条間が狭い場合にメヒシバの出芽抑制が強くなる傾向が認められ、ダイズの不耕起栽培では、前作オオムギの条間を狭くした方がメヒシバの防除に有利であることが示された。今後、栽培技術、品種の選択などにより土壌表面の光量・光質や地温を最適化することで、カバークロープによるより効果的、安定的な雑草制御技術を確立できるものと考えられる。

なお、オオムギは雑草の発芽や生育を阻害するいわゆる抑圧作物 (伊藤 1993) として以前から知られており、阻害作用の一つとしてアレロパシーが報告されている (Overland 1966)。本実験で明らかになったオオムギによるメヒシバの出芽抑制は、上述のように地表の環境条件と出芽抑制程度の間に関連関係があったことから、主として被覆によってもたらされたことは疑いがない。しかし、冬作オオムギによる抑草にアレロパシーが関与している可能性は否定できず、アレロパシーによる阻害作用は、冬作オオムギによる抑草効果をより高めるために今後検討すべき課題の一つであると考えられる。

#### 4. 摘要

不耕起ダイズ作において、前作の冬作オオムギによる被蔭がメヒシバの出芽に及ぼす影響を明らかにするとともに、メヒシバの出芽と土壌表面の環境条件との関係を解明した。

冬作にオオムギを条間幅 20 cm, 40 cm, 60 cm で栽培して刈り敷いた区 (オオムギダイズ区) およびダイズ単作区を設け、前年の秋に播種したメヒシバの発生消長を調査するとともに、地表の光量、光質と温度を測定した。

オオムギ栽培の有無に関わらず、メヒシバの出芽の大半はダイズ播種以前にみられたが、出芽数はオオムギ栽培下で減少した。オオムギの条付近では、条間に比べて出芽抑制が著しく、また光量の減少、

R/FR 比の低下および地温の日較差の縮小が顕著にみられた。ダイズ播種前におけるメヒシバの自然発生個体数もオオムギダイズ区で少なく、特に被蔭程度が高いオオムギの条付近で少なかった。

以上から、前作としての冬作オオムギによるメヒシバの出芽抑制は、オオムギの被蔭を通じた土壌表面の光量、光質および地温の日較差の縮小の影響によることが示された。

#### 不耕起ダイズ栽培におけるカバークロープを活用した耕種的防除体系の検証

前章までの実験により、不耕起ダイズ栽培では一年生夏雑草が優占する傾向があること、カバークロープとして冬作オオムギを栽培し、ダイズの播種直前に刈り敷くことで、その発生を抑えダイズの雑草害を回避できることを明らかにした。さらに、その発生抑制は被蔭による地表の温度条件や光条件の変化によるので、被蔭を強化するためにはオオムギ条間を狭くするのが望ましいことが分かった。

序論で述べたとおり、ダイズの畦幅を普通畦の 1/2 程度にすることで、草冠が閉じる時期が 7 ~ 10 日程度は早くなり (野口ら 1993, 大段ら 2003)、必要除草期間も同程度短くなる (中谷・野口 1991, Knezevic *et al.* 2003)。しかし、前章までの試験では調査のために頻繁に圃場内に立ち入り、長時間の調査を行う必要から、ダイズの畦幅は 60 cm ないし 65 cm と広めにとった。また、第 IV 章で明らかにしたように、不耕起栽培で優占傾向にあるメヒシバ等のイネ科雑草の種子は、秋の耕起により、出芽が可能な浅層に分布する割合を減少させることができる。しかし、この試験では不耕起栽培と耕起栽培における雑草植生の相違を明確にしたかったため、不耕起栽培は冬作オオムギから開始した。

本章では、これまでに得られた知見をもとに抑草効果をさらに高め、播種時の非選択性の茎葉処理型除草剤および土壌処理型除草剤の散布量を減らすとともに、作業性を向上させることを目的として、冬作オオムギは耕起栽培とした。その上で、営農現場を意識した雑草防除体系策定の基礎とするため、冬作オオムギにダイズの狭畦栽培 (畦幅 30 cm) や土壌処理型除草剤の帯状処理、畦間の機械除草を組み合わせた場合の雑草量とダイズの収量を調べた。

#### 1. 材料および方法

東北農業研究センター畑地利用部 (福島市) の黒

表 12 各処理区における雑草管理の概要

番号	処理区名	カバークロップの有無	ダイズ	
			畦幅	除草方法
1	狭畦区	+	30cm	除草処理なし
2	狭畦・除草剤区	+	30cm	播種時にトリフルラリンを処理
3	機械除草区	+	60cm	除草剤散布なし 畦間の雑草を1回機械除草
4	除草剤帯状処理・機械除草区	+	60cm	播種時にトリフルラリンを帯状に処理、畦間の雑草を1回機械除草
5	狭畦・放任区	-	30cm	播種時に刈り取り除草のみ
6	対照区	-	30cm	播種時にグリホサートアンモニウム塩とトリフルラリンを処理

ボク土の畑圃場で2002-2003年および2003-2004年の2回、圃場試験を行った。2002-2003年の試験については2002年の夏作に、2003-2004年の試験については2003年の夏作にそれぞれダイズを慣行として行われている耕起栽培して圃場を準備した。試験では、前作となる冬作にオオムギ（品種：べんけいむぎ）をカバークロップとして栽培した、または冬季休閑した圃場でダイズ（品種：ふくいぶき）を不耕起栽培した。

圃場試験は、カバークロップ、狭畦、除草剤散布および刈り取り除草を組み合わせ、カバークロップを栽培する体系（カバークロップ体系）4処理およびカバークロップを栽培しない2処理の計6処理からなる（表12）。カバークロップ体系は、①狭畦栽培（畦間30cm）し、除草処理を行わない区（処理1：狭畦区）、②狭畦栽培し、トリフルラリン（44.5%乳剤）を通常量（0.13 g a.i. m<sup>2</sup>）散布する区（処理2：狭畦・除草剤区）、③通常の畦幅（60cm）で栽培し、ダイズの生育期に畦間の雑草を刈り取る区（処理3：機械除草区）、および④処理3に、畦部分へのトリフルラリン半量（0.06 g a.i. m<sup>2</sup>）の帯状処理を組み合わせた区（処理4：除草剤帯状処理・機械除草区）である。カバークロップを栽培しない体系は、⑤狭畦栽培し、ダイズの播種時に刈り取り除草を行う以外には除草処理を行わない区（処理5：狭畦・放任区）および⑥狭畦栽培し、播種時にグリホサートアンモニウム塩（41%液剤）0.2 g a.i. m<sup>2</sup>とトリフルラリン0.13 g a.i. m<sup>2</sup>を散布する区（処理6：対照区）である。著者らは、第V章で畦幅65cmで栽培したダイズで、播種時に非選択性の茎葉処理型除草剤と土壌処理型除草剤を散布する体系を提示したが、処理6は畦幅30cmの狭畦栽培にこの除草体系を適用したものである。

実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とす

る3ブロックの分割区法とした。各ブロックを2つのメインプロットに分割し、それぞれを2002-2003年および2003-2004年の試験に供した。両年とも、各メインプロットを6つのサブプロットに分割し、6区を無作為に配置した。サブプロットの面積は28.8 m<sup>2</sup>（3.6 m × 8 m）である。

カバークロップ体系の処理区では前年の秋、耕起直後にオオムギを播種したが、カバークロップを栽培しない体系の処理区についても同じ日に耕起を行った。オオムギの播種日は、2002年は10月30日、2003年は11月14日である。播種量は、2002年は種子重で10g m<sup>2</sup>、播種日の遅かった2003年はそれよりも若干多い12g m<sup>2</sup>とした。肥料は両年とも化成肥料によりN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O=6、6、6 g m<sup>2</sup>を全量基肥として播種と同時に側条施肥した。オオムギの条間は30cmとした。いずれの区についても除草剤は散布しなかった。オオムギはダイズの播種直前にハンマーナイフモア（共栄社製HMA80）でその場に刈り敷いた。なお、刈り敷きに先だて、オオムギの一部を刈り取り、地上部の風乾重を調査した。ダイズの播種日は2003年が6月4日、2004年が6月1日、収穫日は2003年が10月29日、2004年が10月27日である。ダイズの播種量は種子重で5 g m<sup>2</sup>、畦幅は60cm（通常の畦幅）および30cm（狭畦）とした。肥料は化成肥料によりN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O=3、12、12 g m<sup>2</sup>を全量基肥として土壌表面に施肥した。畦間の刈取除草は、2003年は7月23日、2004年は7月15日に、刈り幅50cmのロータリーモア（オーレック製SP50）を用いて行った。これは、水平方向に回転する複数の円盤状の刃で雑草の地上部を粉砕するものである。

