

東北地方における帰化雑草ハルザキヤマガラシおよび カミツレ類の生態と防除

橋 雅 明*¹⁾

抄 録：帰化雑草ハルザキヤマガラシとカミツレ類の東北地方における分布と発生実態および人為的影響下における生理生態的特性を分析し、得られた知見に基づいて、防除法を検討した。ハルザキヤマガラシは東北地方に広く分布し、河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍に発生が多く、河川や用排水路を媒体として分布拡散していると推定された。ハルザキヤマガラシは、畦畔とコムギ圃場で主とする繁殖様式を変え、耕起と草刈りなどの異なる管理作業に可塑的に対応して生存していた。そのため、周辺畦畔における適切な雑草管理と圃場内での種子発生個体を対象とした防除が重要と考えられた。カミツレモドキは、東北全県のコムギ圃場などにみられ、秋季と春季に盛んに出芽し、秋季に出芽した越冬個体がコムギの生育を抑制し、減収の原因となっていた。東北地方のコムギ栽培では、播種直後のリニユロン水和剤土壌処理、秋季の出芽終期にあたる11月上旬のアイオキシニル乳剤処理、5月上旬の条間中耕またはアイオキシニル乳剤処理のうち、いずれか2つを用いるとハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除は可能であった。

キーワード：ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレ、帰化雑草、生態、コムギ、水田畦畔、雑草防除、除草剤

The Ecology and Control of the Naturalized Weeds *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., and *Matricaria inodora* L. in the Northeastern Part of Japan : Masaaki TACHIBANA*¹⁾

Abstract : Three naturalized weeds, *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., and *Matricaria inodora* L., that invaded from Europe are widespread in Tohoku, in the northeastern part of Japan. In this study, a control strategy based on the ecological traits of these naturalized weeds is presented. *B. vulgaris* alters its major reproductive mode of perennial or annual depending on the nature of its habitat in levees or wheat fields. The *B. vulgaris* population in tilled wheat fields is almost entirely maintained by sexual reproduction. In the Tohoku region, *A. cotula* emerges most frequently in the fall and spring. The overwintered adult plants arising from the seedlings emerge in the fall and become a serious problem in the spring in wheat fields. In the wheat fields, the three weed species were controlled effectively by the application of linuron (1,000 g a.i. ha⁻¹) to the soil immediately after sowing, the application of ioxynil (600g a.i. ha⁻¹) in early November, corresponding to the end of the annual emergence period of these species, and the employment of either inter-row cultivation or the application of ioxynil (600g a.i. ha⁻¹) in early May. The emergence and spread of the three weed species can be controlled by using a combination of any two of the three methods mentioned above.

Key Words : *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., *Matricaria inodora* L., Naturalized weeds, Ecology, Wheat, Levee, Weed control, Herbicide

* 1) 現・農業・食品産業技術総合研究機構本部 (Headquarters of National Agriculture and Food Research Organization) 2010年11月4日受付、2011年2月3日受理

目 次

I 緒論	34	3. 結果	
II ハルザキヤマガラシの分布	38	1) アンケート調査	
1. 緒言		2) 青森県の転換畑におけるカミツレモド キの発生	
2. 材料および方法		3) カミツレモドキの出芽時期	
1) 分布調査		4. 考察	
2) 秋田県仙北地域における発生実態		V ハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除	51
3) 水中に保存した種子の発芽		1. コムギ作におけるハルザキヤマガラシと カミツレ類の防除	
3. 結果		1) 緒言	
1) アンケート調査と分布確認		2) 材料および方法	
2) 秋田県仙北地域における発生実態		(1) 土壌処理型除草剤の効果	
3) 水中保存後の種子の発芽		(2) 茎葉処理型除草剤の効果	
4. 考察		(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガ ラシとカミツレモドキの個体数の推移	
III ハルザキヤマガラシの生活史と生育地	42	(4) コムギ圃場における防除	
1. 緒言		3) 結果	
2. 材料および方法		(1) 土壌処理型除草剤の効果	
1) 自生地における生活史と繁殖		(2) 茎葉処理型除草剤の効果	
2) 根の断片の生存		(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガ ラシとカミツレモドキの個体数の推移	
3. 結果		(4) コムギ圃場における防除体系	
1) ハルザキヤマガラシの生活史と繁殖		4) 考察	
2) 根の断片の萌芽		2. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における 防除	
4. 考察		1) 緒言	
IV カミツレモドキの分布と生活史	47	2) 材料および方法	
1. 緒言		3) 結果および考察	
2. 材料および方法		VI 総合考察	60
1) 分布調査		引用文献	62
2) 青森県の転換畑におけるカミツレモド キの発生			
3) カミツレモドキの出芽			

I 緒 論

近年の外来植物の侵入は、生物多様性の劣化要因となり、帰化した植物は耕地に蔓延して作物生産を著しく阻害している。東北地方の農耕地およびその周辺にも多数の帰化植物が認められており、とくにヨーロッパ原産のアブラナ科多年生草本のハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R.Br.) とキク科一年生草本のカミツレモドキ (*Anthemis cotula* L.) がコムギ圃場などで問題となっている(森田 1981、伊東 1988)。「特定外来生物による生態系などに係る被害の防止に関する法律」に関連し、一部の外来生物については注意を必要とすることから、環境省は要注意外来生物リストを公表しており、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキはそのリストに記載されている。また、北海道のコムギ (*Triticum aestivum* L.) 圃場ではヨーロッパ原産のキク科一年生草本のイヌカミツレ (*Matricaria inodora* L.) が発

生し(森田 1981)、雑草害を引き起こしている。これら3種は、9月上旬から9月下旬に播種し、翌年7月上旬から7月中旬に収穫する北東北地域の秋播コムギ圃場では出芽から開花・結実までの越年生の生活環を完結できるため、問題雑草となりやすいと推定される。

一般に、新たに問題となった帰化雑草については、侵入地における人為的攪乱などの環境条件に対する生態的な反応や生理生態的特性の知見が少なく、戦略的な防除対策の確立にたちおくれる。このような問題の解決のために、本論文では、ハルザキヤマガラシとカミツレ類を事例として、帰化雑草に対する戦略的な防除対策のあり方を検討した。

帰化植物は、「帰化植物とは雑草と総括的に扱われるものの内で、外国から来たものを指す(久内 1950)」、「人力によって、意識的にせよ、無意識的にせよ、一つの植物が本来の生育地から、そのもの

が自生していない新しい地域にもたらされて、野生化して繁殖し、その植物の歴史を知らなければその土地本来の自生種と一見区別のつかないようになっている状態をいう(津山 1968)、「自然の営力によらず、人為的営力によって、意識的または無意識的に移入された外来植物が野生の状態で見出されるものをいう(長田 1976)」などと定義されている。このうち、有史以前に人類の移動に伴って入ってきて定着し、自生するようになったと考えられる植物を史前帰化植物とよび(前川 1943)、それらは農耕技術の伝播に伴って日本に入ってきて定着し、自生するようになった植物を含む。一方、江戸時代末期より後に入ってきて定着し、自生するようになった植物を新帰化植物、それ以前に入ってきて定着した植物を旧帰化植物とよぶ。単に帰化植物という場合は新帰化植物を指すことが一般的である。帰化雑草とは、「農耕地を中心に、防除対策が必要になるほど定着した帰化植物」(森田 1990)と定義されるが、本論文では「帰化植物」を江戸時代末期以降に渡来し自生する植物に用い、そのうち作物の生産において有害となる植物を「帰化雑草」と定義して用いる。また、単に国外から入ってきた植物を外来植物と呼ぶことにする。

日本の帰化植物は、1910年頃には45種、1931年には133種、1950年には約300種存在したとされるが、1977年には716種に急増している(浅沼ら 1987)。増加の背景には、戦後の経済復興と地域開発および都市化の傾向などのほかに、1955年から1973年までの高度経済成長時代に道路の幹線や支線の拡張整備、市街の拡張、休耕などによる農地の荒廃などにより、帰化雑草が侵入・拡散しやすい環境が創出されたためとされる(須藤 1975)。さらに、近年、海外との交易の拡大に伴い、人と物資の流通が飛躍的に増大したため帰化植物は大幅に増加している。定着したか否かにかかわらず外来植物には、2002年現在で1,500種以上が知られている(村中 2002)。

人間の活動に伴う外来植物の侵入方法には、1) 人間の出入国に伴って着装物に付着する、2) 船舶や飛行機に付着あるいは積み荷に混入する、3) 鉱石や石炭、木材、食料品、飼料などの輸入品に混入する、4) 作物種子に混入する、5) 人工草地の造成用種子に伴って導入される、6) 砂防用や法面緑化の資材として導入されたのち逸出する、7) 観賞植物から逸出する、8) 研究用の植物から逸出する

などがある(近内 1988、浅井 1993、伊藤 1993、鷺谷 2002a)。また、港湾、空港、税関、農事および園芸試験場、植物園、薬用や有用植物の栽培試験場、牧場、養鶏・養豚場、ゴルフ場、醤油や豆腐製造工場、毛織工場、高速道路や宅地造成など建設関係の諸施設、動物園、園芸植物商などの場所は、外来植物が国内に侵入して最初に根をおろす一次帰化地とされる(浅井 1971)。外来植物には、一次帰化地において発芽はしたものの、生活環を完結するに至らず消滅してしまう種から、生活環を完結するが他の場所に拡がらない種、あるいは生活環を完結し分布を拡大する二次帰化に進む種まで様々な種がある(岩瀬 1978)。どのような状態に至るかはその種の生態的特性と環境条件によって決まると考えられる。

外来植物が侵入後、国内で生活環を完結し、定着して帰化雑草とよばれるようになると、様々な問題が生じる。在来種との交雑では、遺伝的な純潔の喪失により、在来種の絶滅や遺伝的な多様性の劣化が危惧される(鷺谷・村上 2002)。生物多様性に関しては、在来種が長い年月をかけて環境条件に適応し、その周辺植物・動物などと築いてきた生物間相互作用のバランスを帰化雑草の侵入によって崩される問題がある。北米原産のオオブタクサ(*Ambrosia trifida* L.)は河川の氾濫原の植生の種多様性を減少させ、北米原産のセイタカアワダチソウ(*Solidago altissima* L.)は在来種を駆逐する(鷺谷 2002b、服部 2002)。南アフリカ原産のシナダレスズメガヤ(*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees)は、河原に侵入すると、株元に砂をためて河原を砂質化し、環境条件を変更して河原に自生地をもつ固有種を衰退させる。ブタクサ(*Ambrosia artemisiifolia* L. var. *elatior* (L.) Desc.)やオオブタクサは市街地の空き地などに侵入し花粉症の原因となる。水路にみられる熱帯原産のボタンウキクサ(*Pistia stratiotes* L.)はすさまじく増殖して、水面を覆い、船の航行や漁労を妨害する。また、新しい帰化雑草が農業生産の場に侵入・蔓延した場合には作物の品質低下や減収を引き起こす(清水 2002b)。このように帰化雑草の侵入は生態系や人間の生活に大きな影響を及ぼしている。

近年、全国の草地・飼料畑で帰化雑草が発生し、急増して問題となっている。当初、輸入牧草種子への混入が侵入経路として予測されたが、種子協会の

検査では雑草種子はほとんど見出されず、この経路の可能性は極めて低い(清水 1992)。一方、堆厩肥の置き場や堆厩肥を施用した圃場での帰化雑草の発生は、輸入飼料への種子の混入によると推定され、鹿島港に荷降ろしされた輸入濃厚飼料が1年にわたり調査された。その結果、105検体から強害帰化雑草のイチビ (*Abutilon theophrasti* Medic.) など延べ1,481種の種子の混入が確認され、混入種子の多くは発芽能力をもっていた(清水 1995、清水ら 1996)。これまでに調べられた牛の採食による雑草種子の伝播実験によると、牛の消化管を通り排出された生糞から回収した雑草種子のうち3割から6割は発芽能力をもっていた(高林ら 1978、高林 1997)。雑草種子の混入した濃厚飼料が家畜に採食されると、排泄物や未熟な堆厩肥などを通して雑草種子が耕地にばらまかれる。一方、イチビでは濃厚飼料への種子の混入による侵入以外にも、古くに栽培された植物から逸出した系統が生育している可能性もあり、日本全国から採集された植物標本館所蔵のさく葉標本について形態的分析とDNA解析が行われている(Kurokawa *et al.* 2003a, b)。その結果から、飼料畑に蔓延している雑草のイチビは、輸入飼料を介した海外からの侵入による個体とされている(Kurokawa *et al.* 2003b、黒川 2006)。このような近年のできごとは、1990年代の円高による輸入飼料の低廉化に伴う濃厚飼料と牧草の輸入の急増および畜産農家の多頭化経営に伴った飼料畑への大量の糞尿の放置と関連している(清水 1992)。

濃厚飼料への種子の混入に由来すると推定される帰化雑草の蔓延は、日本の農耕地で作物の減収を引き起こし、収穫物や畜産物の品質を低下させ、家畜の忌避行動を発生させるなどの被害を及ぼしている。作物の減収の例には、インド原産の一年生草本のイチビによるトウモロコシ (*Zea mays* L.) の減収の事例(佐藤ら 1994)、熱帯アメリカ原産の一年生草本のハリビユ (*Amaranthus spinosus* L.) によるトウモロコシやソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の減収の事例(佐藤 2001)、地中海地域原産の多年生草本シヨクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) によるトウモロコシ(飯塚ら 1995)の減収の事例などが挙げられ、帰化雑草の著しい繁茂を原因として作物の収穫が皆無となる場合もある。収穫物や畜産物の品質低下の原因として、イチビ、ヨーロッパ原産の越年生草本のカラクサナズナ

(*Coronopus didymus* (L.) J. E. Smith) および北アメリカ原産の多年生草本のワルナスビ (*Solanum carolinense* L.) などが挙げられる。イチビの成植物は2.5mに達し、木質化した茎が収穫作業に影響を与えるだけでなく、飼料に混入して飼料の品質を低下させる(稲垣・沖 2001、佐藤ら 1994、佐藤ら 2001)。カラクサナズナは、草丈も20cmから30cmと低く、イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) の生育を抑制することはないが、特異的な強い異臭を持つため、牛がカラクサナズナの混入した飼料を採食するとその異臭が牛乳に移行し、牛乳は、風味の異常な飼料臭乳となり、廃棄される(Sato *et al.* 1996、佐藤ら 2001)。ワルナスビは、飼料などの収穫物への有毒のしょう果および茎葉の混入による品質低下などを引き起こす(Nishida *et al.* 1999a、Miyazaki *et al.* 2005)。家畜の忌避行動の原因として、ハリビユ、ワルナスビ、ヨーロッパ原産の可変性一年生草本のアメリカオニアザミ (*Cirsium vulgare* (Savi) Tenore) などが挙げられる。ハリビユは葉腋から鋭い棘を生じるので、牧草への混入によって牛の採食行動が阻害される(佐藤 2001)。ワルナスビは、葉脈や茎の鋭い棘による放牧地での採食忌避を引き起こす(Nishida *et al.* 1999a、Miyazaki *et al.* 2005)。アメリカオニアザミは、北海道の放牧地で牧草の生育不良を引き起こし、その鋭い棘によって家畜の通行を阻害する(佐藤ら 1981)。このように帰化雑草は日本の農産物の生産を阻害する大きな要因の一つとなっている。

農耕地における帰化雑草の蔓延には、何らかの対策が必要である。輸入濃厚飼料への混入による帰化雑草の侵入拡散経路には、外国からの侵入、家畜の採食、圃場への堆厩肥の施用および圃場内での拡散のいくつかの段階があげられる。この経路の遮断については、まず、外国からの侵入を防止する措置として検疫が考えられるが、日本では雑草の種子は検疫の対象になっていない(清水 2002a)。また、害虫の駆除に用いられる臭化メチル処理には種子を死滅させる効果はなく、飼料工場での穀物の加工処理もほとんどの雑草種子に損傷を与えないため(清水 1995)、外国からの侵入の段階での有効な対策はない。濃厚飼料に混入した雑草種子は、ふつう、家畜に採食されるが、上述したように牛や豚の消化作用では死滅しない種子も多い(高林ら 1978、高林

1997)。次に、家畜の排泄物から圃場に至る経路で、排泄物はふつう堆肥化処理され、堆肥は発酵すると発熱する。イチビ、ワルナスビ、ハリビユなど10種類の雑草種子は55℃で最長58時間または60℃で最長17時間加熱すると死滅するため (Nishida *et al.* 1999b, 2000)、完熟した堆肥の作成は、圃場への雑草の侵入を防止するのに有効な対策となる。しかし、実際には完熟した堆肥を作る施設は不足しており、寒冷地では冬季に野外で60℃以上の発酵温度を確保できないため、多くの堆肥は未熟のまま耕地へ施用されている。また、既に圃場に侵入・定着し、蔓延してしまった帰化雑草には、圃場での防除対策が必要である。

農耕地に蔓延した帰化雑草のいくつかについては対処方法が確立している。九州のトウモロコシ圃場では、イチビは短日に反応して開花し、種子を生産するため、4月に播種したトウモロコシでは作付の初期に発生したイチビが大きな雑草害を引き起こす (Sato *et al.* 1994)。そのためトウモロコシの播種時期を5月下旬まで遅らせてイチビの被害を回避している (佐藤 2002)。トウモロコシ圃場ではハリビユは明確な日長反応を示さずに開花するため、トウモロコシの播種時期を遅らせてもハリビユを抑制できない。ここではリピングマルチとしてイタリアンライグラスをトウモロコシと同時に播種し、ハリビユの生育を抑制している (Sato *et al.* 1998)。イタリアンライグラス圃場でのカラクサナズナに対しては、イタリアンライグラスを倍量播種してカラクサナズナの生育を許容基準以下に抑制している (Sato *et al.* 1996)。草地でのワルナスビの生育限界は、冬季の気温によって決まっているため (Nishida *et al.* 1999a)、温暖地に発生が多いが、ワルナスビの蔓延している温暖地の草地では、追播更新に際して8月下旬にグリホサートを処理し、ワルナスビを防除している (梨木ら 1985)。飼料畑のワルナスビは耕耘で切断された根茎から旺盛にシュートを発生させるため耕耘作業によっては防除できないが (浦川 2000)、ワルナスビの光合成産物の根茎への移動は秋季におこるため、移行性茎葉処理型除草剤を秋季に散布すると効率良く防除できる (Miyazaki *et al.* 2005, 宮崎 2005)。また、トウモロコシの播種後4週間目以降に根の断片から出芽したワルナスビの生育量は少ないため、必要除草期間はトウモロコシ播種後4週間とされている (Onen

et al. 2006)。

以上のように当初“見慣れない雑草”として農耕地で認識された帰化雑草のいくつかは、生育地における生理生態的特性などを詳細に調査し、得られた知見を基に防除対策が策定されている。日本からアメリカに帰化したクズ (*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi) やヨーロッパに帰化したオオイトドリ (*Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai) (浅井 1993) のように、新しい土地に侵入した帰化雑草はしばしば爆発的に繁殖する。帰化雑草の侵入した場所では病原菌や天敵や競争相手が欠落しているほか、原産地とは異なった農地管理が行われるため、そのような爆発的な繁殖が起こっている。そのため帰化雑草の制御には原産国における知見だけでは対処できない。生育生態に関する情報の少ない帰化雑草を効果的に制御するには、新しい環境の中で対象雑草がどのように生き残っているのかを詳細に把握し、予備的な防除を試行し、その防除に対する雑草の反応も含めて生理生態的知見を集積して、適切な対策を構築する必要がある。本論文では、今後も継続的な侵入が予想される帰化雑草に対する防除法を構築するために、北海道と東北地方の麦畑に広がっている3種の帰化雑草をモデルとして研究を行った。

本論文を作成するにあたり、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授山口裕文博士には懇切なご指導とご校閲を賜った。また、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授阿部一博博士、大門弘幸博士には本研究を取りまとめるにあたり有益なご助言とご校閲を頂いた。ここに厚くお礼を申し上げる。

本研究は1993年より4か年にわたり実施された農林水産省の特別研究「強害帰化植物の蔓延防止技術の開発」および東北農業研究センターの基盤研究の成果の一部である。研究の遂行にあたり、農林水産省東北農業試験場の伊藤一幸博士 (以下、いずれも当時)、農業技術研究機構東北農業研究センターの渡邊寛明室長、農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターの中山壮一上席研究員には丁寧なご指導を頂いた。東北農業試験場の住吉正主任研究官、的場和弘主任研究官、内野彰博士、伏見昭秀博士、農業研究センターの芝山秀次郎博士、野口勝可博士、高柳繁博士、中谷敬子博士、澁谷知子主任研究官、浅井元朗博士、九州農業試験場の森田弘彦博士、児嶋清室長、佐藤節郎博士、川名義明主任研

究官、草地試験場の清水矩宏博士、北海道農業試験場の小川恭男博士、財団法人日本植物調節剤研究協会の村岡哲郎氏には数多くのご教示とご助言を頂いた。東北農業研究センターの業務科職員には研究の遂行にあたって多くの支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

Ⅱ ハルザキヤマガラシの分布

1. 緒言

ハルザキヤマガラシはヨーロッパ原産のアブラナ科の多年草であり、無毛で光沢のある濃緑色の葉をつける(長田 1976)。田植えの頃にはナタネより小さい鮮黄色の花を密につける(図1)。ハルザキヤマガラシは、原産地ではサラダ菜として食用とされるが、北アメリカでは栽培品から逸出して野生化している(牧野 1989)。日本には明治末に渡来し(竹松・一前 1987c)、栽培されたとされ(牧野 1989)、第二次世界大戦後には東北地方や中部地方で野生化した群落がみられるようになっている(牧野 1989)。ハルザキヤマガラシは、牧草地、畑地、荒地、路傍などに広がり、北海道から九州まで分布するが、とくに本州中部以北に多いとされる(清水ら 2001)。秋田県での初記録は1973年である(須藤 1975)。ハルザキヤマガラシは、東北地方に急増した雑草の一つで(原田 1993)、秋田県大仙市の水田地帯および青森県の転換畑にもみられる。しかし、東北地方における現在の分布や発生の程度、農耕地およびその周辺での被害の有無など、その実態は全くわかっていない。ハルザキヤマガラシは、

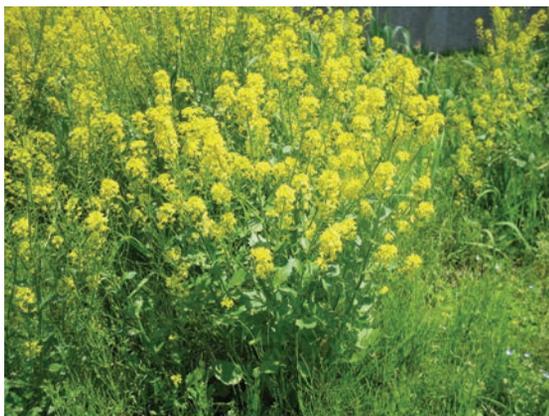


図1 開花期のハルザキヤマガラシ
(秋田県大仙市四ツ屋、2006年5月25日)

世界の温帯域に分布し、牧草地や小麦畑、野菜畑に発生して作物の減収や牧草の品質低下、茎の喫食による家畜の嘔吐などの問題を引き起こしている(MacDonld and Caver 1991、竹松・一前 1987c)。東北地方においては発生が著しくなり農耕地において作物に雑草害を与える恐れがある。ここでは、アンケート調査によりハルザキヤマガラシの発生実態を把握し、車窓からの目視によってその分布を確認し、発生の著しい地域において発生密度と発生動態を把握し、拡散の経路と過程を考察した。また、ハルザキヤマガラシの種子の伝播に水流の関与が推定されたため、水中に保存した種子の生存状況についても調査した。

2. 材料および方法

1) 分布調査

ハルザキヤマガラシの分布については、農林水産省の特別研究「強害帰化植物の蔓延防止技術の開発」における「帰化雑草の分布に関するアンケート調査」の一部として調査した。1993年に東北地方の88カ所の農業改良普及所を対象とし、1996年には76カ所の農業改良普及センターを対象とした。アンケートの質問項目は、当該の管轄区域におけるハルザキヤマガラシの発生の有無、作付作物、発生程度、被害程度、侵入時期および発生動態とした。1993年の調査では、種を正しく同定するために、識別のための形態的特徴と対象植物の写真を掲載したパネルを作成し、アンケート調査票とともに配布した。1996年の調査では同定用資料として「写真で見る外来雑草(畜産技術協会編 1994)」を配布した。

2001年には東北地方におけるハルザキヤマガラシの発生状況を確認するため、主要な国道を調査経路とし、開花期にあたる5月中旬から5月下旬に車窓から観察を行った。

2) 秋田県仙北地域における発生実態

1994年および2001年の5月下旬に、ハルザキヤマガラシの多発地である秋田県横手盆地仙北地域において主要な道路を調査経路として、ハルザキヤマガラシの発生状況と生育場所を調査した。調査経路を1kmのトランセクトで143地点に分割し、発生量を5段階に分級して地点毎に地図上に記入した。発生量は、地点内の最高密度が㎡当たり15個体以上を「4」、9個体/㎡から14個体/㎡を「3」、4個体/㎡から8個体/㎡を「2」、1個体/㎡から3個体/㎡を「1」、全く発生しない場合を「0」として記録

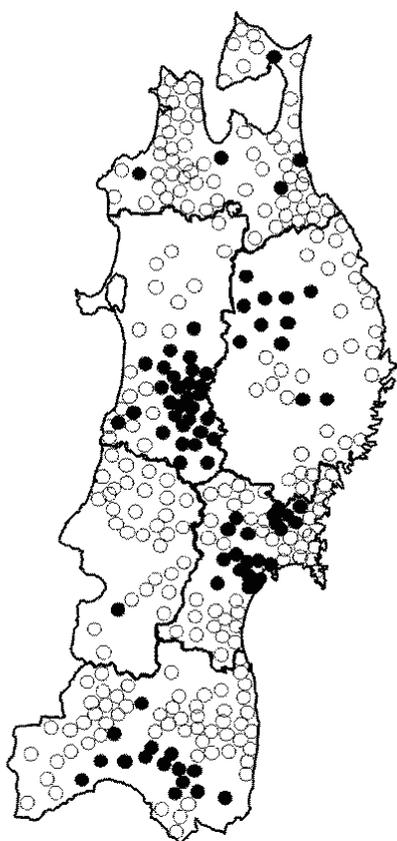


図2 1993年および1996年のアンケート調査による東北地方の市町村単位でのハルザキヤマガラシの発生
●：発生あり ○：発生なし



図3 主要国道での車窓調査による東北地方におけるハルザキヤマガラシの分布(2001年)
全調査地点数：147(1地点は1市町村)
点線：調査経路
黒丸：発生を確認した地点(74地点)

した。水田周辺の135地点については、ハルザキヤマガラシの生育場所近くの河川あるいは用排水路との位置関係を知るために、生育場所を「河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍」、「その他の水田畦畔・路傍」に分け、地点毎に記録した。1地点の中で両方の生育場所がある場合は重複して記録した。

3) 水中に保存した種子の発芽

ハルザキヤマガラシの拡散要因をみるため、水中に種子を保存し、回収した種子の発芽率を調査した。1994年7月4日に秋田県大仙市の東北農業研究センター内で採集し、風乾後約3ヶ月室温貯蔵した種子を1994年10月19日に真ちゅうの網袋に入れて東北農業研究センターの貯水池の水深50cmに置いた。保存259日後および731日後に回収した種子を湿らせた濾紙を置いたシャーレーに置床し、15/25℃(12/12hr)の変温で12時間の明条件下で管理し14日目に発芽率を調査した。発芽試験を3反復とし、

1反復の供試種子数を100粒とした。

1998年4月8日にハルザキヤマガラシが発生している秋田県大仙市の畦畔に隣接した用水路の底に堆積した土(面積100cm²、深さ3cm分)を採取し、ワグネルポットに入れ野外で保存した。同年4月30日に炭酸カリウム50%溶液を用いてハルザキヤマガラシの種子を底土から高柳ら(1990)の方法に従って分離・回収し、水洗した。種子をシャーレー内の湿らせた濾紙に置床し、15/25℃(12/12hr)変温の12時間の明条件下で管理し12日目に発芽率を調査した。発芽しなかった種子を置床40日後にカミソリで半分に切断し生死を観察した。生死の不明な種子では切断してTTC(トリフェニルテラゾリウムクロライド)0.5%溶液に30℃暗黒条件下で24時間浸漬し、赤色に染色された種子を生存と判定した。

3. 結果

1) アンケート調査と分布確認

アンケート調査の回収率は、1993年には64.8%、

表1 ハルザキヤマガラシの発生状況^{a)} (アンケート調査結果)

項目		1993年	1996年
発生場所 (重複回答)	飼料畑	25	15
	草地	50	46
	普通畑	19	0
	転換畑	13	31
	樹園地	13	8
	野菜畑	6	8
	その他 ^{b)}	38	38
作付作物 (重複回答)	牧草	50	46
	コムギ	13	8
	トウモロコシ	25	15
	ダイズ	0	8
	野菜	6	8
	リンゴ	13	8
	ブドウ	6	0
発生程度	ナシ	0	8
	極多	6	8
	多	19	8
	中	31	15
	少	38	23
被害程度	散見	6	38
	甚	6	0
	大	6	8
	中	13	0
	小	44	46
侵入時期	無	25	38
	10年以前	- ^{c)}	8
	10～5年前	44	15
	5～3年前	31	31
	3～1年前	6	8
発生動態	今年から	0	0
	増加	31	23
	平衡	63	54
	減少	0	0

a) 値は回答数に対する項目の比率 (%)。

b) その他は、原野、堤防、畦畔などの非農耕地。

c) -は調査せず。

1996年には57.9%であった。回収数に対してハルザキヤマガラシの発生を認めたとする比率は、1993年には28.1%、1996年には29.5%であった。「発生を認めた」との回答は1993年と1996年をあわせて83市町村からあった(図2)。年次にかかわらず、平野部の市町村において発生が多かった。発生の場所としては草地が最も多く、次いで原野や堤防、畦畔などの非農耕地(調査項目:その他)であった(表1)。ハルザキヤマガラシは、転換畑や飼料畑においても発生していた。ハルザキヤマガラシが発生していた場所の作付作物としては牧草が多く、次いでトウモロコシ、コムギ、リンゴ(*Malus pumila* Miller)

var. domestica Schneider)の順であった。発生の程度では「中～散見」が多く、被害の程度では「中～無」が多かった。侵入時期は3年前から10年前とする回答が多く、発生動態は、「平衡」もしくは「増加」しているとの回答が多かった。

2001年の観察による分布調査では東北全県の74市町村で発生が確認された(図3)。青森平野、秋田県横手盆地、岩手県北上盆地、雫石盆地および遠野盆地において発生が著しかった。ハルザキヤマガラシの生育場所は路傍、河川の土手などが多かった。アンケート調査において発生が報告された福島県南東部では、発生を確認できなかった。

2) 秋田県仙北地域における発生実態

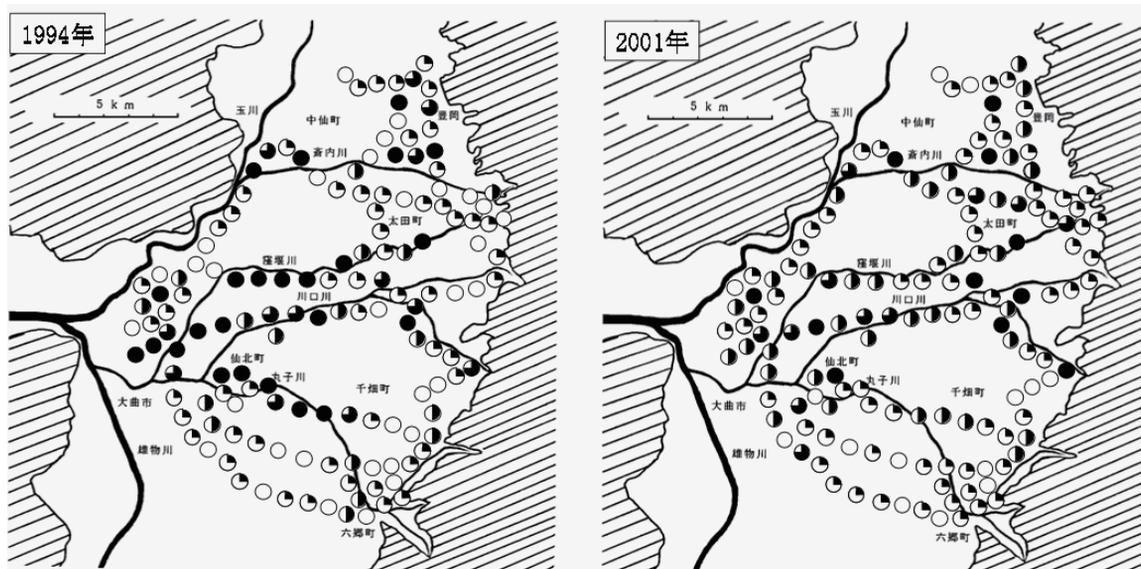
ハルザキヤマガラシは1994年には調査した143地点のうち77%にあたる110地点に発生していた。発生地点の34%では発生の程度が「3」から「4」と高密度で、高密度の発生地点の多くは河川の近傍にあった(図4)。ハルザキヤマガラシは、2001年には143地点のうち、90%にあたる129地点に発生し、発生地点数は1994年より増加した。しかし、発生程度が「3」から「4」の地点は全体の15%に減少していた。

秋田県仙北地域は水稲単作地帯であり、水路が網の目状に広がっている。水田地帯の135の調査地点におけるハルザキヤマガラシの生育場所としては、1994年と2001年ともに河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍が多かった(表2)。ハルザキヤマガラシは仙北地域の主要な河川である齊内川では中州にも発生していた。また、用水整備などによって畦畔に上げられた用排水路の底土にハルザキヤマガラシの発生を確認した。また、地点数は少なかったが、草地や畑地、樹園地、休耕地、畜産農家周辺、空き地にも発生していた。

3) 水中保存後の種子の発芽

ハルザキヤマガラシの種子を259日間水中保存するとその種子の発芽率は $63.1 \pm 13.6\%$ (標準誤差)となり、731日間の保存では $31.3 \pm 3.8\%$ であった。ハルザキヤマガラシの種子の少なくとも3割程度は水中で2年間経過した後も発芽可能である。

用水路の底土から回収したハルザキヤマガラシの種子のうち30.0%は発芽した。残りの70%の種子のうち5.0%の種子は発芽しなかったが、この不発芽種子の切断面はTTCで赤色に染色されたので、種子は生存していると推定された。従って、底土から回



地点数 ○ : 33 ◐ : 56 ◑ : 17 ◒ : 13 ◓ : 24 地点数 ○ : 14 ◐ : 72 ◑ : 35 ◒ : 11 ◓ : 11

図4 秋田県仙北地域におけるハルザキヤマガラシの発生状況

発生程度 0 : ○ 1 : ◐ 2 : ◑ 3 : ◒ 4 : ◓
 全調査地点数 : 143 (1地点の範囲は1kmのトランセクト)
 発生程度の詳細は、本文参照。

表2 秋田県仙北地域におけるハルザキヤマガラシの主な生育場所

調査年	調査地点数	河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍	左記以外の水田畦畔・路傍
1994年	135	85 (63%)	42 (31%)
2001年	135	104 (77%)	57 (42%)

注. 1) 図4の調査地点のうち水田周辺の地点について取りまとめた。
 2) 値は、発生を確認した地点数(重複を含む)。
 3) ()内は、調査地点数に対する割合。

収された種子のうち65.0%の種子は死滅していると判断された。ハルザキヤマガラシは、5月上旬に開花を始め、7月上旬に種子が成熟する。そのため、4月8日に採取した底土に含まれていた種子は前年より前に生産された種子と推定されるので、種子は少なくとも9カ月間は用水路において生存すると考えられる。

4. 考察

アンケート結果からハルザキヤマガラシは1993年には既に東北全域で発生していたと考えられる。1993年と1996年の発生場所の大部分では(図2)、2001年の現地調査でも発生が確認されたので、ハルザキヤマガラシは、東北全域に広く拡散し、定着していると言える。アンケート調査で発生が報告され

た福島県南東部では、車窓調査によってハルザキヤマガラシの発生を確認できなかった。これはこの地域での草刈り時期が早く、開花個体を目視できなかったためと考えられる。ハルザキヤマガラシは、日本には明治時代に栽培植物として渡来し、第二次大戦後東北地方や中部地方に群生していたとされる(牧野 1989)。しかし、アンケート調査では、ハルザキヤマガラシは3年前から10年前の間に目立ち始めたとの回答が多く、これは、原田(1993)が1987年から1992年にかけて耕地への侵入が増加しつつあるとした内容と一致する。筆者は1993年から1996年に青森県西津軽郡鯉ヶ沢町においてこぼれた濃厚飼料からのハルザキヤマガラシの発生を確認した。また、畜産農家からの堆肥を施用した転換畑でハルザキヤマガラシの発生を確認した。これらのことからハルザキヤマガラシは、他の帰化雑草種と同じように輸入濃厚飼料などに混入し(清水ら 1996)、海外から新規に供給された種子によって近年増加していると考えられる。ほかの経路としては、輸入牧草種子に混入したハルザキヤマガラシの種子が草地造成や道路法面の浸食防止用吹き付け工事の際に発芽し侵入する場合も考えられる(岩瀬 1978)。アンケート調査ではハルザキヤマガラシの発生は増加している傾向にあった。2001年の秋田県仙北地域に