ダイズの播種直前（2003年は6月3日、2004年は5月31日）および雑草量が概ね最大となった8月下旬（2003年は8月21日、2004年は8月25日）

に、コドラート法により雑草の被度および草高を調査した。方形枠は0.6m × 1 mで、1試験区当たり3枠ずつ設置した。種別に被度と草高を乗じることにより乗算優占度を算出し(第II章参照)、3つの方形枠の平均値を当該試験区の値とした。各試験区内で1.2 m<sup>2</sup> × 2か所のダイズの収量を調査し、収量調査の対象個体から無作為に選んだ10個体の生育量を調査した。雑草の乗算優占度およびダイズの収量、生育量についての統計処理はJMP-5J(SAS Institute Inc. 2002)によった。試験期間中の気象データは、東北農業研究センター畑地利用部(福島市)内に設置された気象観測装置により得た。

## 2. 結 果

冬作期の気温は、2002-2003年については平年と比べて晩秋から初冬にかけてやや低く推移したため(図27)、オオムギの生育は遅れ気味であった。2003-2004年については冬作期間を通じて平年と比べてやや高く推移した。冬作期の降水量は、2002-2003年についてはやや少なく、2003-2004年については平年並みであった。オオムギの刈り敷き時の地上部風乾重は各区平均で2003年が501g/m<sup>2</sup>、2004年が705g/m<sup>2</sup>であった。夏作期については、2003年は梅雨明けが遅れ、夏の気温が低く、降水量も多かった。一方、2004年は高温に推移し、降水量も平年並みかやや少なかったが、収穫前の10月には長雨となった。このように、両年とも天候はダイズの栽培に必ずしも好適ではなかった。

試験圃場内で確認された雑草は全体で17科48種

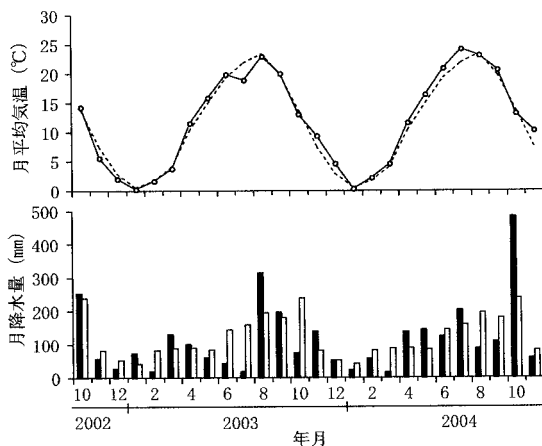


図27 試験期間中の月平均気温(○)およびその平均値(…)ならびに月降水量(■)およびその平均値(□)

であった。ダイズは全ての区で不耕起栽培したが、前年秋のオオムギ播種前に耕起を行っているため、ダイズ播種直前、8月下旬ともに全般的に一年生または二年生の広葉雑草が多い傾向がみられた(表13)。具体的には、狭畦・放任区(処理5)では播種直前にはハルタデ(*Persicaria vulgaris* Webb et Moq.)が、8月下旬には広葉雑草についてはシロザ(*Chenopodium album* L.)、ハルタデ(*Persicaria vulgaris* Webb et Miq.)、メマツヨイグサ(*Oenothera biennis* L.)などが、イネ科雑草についてはメヒシバ(*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler)、イヌビエ(*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*)が多くみられた。多年生雑草については、2004年のみヨモギ(*Artemisia princeps* Pampan)がめだった。種組成には処理区間で明確な相違が認められなかった。

雑草の乗算優占度を広葉およびイネ科の一、二年生雑草と多年生雑草にまとめて分散分析を行ったところ、ダイズ播種直前、8月下旬ともに、処理の効果のみが有意となり、年次の効果および処理と年次の交互作用は有意でなかった(表14, 15)。ただし、多年草については処理の効果は有意でなかった。雑草の乗算優占度の総和はダイズ播種直前、8月下旬ともに、狭畦・放任区(処理5)でもっとも大きく、ついで対照区(処理6)であった。カバークロープ体系の4つの処理区(処理1, 2, 3, 4)では乗算優占度の総和は狭畦・放任区、対照区に比べて小さかった。このような傾向は、8月下旬の一年生広葉雑草、一年生イネ科雑草および多年生雑草ならびにダイズ播種直前の一年生広葉雑草において同様に認められた。ダイズ播種まではカバークロープ体系の処理区間では処理内容に差がないため、播種直前における雑草の乗算優占度には違いが見られなかった。8月下旬においても、カバークロープ体系の区間では有意差は認められなかったが、除草剤帯状処理・機械除草区(処理4)でもっとも値が小さかった。

2003年および2004年におけるダイズの収量は、天候不順のため全処理区の平均でそれぞれ233g/m<sup>2</sup>および221g/m<sup>2</sup>と、全般的にやや低かったが、カバークロープ体系の処理区では235-289g/m<sup>2</sup>の収量が得られた(表16)。ダイズの収量が最も多かったのは除草剤帯状処理・機械除草区であった。ダイズの生育量については、カバークロープ体系では分枝数、茎の太さ、茎重、稔実莢数、稔実莢重の値が大きい

表 13 ダイズ播種直前および8月下旬における雑草と作物の種毎の乗算優占度 (× 0.01m<sup>3</sup>m<sup>2</sup>)

科名	種名	生活環	調査年月日																							
			2003年												2004年											
			6月3日						8月21日						5月31日						8月25日					
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
[雑草]																										
トクサ	スギナ	p																								
キク	アメリカセンダングサ	a																								
	イワニガナ	p																								
	オニタビラコ	b																								
	オノノゲシ	a			0																					
	セイヨウタンポポ	p			0																					
	チチコグサ	p																								
	ノボロギク	a			0																					
	ハハコグサ	b																								
	ハルジオン	p			0																					
	ヒメジョオン	b																								
	ヒメムカシヨモギ	a																								
	ブタクサ	a			0																					
	ブタナ	p																								
	ヨモギ	p			0																					
ゴマノハグサ	オオイヌノフグリ	b			0																					
	タチイヌノフグリ	a																								
シソ	ナギナタコウジュ	a																								
	ホトケノザ	a			0																					
アカバナ	メマツヨイグサ	b			0																					
カタバミ	カタバミ	p																								
トウダイグサ	エノキグサ	a			0																					
	コニシキソウ	a																								
	ヒメミカンソウ	a																								
マメ	シロツメクサ	p																								
	ナヨクサフジ	a																								
アブラナ	イヌガラシ	p																								
	スカシタゴボウ	b																								
	タネツケバナ	a																								
	ナズナ	a			1																					
ナデシコ	ウシハコベ	a																								
	オランダミミナグサ	a			0																					
	コハコベ	a			0																					
	ノミノフスマ	a																								
アカザ	シロザ	a			0																					
スベリヒユ	スベリヒユ	a																								
ヒユ	イヌビユ	a																								
	ホソアオゲイトウ	a																								
タデ	イスタデ	a																								
	オオイスタデ	a																								
	ハルタデ	a			0.2																					
ツユクサ	ツユクサ	a			0																					
カヤツリグサ	カヤツリグサ	a																								
イネ	アキノエノコログサ	a																								
	イヌビエ	a			0																					
	スズメノテッポウ	a																								
	ヌカキビ	a																								
	メヒシバ	a			0																					
[作物]																										
マメ	ダイズ	a																								
イネ	オオムギ	a			22																					

注. 1) 処理区番号は表12の通りである。  
 2) 表中の数値は3反復の平均値。各試験区内に3枠(0.6m×1m)を設けたので、1処理あたり9枠調査したことになる。  
 3) 空欄は不在を、0は存在するが、乗算優占度(×0.01 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>)が0.05未満であることを示す。  
 4) 実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とする分割区法であり、2003年と2004年で処理区の位置は異なる。  
 5) 生活環のa, b, pはそれぞれ一年草、二年草、多年草を示す。



傾向がみられた(表16)。主茎長は畦幅が狭い場合に長くなる傾向があり、冬作オオムギの導入による影響は認められなかった。百粒重は、カバークロープ体系で若干重い傾向がみられた。8月下旬の雑草の乗算優占度とダイズの収量の関係を見ると(図28)、カバークロープを栽培しない体系(処理5, 6)については弱い負の相関が認められた。しかし、

カバークロープ体系の試験区では雑草の乗算優占度がカバークロープを栽培しない体系の試験区と同じ程度であっても収量がより高い傾向があった。

### 3. 考 察

ダイズの前作となる冬作オオムギを耕起栽培して刈り敷くカバークロープ体系では、ダイズを狭畦栽培することで雑草が効果的に抑制され、冬作、

表14 ダイズ播種直前(5月下旬)における雑草の乗算優占度と分散分析結果

要因	雑草の乗算優占度 <sup>3)</sup> ( $\times 0.01\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ )				
	一年草			多年草	合計
	広葉	イネ科 <sup>1)</sup>	合計		
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]					
1 狭畦区	0.95 a	0.00 b	0.60 b	0.35	0.95 a
2 狭畦・除草剤区	1.14 a	0.00 b	0.88 b	0.26	1.14 a
3 機械除草区	0.47 a	0.00 ab	0.43 b	0.04	0.47 a
4 除草剤帯状処理・機械除草区	0.59 a	0.00 b	0.43 b	0.16	0.59 a
5 狭畦・放任区	9.08 a	0.01 a	8.55 a	0.53	9.07 a
6 対照区	7.73 a	0.01 a	4.65 ab	3.08	7.72 a
[分散分析 <sup>2)</sup> ]					
年次	ns	ns	ns	ns	ns
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns
処理	*	**	*	ns	*
処理×年次	ns	ns	ns	ns	ns

- 注. 1) 処理区における処理の詳細については本文および第1表を参照。  
 2) 実験計画は年次を一次要因、処理を二次要因とする分割区法。  
 \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意。nsは有意でない。  
 3) 同一アルファベットを付した平均値間には有意差なし(TukeyのHSD検定, 5%)。  
 多年草については分散分析で処理が有意でなかったため処理区間の比較は行っていない。  
 4) 4 除草剤帯状処理・機械除草区の値は0.001である。

表15 8月下旬における雑草の乗算優占度と分散分析結果

要因	雑草の乗算優占度 <sup>3)</sup> ( $\times 0.01\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ )				
	一年草			多年草	合計
	広葉	イネ科	合計		
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]					
1 狭畦区	8.67 b	2.83 b	7.95 b	3.56	11.50 b
2 狭畦・除草剤区	4.83 b	0.07 b	4.27 b	0.64	4.90 b
3 機械除草区	5.32 b	4.08 ab	9.13 b	0.27	9.40 b
4 除草剤帯状処理・機械除草区	2.13 b	0.44 b	2.23 b	0.33	2.57 b
5 狭畦・放任区	79.71 a	19.47 a	86.89 a	12.29	99.18 a
6 対照区	29.17 b	4.19 ab	20.48 b	12.89	33.37 b
[分散分析 <sup>2)</sup> ]					
年次	ns	ns	ns	ns	ns
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns
処理	*	***	***	ns	***
処理×年次	ns	ns	ns	ns	ns

- 注. 1)~3) 表14と同じ。

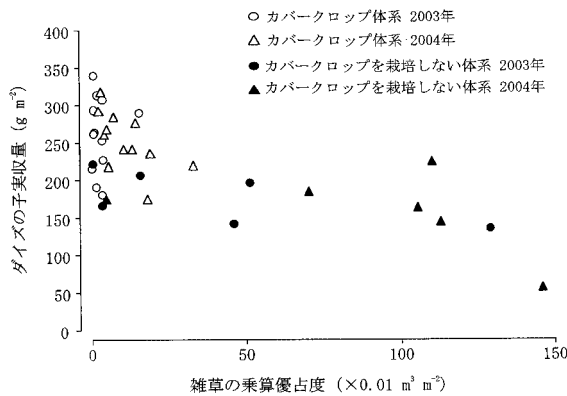


図28 雑草の乗算優占度とダイズの子実収量の関係

各プロットは1試験区の値であり、兩年とも18試験区(6処理×3反復)の値が表示されている。

夏作ともに無除草剤で、刈取除草などの中間管理を行わなくともダイズを栽培できる可能性が示された(表14, 15)。カバークロップの抑草効果は主としてダイズの栽培初期の雑草の出芽抑制によるので(小林ら 2004, Teasdale 1998)、遅れて出芽する雑草による雑草害の回避が重要となる。ダイズの狭畦栽培は、草冠が閉じる時期の早期化によって、遅れて出芽する雑草の生育を抑制することで、カバークロップの抑草効果を補完する効果を有していると考えられる。また、ダイズを慣行の畦幅で栽培し

ても、刈取除草を1回行うことで狭畦栽培と同等の抑草効果を得ることができ、さらに、土壌処理型除草剤の带状処理を組み合わせることによって抑草効果はやや高まった。Donald (2000) は、土壌処理型除草剤および出芽後の茎葉処理型除草剤の带状処理に2回以上の刈取除草を組み合わせることによって一年生雑草を効果的に防除することができたと報告している。本試験で、1回の刈取除草で十分な抑草効果が得られ、出芽後の茎葉処理型除草剤の散布も不要だったのは、カバークロップの効果によるものと考えられる。なお、年次間の気象条件の違い(図27)や生産されたオオムギの現存量の違いによる抑草効果の変動は認められず、本試験の範囲では、処理の効果は比較的安定しているものと考えられた。

ダイズの不耕起栽培では、畦幅や除草剤散布の有無にかかわらず、前作となる冬作にオオムギを栽培して刈り敷くことによって収量が増加する傾向のあることが示された(表16)。ダイズの生育量の調査結果からすると、ダイズの高い収量は、植物体の生育自体が旺盛であったことによってもたらされたことと判断される。その要因としては、被陰によって一年生夏雑草の出芽が抑制され、雑草の現存量が減少したことに伴う雑草害の回避が第一にあげられる。しかし、雑草の乗算優占度と収量の関係から、カバークロップ体系における増収効果には雑草害の回避以

表16 ダイズの子実収量、生育量と分散分析結果

要因	ダイズの形質 <sup>3)</sup>								
	子実収量	主茎長	分枝数	節数	茎太	茎重	稔実莢数	稔実莢重	百粒重
[処理区平均 <sup>1)</sup> ]	g m <sup>-2</sup>	cm	個体 <sup>-1</sup>	個体 <sup>-1</sup>	cm	g 個体 <sup>-1</sup>	m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	g
1 狭畦区	244 ab	79.7 abc	2.2 bcd	15.1 a	7.4 ab	9.4 b	1014 a	645 a	30.3 a
2 狭畦・除草剤区	258 ab	83.1 a	2.7 b	15.3 a	7.7 a	9.8 ab	1002 a	651 a	30.8 a
3 機械除草区	235 ab	76.2 bc	2.4 bc	15.2 a	7.6 ab	9.6 ab	863 ab	550 ab	30.4 a
4 除草剤带状処理・機械除草区	289 a	75.2 c	3.7 a	15.3 a	8.1 a	11.5 a	1025 a	660 a	30.9 a
5 狭畦・放任区	149 c	84.3 a	1.4 d	14.4 a	6.5 c	6.7 c	635 b	364 b	28.1 a
6 対照区	186 bc	81.0 ab	1.6 cd	14.9 a	6.9 bc	7.7 bc	911 ab	531 ab	28.1 a
[年次平均]									
2003年	233	85.6	3.0	15.6	6.9	8.2	1079	673	27.6
2004年	221	74.2	1.7	14.5	7.9	10.0	739	460	31.9
[分散分析 <sup>2)</sup> ]									
年次	ns	*	**	**	*	ns	ns	*	*
ブロック	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
処理	***	***	***	ns	***	***	*	**	*
処理×年次	ns	***	*	ns	ns	*	*	*	ns