における調査では高密度発生地点数は1994年より減少していたが、発生地点数は増加しており(図4)、この地域にハルザキヤマガラシは定着し、分布を拡大していると考えられる。

秋田県仙北地域では、ハルザキヤマガラシは河川の中州にも発生していた。また、この地域で年に1回から2回行われる用排水路整備によって農道・水路の法面や畦畔に上げられた底土にハルザキヤマガラシは発生していた。これは、上流から種子が水によって運搬されるなど、ハルザキヤマガラシの分布拡大には、水流が関与していることを暗示している。ハルザキヤマガラシの繁殖源となる種子は水没しても54日間から57日間は生存するとされ(MacDonld and Caver 1991)、本研究でも2年間水中保存した後も3割程度の種子が発芽可能であった。これらの知見とともに、少なくとも9カ月以上前に散布されたと推定されるハルザキヤマガラシの生存種子が実際に用水路の底土から回収されたことは、河川や用排水路がハルザキヤマガラシの拡散経路の一つであることを示唆している。東北地方以外の日本においてハルザキヤマガラシの発生実態の詳細はよく判っていないが、ハルザキヤマガラシはこのような水を介した拡散経路により、ほかの地域においても分布を拡大させていると推定される。水田地帯である秋田県仙北地域では、本田へのハルザキヤマガラシの侵入は認められないが、ハルザキヤマガラシの発生する畦畔に隣接する水田が畑に転換された場合には、畦畔から侵入する可能性があり、今後の動向には注意を要する。

Ⅲ ハルザキヤマガラシの生活史と生育地

1. 緒言

東北地方では、ハルザキヤマガラシは水田灌漑水路の近くの畦畔や路傍に沿ってごく普通にみられ、コムギ圃場にも発生している(橘ら 2002)。東北地方では、5月から9月の水稻栽培期間中に、通常、畦畔に生育する植物を除草機で3回から4回刈り取る(高橋ら 1997)。一方、コムギは、9月下旬に圃場を耕起した後、播種し、翌年の7月上旬に収穫する(児玉 1992)。このように畦畔とコムギ圃場には農作業に伴う草刈りや耕起などの異なる攪乱があるが、ハルザキヤマガラシがそれらの生育地でどのように繁殖し、どのような生活史を持つのか、その詳細はよく判っていない。ハルザキヤマガラシ

は、有性繁殖と無性繁殖を行う。有性繁殖では長角果に種子をつけ、散布する。ハルザキヤマガラシの生産する種子数は、生育地によって異なり、イネ科植物に被われた乾燥地では個体あたり280粒程度であるが、耕起される圃場などでは個体あたり88,000粒程度である(MacDonld and Caver 1991)。散布された種子は、土壌の耕起によって埋没され永続的なシードバンクを形成し(Roberts 1986)、これがハルザキヤマガラシの耕地雑草としての成功の原因の一つとされる(MacDonld and Caver 1991)。一方、ハルザキヤマガラシは、根から生じる不定芽やロゼット葉の葉腋から生じる脇芽と茎上葉の葉腋に形成される茎上ロゼットの芽とによって無性的にも繁殖する(Klimesova et al. 2008、MacDonld and Caver 1974)。また、ハルザキヤマガラシは、多様な生活史を示す種として知られている。花芽分化に春化(低温の刺激)を必要とするため、秋の発芽個体は冬生一年生として、春の発芽個体は二年生として生育・繁茂する(Baskin and Baskin 1989)。一方、茎が刈られるか種子が成熟し地上茎が枯れると茎の基部につく芽から新しいロゼット葉を発達させる(Schreiber 1962)。刈り取りの損傷が栄養生長から生殖生長への資源分配の変更を遮り、親個体からの再生を増加させる現象はイヌガラシ属の一種 *Rorippa palustris* にもみられる(Klimesova et al. 2007)。ブタナ(*Hypochoeris radicata* L.)でも花の形成が妨げられると生殖生長から栄養生長および新しいロゼットの形成へ移行しやすい(Hartemink et al. 2004)。刈り取りなどの人為的攪乱によって次年あるいはそれ以降に開花が延ばされると、ハルザキヤマガラシは多年生として生育する場合がある(MacDonld and Caver 1991)。短命な植物種におけるこのような生活史の変動は、不安定で予測できない環境条件下で生き残るための戦略の一つと考えられている(Klimesova et al. 2007)。このように、海外におけるハルザキヤマガラシの繁殖方法や生活史についての基本的な知見はあるものの、アジアモンスーン気候下の低地において、ハルザキヤマガラシの個体群の維持に関する種子繁殖と栄養繁殖の貢献の程度についてはほとんど研究されていない。水田地帯においても田畑輪換によってコムギなどが作付されると、隣接した畦畔に自生するハルザキヤマガラシ個体に実った種子が圃場内にこぼれ、転換畑にハルザキヤマガラシの侵入する可能性がある。侵

入帰化雑草に対して雑草管理体系を確立するには、新しく定着した場所の環境条件やその場におけるハルザキヤマガラシの生態的特性に関する知識を蓄積する必要がある。ここでは、草刈りと耕起といった攪乱条件下におけるハルザキヤマガラシの繁殖様式を明らかにするために、畦畔とコムギ圃場という攪乱条件の異なる生育地においてハルザキヤマガラシの生活史を観察した。また、コムギ収穫後の圃場における耕起を想定し、根の断片の埋没実験を行い、その深度と土壤水分が根断片の生存にどのように関わるかを調査した。

2. 材料および方法

1) 自生地における生活史と繁殖

秋田県大仙市内において1992年から1996年までの5年間にわたり、灌漑水路近くの水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシの生活史を観察した。1994年には、11月14日に水田への灌漑水路に近い畦畔に設置した1m×7mの方形区においてハルザキヤマガラシの繁殖様式を観察し、12月14日には東北農業研究センター（秋田県大仙市）のコムギ圃場に設置した1m×3mの方形区においてその繁殖様式を観察した。それぞれの個体が種子繁殖によるか栄養繁殖によるかを判定するために子葉の存在と肥大化した主根または茎基部の状態を調査した。子葉をつけ、栄養繁殖器官を欠く個体を種子繁殖した個体と判定し、肥大化した主根または茎の基部を残している個体を栄養繁殖した個体と判定した。

時期と頻度の異なる刈り取り条件下でのハルザキヤマガラシの生存を解析するために、1996年と2001年に東北農業研究センターにおいて2つの実験を実施した。1996年4月に、畦畔においた5つの1.5m×10mの調査区でハルザキヤマガラシの個体数を計数した。その後の評価のために全ての個体を標識し、抽だい後期（5月1日）、開花初期（5月13日）、開花盛期（5月26日）および成熟期（6月25日）に茎を除去した。また、無処理の対照（無刈り取り）区を設定した。畦畔の調査区内ではハルザキヤマガラシ以外の全ての植物を5月3日、6月14日、6月26日および8月9日の計4回除去した。1996年12月18日に各区でハルザキヤマガラシのロゼット個体数を数え、生存率を決定した。2001年には、年2回（6月18日と8月24日）草刈り区と年4回（5月18日、6月18日、7月23日および8月24日）草刈り区を設定した。1区の面積を1.5m×27mとした。

4月に畦畔に生育するハルザキヤマガラシの個体数を数え、個体を標識した。その後、それぞれの調査区において草刈り処理を実施した。2001年11月24日に、それぞれの調査区において生存しているハルザキヤマガラシの個体数を数えた。

2) 根の断片の生存

1994年12月16日に秋田県大仙市内の水田畦畔に自生しているハルザキヤマガラシ個体のうちロゼットの直径が200 mmから500 mmの範囲の大きさの20個体より根の断片を採集した。根の断片は地表面下50 mmから100 mmの深さにある長さ50 mmの根を選んだ。その後、根の断片を直径0.5 mm以下、直径0.5 mmから1.0 mm、直径1.0 mmから2.0 mm、直径2.0 mmから3.0 mmおよび直径3.0 mm以上のロットに分けた。湿った埴壤土を充填したプラスチック製のシードリングケースにロットあたり10個の断片を水平に置床した。その後、それぞれの断片の下方の2分の1を土で覆った。これを12時間30℃明条件/12時間20℃暗条件の日周条件で20日間培養した。実験期間を通じて土壤表面が乾燥しない程度にシードリングケースに毎日灌水した。20日間の培養後、萌芽数と葉数を数え、萌芽した断片についてそれぞれ最も長い葉の長さを測定した。

1998年11月6日に大仙市内の水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシからロゼットの直径が200 mmから500 mmの50個体を選び、地表面より下20 mmから170 mmの位置にある根を採取した。その根を長さ50 mmの断片に切断した。埴壤土を充填したシードリングケースの土壤表面にこの断片を水平に置床し、また深さ10 mmに埋めた。その後25℃の恒温12時間明条件下でこれらの断片を4つの異なる土壤水分条件（最大容水量の20%、40%、60%、80%）で20日間培養した。1処理あたりの断片数を10個とした。根の断片の生存能力を評価するために、培養直後にそれぞれの断片を5つのカテゴリー（萌芽し出芽した；萌芽したが出芽せず；萌芽せず；腐敗で枯死した；乾燥で枯死した）に分類した。1処理あたり3反復とした。また、異なる水分条件下で根の生存能力を調査した。

1998年11月30日に大仙市内の水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシのうちロゼット直径が200 mmから500 mmの範囲の大きさの50個体から上記と同様に根の断片を採取した。根の断片の埋設条件として埴壤土を充填したシードリングケースの（1）地

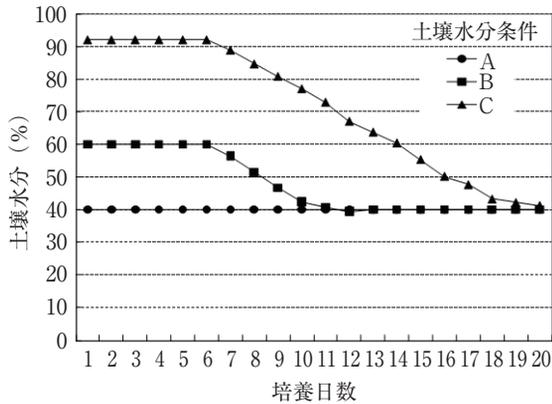


図5 ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力調査において設定した土壤水分条件（最大土壤含水量に対する比率）

表面に水平に置いた根の断片の下方半分を地表面の直下に埋設、(2) 地表下深さ10mm、(3) 地表下深さ30mm、の3種類とした。これらの断片を恒温25℃の12時間明条件下で以下に示す土壤水分条件(図5)で20日間培養した。すなわち、日本の雨期を想定し、(1) 全ての期間を通じて土壤を最大土壤含水量の40%で保持する(土壤水分条件A)、(2) はじめの6日間を最大土壤含水量の60%で保持し、次の6日間で自然に含水量40%まで減少させ、その後8日間を40%で保持する(土壤水分条件B)、(3) はじめの6日間を最大土壤含水量の92%で保持し、次の14日間で自然に40%まで減少させる(土壤水分条件C)の3種類とした。1シードリングケースあたり10個の根の断片を供試し、1シードリングケースあたり3反復とした。培養後、それぞれの断片について上記の試験と同様に生存能力を類別した。

3. 結果

1) ハルザキヤマガラシの生活史と繁殖

畦畔において越冬したハルザキヤマガラシのロゼット個体は、1992年から1996年の間、毎年4月中旬に花軸を抽だし、5月上旬から5月下旬に開花した。果実は6月中旬から7月上旬に成熟し、その後種子が散布された。この地域では水稻の移植時期は5月中旬から5月下旬であり、その場合、移植前に水田畦畔は草刈りされる。そのため、調査した畦畔に生育していたハルザキヤマガラシの茎の多くはこの時期に刈り取られた。茎を刈り取られたハルザキヤマガラシの一部の個体は、基部の腋芽から伸びた新しい茎に花をつけた。1993年の6月下旬には茎を刈り

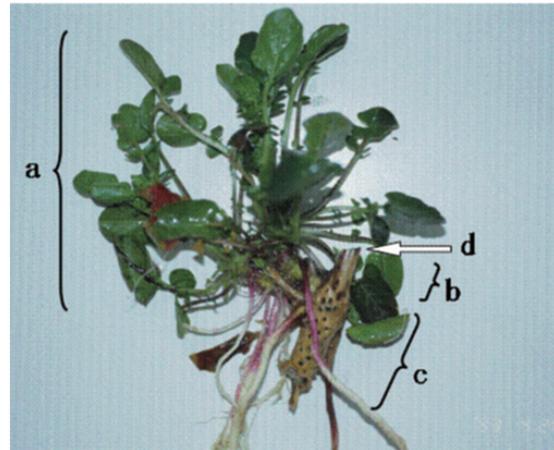


図6 1年前の株から再生したハルザキヤマガラシ個体

a : 新しく形成されたロゼット、b : 1年前の茎
c : 1年前の茎の基部、d : 除草機で刈られた跡

表3 畦畔とコムギ圃場におけるハルザキヤマガラシの繁殖

生育地	観察個体数		計	種子繁殖の割合(%)
	種子繁殖	栄養繁殖		
用排水路近くの畦畔	34 (78.3)	63 (18.7)	97	35.1
コムギ圃場	255 (210.7)	6 (50.3)	261	97.7
計	289	69	358	

注. 1) 括弧内、期待値。

2) $\chi^2=178.396$; d. f. = (2-1)(2-1) = 1; $P < 0.0001$

取られた114個体のうち、77個体は茎の基部に新しいロゼット葉を作っていた。4月にロゼット状の個体を掘り上げたところ、前年の春に茎を刈り取られた個体は茎の基部からロゼット葉を再生しており(図6)、草刈りによって主茎がなくなった後も、ロゼットを複数年にわたって形成するなど、畦畔の多くのハルザキヤマガラシ個体は多年生の性質を示した。

1994年には畦畔に生育していたハルザキヤマガラシの97個体、コムギ圃場に生育していたハルザキヤマガラシの261個体について繁殖様式を評価した(表3)。子葉をつけるか、栄養繁殖器官を欠く個体を種子繁殖と判断し、茎の残骸や古い主根をつけていた個体を栄養繁殖と判断した(図6)。種子繁殖と栄養繁殖個体は明瞭に判断できた。ハルザキヤマガラシの種子繁殖の割合は、畦畔よりもコムギ圃場において有意に高かった(表3、 $P < 0.0001$)。

表4 茎の刈り取り時期とハルザキヤマガラシの生存

刈り取り日	生存個体数	死滅個体数	計	生存率 (%)
5月1日 (抽だい後期)	30 (24.8)	13 (18.2)	43	69.8
5月13日 (開花初期)	24 (20.2)	11 (14.8)	35	68.6
5月26日 (開花盛期)	26 (24.8)	17 (18.2)	43	60.5
6月25日 (成熟期)	17 (23.1)	23 (16.9)	40	42.5
無刈り取り	18 (22.0)	20 (16.0)	38	47.4
計	115	84	199	

注. 1) 括弧内、期待値。
2) $\chi^2=9.848$; d. f. = (5-1) (2-1) = 4; P = 0.0431

表5 異なる草刈り頻度でのハルザキヤマガラシの生存

草刈り頻度	生存個体数	死滅個体数	計	生存率 (%)
年2回	57 (62.8)	25 (19.2)	82	69.5
年4回	67 (61.2)	13 (18.8)	80	83.8
計	124	38	162	

注. 1) 括弧内、期待値。
2) $\chi^2=4.572$; d. f. = (2-1) (2-1) = 1; P = 0.0325

1996年に時期を異にする刈り取りが生存に及ぼす影響を調査した。抽だい後期から開花初期にかけて刈り取った調査区では、開花盛期から成熟期に刈り取った調査区よりも生存率が高かった(表4)。生存率は刈り取り時期によって有意に異なった(P = 0.0431)。2001年に頻度を異にする刈り取りが生存に及ぼす影響を調査した。年4回草刈りされた個体の生存率は年2回草刈りされた個体よりも有意に高かった(表5)(P = 0.0325)。

2) 根の断片の萌芽

ハルザキヤマガラシの根の断片は、土壌表面に半分埋設した場合に不定芽を形成した。直径が1mm以上の根の断片は、100%萌芽し、直径1mm以下の根の断片でも50%から80%の高い萌芽率を示した。直径1mm以上の根の断片では、断片あたりの萌芽数や葉数が多く、生育が旺盛であった(表6)。ハルザキヤマガラシの根の断片は高い栄養繁殖能力を持っていた。

根の断片を土壌表面に置床した場合、土壌水分

表6 ハルザキヤマガラシの根の断片の萌芽能力

根の断片の直径	供試断片数 (個)	萌芽断片数 (個)	断片あたりの萌芽数 (個)	断片あたりの葉数 (枚)	最大葉長 (cm) ^{a)}
3.0mm<	10	10	7.3	34.0	7.7
2.0mm~3.0mm	10	10	7.2	31.6	10.4
1.0mm~2.0mm	10	10	7.5	24.6	8.2
0.5mm~1.0mm	10	8	3.8	9.4	4.0
<0.5mm	10	5	1.6	2.4	0.8

a) 萌芽した根断片における平均値。

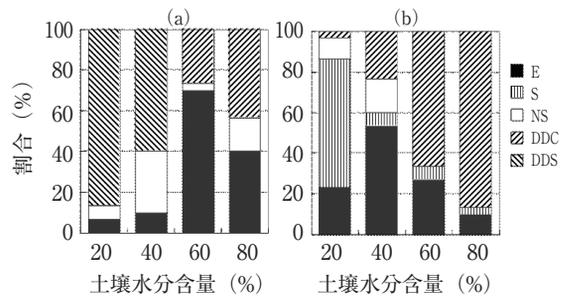


図7 ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力

(a) は土壌表面に置床、(b) は土中10mm深に埋設。E、萌芽し出芽した；S、萌芽したが出芽しなかった；NS、萌芽しなかった；DDC、腐敗で枯死した；DDS、乾燥で枯死した。割合は3反復の平均。土壌水分含量は最大土壌容水量に対する比率。