注. 1)~3) 表14と同じ。

外の要因も関与していたと推察される(図28)。増収メカニズムの解明とそれに基づく施肥法の適正化のためにはダイズの養分吸収や圃場における窒素フローを明らかにする必要がある、それらは今後の課題として残された。

#### 4. 摘要

不耕起ダイズ栽培において前作となる冬作にオオムギをカバークロップとして栽培し、このカバークロップ体系にダイズの狭畦，畦間の刈取除草および除草剤の帯状処理を組み合わせることで抑草効果とダイズの収量を調べた。冬作オオムギは秋季に耕起した後播種し、その跡にダイズを不耕起栽培した。試験は2002-2004年の2作期に行った。

試験の結果、冬作オオムギを栽培したカバークロップ体系の処理区ではいずれも顕著な抑草効果が認められ、ダイズの収量も高かった。

冬作オオムギを栽培しない対照区を含む6処理区の中で最も抑草効果が高く、ダイズの収量が多かったのは冬作オオムギを栽培することに加えてダイズ播種後に土壌処理型除草剤を畦部分に帯状処理し、生育期に畦間の刈取除草を1回行う処理区であった。

冬作オオムギを栽培し、ダイズを狭畦栽培した場合には、除草剤散布や畦間の刈取除草を行わなくても十分な抑草効果が得られ、ダイズの収量も高かった。生育量の調査から、高収量は植物体の旺盛な生育によってもたらされたことが示唆された。

#### 総合考察

本研究では、第一に、不耕起ダイズ栽培において優占して問題になる雑草種を明らかにし、その生態的特性、主としてシードバンクと発生に関する生態を解明した。第二に、明らかになった優占雑草の生態的特性を踏まえて、耕種的防除法としてカバークロップの利用が有効であるとの仮説を設定し、その抑草効果を明らかにするとともに、カバークロップを活用した耕種的防除法の組み立てを試みた。植生調査により不耕起栽培ではイネ科の一年生雑草が優占する傾向にあることが明らかになったため、なかでも特に優占が著しいメヒシバをとりあげ、その生態を詳細に検討することとした。本章では、研究の総括として、はじめに不耕起畑における優占雑草の生態的特性の一般化を試み、次にダイズ栽培における耕種的防除法活用の方向性について論ずることとする。

本研究で明らかになった不耕起栽培と耕起栽培における雑草植生の相違は次のように要約される。すなわち、不耕起栽培では、その継続期間が長くなるにつれて多年生雑草が次第に増加する傾向にあるが、夏作物栽培では耕起畑と同じく優占雑草は一年生夏雑草である。なかでもメヒシバをはじめとしたイネ科雑草が増加する傾向が見られ、その点で広葉雑草が多く見られる耕起栽培とは明らかに異なる。不耕起畑でイネ科雑草が増加する主要因として出芽数の増加があげられる。一方、広葉雑草の出芽は総じて耕起に依存する面があり、耕起が行われた直後に多数の出芽が見られるが、不耕起畑では発生が少い。イネ科雑草と広葉雑草の間にみられるこうした発生に関する生態的特性の違いは、圃場における種子の寿命の長短によるシードバンクの大きさによっているものと推察された。すなわち、メヒシバをはじめとしたイネ科雑草は種子の寿命が短いものが多いため、形成されるシードバンクの量は少ない傾向がある。メヒシバは種子の寿命が特に短いため、新たな種子生産・自然散布直前にはシードバンクはごくわずかとなる。このため、イネ科雑草の土中の種子は不耕起栽培では急速に減耗し、出芽個体の多くは前年に散布されて地表付近にある種子に由来するものになる。耕起は地表付近の種子の埋土を助けるが、土中の種子の掘り出しの効果は少なく、結局、出芽可能な浅い土層に分布する種子を減少させ、出芽数を減少させる効果が卓越する。一方、シロザなどの広葉雑草は、イネ科雑草に比べて種子の寿命が長い場合、形成されるシードバンクは大きい傾向がある。耕起は地表付近の種子の埋土を助長する一方で、土中の種子の掘り出しの効果も大きいため、耕起栽培で多くの個体が出芽し、その出芽は、耕起直後に集中する傾向がある。

Thompson and Grime (1979) は草本植物のシードバンクを、種子が通年みられる常在型 (persistent seed bank) と、全くみられない時期のある非常型 (transient seed bank) に分類した。その後、Roberts (1981), Grime (1981), Baskin and Baskin (1998) らによって、より実態に即した様々なタイプのシードバンクの型が提示されているが、大括りにとらえれば多くの畑雑草は常在型のシードバンクを形成すると考えられる。本実験で詳細な検討を行ったメヒシバのシードバンクも常在型であり、季節消長としては Roberts (1981) がミチヤナギを例と

して示した夏雑草型のシードバンクに類似する。しかし、新たな種子生産・自然散布直前には著しく少なくなるという意味では非常在型に近い面を有している。上で考察したように、常在型シードバンクのうち、大きなシードバンクを形成するものは耕起栽培で優占し、シードバンクがごくわずかなものは不耕起栽培で優占する傾向があるかもしれない。このように、シードバンクの季節消長の特性は、雑草の耕起、不耕起に対する適応と対応関係がある可能性がある。不耕起栽培における垂直分布を考慮したシードバンクの季節消長を耕起栽培との比較の上で明らかにして類型化する研究は、不耕起栽培における雑草防除技術の開発のための基礎的な知見となるのみならず、耕起という農耕地における最も本質的な攪乱に対する雑草の適応様式を明らかにするという意味で、生態学的にも興味深いテーマであると考えられる。

以上が本研究の結果から推定される不耕起栽培における優占雑草の生態的特性であり、より端的に言えば、イネ科の一年生夏雑草が不耕起栽培で優占するメカニズムである。これを踏まえて、ダイズの不耕起栽培における雑草の耕種的防除法について次に検討する。

まず、広葉雑草は一般に種子の寿命が長く、大きなシードバンクを形成する。このため、新たな種子の掘り出しを抑制する不耕起栽培自体が防除につながると考えられる。ただし、不耕起栽培では出芽数が減少するからといって、土中の埋土種子は必ずしも減少するわけではないことに留意すべきである。したがって、不耕起栽培をおこなう場合は播種時にできるだけ土壌を攪拌しないことが望ましい。土壌を攪拌することで、土中から新たに出芽可能な浅い層に種子が供給され、出芽が増加する可能性があるからである。一方、イネ科雑草は一般的に種子の寿命が短く、形成されるシードバンクは小さい。このため、出芽可能な浅い層にある種子が埋め込まれない不耕起栽培によって増加する傾向があるので、その防除を考える必要がある。防除法の検討にあたっては、シードバンクが地表に集中するため、出芽深度が浅くなることは重要な特徴である。すなわち、一年生雑草の究極的な防除対象であるシードバンクは不耕起によって地表付近に集まってくるわけで、

ある意味では、管理のしやすい状態にある。例えば火災や熱水、化学物質など（野口・江川 1994, 牛木ら 2002, 野口・中谷 1992）による物理的または化学的手法により、少ないエネルギーで効率的に雑草の種子を死亡させることができる可能性がある。また、この出芽深度の浅化は、土壌処理型除草剤の合理的な使用に対しても重要な情報になると考えられる。