20%区と土壌水分40%区での根の断片の萌芽率は、土壌水分60%区よりも低く、その原因は乾燥による枯死であった。土壌水分80%区での根の断片の萌芽率は、土壌水分60%区よりも低く、その原因は腐敗による枯死であった(図7a)。一方、深さ10mmへの埋設では、土壌水分60%区と土壌水分80%区での根の断片の出芽率が土壌水分40%区よりも低く、これは断片がより多く腐敗したためであった。土壌水分20%区では、根の断片の出芽率は低く、これは新しいシュートが萌芽しても土の表面の上に出芽できなかったためであった(図7b)。

地表に置かれて下半分を土壌に埋設された根の断片は、深さ10mmまたは30mmの土中に埋設された同じ土壌水分条件の根の断片より高い萌芽率を示した。根の断片の埋設深度が深くなるに従って出芽率は減少し、とくに深さ30mmの土中に埋設した根の断片の出芽率は10%以下と低かった。埋設した根の深さにかかわらず、土壌水分条件Cで維持した根の断片は、腐敗によって多数死滅したため、土壌水

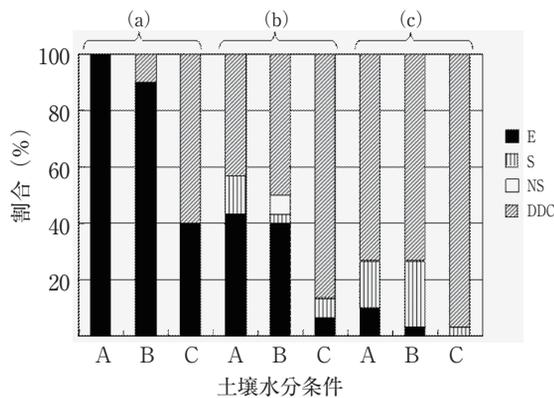


図8 異なる土壌水分と埋設の深さにおけるハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力

A, B, C: 土壌水分条件、図5を参照。

(a), 土壌表面に半分だけ埋設; (b), 土壌表面下10mmに埋設; (c), 土壌表面下30mmに埋設。

E, 萌芽し出芽した; S, 萌芽したが出芽しなかった; NS, 萌芽しなかった; DDC, 腐敗で枯死した。

割合は3反復の平均。

分条件Aと土壌水分条件Bで維持した根の断片よりも低い萌芽率を示した(図8)。

4. 考察

耕起されず草刈りされている畦畔では、多くのハルザキヤマガラシの個体は多年生として生育し、耕起されるコムギ圃場では、ほとんどのハルザキヤマガラシの個体は冬生の一年生として生育していた(表3)。5年間のフェノロジー調査の間、畦畔ではハルザキヤマガラシの茎は、調査地域におけるイネの慣行栽培の田植え直前の最初の草刈りによってしばしば取り除かれた。しかし、畦畔では多くのハルザキヤマガラシ個体は最初の刈り取り後に新しいロゼットを形成していた。これは草刈りに伴いハルザキヤマガラシの生育相が生殖生長から栄養生長へ移行したことを示す。このような生育相の移行は、ブタナや *Rorippa palustris* でもみられる(Hartemink et al. 2004, Klimesova et al. 2007)。ハルザキヤマガラシの茎の刈り取り時期を変えた試験では、早期の刈り取りほどハルザキヤマガラシの生存率は高かった(表4)。このことは、刈り取りがなければ種子形成に消費される光合成産物が早期の刈り取りほど新しいロゼット葉に分配されることを示している。早期の茎の除去によってハルザキヤマガラシの栄養繁殖は促進され、生育期間も延長されている(MacDonld and Caver 1991)。

ハルザキヤマガラシは、花芽分化に春化を必要とするため、温帯では夏の間に草高の低いロゼット

ト状態で生育する(MacDonld and Caver 1974, Schreiber 1962)。しかし、一般に、草高の高い個体は受光に有利で、同じ生育地における草高の低い個体を被覆する(Falster and Westoby 2003)。一方で、匍匐あるいはロゼット型となる広葉雑草は、イネ科雑草と同様に、茎頂分裂組織を地表あるいは地表直下にもつため、低い位置での刈り取りに耐えられる(Murphy and McCarty 1999)。シュートが地表面近くにあるロゼット個体の生育は草高の高い植物の被覆によって抑制されるため、夏の間の植生管理の方法によって植物個体の生存率は異なると推定される。ハルザキヤマガラシの生存率は、高い草刈り頻度のもとで高くなるので(表5)、この地域の畦畔における水稲作期間中の3回から4回の草刈り(高橋ら 1997)はハルザキヤマガラシの生存に好ましく、結果としてハルザキヤマガラシが水田畦畔に多くなる(橘ら 2002)。畦畔における草刈りという農作業は、ハルザキヤマガラシの栄養繁殖を促進し、草高の高い植物との競合を回避して、ハルザキヤマガラシを多年生植物としての生活史に誘導し生き残りやすくしていると考えられる。畦畔の草刈り回数が少なくなると、一年生植物として生活するハルザキヤマガラシの割合が増え、一方で種子から出芽できる空間は少なくなるため、個体数は減少すると推定される。

ワルナスビやシヨクヨウガヤツリ、*Allium vineale*などは、根あるいは地下貯蔵器官によって新しい個体を再生できる(浦川 2000, Altland 2001)。そのため、耕起作業は根の断片や栄養繁殖体を圃場中に拡散させ、しばしば雑草を小さなパッチから圃場全体へ蔓延させる(浦川 2000, Altland 2001)。ハルザキヤマガラシの根の断片も高い萌芽能力をもつため(表6)、耕起によって個体数の増加する可能性はある。しかし、畦畔での栄養繁殖とは対照的にコムギ圃場において、ほとんどのハルザキヤマガラシ個体は種子によって繁殖していた(表3)。それは、北日本でコムギが6月から7月の梅雨の時期に収穫される(星野ら 1989)ことと関係するのかもしれない。ハルザキヤマガラシのほとんどの根の断片は土に埋まった条件や高い土壌水分条件では再生しなかった(図7、図8)。梅雨の期間中のコムギ収穫後の耕起は、雑草の植物体残渣を埋めてしまうので、ハルザキヤマガラシの再生を低下させていると推定される。そのため、北日

本のコムギ圃場ではハルザキヤマガラシの個体群の維持に種子繁殖が重要な役割を果たすと考えられる。

調査した地域では、耕起されず草刈りされる畦畔ではハルザキヤマガラシの個体群は主に栄養繁殖により維持されていたのに対し、耕起されるコムギ圃場ではハルザキヤマガラシはほとんど種子繁殖で維持されていた。ハルザキヤマガラシは2つの異なる管理作業に可塑的に対応してそれぞれの生育地でしぶとく生き残ることができると考えられる。

IV カミツレモドキの分布と生活史

1. 緒言

カミツレモドキはヨーロッパ原産のキク科の一年生草本で（長田 1972）、茎は直立あるいは斜上し、分枝が多く、高さは20cmから80cmである（図9）。葉は互生し、2回から3回羽状に深裂する。花は頭状花序で、舌状花は白色、筒状花は黄色、花床ははじめ円盤状だがやがて中軸が伸び円錐状になる。カミツレモドキには悪臭がある（長田 1972）。日本では1931年に渡来が確認され、全国に帰化している（竹松・一前 1987a）。東北地方においてもカミツレモドキの発生が報告され（原田 1993、的場 1998）、とくに青森県の転作コムギ圃場では異臭や草刈り時の皮膚のかぶれやコムギの品質低下などの



図9 開花期のカミツレモドキ
（秋田県大仙市四ツ屋、1994年6月24日）

問題となっている（伊東 1988）。しかし、東北地方における詳細な分布や発生の程度、農耕地での被害の有無など、その実態は不明である。ここでは、カミツレモドキの発生実態を把握するためにアンケート調査し、発生の著しい青森県鯉ヶ沢町の転換畑において圃場管理実態と発生状況を観察し、カミツレモドキの蔓延の原因を考察した。

2. 材料および方法

1) 分布調査

カミツレモドキの発生に関するアンケート調査は、IIに示したハルザキヤマガラシのアンケート調査と同時に行った。すなわち、1993年には東北地方の88カ所の農業改良普及所を対象とし、1996年には76カ所の農業改良普及センターを対象として、管轄区域におけるカミツレモドキの発生の有無、作付作物、発生の程度、被害の程度、侵入時期および発生動態を調査した。1993年には種を正しく同定した回答を得るために、カミツレモドキの形態の特徴と写真を掲載したパネルを作成し、アンケート調査票とともに配布した。1996年には同定用資料として「写真で見る外来雑草（畜産技術協会編 1994）」を配布した。

2) 青森県の転換畑におけるカミツレモドキの発生

青森県西津軽郡鯉ヶ沢町の転換畑28筆において1994年には4月6日、4月7日、7月29日、7月30日に、1995年には9月9日、9月10日、11月21日、11月22日に、1996年には4月14日、4月15日、7月11日、7月12日に、作付状況、圃場管理状況およびカミツレモドキの発生状況を調査した。3年間の作付体系と圃場管理状況の類似する圃場を16種類に分けて表8に示した。1994年7月30日、1995年9月10日および1996年7月12日には圃場内の最も発生密度の高い部分に20cm×20cm（0.04㎡）のコドラートを置き、その中の個体数を記録した。その個体数を5段階に分級して発生程度とした。個体数の分級は、㎡当たり101個体以上を「極多」、21個体/㎡から100個体/㎡を「多」、6個体/㎡から20個体/㎡を「中」、1個体/㎡から5個体/㎡を「少」、全く発生しない場合を「無」とした。16種類の管理状況別に3年間にわたって得られた発生程度の範囲を表8に示した。

3) カミツレモドキの出芽

カミツレモドキの出芽時期を知るため、1994年4月7日に青森県鯉ヶ沢町で前年のコムギ収穫後不耕

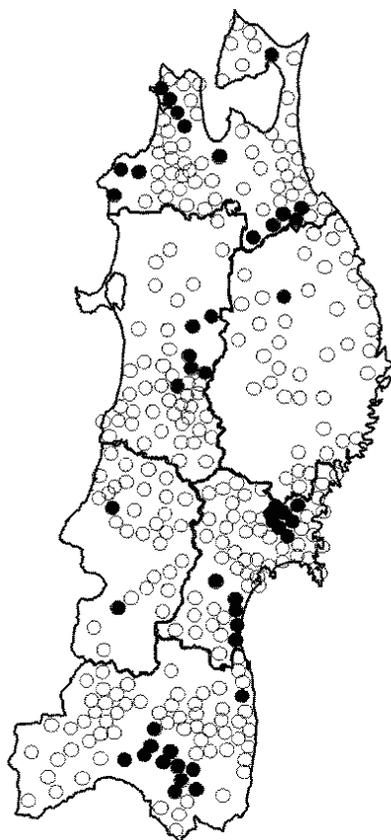


図10 1993年および1996年のアンケート調査による東北地方の市町村単位でのカミツレモドキの発生

●：発生あり ○：発生なし

起のままの圃場から採集した土壌を良く攪拌し、それを同年4月11日に秋田県大仙市の東北農業研究センター内の屋外に置いたコンクリートポット（縦60cm×横60cm）に厚さ5cmになるように充填した。その後、土壌を耕起しなかった。ポット中央部の30cm×30cm（0.09m²）に出芽したカミツレモドキの実生を毎日抜き取り、1995年5月8日まで約1年にわたって出芽個体数を記録した。

3. 結果

1) アンケート調査

アンケート調査の回収率はⅡのハルザキヤマガラシの場合と同様である。回収数に対する「カミツレモドキ発生」の比率は1993年には22.8%、1996年には18.2%であった。1993年と1996年を合わせると49市町村において「発生」の回答があった（図10）。発生地域は年次間に大きな違いはなく、平野部の市町村に「発生」は多かった。発生場所は普通畑で最も多く、次いで転換畑で多かった（表7）。発生場

表7 カミツレモドキの発生状況^{a)}（アンケート調査結果）

	項目	1993年	1996年
発生場所 (重複回答)	飼料畑	31	0
	草地	25	15
	普通畑	38	8
	転換畑	25	23
	樹園地	6	0
	野菜畑	6	8
	その他 ^{b)}	6	23
作付作物 (重複回答)	牧草	38	15
	コムギ	25	8
	トウモロコシ	19	0
	ダイズ	0	15
	野菜	6	15
	リンゴ	6	0
	ブドウ	6	0
発生程度	ナシ	0	0
	極多	0	0
	多	0	0
	中	25	0
	少	13	15
被害程度	散見	44	46
	甚	0	0
	大	0	0
	中	19	0
	小	13	15
発生動態	無	50	46
	10年以前	- ^{c)}	0
	10～5年前	25	23
	5～3年前	31	15
	3～1年前	6	0
侵入時期	今年から	6	0
	増加	13	0
	平衡	31	31
発生動態	減少	19	8

a) 値は回答数に対する項目の比率（％）。

b) その他は、原野、堤防、畦畔などの非農耕地。

c) -は調査せず。

所の作付作物は牧草とコムギで多かった。発生の程度としては「散見」される事例が多く、被害の程度も小さかった。侵入時期は3年前から10年前とする回答が多く、発生動態は、「平衡」とする回答が多かった。

2) 青森県の転換畑におけるカミツレモドキの発生
調査した転換畑はコムギを主体とする作付体系となっていたが、1993年の冷害以降の転作面積の緩和によって1994年以降には一部の復元田にイネの作付がみられた（表8、番号12、13、14）。コムギを作付した圃場で4月上旬に生育していたカミツレモドキのほとんどの個体は子葉をつけておらず、これは

表8 青森県鯉ヶ沢町の転換畑における作付とカミツレモドキの発生状況

番号	作付 ^{a)}			圃場数	3年間の発生程度 ^{b)}	発生場所	備考(圃場管理など)
	1994年	1995年	1996年				
1	コムギ	コムギ	コムギ	3	無~少	圃場内	コムギ収穫後麦稈焼却・耕起
2	コムギ	コムギ	コムギ	2	中	圃場内	コムギ収穫後不耕起
3	コムギ	コムギ	休耕	1	無~少	圃場内	コムギ収穫後麦稈焼却・不耕起
4	コムギ	コムギ	休耕	3	少~中	圃場内	コムギ収穫後不耕起
5	コムギ	コムギ	休耕	6	少~極多	圃場内	コムギ収穫後不耕起、雑草害で収量が極めて少ない
6	コムギ	ソバ	ソバ	3	無~少	圃場内	コムギ収穫後耕起
7	コムギ	ソバ	ソバ	1	少~多	圃場内	コムギ収穫後耕起、ソバの出芽が不均一
8	コムギ	ソバ	休耕	1	無		コムギ収穫後耕起
9	コムギ	イネ	休耕	1	無~中	圃場内、水田畦畔に発生	コムギ収穫後不耕起
10	ダイコン	休耕	コムギ	1	無~極多	圃場内	コムギ生育量少ない
11	休耕	休耕	コムギ	1	無~中	圃場内	コムギ生育量少ない
12	イネ	イネ	イネ	1	無		
13	イネ	水張り休耕	イネ	1	無~少	水張り休耕の落水後に圃場内に発生	
14	水田造成	水張り休耕	イネ	1	無~中	水張り休耕の落水後に圃場内に発生	
15	メロン	休耕	メロン、スイカ	1	無	圃場の外縁には発生あり	マルチ栽培
16	スイカ	休耕	ジャガイモ	1	無~多	マルチ栽培ではないスイカ作で多発生、ジャガイモ中耕培土部分に発生なし	ジャガイモ栽培では中耕培土を実施

a) 作付の年次は収穫年次。

b) 無：0個体/m²、少：1~5個体/m²、中：6~20個体/m²、多：21~100個体/m²、極多：101個体/m²。

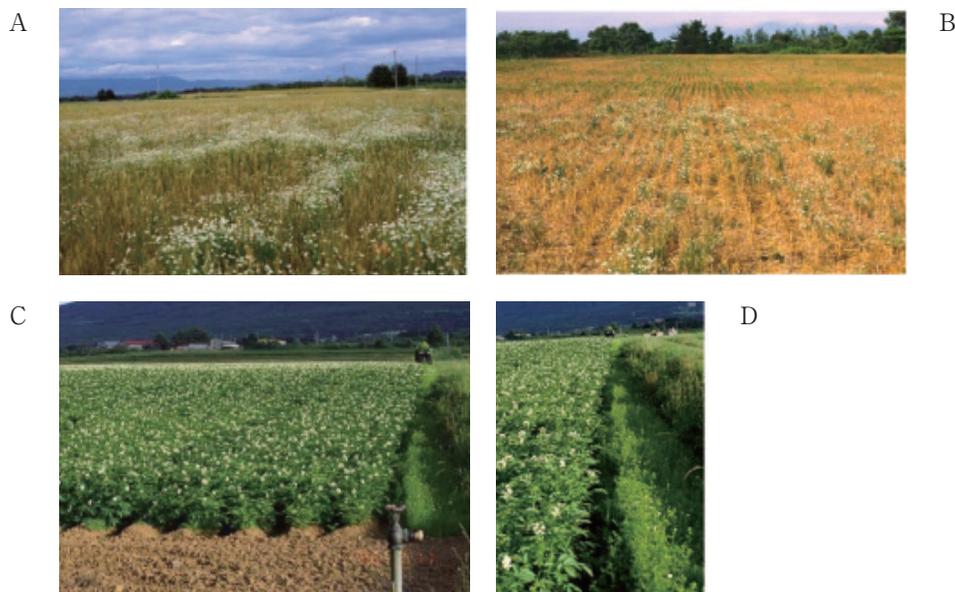


図11 青森県西津軽郡鯉ヶ沢町に発生したカミツレモドキ

- A：コムギ圃場における開花期のカミツレモドキ (1996年7月11日)
- B：コムギ収穫後のカミツレモドキ再生個体の開花 (1994年7月30日)
- C：ジャガイモ圃場における中耕培土による除草効果 (1996年7月11日)
- D：同左、中耕しない部分に残ったカミツレモドキ (1996年7月11日)

越冬した個体と推定された。それらの個体は、6月上旬以降に開花し、7月中旬には種子を散布した。多発圃場では、7月上旬のコムギの成熟期にはカミツレモドキの草冠がコムギを覆っており(図11A)、収量が極めて少ない圃場もあった(表8、番号5)。コムギの収穫後に土を耕起していない圃場では、主茎を刈り取られたカミツレモドキの個体が多数の側枝を出し、開花後には多数の種子をつけていた(図11B)。また、刈り取りされなかった圃場周縁部ではカミツレモドキの大きな個体が生育していた。コムギ収穫後に麦稈を焼却しない圃場や耕起しない圃場ではカミツレモドキの発生は多い傾向にあった(表8、番号2、4、5、9)。コムギの収穫後に耕起された圃場や麦稈を焼却した圃場(表8、番号1、6、8)では、残存するカミツレモドキは少なく、残存した個体も開花はせず、種子を生産しなかった。それらの圃場では、カミツレモドキの発生は少なかった。

カミツレモドキの発生していたコムギの圃場をイネに戻した水田の畦畔には多数のカミツレモドキが生育していた(表8、番号9)。畑状態から水田にもどした初年目に、イネを作付せず、水張り休耕した圃場では、落水後の9月にカミツレモドキの発生が認められた(表8、番号14)。夏季にソバを作付した圃場(表8、番号6)、メロンとスイカをマルチ栽培した圃場(表8、番号15)およびジャガイモ圃場で中耕培土した圃場(図11C、D、表8、番号16)では、カミツレモドキの発生は少なかった。春季に発生したカミツレモドキは、秋季に種子を生産した。

3) カミツレモドキの出芽時期

コンクリートポットに充填した土壌において、カ

ミツレモドキは、4月中旬から出芽を始め、5月下旬まで出芽した。秋季には9月上旬に出芽を始め、10月上旬まで引き続いて出芽した。翌年には4月上旬から5月上旬にかけて出芽した。1年目春季の発生量は1日あたり最高200本を超えていたが、当年の秋季と翌年の春季には約20本程度であった。すなわち、耕起による攪乱のない条件では年に2回出芽した(図12)。

4. 考察

カミツレモドキは1993年に東北全域で発生しており(図10)、耕地内での発生が多かった。カミツレモドキが発生していた市町村数はハルザキヤマガラスの発生していた市町村より少なく、発生量も少なかったため(表7)、カミツレモドキは3年前から10年前の間に目立ち始めたものの、それほど増加していないと判断された。しかし、1983年にカミツレモドキが大発生した青森県西津軽郡鱈ヶ沢町では(伊東 1988)、アンケート調査でも発生が確認され、カミツレモドキはここに定着していると推定される。カミツレモドキの種子は、カナダから輸入された春コムギに混入しており(Shimono and Konuma 2007)、畜産農家より供給された堆肥を施用した鱈ヶ沢町の転換畑でもカミツレモドキの発生は確認される。そのため、この地域のカミツレモドキは、種子の混入した輸入濃厚飼料を牛が採食し、その牛糞堆肥が圃場に施用されることによって蔓延していると推定される。

カミツレモドキの発生が多い青森県西津軽郡鱈ヶ沢町の転換畑において1994年から1996年に圃場の管理実態と発生状況を観察したところ、除草剤を適切に使用していないと考えられる圃場やコムギ収穫後に耕起しないなど、管理の粗雑な圃場が多くみられた。管理が行き届かない原因は、それらの転換畑を所有する農家がつがる市の平野の水田を主な耕作地とし、転作対策として遠距離にある岩木山麓の転換畑を耕作しているためと考えられる。

コンクリートポットでの試験では、カミツレモドキは、秋季と春季に盛んに出芽する周期性を示した(図12)。この出芽の周期性はイギリスの秋播き作物畑など(Kay 1971, Roberts and Neilson 1981)でも同様に認められている。冬作物のコムギ圃場では秋季に出芽し越冬した個体が大きな雑草害を引き起こすが、夏作物では春季に出芽した個体が夏雑草として害を生じる。しかし、青森県鱈ヶ沢町の夏作

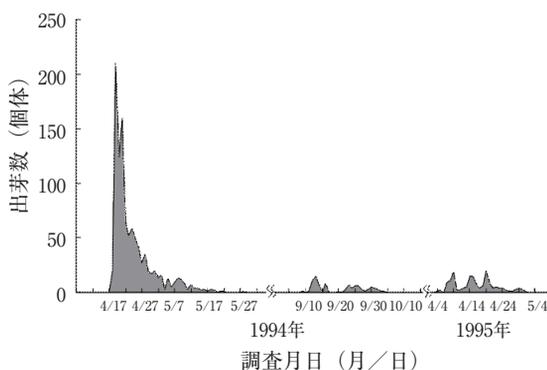


図12 カミツレモドキの出芽パターン
出芽数：0.09 m²あたりの値。

物の圃場では中耕培土などの中間管理作業によってカミツレモドキの発生は少なかった（図11 C、表8）。青森県の県南地域の輪作体系において、中耕培土する頻度の高いダイズやジャガイモの作付は、冬作物のナタネ栽培で増えた雑草を減少させる効果が期待されている（柳野・森行 1995）。同様に夏作物の作付に伴う中耕やマルチによってカミツレモドキは除草されるため、おそらくカミツレモドキの埋土種子量は減少し、カミツレモドキの発生が少なくなると考えられる。一方、コムギを連作した場合にはカミツレモドキの発生が多くなる傾向にある（表8）。また、復田初年目には秋季に本田内にカミツレモドキが発生していたので（表8）、少なくともイネ1作の期間の湛水ではカミツレモドキの種子は死滅せずに生存していると推定される。このように秋季の除草管理が不十分で収穫後管理が適切でない場合やコムギを連作するなど作付体系が適切でない場合に収穫期にカミツレモドキが残存すると推定される。

V ハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除

1. コムギ作におけるハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除

1) 緒言

ハルザキヤマガラシは、温帯地域の畑地に多い雑草であり、コムギ、オオムギ、アルファルファなどに雑草害を及ぼす（竹松・一前 1987c）。また、カミツレモドキおよびイヌカミツレは世界の温帯の農耕地に見られる雑草で、穀類や牧草、果樹など広範な作物に雑草害を及ぼす（竹松・一前 1987a、竹松・一前 1987b）。そのため、過去にこれらに対しては除草剤による防除が検討されている。ハルザキヤマガラシでは米国ウィスコンシン州のアルファルファ圃場において除草剤による防除が検討されており、日本でコムギ用として農薬登録されているベンタゾンでは9月中下旬の1.7kg a.i. ha⁻¹の処理によってハルザキヤマガラシの個体数は67%減少し（Dutt *et al.* 1983）、CATでは9月中旬の1.1 kg a.i. ha⁻¹から2.2kg a.i. ha⁻¹の処理で完全に防除されている（Hastings and Kust 1970）。カミツレモドキでは青森県農業試験場内のコムギ圃場において除草剤による防除が検討されており、日本でコムギ用として農薬登録されているプロメトリン・ベンチオカーブでは9月中旬の0.375、3.75kg a.i. ha⁻¹処理で、

CATでは9月中旬の0.5kg a.i. ha⁻¹処理で、リネロンでは9月中旬の0.75kg a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは完全に防除され、アイオキシニルの9月下旬の0.45kg a.i. ha⁻¹処理でも99%防除されている（伊東 1988）。米国ミシガン州のコムギ圃場ではチフェンスルフロンメチルの4月中旬から5月中旬にかけての18g a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは93%から99%防除され（Kells 1989）、ワシントン州のエンドウ圃場では6月上旬のベンタゾンの0.56kg a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは84%防除されている（Yenish and Eaton 2002）。また、mecopropとアイオキシニルの混合剤によってイヌカミツレを含む麦畑の広葉雑草は89%以上防除されている（Glaser *et al.* 2006）。

除草剤による防除に関するいくつかの知見はあるが、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは東北地方で依然として雑草として問題となっており、有効な手立ては講じられていない。これは、両草種の出芽時期に関する情報が少なく、適切な除草剤処理のタイミングが明確でないことも一因である。

輸入濃厚飼料には多くの外来種の種子の混入が認められ（清水 1995）、2006年にカナダから輸入された春コムギにはカミツレモドキの種子の混入がみられている（Shimono and Konuma 2007）など、日本国内には輸入穀物と共に海外の雑草が常に運び込まれている。そして、これらの雑草種子を含む堆厩肥が圃場に施用されることなどによって外来雑草は耕地内に侵入し続けている。北海道では海外から侵入したイヌカミツレがコムギに雑草害を引き起こしており（森田 1981）、気象条件の似ている北東北地域でも輸入濃厚飼料等を介して侵入し、問題となることが予想されるため、これらの帰化雑草3種の除草体系を確立する必要がある。

そこで、本節では、日本で主にコムギ用に農薬登録されている除草剤について、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対する効果を比較・整理し、適切な除草のタイミングを知るためにカミツレモドキの出芽時期およびハルザキヤマガラシとカミツレモドキの畑圃場における個体数の推移を調査した。得られた知見を基に除草剤処理および中耕による除草体系を検討し、コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの効率的な防除法について考察した。

2) 材料および方法

(1) 土壌処理型除草剤の効果

1995年8月29日に、埴壤土を1/5,000aの大きさのワグネルポットに充填し、カミツレモドキまたはイヌカミツレの種子100粒を齊一に播種し、表層5cmを良く攪拌した。青森県産のカミツレモドキの種子および北海道産のイヌカミツレの種子をワグネルポットに播種し、栽培した集団から1993年7月に採種し、乾燥後は室温で保存した種子を用いた。播種後3日目の8月31日にワグネルポットに灌水した後、CAT (50%水和剤、1%粒剤)、IPC (Chlorpropham 45.8%乳剤)、トリフルラリン・プロメトリン (14%・6%乳剤)、トリフルラリン (44.5%乳剤、2.5%粒剤)、プロメトリン・ベンチオカーブ (5%・50%乳剤、0.8%・8%粒剤)、プロメトリン (50%水和剤)、ペンディメタリン (30%乳剤、2%粉粒剤)、リニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤) を土壌処理した。また、コムギ用に農薬登録されていないアトラジン (47.5%水和剤) も供試した。各剤の使用基準に基づき表9に示す薬量とし、水和剤と乳剤は手押し式噴霧器を用いて100L/10aの水量で散布した。東北農業研究センター内の雨よけハウスで試験し、1日に1回灌水した。処理後74日目にカミツレモドキおよびイヌカミツレを抜き取り、乾物重を測定した。1処理に対してワグネルポット3個を供試し、ワグネルポット1個を1反復とした。

2002年5月27日に、埴壤土を1/5,000aの大きさのワグネルポットに充填し、ハルザキヤマガラシの種子300粒を齊一に播種し、表層1cmを良く攪拌した。2001年の7月に東北農業研究センター内の畦畔に自生する集団より種子を集め、乾燥後、室温で保存した種子を用いた。5月28日にワグネルポットに灌水した後、上記の1995年の試験と同様に除草剤を処理した。雨よけハウス内で試験し、1日毎に灌水した。処理後30日目にハルザキヤマガラシを抜き取り、乾物重を測定した。1処理に対してワグネルポット3個を供試し、ワグネルポット1個を1反復とした。

(2) 茎葉処理型除草剤の効果

1996年に東北農業研究センター内の畑圃場において試験を実施した。9月16日にハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの種子をそれぞれ1gずつ (ハルザキヤマガラシ約5000粒/m²、カミツレモドキ約7000粒/m²、イヌカミツレ約10000粒/m²相当) 面積0.33m² (33cm×100cm) の試験区

に齊一に播種した。圃場に発生した集団より1995年7月に集め、乾燥した後、室温で保存した種子を用いた。播種後31日目 (ハルザキヤマガラシではロゼットの直径: 約9cm、カミツレモドキとイヌカミツレのロゼットの直径: 約12cm) に、DBN (45%水和剤)、DCMU (78.5%水和剤)、アイオキシニル (30%乳剤)、チフェンスルフロンメチル (75%水和剤)、ベンタゾン (40%液剤) を手押し式噴霧器を用い、各剤の使用基準に基づく表10に示す薬量を100L/10aの散布水量で茎葉処理した。また、コムギ用に農薬登録されていない2,4-PA Na (95%水溶剤)、MDBA (50%液剤)、アトラジン (47.5%水和剤)、メトリブジン (50%水和剤) についても同様に処理した。処理後50日目に20cm×20cm (0.04m²) 内に残った個体を抜き取り、草種ごとに乾物重を測定した。試験は3反復とした。

(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移

1992年に青森県鯉ヶ沢町産のカミツレモドキと秋田県大仙市産のハルザキヤマガラシを東北農業研究センター内の圃場に導入した。その後両種が定着して自然に発生する畑圃場において試験を実施した。1区の面積を0.7aとして、1995年9月29日に成分比でN:P:K=1:1:1 (10aあたりN:10kg、P₂O₅:10kg、K₂O:10kg) の化成肥料を施用した後、耕起し、コムギ (品種: あきたっこ) を条間75cmで10aあたり10kg条播した。慣行のコムギ作の多くは条間25cmのドリル播きであるが、後述の試験での中耕による防除効果を検討するため、この試験では歩行式の中耕除草機を圃場に入れられるように条間を広く設定した。除草剤あるいは中耕の1回処理がハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移に及ぼす影響を調べるために、試験区として、9月29日にリニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤) を土壌処理する区、11月13日にチフェンスルフロンメチル (75%水和剤) を茎葉処理する区、11月10日に中耕する区、および無除草区を設定した。1995年11月10日、12月6日および1996年5月1日に各区内のハルザキヤマガラシおよびカミツレモドキの全ての個体数を記録した。

(4) コムギ圃場における防除

ハルザキヤマガラシ (秋田県産)、カミツレモドキ (青森県産) およびイヌカミツレ (北海道産) を導入後、定着して自然に発生している東北農業研究センター内の4aの畑圃場において、1996年10月11

表9 ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレに対する土壌処理型除草剤の効果

処理/除草剤	処理量 (10aあたり)	乾物重 (g/ポット)		
		ハルザキヤマガラシ ^{a)}	カミツレモドキ ^{b)}	イヌカミツレ ^{b)}
無処理		2.034±0.154 (100)	0.319±0.106 (100)	0.122±0.010 (100)
CAT 水和剤	75g	0.228±0.116 (11)	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)
CAT 粒剤	4kg	0.666±0.148 (33)	0.036±0.043 (11)	0.036±0.024 (30)
IPC 乳剤	100g	-	0.133±0.131 (42)	0.125±0.139 (102)
アトラジン水和剤 ^{c)}	150g	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)
トリフルラリン・プロメトリン乳剤	800ml	0.129±0.034 (6)	0.176±0.146 (55)	0.010±0.007 (8)
トリフルラリン乳剤	250ml	0.843±0.216 (41)	0.122±0.033 (38)	0.006±0.010 (5)
トリフルラリン粒剤	4kg	1.465±0.393 (72)	0.110±0.103 (35)	0.079±0.104 (65)
プロメトリン・ベンチオカーブ乳剤	600ml	0.057±0.020 (3)	0.007±0.010 (2)	0.008±0.012 (7)
プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤	5kg	0.757±0.607 (37)	0.063±0.076 (20)	0.003±0.005 (2)
プロメトリン水和剤	175g	-	0.018±0.031 (6)	0.000±0.000 (0)
ベンディメタリン乳剤	400ml	0.000±0.000 (0)	0.005±0.009 (2)	0.002±0.003 (1)
ベンディメタリン粉粒剤	5kg	0.111±0.111 (5)	0.029±0.017 (9)	0.003±0.004 (3)
リニュロン水和剤	150g	0.000±0.000 (0)	0.013±0.023 (4)	0.000±0.000 (0)
リニュロン粒剤	6kg	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)	0.004±0.007 (3)

注. 数値：平均値 (3反復) ±標準偏差、(): 対無処理比 (%), - : 実施せず。

a) 2002年試験。除草剤処理30日後の残草量。

b) 1995年試験。除草剤処理74日後の残草量。

c) コムギに農薬登録なし。

表10 ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレに対する茎葉処理型除草剤の効果

処理/除草剤	処理量 (10aあたり)	乾物重 (g/m ²)		
		ハルザキヤマガラシ	カミツレモドキ	イヌカミツレ
無処理		214.775±45.107 (100)	442.400±68.415 (100)	360.300±45.328 (100)
2,4PA水和剤 ^{a)}	40g	114.992±46.602 (54)	409.967±92.637 (93)	292.842±36.746 (81)
DBN 水和剤	250g	119.192±38.229 (55)	377.783±96.472 (85)	101.925±64.440 (28)
DCMU 水和剤	100g	13.158±14.556 (6)	42.800±57.247 (10)	62.792±51.689 (17)
MDBA 液剤 ^{a)}	200g	57.708±32.867 (27)	290.700±104.760 (66)	246.083±46.875 (68)
アイオキシニル乳剤	200ml	0.058± 0.101 (0)	1.533±2.548 (0)	0.000±0.000 (0)
アトラジン水和剤 ^{a)}	200g	8.467±12.879 (4)	19.317±23.075 (4)	0.292±0.347 (0)
チフェンスルフロンメチル水和剤	10g	92.325±23.208 (43)	39.392±26.671 (9)	0.917±1.287 (0)
ペンタゾン液剤	200ml	1.367± 2.367 (1)	0.000±0.000 (0)	19.542±18.887 (5)
メトリブジン水和剤 ^{a)}	100g	0.000± 0.000 (0)	9.208±8.370 (2)	284.392±43.132 (79)

注. 数値：平均値 (3反復) ±標準偏差、(): 対無処理比 (%).

a) コムギに農薬登録なし。

日、1997年9月30日、1999年9月18日および2000年9月29日にそれぞれコムギ (品種：あきたっこ) を条間75cm で10aあたり10kg条播した。成分比でN:P:K = 1:1:1 (10aあたりN:10kg, P₂O₅:10kg, K₂O:10kg) の化成肥料を施用した。その後、対象とする帰化雑草に効果の高かったリニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤)、アイオキシニル (30%乳剤) およびチフェンスルフロンメチル (75%水和剤) の処理および中耕を表12に示すように実施した。5月から7月の間に50cm×50cm (0.25m²) のコドラート内に生育していた対象種を抜き取り、乾物重を測定した。試験は3反復としたが、一部の処理区では反復を設けなかった。

3) 結果

(1) 土壌処理型除草剤の効果

ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対するベンディメタリン乳剤、リニュロン水和剤および同粒剤の除草効果は高く、3種の乾物重は無処理区の4%以下になった。アトラジン水和剤でも3種は完全に枯殺された。また、CAT水和剤、プロメトリン・ベンチオカーブ乳剤およびプロメトリン水和剤はカミツレモドキとイヌカミツレを乾物重比で無処理区の7%以下に抑えた (表9)。

(2) 茎葉処理型除草剤の効果

アイオキシニル乳剤は、ハルザキヤマガラシ、カ

表11 秋播コムギ畑におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキの個体数の推移

管理	ハルザキヤマガラシ (個体/m ²)			カミツレモドキ (個体/m ²)		
	1995年	1995年	1996年	1995年	1995年	1996年
	11月10日	12月6日	5月1日	11月10日	12月6日	5月1日
無除草	7.21 (100)	10.53 (146)	21.76 (302)	0.47 (100)	0.47 (100)	0.48 (103)
リニュロン水和剤土壌処理 ^{a)}	2.91 (100)	9.19 (315)	19.16 (658)	0.32 (100)	0.35 (110)	0.48 (152)
チフェンスルフロンメチル水和剤茎葉処理 ^{b)}	5.27 (100)	7.54 (143)	14.41 (274)	0.45 (100)	0.45 (100)	0.15 (33)
条間中耕 ^{c)}	9.77 (100)	1.20 (12)	7.45 (76)	0.83 (100)	0.35 (42)	0.41 (49)