さらに各種のマルチは、光の抑制、温度条件の変化を通じて、地表の種子の発芽を抑制する効果を有すると考えられる。特に、本研究で開発した冬作カバークロップを導入し、播種直前に刈り敷く技術は雑草の出芽抑制に有効である。太陽光はカバークロップの茎葉を透過することで光量が減少し、地温の日変動の幅が狭くなるだけでなく、R/FR比が低下するため、フィトクロムが関与したメヒシバなどの発芽が効果的に抑制されるからである。

なお、類似の技術として被覆作物をダイズと同時に播種するリビングマルチがある。これはダイズ播種後に発生する雑草の生育を抑制するもので、播種時の土壌処理型の除草剤および生育期の茎葉処理型の除草剤を代替する可能性のある技術である。しかし、この技術では播種時に現存する雑草の防除は難しい。したがって、リビングマルチは播種前に耕起を行う耕起栽培に適用すべき技術であり、不耕起栽培で利用するならば、播種前の茎葉処理型除草剤の使用が前提になる。一方、冬作カバークロップはダイズ播種の前後を通じて雑草の出芽を抑制するもので、播種時に現存する雑草もあわせて減少させるので、主として播種前の茎葉処理型除草剤および播種時の土壌処理型除草剤を代替する可能性のある技術である。雑草の出芽を抑制するためにはダイズを不耕起播種し、地表の被覆を維持するのが前提であり、不耕起栽培で適用すべき技術であるということが出来る。

そこで本研究では、冬作カバークロップとしてオオムギを採用し、その雑草防除効果を検証した。その結果、冬作オオムギを導入し、ダイズの播種直前に刈り敷くことで、主としてメヒシバなどのイネ科一年生夏雑草の発生を効果的に抑制することができた。一方、広葉雑草については、不耕起栽培自体が発生を抑制する効果があった。全体としてみれば、冬作オオムギの導入だけでは雑草抑制効果は必ずしも十分ではなかったが、オオムギの条間を狭くする

ドリル播きとダイズの狭畦栽培などを組み合わせることで、冬作、夏作ともに抑草効果が高めることが可能であった。なお、雑草害を軽減する効果以上にダイズの収量が向上する傾向があることもこの栽培体系の利点の一つである。

東北地方では、ダイズと麦類の1年2作体系を成立させるための立毛間播種技術(天羽 2004, 滝澤・星 2002)や、稲・麦・大豆の2年3作体系などが提案されているものの、一般的には畑作物だけで土地利用効率を高めることは難しく、結果として多くのダイズ栽培が1年1作の単作となっている(農林水産省生産局畑作振興課 2004)。しかし、たとえ冬季の半年間だけであっても作物が栽培されない場合には、雑草が繁茂して景観的に好ましくないだけでなく、作物栽培において問題となる雑草種子による圃場の汚染が確実に進行する。また、地域および条件によっては雑草による養水分の収奪などともなう地力低下や土壌浸食の原因になるとも考えられる。一方、収穫を期待する作物の導入は難しくても、カバークロップは栽培可能期間の長短にかかわらず導入可能である。さらに、ダイズの増収効果や地力の維持向上など多くの点で有利である。このように、栽培体系として無理のないカバークロップとして冬作オオムギを導入することで除草剤の使用量を削減すると同時に地力の維持向上を図りながら主作物であるダイズの生産性を高めることが期待される。

以上を踏まえ、南東北地域におけるカバークロップとして冬作オオムギを利用して除草剤の使用量を削減し、慣行栽培並かそれ以上の収量を得るために現時点で想定される栽培体系を以下に示す。

まず、冬作オオムギを耕起後播種する。品種は栄養成長が旺盛で、晩生のものが望ましい。除草剤は使用しない。オオムギの生育を十分確保するため、適期に播種する。被蔭の強化の意味から30 cm以下の狭条間、密植(播種量; 10 g m<sup>-2</sup>)とする。ダイズは可能な限り耐倒伏性の強い品種を用い、オオムギの刈り敷きと同時に不耕起播種する。狭畦(30 cm以下)、密植(5 g m<sup>-2</sup>以上)とし、播種時の茎葉処理型除草剤の散布は省略するが、一年生夏雑草の埋土種子量が多い場合は、土壌処理型除草剤のみ散布する。多年生雑草などの増加が速く、不耕起栽培の継続が困難な場合には、不耕起栽培を1年とし、再び冬作オオムギの耕起栽培から開始する。この場

合、一年生夏雑草の埋土種子量が少なければ冬、夏ともに無除草剤での栽培が可能である。不耕起栽培を継続できる場合には、オオムギ播種時に、冬生の一年生雑草、二年生雑草および多年生雑草対策として、非選択性の茎葉処理型除草剤を散布する。以下、ダイズ栽培は同様の栽培方法を繰り返す。ただし、雑草量は年々増加する傾向があるので、不耕起栽培は長くても3年までとした方が雑草防除上有利と考えられる。

技術の現場普及のためには、今後、カバークロップに要素技術を組み合わせた場合の効果を実地への導入で明らかにし、各地域において実用化に耐えうる組み合わせを見いだした上で、省力化、低コスト化に及ぼす効果がどの程度かという経営的な観点から検討することが必要となろう。その際、安定した技術となりうるか否かを定める重要な技術要素であるが、この研究で十分な検討を行わなかったものとして、播種機があげられる。技術の安定のためには、土壌を過剰に攪乱することなく、ダイズの種子を安定的に播種する播種機が必須である。良好な苗立ちが確保できれば、ダイズ自体の持つ抑草力を期待できるし、特に火山灰土壌での不耕起栽培では一般に畑作物の初期生育は旺盛となるので(辻ら 1995)、雑草防除上有利である可能性がある。

また、雑草防除技術の有効性は、本技術を適用する圃場のシードバンクの量や組成に大きく左右される。本研究は全て試験場内の圃場でおこなったものであるが、「試験場内の試験で良い成績だったから現場に持って行ったのに失敗した。」ということは常に心配されることである。その意味で、初期条件としてのシードバンクの状態は常に意識されるべきである。実用化の場面を考えた場合には、無除草剤で対応可能なシードバンクの量を明らかにし、除草剤を使用すべきか否かを判断するための基準が求められる。そのためには、シードバンクの量を圃場ごとに簡便に推定する手法が必要となる。実験レベルでシードバンクの量を推定する手法は概ね確立しており(Roberts 1981, 高柳ら 1990)、本研究でもメヒシバで推定を試みたが、いずれも実圃場で簡便に活用できるものではない。技術の実用化の場面では、精密さよりもむしろ簡便性を重視した推定手法(高柳 2001)の確立が望まれる。

さらに、具体的な技術や技術の組み合わせの効果の判断に当たっては、当作で雑草害が生じないだけ

でなく、シードバンクを現状よりも大きくしないと  
いう点も考慮されるべきである。営農現場において、  
「当作でダイズの収量が確保されるならある程度の  
雑草の繁茂はやむを得ない。」という姿勢で本技術  
を導入するとすれば、中長期的に見て雑草のシード  
バンクを大きくさせ、作物生産の継続を困難にして  
しまう危険性がある。これはある意味で「収奪的」  
な技術と言わざるを得ない。技術の普及や指導にあ  
たっては、シードバンクの特性とその圃場での状況  
を知り、除草剤を合理的に使用することで、真に  
「持続」可能な農法にしていく必要があると考える。