注. () : 1995年11月10日の個体数に対する比率 (%)。

a) 9月29日に薬量150g/10a、散布水量100 l/10aで処理。

b) 11月13日に薬量7.5g/10a、散布水量100 l/10aで処理。

c) 11月10日にシバウラ管理機畑楽 KF5525でロータリ耕 (268rpm)。

ミツレモドキおよびイヌカミツレに高い効果を示し、乾物重比で無処理区の1%以下に抑えた。ペンタゾン液剤はハルザキヤマガラシとカミツレモドキを乾物重比で無処理区の1%以下に抑え、メトリブジン水和剤はハルザキヤマガラシを完全に枯殺した。チフェンスルフロンメチル水和剤とアトラジン水和剤はイヌカミツレを乾物重比で無処理区の1%以下に抑えた (表10)。

(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移

無除草区においてハルザキヤマガラシは、11月10日には1 m²あたり7.2個体みられたが、12月6日には1 m²あたり10.5個体に増加し、翌年の春季にも新たに萌芽し、5月1日には11月10日の個体数の3倍 (21.8個体/m²) になった。リニュロン水和剤を播種後土壌処理した区では11月10日には個体数が無除草区の半分以下となった。しかし、この区では11月上旬以降の萌芽により12月6日には無除草区と同程度の個体数 (9.2個体/m²) になった。チフェンスルフロンメチル水和剤を処理した区では効果はほとんど認められず、個体数は無除草区と同様に増加した。条間中耕区では中耕後に個体数は大きく減少し、12月6日の個体数は11月10日の12%となった。全ての区でハルザキヤマガラシは3月下旬の融雪後から5月1日までに多数萌芽した (表11)。しかし、春季に萌芽したハルザキヤマガラシの個体は抽だいせず、ロゼットの大きさも小さかった。

カミツレモドキは、無除草区では11月10日には1 m²あたり0.5個体であったが、それ以降から年内には増加しなかった。リニュロン水和剤を播種後土壌処理した区では、11月10日の個体数が無除草区より少なかった。カミツレモドキは11月上旬以後にはほとんど萌芽せず、年内には個体数は増えなかった。チフェンスルフロンメチル水和剤の処理ではカミツ

レモドキに黄変が認められたが、根雪となる前の12月6日までにはカミツレモドキは枯死しなかった。しかし、翌春5月1日には個体数は11月10日の33%に減少した。条間中耕区では個体数は、中耕後に減少し、12月6日には11月10日の42%となった (表11)。個体数は、3月下旬の融雪後から5月1日までに全区で増加したが、最も増加したりニュロン水和剤区でも12月6日の個体数の37%増となり、ハルザキヤマガラシに比べると少なかった。

ハルザキヤマガラシもカミツレモドキも中耕後に土中に埋没されずに植物体の一部を土壌表面に露出した個体は死滅せず、生育し続けていた。

(4) コムギ圃場における防除体系

ハルザキヤマガラシでは①コムギ播種後の9月下旬にリニュロン水和剤を土壌処理し、11月上旬または翌年5月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号3、6)、②11月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理し、翌年5月上旬に条間中耕または再度アイオキシニル乳剤を処理する系 (表12、処理番号9、11)、③11月下旬に条間中耕し、翌年5月上旬にアイオキシニル乳剤を処理または条間中耕する系 (表12、処理番号25、27) において、収穫期の乾物重が無処理区の4%以下となり、高い効果がみられた。

カミツレモドキとイヌカミツレでは、④9月下旬にリニュロン水和剤を土壌処理し、11月上旬にアイオキシニル乳剤または翌年5月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号3、7)、⑤11月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理し、翌年5月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤あるいはアイオキシニル乳剤を茎葉処理、または条間中耕する系 (表12、処理番号9、10、11)、⑥11月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤を茎葉処理し、翌年5月上旬にアイオキシニル乳

表12 コムギ畑に発生したハルザキヤマガラシおよびカミツレ類に対する除草剤と中耕の除草効果

処理 番号	処理時期				残草量 (乾物重)							
	9月下旬 10月中旬	10月下旬 11月中旬	11月中旬	4月下旬 5月中旬	ハルザキヤマガラシ				カミツレ類			
	無処理				播種年次				播種年次			
					1996年	1997年	1999年	2000年	1996年	1997年	1999年	2000年
					g/m ²							
					16.9	17.2	21.8	14.1	561.0	585.0	339.4	42.5
					対無処理区比%							
1	Li	Io	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
2	Li	Io	-	Th	-	-	0	-	-	-	0	-
3	Li	Io	-	-	-	-	0	1	-	-	0	1
4	Li	Th	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
5	Li	Th	-	-	-	-	82	58	-	-	0	18
6	Li	-	-	Io	-	-	0	-	-	-	11	-
7	Li	-	-	Th	-	-	378	-	-	-	0	-
8	Li	-	-	-	67	-	96	87	5	-	17	115
9	-	Io	-	Io	-	0	0	-	-	0	0	-
10	-	Io	-	Th	-	0	0	-	-	0	0	-
11	-	Io	-	IT	-	3	-	-	-	0	-	-
12	-	Io	-	-	109	0	0	1	0	0	3	3
13	-	Th	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
14	-	Th	-	-	396	-	183	153	3	-	1	15
15	-	-	-	Io	87	15	4	-	62	38	96	-
16	-	-	-	Th	990	69	282	-	25	1	2	-
17	-	IT	IT	Io	2	1	-	-	7	0	-	-
18	-	IT	IT	Th	48	3	-	-	0	0	-	-
19	-	IT	IT	IT	34	12	-	-	23	13	-	-
20	-	IT	-	Io	30	0	-	-	11	3	-	-
21	-	IT	-	Th	113	6	-	-	0	1	-	-
22	-	IT	-	IT	6	2	-	-	51	44	-	-
23	-	IT	IT	-	34	2	-	-	-	2	-	-
24	-	IT	-	-	95	35	-	-	49	7	-	-
25	-	-	IT	Io	-	1	-	-	-	6	-	-
26	-	-	IT	Th	-	20	-	-	-	0	-	-
27	-	-	IT	IT	-	1	-	-	-	42	-	-
28	-	-	IT	-	61	14	-	-	71	9	-	-
29	-	-	-	IT	80	35	-	-	70	39	-	-

注. 1) Li：リニュロン水和剤 (200g/10a) 土壌処理、Io：アイオキシニル乳剤 (200ml/10a) 茎葉処理、Th：チフェンスルフロメチル水和剤 (10g/10a) 茎葉処理、IT：条間中耕 (シバウラ管理機畑楽 KF5525・ロータリ耕 268rpm)。-：処理を実施せず。
 2) カミツレ類：カミツレモドキとイヌカミツレの合計。
 3) 数値：平均値 (3反復)、斜字：無反復。

剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号13)、⑦11月に条間中耕し、翌年5月上旬にチフェンスルフロメチル水和剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号26) において、収穫期の乾物重が無処理区の1%以下となり、高い効果がみられた。

4) 考察

一般的に、暖地や温暖地における秋播コムギの雑草は秋から春にかけて継続して出芽する (森田 1994、大段ら 2002) が、北東北地域では冬季に根

雪に覆われるため、雑草はコムギ播種期から12月中下旬の根雪前までの期間と融雪後の4月以降の期間の2つの時期に出芽する (鳥山・豊川 1956)。麦作の強害雑草であるカラスムギでは、その出芽時期が早いほどコムギの減収率は高くなるとされており (O'Donovan *et al.* 1985)、通常、早期に出芽した雑草は大きく生育し、散布する種子量も多くなる。また、コムギと競合する期間も長くなるため、雑草害が大きくなる。したがって、コムギ作では秋季に

出芽する個体の防除が除草管理の上で重要である。しかし、北東北地域のコムギの播種期は9月上旬から下旬であり、播種から根雪までの期間が2ヵ月から3ヵ月となるため、20日間から40日間の残効を示す播種後土壌処理型除草剤だけでは完全に防除できない(浅井ら 2001、日本植物調節剤研究協会編 1987)。そのため、それぞれの草種の出芽時期を把握し、最も効果的な時期に除草管理すると効率的に雑草を防除できると推定される。

IVで述べたように青森県の転換畑でのカミツレモドキは越年生の生活環を秋播コムギ圃場で完結しており、前年の秋季に出芽した大型の越冬個体がコムギの収穫期に残存する(図11 A)。これは、除草剤の播種後土壌処理だけでは防除が完全ではなく(表11)、薬剤の効果が消失した後に発芽したためであろう。カミツレモドキを適切に防除するには、秋季の出芽終了時期を把握して、最も効果的な時期に除草剤を処理するか、中耕する必要がある。カミツレモドキは11月上旬以降にほとんど出芽せず(表11)、一方で12月の低温下では茎葉処理剤の効果が遅れて発現することもあるため、11月上旬が効果的な除草管理時期の一つである。この時期に天候などの事情で除草管理できないと、東北地方では12月から3月の積雪期間には防除できなくなる。その場合は、越冬個体が旺盛に生育する前の翌春5月上旬に除草管理する必要がある。

カナダのオンタリオ州では8月に散布されたハルザキヤマガラシの種子は夏季の乾燥によって休眠に入り、冬季の低温で休眠を覚醒し、春に出芽する(MacDonld and Caver 1991)。一方、イギリスでは春に出芽数が多いものの、出芽は12月を除く全ての月にみられる(Roberts 1986)など、ハルザキヤマガラシの出芽パターンは気候によって変動する。東北地方の夏季の気候は降雨量も多く湿潤であるため種子は完全に休眠しないと推定され、秋季にも旺盛に出芽する(表11)。ハルザキヤマガラシはカミツレモドキに比べると11月上旬から12月上旬の期間および春季に多く出芽した(表11)。しかし、ハルザキヤマガラシの花芽形成には、5葉期以降に低温を受ける必要があり(MacDonld and Caver 1991)、春季に出芽した個体は年内に抽だいせず、その生育量も小さくなる。そのためコムギ作におけるハルザキヤマガラシの除草管理の時期はカミツレモドキと同様で良いと考えられる。

除草管理の主体となる除草剤の効果は、麦類に農薬登録されている土壌処理型除草剤のリニュロン水和剤および同粒剤、茎葉処理型除草剤のアイオキシニル乳剤において3種に対してともに高く(表9、表10)、青森県でのカミツレモドキに対する防除試験の結果(伊東 1988)もこれを支持している。したがって、これらの剤を除草体系に組み込むのが有効と考えられる。カミツレモドキとイヌカミツレは外観の似ている近縁種であるが、カミツレモドキではイヌカミツレよりトリフルラリン・プロメトリン乳剤およびD BN水和剤の効果は低く、チフェンスルフロンメチル水和剤でも効果は若干低かった(表9、表10)。このように両種の除草剤に対する反応は異なるので、薬剤防除にあたっては防除対象種を正確に同定する必要がある。コムギ用には農薬登録されていないアトラジン水和剤は、土壌処理と茎葉処理で3種ともに高い除草効果を示し、農薬登録のあるトウモロコシ圃場におけるこれらの草種には有効である。

上記の知見を基に10ヵ月と極めて長い期間にわたって作物が圃場を占有する北東北地域のコムギ圃場におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの除草体系を検討した。その結果、効果的な除草時期である播種直後、11月上旬、翌春5月上旬のうち、いずれか2つの時期にそれぞれ適切に除草管理をすれば3種が防除できることが明らかになった(表12)。また、これらの3種が同所的に発生した場合は、①播種直後のリニュロン水和剤と11月上旬のアイオキシニル乳剤を組み合わせた処理体系(表12、処理番号3)、あるいは②11月上旬のアイオキシニル乳剤と5月上旬の条間中耕またはアイオキシニル乳剤を組み合わせた処理体系によって防除できる(表12、処理番号9、11)。コムギの条播栽培において実施可能な条間中耕は除草効果が高く、化学薬剤の投入量を軽減できる有効な手段である。中耕によって条内あるいは条に近い部分に雑草が残る場合には茎葉処理剤と組み合わせた処理体系をとれば良い。以上のように東北地方のコムギ圃場において雑草の出芽する時期を踏まえた除草体系の最適化によって問題となる雑草を防除できることが判った。

2. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における防除

1) 緒言

北東北地域では、コムギを9月に播種し、翌年7

月に収穫する。そのため作物の圃場占有期間が長くなり、他の作物を作付しにくくなるので、コムギの連作が継続する（伊東 1988、松田ら 1980）。冬作物の連作は作物の生育に同調した生活史をもつ越冬型の雑草の増加を招き（鳥山・豊川 1956）、これまで述べてきたようにコムギ圃場にはハルザキヤマガラシとカミツレモドキが発生している（原田 1993、的場 1998、橋ら 2002、橋ら 2008a）。

近年、1年1作の作付体系を主としていた北東北地域においてダイズとコムギを前作物の収穫前に播種する立毛間播種栽培法が確立され、二毛作が可能となっている（伊藤 2002）。立毛間播種栽培の第2作目以降では、収穫前の前作物の立毛条間に次の作物を播種するため、播種から前作物の収穫までの2週間から1ヵ月間を間作状態とする。そのため、雑草対策に慣行栽培のように土壌処理型除草剤を利用できない（橋ら 2008b）。また、乗用管理機を転用した部分耕播種方式の立毛間播種機（伊藤 2002）を用いると、同一圃場内に作物を条播した耕起部と前作物の条の不耕起部が混在するため、コムギの単作とは異なる環境条件が生じる。そのため立毛間播種栽培法の普及に備えて、蔓延の危惧される帰化雑草の防除対策が必要となる。本研究では、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの制御に関する知見を得る目的で、ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における3種の出芽特性を明らかにするとともに、茎葉処理型除草剤の処理と中耕による3種の防除法を検討した。

2) 材料および方法

ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレを導入後、定着して自然に発生している東北農業研究センター内の4aの畑圃場において、ダイズとコムギの立毛間播種栽培の試験を3年間にわたって実施した。第1作目のダイズ栽培では、2001年6月5日に品種「リュウホウ」の種子を10aあたり4.0kg条播し、同年10月9日にダイズを収穫した。第2作目のコムギ栽培では、2001年9月26日にダイズ作物の条間を部分耕起し、品種「ネバリゴシ」の種子を10aあたり6.4kg条播し、2002年7月5日にコムギを収穫した。第3作目のダイズ栽培では、2002年6月25日にコムギ作物の条間を部分耕起し、品種「リュウホウ」の種子を10aあたり5.4kg条播し、同年10月18日にダイズを収穫した。第4作目のコムギ栽培では、2002年9月26日にダイズ条間を部分耕

起し、品種「ネバリゴシ」の種子を10aあたり6.4kg条播した。第4作目では収穫前の2003年5月に雑草の生育量を調査して試験を終了した。ダイズ作およびコムギ作とも条間をすべて75cmとし、部分耕起の幅を50cmとした。ダイズ作では成分比でN:P:K = 3:10:10（10aあたりN:3kg、P₂O₅:10kg、K₂O:10kg）、コムギ作では成分比でN:P:K = 1:1:1（10aあたりN:10kg、P₂O₅:10kg、K₂O:10kg）の化学肥料を施用した。

第1作目のダイズの播種直後に動力散布機でトリフルリン（44.5%乳剤）を土壌処理した。2001年7月2日に中耕し、7月10日には手取り除草を行い、それ以前に出芽した雑草を除去した。9月10日に圃場の2.9 aの調査区において7月中旬以降に出芽した3種の実生およびロゼット個体、抽だい個体の個体数と乾物重を測定した。

第2作目のコムギ圃場において対象とする帰化雑草の発消長を把握するため、2001年10月から2002年6月までの間、1週間毎に調査区内に出芽した3種を抜き取り、出芽数を記録した。1調査区の面積を0.75m×1m（0.75m²）とし、3区を設定した。3調査区の出芽数の合計で帰化雑草3種の傾向を把握し、出芽の消長を分析した。カミツレモドキとイヌカミツレの実生は識別できなかったため、カミツレ類として集計した。また、別に標識した出芽個体について2002年5月14日にハルザキヤマガラシを、同年6月11日にイヌカミツレを出芽の時期ごと（コムギ播種前、播種後15日、25日、35日、45日および春季）にそれぞれ5個体ずつ抜き取り、乾物重を個体ごとに測定した。

第3作目のダイズ圃場では2002年7月24日と8月8日に中耕した。7月22日と8月8日（中耕直前）および8月22日に前作から続いて生育していた3種の個体数を記録した。反復を設けず、3aの調査区内に生育する個体を調査した。

第4作目のコムギ圃場において播種後35日目の2002年10月31日にアイオキシニル（30%乳剤）またはチフェンスルフロンメチル（75%水和剤）を茎葉処理する区（除草剤処理区）および中耕する区（秋季中耕区）を設定した。さらにこれらの区の一部を2003年5月6日に中耕した（春季中耕区）。2003年5月22日には全ての処理区において0.75m×4m（3m²）の調査区内に残存したハルザキヤマガラシとイヌカミツレを抜き取り、乾物重を個体ごとに測

定した。試験は3反復とした。

3) 結果および考察

ダイズ・コムギ立毛間播種栽培の第1作目にあたるダイズ圃場では7月10日以降に出芽したハルザキヤマガラシおよびカミツレモドキ、イヌカミツレの実生個体の数とロゼット個体の数および抽だい個体の数は9月10日の時点で少なく、3種を併せた乾物重は0.5g/m²以下であった(表13)。この乾物重の低さは土壌処理剤と中耕などの除草に加えて、生育しているダイズに被蔭されたためと考えられる。イヌカミツレの抽だいはみられなかったが、カミツレモドキでは圃場外縁部に出芽した個体が抽だい・開花し、少量の種子をつけていた。

第2作目のコムギ圃場ではハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレはダイズの収穫後に出芽を始めた(図13)。カミツレ類の出芽は、ダイズ刈り株跡の不耕起部分でコムギを条播した

耕起部分より37%少なく、出芽の様式も耕起部では10月中旬に大量に一斉であるのに対し、不耕起部では10月中旬から11月上旬にかけて耕起部より少なく、耕起の有無によって異なっていた(図13)。この結果は、耕耘される場所で多く出芽し、攪乱されない土地には生育しないカミツレモドキの性質(Kay 1971)を反映しているようである。ハルザキヤマガラシは、不耕起部分において耕起部分より19%多く出芽したが、土の耕起の有無によって出芽の様式に違いはなかった(図13)。コムギの播種後40日目(11月5日)以降から翌年6月下旬までの3種の出芽数は全期間の出芽数の26%以下であった(図13)。ハルザキヤマガラシは、耕起による植物体の土中への埋没によって死滅し易い(Tachibana et al. 2010)とされ、ダイズ作期間中に生じた個体は不耕起部分だけに残っていた。この残存個体の最終生育量はコムギ播種後15日目(10月11日)に出芽

表13 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第1作目ダイズ畑でのハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの生育

草種	実生		ロゼット個体		抽苔個体			
	個体数 /m ²	個体数 /m ²	直径 cm	乾物重 g/m ²	個体数 /m ²	草丈 cm	乾物重 g/m ²	開花した個体数 /m ²
ハルザキヤマガラシ	0.08	0.61	9.0	0.118	0.00	-	-	-
カミツレモドキ	0.00	0.01	8.0	0.006	0.12	37.2	0.328	0.03
イヌカミツレ	0.00	0.07	11.8	0.034	0.00	-	-	-

注. 2001年7月10日以降に出芽した個体を9月10日に調査。

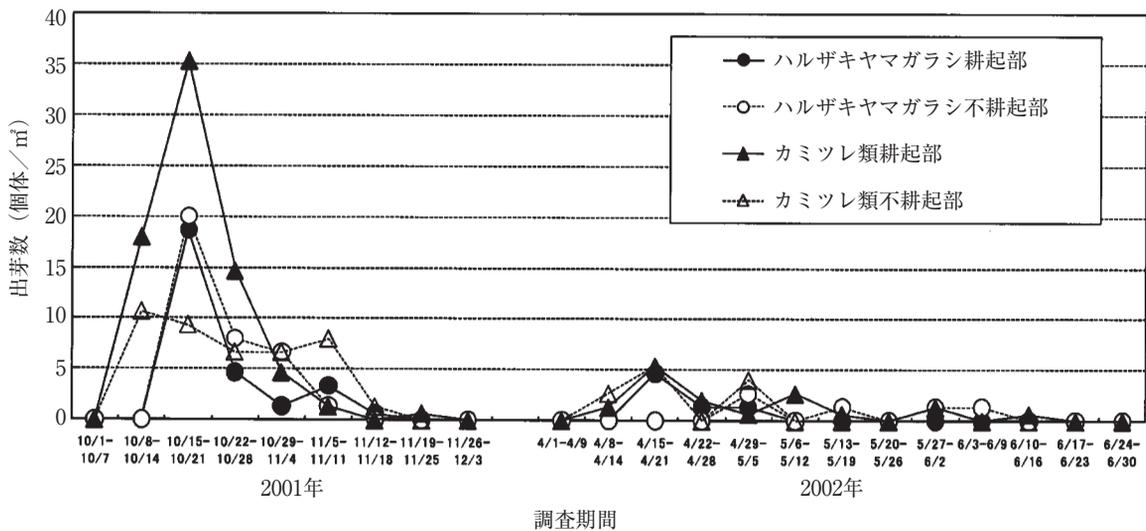


図13 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培の第2作目のコムギ圃場における帰化雑草の出芽パターン
カミツレ類: カミツレモドキとイヌカミツレの合計

した個体より3倍以上大きかった（表14）。また、コムギ播種後35日目に出芽した個体の最終生育量は、ハルザキヤマガラシで1.5g、イヌカミツレで12gと少なく（表14）、大きな雑草害を及ぼさないと考えられた。

コムギ作の期間中に出芽し、第3作目のダイズ圃場に残っていた個体数は、カミツレモドキでは約0.01本/m²、イヌカミツレでは約0.1本/m²と少なく、ハルザキヤマガラシでは約1.9本/m²であった。これ

らの個体の多くはコムギ収穫跡のダイズ条間に生育していたが、2回の中耕によって大部分が除草されていた（表15）。その結果、第4作目のコムギの播種時に生育していた個体の乾物重は、ハルザキヤマガラシでは2.3g/m²、カミツレモドキでは0.1g/m²、イヌカミツレでは1.1g/m²と少なく、ダイズ作においてこれらの草種は雑草害を及ぼさないと考えられた。

第4作目のコムギ圃場のハルザキヤマガラシに対する除草効果は、アイオキシニル乳剤の秋季処理と春季の中耕との組み合わせで最も高く、5月下旬の調査時にハルザキヤマガラシはみられなかった。イヌカミツレに対する除草効果は、秋季のアイオキシニル乳剤またはチフェンスルフロンメチル水和剤あるいはそれらの除草剤と春季の中耕を組み合わせた処理で高く、調査時にイヌカミツレの乾物重は無処理区の2%未満であった（表16）。このとき試験圃場内のカミツレモドキの個体数は、イヌカミツレよ

表14 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第2作目コムギ圃場でのハルザキヤマガラシとイヌカミツレの出芽時期と生育量

草種	出芽時期		乾物重(g/個体) ^{b)}	
	コムギ播種後日数	(暦日)	耕起部	不耕起部
ハルザキヤマガラシ	前作期 ^{a)}		-	76.34
	15日目	(10月11日)	14.50	21.00
	25日目	(10月21日)	5.26	6.72
	35日目	(10月31日)	1.45	1.07
	45日目	(11月10日)	0.23	0.55
	春季発生		0.02	0.06
イヌカミツレ	前作期		-	166.76
	15日目	(10月11日)	19.80	20.52
	25日目	(10月21日)	19.47	14.67
	35日目	(10月31日)	4.60	12.11
	45日目	(11月10日)	-	5.73
	春季発生		0.11	0.11

注. 2001年9月26日にコムギを播種し、ハルザキヤマガラシは2002年5月14日に、カミツレモドキは6月11日に調査。

a) 第1作目ダイズ栽培期間中。

b) 乾物重：5個体の平均値。-：発生無し。

表15 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第3作目ダイズ圃場でのハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対する中耕の効果

草種	生育個体数 (/m ²)		
	2002年7月22日 (第1回中耕前)	2002年8月8日 (第2回中耕前)	2002年8月22日 (第2回中耕後)
ハルザキヤマガラシ	1.860 (100)	0.413 (22)	0.197 (11)
カミツレモドキ	0.013 (100)	0.007 (50)	0.003 (25)
イヌカミツレ	0.097 (100)	0.013 (14)	0.007 (7)

注. 1) 2002年7月24日と8月8日の計2回中耕を実施。

2) (): 7月22日の個体数に対する比率 (%)。

表16 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第4作目コムギ畑でのハルザキヤマガラシとイヌカミツレに対する除草剤および中耕の効果

処理	生育量 (乾物重) ^{d)}	
	ハルザキヤマガラシ	イヌカミツレ
	g/ m ²	
無処理	65.10 ± 52.42 (100)	51.06 ± 47.62 (100)
秋季アイオキシニル乳剤処理 ^{a)}	3.49 ± 4.71 (5)	0.05 ± 0.05 (0)
秋季アイオキシニル乳剤処理 + 春季中耕	0.00 ± 0.00 (0)	0.16 ± 0.23 (0)
秋季チフェンスルフロンメチル水和剤処理 ^{b)}	42.72 ± 46.76 (66)	0.62 ± 0.67 (1)
秋季チフェンスルフロンメチル水和剤処理 + 春季中耕	2.23 ± 0.86 (3)	0.42 ± 0.31 (1)
秋季中耕	6.03 ± 3.57 (9)	6.32 ± 7.07 (12)
秋季中耕 + 春季中耕 ^{c)}	1.35 ± 1.16 (2)	4.20 ± 2.52 (8)

注. 数値：平均値 (3反復) ± 標準偏差、(): 対無処理比 (%)。

a) 2002年10月31日に薬量200ml/10a、散布水量100 l/10aで茎葉処理。

b) 2002年10月31日に薬量10g/10a、散布水量100 l/10aで茎葉処理。

c) 秋季中耕は2002年10月31日、春季中耕は2003年5月6日にシバウラ管理機畑楽 KF5525でロータリ耕 (268rpm)。

d) 2003年5月22日採取。

り非常に少なかった。

以上のように、夏季のダイズ作では帰化雑草3種はあまり発生せず、コムギ作時に出芽して不耕起部に生育する個体もダイズ播種後の中耕により防除できた。冬季のコムギ作では、土壌を耕起した条播部分でカミツレモドキとイヌカミツレの出芽が多くなるため、中耕よりも茎葉処理型除草剤の使用が効果的である。また、コムギの播種後40日目以降に出芽する雑草の個体は少なく、その生育量も小さいため、コムギ単作での除草管理(橘ら 2008a)と同様に茎葉処理型除草剤は積雪前の11月上旬に用いるのが適切である。ハルザキヤマガラシでは、前作時に出芽した大きな個体が不耕起部に生育するが、アイオキシニル乳剤の秋季の処理と春季の中耕を組み合わせた体系で防除できる。

VI 総合考察

近年、農耕地へ侵入した帰化雑草は、作物生産に大きな被害を及ぼしており、被害を最小限に抑えるため、帰化雑草に対する迅速な対応が求められている。問題となる帰化雑草の制御を考えるうえで、新しい生育環境における生態などの情報を詳細に把握し、それらの知見に基づいて戦略的に対策をたてるのが最も効率的で効果的な方法と考えられる。すなわち、実態の把握からはじまって、適する手法を適用し、その効果を査定し、戦略的な観察を準備することによってその目的は達成される。

1. 分布状況と発生実態の把握

帰化雑草の同定と分布状況の調査は、国内への侵入後の状態を把握するために必須であり、それらの情報から今後拡大の予測される地域や環境条件などを特定し、対策の緊急性などを診断する。ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは、両種とも東北地方全県に及んで発生し、ハルザキヤマガラシは牧草地やコムギ畑と水田畦畔などに生育し、カミツレモドキは牧草地やコムギ畑などに多く生育していた(図2、図3、図10、表1、表7)。また、3年の間隔をあけたアンケート調査では、ハルザキヤマガラシは増加しつつあり、カミツレモドキは変わらないか減少傾向にあった。帰化雑草には、全国的に広がっているイチビやハリビユ、ワルナスビから局地的にみられるアメリカキンゴジカ(*Sida spinosa* L.)やダンバイナズナ(*Thlaspi arvense* L.)まで様々な種がある(清水 1995)。一般に広い地域に分布し、

圃場内に侵入すると発生量が著しく多く、作物に雑草害を及ぼす草種については防除対策を急いで確立する必要がある。ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは、東北地方における対策を要する種と判断される。カミツレモドキは耕地に多く発生し、ハルザキヤマガラシは耕地のみならず非農耕地にも発生するので、それぞれの場に応じた対策を確立する必要がある。ハルザキヤマガラシは耕地内のみで防除しても分布の拡大は防止できないので、水田畦畔などでも防除を進める必要がある。ハルザキヤマガラシは日本には明治時代に栽培植物として渡来したとされ(牧野 1989)、カミツレモドキの渡来は昭和初期に確認されている(竹松・一前 1987a)。しかし、文献(伊東 1988、原田 1993)やアンケート調査の結果(表1、表7)をみると両種の発生が増加し目立ち始めたのは、1980年から1990年頃と推定され、この時期は、イチビなどの帰化雑草が耕地で蔓延した時期と一致する(清水 1992)。また、牛糞堆肥を施用した圃場にハルザキヤマガラシとカミツレモドキの発生がみられるので、両者の侵入経路はイチビなどと同様に輸入飼料への種子の混入によると推定される。両種の耕地への新たな侵入を防止するには、圃場に堆厩肥を還元する際に、堆厩肥を十分に発酵させる必要がある。このように帰化雑草の分布状況と発生実態の把握は、防除の優先順位や防除の対象とする場を明確にし、侵入経路の推定や今後の発生拡大の予測に有用な情報を提供する。

2. 局所生育地での生態的反応の把握

局所生育地での帰化雑草の生態的反応の把握からは、個体群の維持や拡散に関する性質を読み取ることができる。ハルザキヤマガラシは水路近くの水田畦畔に多く発生し(図4、表2)、その種子は耐水性を示し、ハルザキヤマガラシは水流によって拡散していると推定された。緑化資材として用いられるシナダレスズメガヤでも河川の上流での工事の後に下流へ種子が拡散している(鷲谷 2002a)。これらの事例を踏まえると、帰化雑草の拡散を防止するには、外来植物を緑化資材として使わず、資材自体への雑草種子の混入を監視するなどの対策が必要である。とくに日本の水田地帯では、水路は網の目状に張りめぐらされており、水流によって帰化雑草の種子が拡散しやすく、水路の整備などに伴って水路の底の土が畦畔に上げられ、そこに帰化雑草が定着することもある(表2)。畦畔に生育する帰化アサガ

オ類が転作大豆畑に侵入した事例のように（平岩ら 2007）、水田を畑に転換すると、隣接する畦畔から畑圃場内に帰化雑草が侵入し蔓延する可能性もあり、畦畔に発生している強害帰化雑草は防除の対象とすべきである。カミツレモドキは、春と秋に出芽する発芽の季節周期性を示すが（図12）、青森県鯉ヶ沢町のコムギ圃場では秋季に出芽した個体の生育量が大きく雑草害を及ぼしていた。一方、夏作物のジャガイモ圃場では、春季に出芽していた（図11）。作物の栽培暦に同調して生活環を完結するのは、定期的な攪乱に適応する雑草の性質と考えられる。このような性質をもつ帰化雑草の繁茂に対しては、栽培期間中の中耕培土などの中間管理作業による防除が有効である（図11、表8）。このように発生の著しい生育地における帰化雑草の生態の把握は、その種が繁茂する要因の抽出に有効であり、防除対策の策定に資することができる。

3. 物理的攪乱への生態的反応の把握

人間による農作業などの物理的攪乱に対して帰化雑草がどのように生態的に反応するかは、帰化雑草の生存戦略に関わる。ハルザキヤマガラシは、水田畦畔では頻繁な草刈りによって栄養繁殖を促進し、多年生として生育し、個体群を維持していた（図6、表3、表4、表5）。一方、ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力は、土壤水分の高い条件や土壤に埋没する条件では低下するため、耕起されるコムギ圃場では、ほとんど種子繁殖であり、ハルザキヤマガラシは一年生として生育していた（図7、図8、表3）。草刈りに伴う生殖生長から栄養生長への生育相の移行は、ブタナや *Rorippa palustris* にもみられる（Hartemink *et al.* 2004, Klimesova *et al.* 2007）。このような人為的攪乱の種類に応じた生活史の変更は、世界各地の様々な環境に適応し定着するための生存戦略として有効と考えられる。これらの知見から、畦畔におけるハルザキヤマガラシの個体数を減少させるには、結実期直前に草刈りし栄養生長への光合成生産物の配分を低下させ、その後の草刈り回数を少なくし、他種との競争を強める必要がある。また、コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシの栄養繁殖を妨げるには、収穫後などに耕起する必要がある。以上のように人為的攪乱に適応した帰化雑草の生態的特性の把握は、その種の生態の弱点を明確にし、それを標的とした防除法の開発に役立つ。

4. 除草剤に対する反応

日本の飼料畑に発生している帰化雑草の多くは、アメリカの穀物畑で発生し、防除が困難とされている雑草であり（清水 1992）、その中には除草剤の効果が低い種もある。また、海外で帰化雑草に効果の高いことが知られている除草剤も、日本においては農業登録されていないために使用できないことがある。したがって、効果的な化学的防除を行うためには、日本国内で農業登録のされている除草剤に対する帰化雑草の反応を把握する必要がある。そこで、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキおよびイヌカミツレに対しては、主にコムギ用に農業登録のある土壤処理型除草剤14剤と茎葉処理型除草剤9剤の効果を試験し、リニュロン水和剤やアイオキシニル乳剤の除草効果が3種ともに高いことを明らかにした（表9、表10）。同様に、いくつかの帰化雑草においても除草剤に対する反応が調査され、トウモロコシ圃場で問題となるイチビには、ハロスルフロロンメチル水和剤などの除草効果の高いことが明らかにされている（的場 1998）。除草剤の効果は、種によって異なるため（表9、表10）、正確な種の同定が必要であり、化学的防除を迅速に効果的に行うためには、国内で使用可能な除草剤に対する帰化雑草の反応を正確に整理しておく必要がある。

5. 現実の場における防除法の試行

防除法を確立するには、実際に帰化雑草の発生する場において、計画された防除法がどの程度の効果を示すのかを把握し、問題点を明らかにする必要がある。コムギ圃場においてハルザキヤマガラシとカミツレ類に対し、除草剤試験で効果の高かったリニュロン水和剤をコムギ播種後に土壤処理した。その結果、播種後20日目頃までは除草効果がみられるものの、その後ハルザキヤマガラシとカミツレ類が出芽し（表11）、土壤処理型除草剤の残効期間は不足していた。この場合、茎葉処理型除草剤や中耕などの除草管理と組み合わせる必要が生じる。トウモロコシ圃場ではイチビとハリビユによる被害の緩和を目的として播種期が検討され、晩播によってイチビは抑草されるが、ハリビユは抑草されないことがわかった。そこで、トウモロコシの早播とイタリアンライグラスのリビングマルチの組み合わせが検討され、その体系によりハリビユの防除が可能となった（佐藤 2002）。このように現実の場において帰化雑草を対象とした防除法を試行し、問題点を抽出し、

その解消のために新たな手段を講じるといった防除対策の構築が知見の少ない帰化雑草の防除にあたって有効である。

6. 防除体系の構築

寒冷地では、暖地・温暖地に比べると早春、晩秋には気温が低く、作物の生育速度も遅く、雑草の出芽が長期間に及ぶため、雑草防除が難しい。効果的で効率的な防除を行うためには、帰化雑草の出芽特性に基づいた除草管理時期の最適化が必要となる。防除法の試行で明らかになったとおり、コムギに雑草害を及ぼす帰化雑草の秋季の出芽個体は、播種後土壌処理型除草剤の処理のみでは完全に防除できないため、残効がなくなった後に出芽する個体を効率的に防除しなければならない。そこで、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの出芽時期を調査し、適切な除草管理時期が11月上旬と5月上旬であることを明らかにし、茎葉処理型除草剤や中耕を組み合わせた防除体系を確立した(表12)。同様にダイズ・コムギ立毛間播種栽培においても帰化3種の出芽特性を中心に調査した結果、茎葉処理型除草剤は積雪前の11月上旬に処理するのが適当と判断され、前作時に出芽した大きな個体も中耕によって防除できた(表16)。トウモロコシ圃場では、出芽時期別に根の断片から出芽したワルナスビの生育量が調査された結果、必要除草期間は播種後4週間と判明し、残効性の観点から土壌処理剤のクロプロファミの使用が推奨された(Onen *et al.* 2006)。このように、現実の場において侵入帰化雑草の生理生態的特性を明らかにし、その知見に基づき最も効率的で効果的な防除法を構築する必要がある。