### 引用文献

- 1) 天羽弘一. 2004. 大豆・麦立毛間播種栽培体系の概要と雑草防除上の問題点. 雑草研究 49(別): 222-223.
- 2) Andrade, F. H.; Calviñob, P.; Ciriloc, A.; Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agron. J. 94 : 975-980.
- 3) 有原丈二. 2000. ダイズ安定多収の革新技術. 東京. 農文協. p.188-195.
- 4) Barrons, K. D.; Fitzgerald, C. D. 1952. An experiment with chemical seedbed preparation. Down Earth 8 : 2-3.
- 5) Baskin, C. C.; Baskin, J. M. 1998. Seeds -Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination-. London. Academic Press. p.141-143.
- 6) Benvenuti, S.; Macchia, M.; Miele, S. 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. Weed Sci. 49 : 528-535.
- 7) Blackshaw, R. E. 1994. Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. Weed Technol. 8 : 231-237.
- 8) ブラウン-ブランケ (鈴木時夫訳). 1964. 植物社会学 I. 東京. 朝倉書店. p.12-193.
- 9) Buhler, D. D. 1992. Population dynamics and control of annual weeds in corn (*Zea mays*) as influenced by tillage systems. Weed Sci. 40 : 241-248.
- 10) Buhler, D. D. 1996. The effect of maize residues and tillage on emergence of *Setaria faberi*, *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album*. Weed Res. 36 : 153-165.
- 11) Buhler, D. D.; Oplinger, E. S. 1990. Influence of tillage systems on annual weed densities and control in solid-seeded soybean (*Glycine max*). Weed Sci. 38 : 158-165.
- 12) Buhler, D. D.; Kohler, K. A.; Thompson, R. L. 2001. Weed seed bank dynamics during a five-year crop rotation. Weed Technol. 15 : 170-176.
- 13) Buhler, D. D.; Stoltenberg, D.; Becker, R. L.; Gunsolus, J. L. 1994. Perennial weed populations after 14 years of variable tillage and cropping practices. Weed Sci. 42 : 205-209.
- 14) Cardina, J.; Regnier, E.; Harrison, K. 1991. Long-term tillage effects on seed banks in three Ohio soils. Weed Sci. 39 : 186-194.
- 15) Clements, D. R.; Benoit, D. L.; Murphy, S. D.; Swanton, C. J. 1996. Tillage effects on weed seed return and seed bank composition. Weed Sci. 44 : 314-322.
- 16) Crutchfield, D. A.; Wicks, G. A.; Burnside, O. C. 1985. Effect of winter wheat straw mulch level on weed control. Weed Sci. 34 : 110-114.
- 17) Cussans, G. W. 1975. Weed control in reduced cultivation and direct drilling systems. Outlook on Agriculture 8 : 240-242.
- 18) Dale, M. R. T.; Thomas, A. G.; John, E. A. 1992. Environmental factors including management practices as correlates of weed community composition in spring seeded crops. Can. J. Bot. 70 : 1931-1939.
- 19) Derksen, D. A.; Lafond, G. P.; Thomas, A. G.; Loepky, H. A.; Swanton, C. J. 1993. Impact of agronomic practices on weed communities: tillage systems. Weed Sci. 41 : 409-417.
- 20) Derksen, D. A.; Thomas, A. G.; Lafond, G. P.; Loepky, H. A.; Swanton, C. J. 1995. Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. Weed Res. 35 : 311-320.
- 21) Dirks, J. T.; Johnson, W. G.; Smeda, R. J.;

- Wiebold, W. J.; Massey, R. E. 2000. Reduced rates of sulfentrazone plus chlorimuron and glyphosate in no-till, narrow-row, glyphosate-resistant *Glycine max*. *Weed Sci.* 48 : 618-627.
- 22) Dorado, J.; Del monte, J. P. 1999. Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystem. *Weed Sci.* 47 : 67-73.
- 23) du Croix Sissons, M. J.; Van Acker, R. C.; Derksen, D. A.; Thomas, A. G. 2000. Depth of seedling recruitment of five weed species measured in situ in conventional- and zero-tillage fields. *Weed Sci.* 48 : 327-332.
- 24) Egli, D. B.; Bruening, W. P. 2000. Potential early-maturing soybean cultivars in late plantings. *Agron. J.* 92 : 532-537.
- 25) 榎本敬, 嶺田拓也, 渡辺修. 1994. 韓国と日本の雑草フロアの類似性について. *雑草研究* 39(別) : 270-271.
- 26) 榎本敬, 宮部満, Kim Dong Sung, Park Soo Hyun. 1996. 済州島(韓国)における雑草と帰化植物. *雑草研究* 41(別) : 264-265.
- 27) Facelli, J. M.; Pickett, S. T. A. 1991. Plant litter: light interception and effects on an old-field plant community. *Ecology* 72 : 1024-1031.
- 28) Frick, B.; Thomas, A. G. 1992. Weed surveys in different tillage systems in southwestern Ontario field crops. *Can. J. Plant Sci.* 72 : 1337-1347.
- 29) Froud-Williams, R. J.; Chancellor, R. J.; Drennan, D. S. H. 1981. Potential changes in weed floras associated with reduced-cultivation systems for cereal production in temperate regions. *Weed Res.* 21 : 99-109.
- 30) Froud-Williams, R. J.; Drennan, D. S. H.; Chancellor, R. J. 1983. Influence of cultivation regime on weed floras of arable cropping systems. *J. Appl. Ecol.* 20 : 187-197.
- 31) Froud-Williams, R. J.; Chancellor, R. J.; Drennan, D. S. H. 1984. The effects of seed burial and soil disturbance on emergence and survival of arable weeds in relation to minimal cultivation. *J. Appl. Ecol.* 21 : 629-641.
- 32) Gauch, H. G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. New York. Cambridge University Press. 298p.
- 33) Gebhardt, M. R.; Daniel, T. C.; Schweizer, E. E.; Allmaras, R. R. 1985. Conservation tillage. *Science* 230 : 625-630.
- 34) Grime, J. P. 1981. The role of seed dormancy in vegetation dynamics. *Ann. Appl. Biol.* 98 : 555-558.
- 35) 萩森福督. 1965. メヒシバの個生態. *雑草研究* 4 : 28-33.
- 36) Hartwig, N. L.; Ammon, H. U. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* 50 : 688-699.
- 37) Herron, J. W.; Thompson, L.; Slack, C. H. 1971. Weed problems in no-till corn. *Proc. 24th Sth. Weed Sci. Soc.* : 170.
- 38) Hill, M. O.; Gauch, H. G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42 : 47-58.
- 39) Hill, M. O. 1979. *TWINSPAN-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes*. Ecology and Systematics, New York, Cornell University.
- 40) Hoffman, M. L.; Owen, M. D. K.; Buhler, D. D. 1998. Effects of crop and weed management on density and vertical distribution of weed seeds in soil. *Agron. J.* 90 : 793-799.
- 41) Holshouser, D. L.; Whittaker, J. P. 2002. Plant population and row-spacing effects on early soybean production systems in the Mid-Atlantic USA. *Agron. J.* 94 : 603-611.
- 42) 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.
- 43) 井上康則. 1982. (光形態形成. 勝見充行, 増田芳雄編, 実験生物学講座 16 植物生理学(II)). 東京. 丸善. p.139-166.
- 44) 井上博道. 1999. デントコーン栽培における施肥法及び除草剤処理法と雑草の生育反応. *東北雑草研究* 99 要旨集 : 10.
- 45) 伊藤一幸, 木野内和夫, 間谷敏邦, 中島征夫. 1989. 麦跡大豆不耕起播種栽培における除草剤の効果と薬害. *雑草研究* 34(別) : 173-174.