7. 将来展望

物質が地域内で循環し、人力で除草が行われ、帰化雑草の少なかった時代には、寒冷地の麦作において、収穫皆無になるほどの大きな雑草害はみられなかった。ところが近年、国際的な流通の拡大と輸入濃厚飼料への多量かつ多量の雑草種子の混入により(清水 1995、清水ら 1996)、海外の穀物畑で発生し、収穫期に残存する防除の難しい雑草の多くが直接日本の圃場に持ち込まれている(清水 1992)。また、除草剤処理により圃場における雑草の生育量は少なくなり、新たな雑草の侵入できる空間が存在する。このような背景もあり、帰化雑草が蔓延して大きな雑草害を引き起こしている。本論文では、帰化雑草の侵入と拡大という問題に対処する

ために、ハルザキヤマガラシとカミツレ類を対象として東北地方における分布と発生実態を把握し、人為的影響下における生理生態特性を把握し、得られた知見に基づき北日本の通常のコムギ栽培およびダイズ・コムギ立毛間播種栽培における防除法を構築した。今後、イネ科雑草の繁茂や継続的な帰化雑草の侵入が問題となると予測されることから、監視を十分に行い、初期対策や拡大拡散への対策、拡大後の対策を準備しておく必要がある。また、全国で得られた帰化雑草に関する情報のすべてをデータベース化し、問題化した場合に迅速に対応できる体制を整える必要がある。

一般に、帰化雑草の多くは、侵入地から分布を広げるための機構をもち、農作業などの人為的干渉に可塑的に対応して生活史を変更するなど、幅広い環境に適応して生き残り増殖する攪乱適応性を有する。そのため、問題化した帰化雑草を制御するには、まず、新しい侵入地における分布と発生実態を調査し、拡散経路を特定し、拡散経路の遮断を試みる必要がある。次に発生の著しい場所において、帰化雑草が人為的攪乱にどのように適応して、生存し繁殖しているかを明らかにし、生存と繁殖を助長する要因を取り除くか、あるいは変更して帰化雑草の反応を調査する必要がある。こうして得られた帰化雑草の生存に関わる生理生態的特性などの科学的知見に基づき、実際の作物栽培環境において耕種的・化学的防除法を適切に用いると、帰化雑草による被害の防止という困難な課題に戦略的・効率的に対処できる。また、新たな雑草の侵入は今後も続くと考えられることから、帰化雑草に関する知見を集積し、利用できる体制を構築することが重要である。本論文で提示した手法は、広く帰化雑草の侵入と拡大という問題に対して有効である。

引用文献

- Altland, J. 2001. Weed Control in Nursery Field Production. [Cited 2 September 2008]. Available from URL: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8899-e.pdf>
- 浅井元朗, 中村直紀, 與語靖洋. 2001. カラスムギの発生消長とトリフルラン剤の効果. 雑

- 草研究 46 (別) : 70-71.
- 3) 浅井康宏. 1971. 帰化植物の由来. 遺伝 25 : 5-10.
- 4) 浅井康宏. 1993. 緑の侵入者たち. 東京. 朝日新聞社. 294p.
- 5) 浅沼昌平, 狩山俊悟, 榎本 敬, 小島裕子. 1987. 岡山県の帰化植物 - 侵入から定着へ -. 岡山. 倉敷市立自然史博物館. p.5-6.
- 6) Baskin, J. M.; Baskin, C. C. 1989. Seasonal changes in the germination responses of buried seeds of *Barbarea vulgaris*. Can. J. Bot. 67 : 2131-2134.
- 7) 畜産技術協会編. 1994. 写真で見る外来雑草. 東京. 畜産技術協会. 46p.
- 8) Dutt, T.E.; Harvey, R.G.; Fawcett, R.S. 1983. Influence of herbicides on yield and botanical composition of alfalfa hay. Agron. J. 75 : 229-233.
- 9) Falster, D.S.; Westoby, M. 2003. Plant height and evolutionary games. Trend. Ecol. Evol. 18 : 337-343.
- 10) Glaser, B.; Konradt, M.; Laux, P. 2006. Certrol Top - the new formulation. J. Plant Dis. Pro. Sp. Iss. 20 : 1061-1066.
- 11) 原田二郎. 1993. 東北地域の帰化雑草. 雑草研究 38 (別) : 80-81.
- 12) Hastings, R.E.; Kust, C.A. 1970. Control of yellow rocket and white cockle in established alfalfa. Weed Sci. 18 : 329-333.
- 13) Hartemink, N.; Jongejans, E.; De Kroon, H. 2004. Flexible life history responses to flower and rosette bud removal in three perennial herbs. Oikos 105 : 159-167.
- 14) 服部 保. 2002. セイタカアワダチソウ (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.196.
- 15) 平岩 確, 林 元樹, 杉浦和彦, 野村有美. 2007. 愛知県水田輪作ほ場における帰化アサガオ類の発生动向と畦畔除草剤の効果. 雑草研究 52 (別) : 38-39.
- 16) 久内清孝. 1950. 帰化植物. 東京. 科学図書出版社. 272p.
- 17) 星野次汪, 友岡憲彦, 福永公平, 瀬古秀文. 1989. コムギの穂発芽検定法と難穂発芽性遺伝資源の系譜. 育雑 39 : 365-372.
- 18) 飯塚弘明, 板橋正六, 高橋 厚. 1995. 強害外来雑草の初期発生本数とトウモロコシ生産 (農業研究センター編, 研究成果情報平成7年度生産環境・畜産 - 草地関東東海農業). 茨城. 農業研究センター. p.233-234.
- 19) 稲垣栄洋, 沖 陽子. 2001. イチビ (*Abutilon theophrasti* Medic.) の密度の差異がトウモロコシの生育に及ぼす影響. 雑草研究 46 : 261-266.
- 20) 伊東秀則. 1988. カミツレモドキの発生生態と防除法. 日植調東北支部会報 23 : 10-15.
- 21) 伊藤操子. 1993. 雑草学総論. 東京. 養賢堂. p.101-103.
- 22) 伊藤信雄. 2002. 小麦・大豆の立毛間播種栽培について. 水田輪作 - 東北農研センターにおける研究 - 10 : 1-4.
- 23) 岩瀬 徹. 1978. 人里植物, 帰化植物の生活 (沼田 真編, 植物生態の観察と研究). 東京. 東海大学出版会. p.39-55.
- 24) Kay, Q.O.N. 1971. *Anthemis cotula* L. J. Ecol. 59 : 623-636.
- 25) Kells, J.J. 1989. Chemical control of mayweed chamomile (*Anthemis cotula*) in winter wheat (*Triticum aestivum*). Weed Technol. 3 : 686-689.
- 26) Klimesova, J.; Sosnova, M.; Martinkava, J. 2007. Life-history variation in the short-lived herb *Rorippa palustris*: effects of germination date and injury timing. Plant Ecol. 189 : 237-246.
- 27) Klimesova, J.; Kocianova, A.; Martinkava, J. 2008. Weeds that can do both tricks: vegetative versus generative regeneration of the short-lived root-sprouting herbs *Rorippa palustris* and *Barbarea vulgaris*. Weed Res. 48 : 131-135.
- 28) 児玉 徹. 1992. 小麦の生育・栄養診断による安定多収栽培. 東北農業試験場研究資料 13 : 37-50.
- 29) 近内誠登. 1988. 帰化雑草と除草法の変遷. 化学と生物 26 : 667-673.
- 30) 黒川俊二. 2006. 分子生物学的手法によるイチビの種内変異および日本への侵入経路の解明. 雑草研究 51 : 165-171.

- 31) Kurokawa, S.; Shimizu, N.; Uozumi, S.; Yoshimura, Y. 2003a. Intra-specific variation in morphological characteristics and growth habit of newly and accidentally introduced velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) into Japan. *Weed Biology and Management* 3 : 28-36.
- 32) Kurokawa, S.; Shimizu, N.; Uozumi, S.; Yoshimura, Y. 2003b. ISSR variation in a worldwide collection of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and the genetic background of weedy strains mingled in grains imported into Japan. *Weed Biology and Management* 3 : 179-183.
- 33) MacDonald, M. A.; Cavers, P.B. 1974. Cauline rosettes – an asexual means of reproduction and dispersal occurring after seed formation in *Barbarea vulgaris* (yellow rocket). *Can. J. Bot.* 52 : 913-918.
- 34) MacDonld, M. A.; Caver, P.B. 1991. The biology of Canadian weeds. 97. *Barbarea vulgaris* R. Br. *Canadian Journal of Plant Science* 71 : 149-166.
- 35) 前川文夫. 1943. 史前帰化植物について. *植物分類地理* 13 : 274-279.
- 36) 牧野富太郎. 1989. 改訂増補牧野新日本植物図鑑. 東京. 北隆館. 208p.
- 37) 的場和弘. 1998. 寒冷地強害帰化雑草の生存戦略の解明と制御技術の開発 イチビ (農林水産省農林水産技術会議事務局編, 強害帰化植物の蔓延防止技術の開発). 東京. 農林水産省農林水産技術会議事務局. p.86-89.
- 38) 松田幹男, 堀江正樹, 本田勝雄, 志村英二. 1980. 畑輪作に関する研究第11報 42年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について. *日作紀* 49 : 548-558.
- 39) 宮崎 桂. 2005. 多年生雑草ワルナスビ (*Solanum carolinense* L.) の根系による栄養繁殖. 根の研究 14 : 99-104.
- 40) Miyazaki, K.; Ito, M.; Urakawa, S. 2005. Seasonal pattern of shoot emergence and its endogenous control in horsenettle (*Sonalum carolinense* L.). *Weed Biol. Manag.* 5 : 14-18.
- 41) 森田弘彦. 1981. 北海道における帰化雑草の特徴と防除上の問題点. *雑草研究* 26 : 200-214.
- 42) 森田弘彦. 1990. 1980年代の帰化雑草の概観. *農業技術* 45 : 342-347.
- 43) 森田弘彦. 1994. 水田麦作 (草薙得一編, 雑草管理ハンドブック). 東京. 朝倉書店. p.220-227.
- 44) 森田弘彦, 中山壮一. 1992. 暖地水田でのシヨクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) の発生と生育. *雑草研究* 37 : 267-275.
- 45) 村中孝司. 2002. 外来種リスト維管束植物 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.320-353.
- 46) Murphy, T. R.; McCarty, L.B. 1999. Turfgrass weed management-1999. [Cited 1 September 2008.] Available from URL: <http://commodities.caes.uga.edu/turfgrass/georgiaturf/WeedMngt/weedcontrol/ASAWEED.PDF>
- 47) 梨木 守, 野本達郎, 目黒良平. 1985. ワルナスビ発生草地の追播更新におけるグリホサートの散布適期. *雑草研究* 30 : 131-136.
- 48) 日本植物調節剤研究協会編. 1987. 改訂最新除草剤解説. 東京. 植調編集印刷事務所. p.523-676.
- 49) Nishida, T.; Kitahara, N.; Harashima, N.; Watanabe, O.; Shibata, S. 1999a. Factors affecting presence of horsenettle (*Solanum carolinense* L.) in pastures of central Japan. *J. Weed Sci. Tech.* 44 : 356-360.
- 50) Nishida, T.; Kurokawa, S.; Shibata, S.; Kitahara, N. 1999b. Effect of duration of heat exposure on upland weed seed viability. *J. Weed Sci. Tech.* 44 : 59-66.
- 51) Nishida, T.; Harashima, N.; Kitahara, N.; Shibata, S. 2000. Effect of temperature on germination behavior of horsenettle (*Solanum carolinense* L.) seeds. *J. Weed Sci. Tech.* 45 : 182-189.
- 52) O'Donovan, J.T.; De St Remy, E.A. ; O'Sullivan, P.A.; Dew, D.A.; Sharma, A.K. 1985. Influence of the relative time of emergence of wild oat (*Avena fatua*) on yield loss of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Sci.* 33 : 498-503.
- 53) 大段秀記, 住吉 正, 児嶋 清, 小荒井晃. 2002.

- 暖地の小麦早播き栽培における雑草制御技術の確立（農林水産省農林水産技術会議事務局編，研究成果第397集 麦新品種緊急開発プロジェクト），東京，農林水産省農林水産技術会議事務局，p.165-167.
- 54) Onen, H.; Ito, M.; Imaizumi, T. 2006. Horsenettle (*Solanum carolinense* L.) plants emerged at different times after corn (*Zea mays* L.) planting. *Weed Biol. Manag.* 6 : 55-58.
- 55) 長田武正. 1972. 日本帰化植物図鑑. 東京. 北隆館. 254p.
- 56) 長田武正. 1976. 原色日本帰化植物図鑑. 大阪. 保育社. 425p.
- 57) Roberts, H.A.; Neilson, J.E. 1981. Seed survival and periodicity of seedling emergence in twelve weedy species of Compositae. *Ann. Appl. Biol.* 97 : 325-334.
- 58) Roberts, H.A. 1986. Seed persistence in soil and seasonal emergence in plant species from different habitats. *J. Appl. Ecol.* 23 : 639-656.
- 59) 佐藤久泰, 佐藤辰四郎, 佐藤正三. 1981. 北海道における「アメリカオニアザミ」の発生分布と被害実態. *雑草研究* 26 (別) : 113-114.
- 60) 佐藤節郎. 2001. ハリビユによる痛い被害（清水矩宏, 森田弘彦, 廣田伸七編著, 日本帰化植物写真図鑑）. 東京. 全国農村教育協会. p.71.
- 61) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R. 1994. Influence of seeding date on flowering and seed production of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Weed Research, Japan* 39 : 243-248.
- 62) 佐藤節郎, 館野宏司, 小林良二. 1994. 帰化侵入草イチビについて. *日草九支報* 24 : 35-42.
- 63) 佐藤節郎. 2002. 暖地飼料畑における主要帰化雑草の総合的防除技術の確立. *雑草研究* 47 : 185-191.
- 64) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sonoda, Y. 1996. Cultural control of swinecress (*Coronopus didymus*) in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) sward by dense sowing. *Weed Research, Japan* 41 : 107-110.
- 65) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sakamoto, K. 1998. Control of spiny amaranth (*Amaranthus spinosus* L.) with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) living mulch in forage corn (*Zea mays* L.). *J. Weed Sci. Tech.* 43 : 317-327.
- 66) 佐藤節郎, 館野宏司, 小林良二. 2001. 難防除雑草の被害を回避する飼料作物栽培. *雑草研究* 46 : 41-47.
- 67) Schreiber, M.M. 1962. Growth, development and perennial nature of yellow rocket. *Weeds* 10 : 91-95.
- 68) 清水矩宏. 1992. 輸入飼料に由来する飼料畑の外来雑草の発生と対策. *植調* 26 : 64-71.
- 69) 清水矩宏. 1995. 草地・耕地への強害外来雑草の侵入経路. *植調* 29 : 274-283.
- 70) 清水矩宏. 2002a. 飼料穀物輸入がもたらす強害雑草(日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.48-49.
- 71) 清水矩宏. 2002b. 飼料畑にまん延する外来雑草(日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.208-209.
- 72) 清水矩宏, 榎本 敬, 黒川俊二. 1996. 外国からの濃厚飼料に混入していた雑草種子の同定 I. 種類とバックグラウンド. *雑草研究* 41 (別) : 212-213.
- 73) 清水矩宏, 森田弘彦, 廣田伸七編著. 2001. 日本帰化植物写真図鑑. 東京. 全国農村教育協会. 555p.
- 74) Shimono, Y.; Konuma, A. 2007. Effects of human-mediated processes on weed species composition in internationally traded grain commodities. *Weed Research* 48 : 10-18.
- 75) 須藤孝久. 1975. 秋田県の帰化植物概報. *秋田自然史研究* 4 : 1-15.
- 76) Tachibana, M.; Itoh, K.; Watanabe, H.; Nakayama, S. 2010. Mode of reproduction in *Barbarea vulgaris* in two different habitats in Tohoku, Japan. *Weed Biol. Manag.* 10 : 9-15.
- 77) 橋 雅明, 伊藤一幸, 渡邊寛明, 中山壮一, 山口裕文. 2008a. 北東北地域のコムギ作における帰化雑草ハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R. Br.), カミツレモドキ (*Anthemis cotula* L.), イヌカミツレ (*Matricaria inodora* L.) の出芽時期と防除体系. *雑草研究* 53 : 175-184.
- 78) 橋 雅明, 伊藤一幸, 渡邊寛明, 中山壮一, 山

- 口裕文. 2008b. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における帰化雑草ハルザキヤマガラシ, カミツレモドキ, イヌカミツレの出芽特性とその防除. 雑草研究 53 : 196-199.
- 79) 橋 雅明, 渡邊寛明, 伊藤一幸. 2002. 東北地域における帰化雑草ハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R. Br.) の分布. 雑草研究 47 : 235-241.
- 80) 高林 実. 1978. 家畜による雑草の種子の伝播 (山口裕文編著, 雑草の自然史). 札幌. 北海道大学図書刊行会. p.103-113.
- 81) 高林 実, 窪田哲夫, 阿倍 林. 1978. 牛の採食による雑草種子の伝播に関する研究. 農事試験報 27 : 69-91.
- 82) 高橋 聡, 近藤義典, 徐 錫元. 1997. 東北地方における水田畦畔雑草防除の特徴. 植調 31 : 346-353.
- 83) 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.
- 84) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987a. 世界の雑草 I - 合弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.40-42.
- 85) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987b. 世界の雑草 I - 合弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.213-215.
- 86) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987c. 世界の雑草 II - 離弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.395-397.
- 87) 鳥山国土, 豊川良一. 1956. 畑雑草の防除に関する研究 第1報 輪作様式と雑草との関係. 青森県農事試験場研究報告 3 : 31-38.
- 88) 津山 尚. 1968. 帰化雑草 (小倉 謙監修, 増補 植物の事典). 東京. 東京堂出版. p.96-97.
- 89) 浦川修司. 2000. ワルナスビの栄養繁殖能力と耕耘の影響. 雑草研究 45 (別) : 120-121.
- 90) 鷺谷いづみ. 2002a. 緑化による外来牧草の侵入 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.46-47.
- 91) 鷺谷いづみ. 2002b. オオブタクサ (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.197.
- 92) 鷺谷いづみ, 村上興正. 2002. 日本における外来種問題 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.7-9.
- 93) 柳野利哉, 森行勝也. 1995. 畑輪作3年4作体系における雑草発生と防除. 東北農業研究 48 : 149-150.
- 94) Yenish, J. P.; Eaton, N. A. 2002. Weed control in dry pea (*Pisum sativum*) under conventional and no-tillage systems. Weed Technol. 16 : 88- 95.