- 46) 伊藤操子. 1993. 雑草学総論. 東京, 養賢堂. 362p.
- 47) 伊藤操子, 森田亜貴. 1999. 地下で広がる多年生雑草たち. 京都. 京大大学院農学研究科雑草学分野. p.19-22.
- 48) 伊藤操子. 1989. 雑草の生理と生態 [5] - 適切な制御の基礎として -. 農及園 64 : 669-674.
- 49) James, C. 2003. *Global status of commercialized transgenic crops: 2003*. ISAAA SEAsiaCenter, Manila.
- 50) 金沢晋二郎. 1995. 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培 畑作物の収量と土壌の特性. 土肥誌 66 : 286-297.
- 51) King, A. D.; Holcomb, G. B. 1985. Conservation tillage: Things to consider. Info. Bull. 461. Wasington, D. C., USDA.
- 52) Knake, E. L.; Appleby, A. P.; Furtick, W. R. 1967. Soil incorporation and site of uptake of pre-emergence herbicides. Weeds 15 : 228-232.
- 53) Knezevic, S. Z.; Evans, S. P.; Mainz, M. 2003. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean. Weed Technol. 17 : 666-673.
- 54) 小林浩幸. 2004a. 不耕起栽培における雑草発生の特徴と耕種防除. 農業技術 59 : 323-327.
- 55) 小林浩幸. 2004b. ダイズ栽培におけるリビングマルチとカバークロープを中心とした省除草剤雑草管理技術の研究動向. 東北の雑草 4 : 1-7.
- 56) 小林浩幸, 土井倫子, 小柳敦史. 2005. 地表面で越冬した夏畑雑草種子の発芽に対する温度と光条件の影響. 雑草研究 50(別) : 134-135.
- 57) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2002a. 不耕起大豆作での冬作緑肥導入による夏生一年生雑草の防除. 雑草研究 47(別) : 126-127.
- 58) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2002b. 不耕起畑における主要イネ科一年生夏雑草の出芽深度. 東北農業研究 55 : 101-102.
- 59) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2003. 不耕起大豆作において冬作被覆作物がメヒシバの発芽と埋土種子の消長におよぼす影響. 雑草研究 48(別) : 234-235.
- 60) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2004a. 不耕起ダイズ作におけるメヒシバの出芽におよぼす前作オオムギの土壌表面被覆. 雑草研究 49 : 1-7.
- 61) 小林浩幸, 三浦重典, 小柳敦史. 2004b. 冬作カバークロープを用いた不耕起ダイズ作における狭畦化の効果. 雑草研究 49(別) : 202-203.
- 62) Kobayashi, H.; Nakamura, Y.; Watanabe, Y. 2003. Analysis of weed vegetation of no-tillage upland fields based on the multiplied dominance ratio. Weed Biol. Manag. 3 : 77-92.
- 63) 小林浩幸, 中村好男, 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ダイズ畑の間の差異. 雑草研究 46(別) : 74-75.
- 64) 小林浩幸, 渡邊好昭. 2000. 不耕起刈取と耕耘が定期的に行われた畑における雑草量の季節消長の被度および草高による推定. 東北農業研究 53 : 93-94.
- 65) Kobayashi, H.; Miura, S.; Oyanagi, A. 2004. Effects of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-tillage soybean. Weed Biol. Manag. 4 : 195-205.
- 66) Kobayashi, H.; Oyanagi, A. 2005. Digitaria ciliaris seed banks in untilled and tilled soybean fields. Weed Biol. Manag. 5 : 53-61.
- 67) 小林浩幸, 小柳敦史. 2005. 冬作オオムギをカバークロープとして用いた不耕起ダイズ栽培において狭畦化と除草処理が雑草量とダイズの収量に及ぼす影響. 雑草研究 50 : 284-291.
- 68) Koskinen, W. C.; McWhorter, C. C. 1986. Weed control in conservation tillage. J. Soil Water Cons. 41 : 365-370.
- 69) Liebl, R.; Simmons, F. W.; Wax, L. M.; Stoller, E. W. 1992. Effect of Rye (*Secale cereale*) mulch on weed control and soil moisture in soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 6 : 838-846.
- 70) Locke, M. A.; Reddy, K. N.; Zablotowicz, R. M. 2002. Weed management in conservation crop production systems. Weed Biol. Manag. 2 : 123-132.
- 71) Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. New Jersey. Princeton University Press. p.34-41.
- 72) Marks, M. K.; Nwachuku, A. C. 1986. Seed bank characteristics in a group of tropical weeds. Weed Res. 26 : 151-157.
- 73) McCune, B.; Mefford, M. J. 1999. PC - ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, ver.



4. Gleneden Beach, Oregon. MjM Software Design.
- 74) 三浦励一. 1999. インドと西アフリカにおけるトウジンビエ畑の雑草植生. 雑草研究 44(別): 212-213.
- 75) 三浦重典, 井上一博, 小林浩幸, 小柳敦史. 2002. 緑肥作物をリビングマルチとして利用した場合のダイズ収量と雑草抑制効果. 日作東北支部報 45: 77-78.
- 76) 三浦重典, 小林浩幸, 井上一博, 小柳敦史. 2003. オオムギをリビングマルチとして利用したダイズ栽培. 日作東北支部報 46: 81-82.
- 77) 三浦重典, 渡邊好昭. 2002. マメ科牧草リビングマルチ条件で栽培したスイートコーンの生育及び収量. 日作紀 71: 36-42.
- 78) Mohler, C. L.; Callaway, M. B. 1995. Effects of tillage and mulch on weed seed production and seed banks in sweet corn. J. Appl. Ecol. 32: 627-639.
- 79) Mohler, C. L.; Teasdale, J. R. 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. Weed Res. 33: 487-499.
- 80) 森田弘彦. 1994. カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸張特性とジニトロアニリン系除草剤に対する反応の差異. 雑草研究 39: 165-170.
- 81) Mulugeta, D.; Boerboom, C. M. 2000. Critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. Weed Sci. 48: 35-42.
- 82) 中村好男. 2000. 土壤動物と植生遷移の関連-雑草の土壤圏活用型防除は可能か-. 農及園 75: 366-370.
- 83) 中谷敬子, 野口勝可. 1991. 転換畑の大豆不耕起栽培における栽植様式の差異が雑草の抑制効果に及ぼす影響. 雑草研究 36(別): 170-171.
- 84) 中山兼徳. 1988. 畑地雑草の発生推移と今後の動向. 第21回農業化学シンポジウム講演要旨集: 40-47.
- 85) 中山壮一, 濱口秀生, 渋谷雄二, 小野信一. 2001. 不耕起無中耕無培土栽培大豆における狭畦化と除草剤による抑草効果. 雑草研究 39(別): 72-73.
- 86) 根本正之, 神田巳季男. 1976. 人工草地の雑草群落におよぼす刈取回数の影響. (1) 雑草の群落構造とその変動. 東北大農研報 27: 69-88.
- 87) 野口勝可. 1993. 韓国の転換畑における雑草. 雑草研究 38(別): 20-21.
- 88) 野口勝可, 江川智男. 1994. 畑雑草種子の殺種子法の開発. (3) 熱の殺種子効果. 雑草研究 39(別): 250-251.
- 89) 野口勝可, Gimenz A. A., 中谷敬子. 1993. 大豆の狭畦栽培による雑草抑圧効果. 雑草研究 38(別): 156-157.
- 90) 野口勝可, 森田弘彦. 1997. 除草剤便覧 選び方と使い方. 東京. 農文協. p.260-265.
- 91) 野口勝可, 中谷敬子. 1992. 畑雑草種子の殺種子法の開発. (1) 殺種子剤の検索. 雑草研究 37(別): 194-195.
- 92) 野口勝可, 中谷敬子, Wasala W. M. D. 1990. 大豆の不耕起栽培における除草剤の利用. 雑草研究 35(別): 159-160.
- 93) 農林水産省. 1999. 大豆の不耕起播種技術マニュアル. 東京. 農林水産省大臣官房.
- 94) 農林水産省大臣官房統計部. 2004. 平成15年産大豆の収穫量. 東京. 農林水産省大臣官房統計部.
- 95) 農林水産省生産局農産振興課. 2004. 大豆に関する資料. 東京. 農林水産省生産局.
- 96) 沼田真, 依田恭二. 1957. 人工草地の群落構造と遷移 1. 日草誌 3: 4-11.
- 97) 小笠原勝, 尾張利行, 米山弘一, 竹内安智. 1999. 植物マルチを利用したダイズ少耕起栽培の可能性. 雑草研究 44(別): 290-291.
- 98) 大段秀記, 住吉正, 小荒井昇. 2003. 暖地の大豆多条播栽培における雑草抑制効果. 雑草研究 48(別): 70-71.
- 99) 岡村哲郎, 田中十城, 森脇良三郎, 上野剛, 橋本仁一, 西田勉, 高橋宏和, 竹下孝史. 2005. ピラフルフェンエチルを用いた大豆生育期における広葉雑草防除法. 雑草研究 50(別): 58-59.
- 100) 奥野忠一. 1984. 応用統計ハンドブック. 東京. 養賢堂. p.194-317.
- 101) 奥野忠一, 芳賀敏郎. 1969. 実験計画法. 東京. 培風館. p.131-153.
- 102) Overland, L. 1996. The role of allelopathic substances in the "smother crop" barley. Amer. J. Bot. 53: 423-432.

- 103) Pedersen, P.; Lauer, J. G. 2003. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. *Agron. J.* 95 : 965-971.
- 104) Post, B. J. 1988. Multivariate analysis in weed science. *Weed Res.* 28 : 425-430.
- 105) Pricelli, E.; Orioli, G.; Sabbatini, M. R. 2002. Demography of *Anoda cristata* in wide- and narrow-row soybean. *Weed Res.* 42 : 456-463.
- 106) Roberts, H. A. 1981. Seed banks in soils. *Adv. Appl. Biol.* 6:1-55.
- 107) Roberts, H. A.; Ricketts, M. E. 1979. Quantitative relationships between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil. *Weed Res.* 19 : 269-275.
- 108) Roberts, H. A.; Potter, H. E. 1980. Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rain fall. *Weed Res.* 20 : 377-386.
- 109) Roman, E. S. 1999. Effect of tillage and *Zea mays* on *Chenopodium album* seedling emergence and density. *Weed Sci.* 47 : 551-556.
- 110) 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.
- 111) 佐合隆一, 中川直美. 1999. 除草剤抵抗性ダイズへのヘアリベッチ被覆による不耕起栽培. *雑草研究* 44(別) : 190-191.
- 112) 坂井直樹. 1989. 不耕起栽培の研究状況(1) - 作物収量への影響 -. *農作業研究* 23 : 179-188.
- 113) SAS Institute Inc. 2002. JMP 入門ガイドバージョン 5. Cary. SAS Institute Inc. 167p.
- 114) Schreiber, M. M. 1992. Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail (*Setaria faberi*) population dynamics and corn yield. *Weed Sci.* 40 : 645-653.
- 115) Shear, G. M. 1985. Introduction and history of limited tillage (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F.). Cham-paign. WSSA. p.1-14.
- 116) Smith, H. 1994. Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family (In "Photomorphogenesis in Plants 2nd Edition", ed. by Kendrick, R. E.; Kronenberg, G. H. M.). Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. p.377-416.
- 117) Stahl, L. A. B.; Johnson, G. A.; Wyse, D. L.; Buhler, D. D.; Gunsolus, J. L. 1999. Effect of tillage on timing of *Setaria* spp. emergence and growth. *Weed Sci.* 47 : 563-570.
- 118) Staniforth, D. W.; Wiese, A. F. 1985. Weed biology and its relationship to control in limited-tillage systems (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F.). Cham-paign. WSSA. p.15-16.
- 119) Streit, B.; Rieger, S. B.; Stamp, P.; Richner, W. 2003. Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Res.* 43 : 20-32.
- 120) スネデカー J. W., コ克蘭 W. G. (畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳) 1972. 統計的方法原著第6版. 東京. 岩波書店. p.312-313.
- 121) Swanton, C. J.; Shrestha, A.; Roy, R. C.; Knezevic, S. 1999. Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. *Weed Sci.* 47 : 454-461.
- 122) Swanton, C. J.; Vyn, T. J.; Chandler, K.; Shrestha, A. 1998. Weed management strategies for no-till soybean (*Glycine max*) grown on clay soils. *Weed Technol.* 12 : 660-669.
- 123) 高林実, 中山兼徳. 1981a. 土壌攪拌の有無が畑雑草の発生に及ぼす影響. *雑草研究* 26 : 41-43.
- 124) 高林実, 中山兼徳. 1981b. 主要畑雑草種子の休眠性の季節変化. *雑草研究* 26 : 249-252.
- 125) 高柳繁, 中谷敬子, 草薙得一, 松永順子, 野口勝可. 1990. 浮選法による土壤中雑草種子分離回収装置の試作. *雑草研究*. 35 : 189-191.
- 126) 高柳繁. 1986. メヒシバ (草薙得一編著, 原色雑草の診断). 東京. 農文協. p.36.
- 127) 高柳繁. 2001. インターネットにより雑草の発生を生産現場で予測する. (2)現場情報から発生絶対数の予測は可能か. *雑草研究* 46(別) : 68-69.
- 128) 滝澤浩幸, 星信幸. 2002. 大麦-大豆立毛播種栽培法. *東北農業研究* 55 : 75-76.
- 129) Teasdale, J. R. 1998. Cover crops, smother plants and weed management (In "Integrated Weed and Soil Management", ed. by Hatfield, J. L.; Buhler, D. D.; Stewart, B. A.). Chelsea. Ann Arbor Press. p.247-270.

- 130) Teasdale, J. R.; Daughtry, C. S. T. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed Sci.* 41 : 207-212.
- 131) Teasdale, J. R.; Mohler, C. L. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85 : 673-680.
- 132) Thomas, A. G.; Frick, B. L. 1993. Influence of tillage systems on weed abundance in south-western Ontario. *Weed Technol.* 7 : 699-705.
- 133) Thompson, K.; Grime, J. P. 1979. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J. Ecol.* 67 : 893-921.
- 134) Thompson, K.; Grime, J. P. 1983. A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *J. Appl. Ecol.* 20 : 141-156.
- 135) Thompson, L.; Thomas, C. D.; Radley, M. A.; Williamson, S.; Lawton, J. H. 1993. The effect of earthworms and snails in a simple plant community. *Oecologia* 95 : 171-178.
- 136) Tørrensen, K. S.; Skuterud, R.; Tandsather, H. J.; Hgemo, M. B. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. 1. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yield. *Crop protection* 22 : 185-200.
- 137) Triplett, G. B.; Lytle, G. D. 1972. Control and ecology of weeds in continuous corn grown without tillage. *Weed Sci.* 20 : 453-457.
- 138) 辻博之, 松尾和之, 山本泰由. 1995. 火山灰土壌における不耕起が畑作物の初期生育におよぼす影響. *日作紀* 64(別2) : 181-182.
- 139) 露崎浩, 中川恭二郎, 小田桂三郎, 草薙得一. 1984. メヒシバ種子の発芽に及ぼす地温と土壤浸透光の影響. *雑草研究* 29(別) : 73-74.
- 140) 露崎浩, 中川恭二郎. 1987. メヒシバ種子の休眠覚醒, 発芽特性および死滅に及ぼす埋土位置の影響. *雑草研究* 32 : 209-216.
- 141) Tuesca, D.; Puricelli, E.; Papa, J. C. 2001. A long term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.* 41 : 369-382.
- 142) 牛木純, 川名義明, 森田弘彦. 2002. 熱水散布が埋土種子の発芽に及ぼす影響. *雑草研究* 47(別) : 234-235.
- 143) 渡邊泰. 1977. 一年生畑雑草の生態に関する研究 6. 埋土種子の発芽に及ぼす光の影響. *雑草研究* 22 : 80-83.
- 144) Wiese, A. F. 1985. Preface: Weed control in limited-tillage systems (In "Weed Control in Limited-Tillage Systems", ed. by Wiese, A. F). Champaign. WSSA. p.iii-vi.
- 145) Wesson, G.; Wareing, P. F. 1967. Light requirements of buried seeds. *Nature* 213 : 600-601.
- 146) Wesson, G.; Wareing, P. F. 1969. The role of light in the germination of naturally occurring populations of buried weed seeds. *J. Exp. Bot.* 20 : 402-413.
- 147) Wrucke, M. A.; Arnold, W. E. 1985. Weed species distribution as influenced by tillage and herbicides. *Weed Sci.* 33 : 853-856.
- 148) 山本嘉人, 桐田博充, 大賀宣彦, 齊藤吉満. 1995. 草地植生の比較を目的とした拡張積算優占度の提案. *日草誌* 41 : 37-41.
- 149) 山下幸司. 2002. 大豆の不耕起無培土密植栽培における群落特性. *日作紀* 71(別2) : 104-105.