

英国全土に繁茂する日本原産 イタドリの生物的防除

CABI-UK

黒瀬 大介

はじめに

イタドリ (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr., Japanese knotweed) は東アジア原産のタデ科の多年生植物である。本植物の原産国の1つである日本では、山地や路肩など、様々な場所に自生する雑草として知られており、特定の地域では食用としても利用されている。一方、欧米諸国、特に英国では、本雑草が猛威を奮い、その被害が拡大しているため、防除対策が急務となっている。英国の他に、西欧や北米、豪州等、世界中において本雑草が問題となっていることから、国際自然保護連合 (IUCN) は本雑草を「世界の外来侵入種ワースト100」の1種として指定している。

本稿では、著者らがこれまで行ってきた日本産天敵を用いた英国におけるイタドリの生物的防除に関する研究およびその現状について紹介する。

1. 英国におけるイタドリの被害状況と防除対策

19世紀前半、ドイツ人医学者・博物学者であるシーボルトは九州地方からオランダにイタドリ雌1株を持ち帰り (Bailey 2007)、英国には19世紀中頃に観葉植物として輸入された (Child・Wade 2000)。しかし、1886年、英国ウェールズ地方において本雑草の野外繁殖が初めて確認されると、川岸、鉄道沿線、路傍および人

家周辺を中心に繁茂し、今や英国全土に分布するまでになった。特に、本雑草が人家および敷地に存在する場合、家屋内に侵入するとともにその土地の価値を半減させることから、人々の生活にも甚大な影響を及ぼしている。これは本雑草に対する天敵が存在しないこと、および強い生命力および繁殖力によって英国の在来植物との生存競争を勝ち抜くことが要因であると考えられている。

英国における現在の主なイタドリの防除法は物理的防除法および化学的防除法であるが、その費用は年間15億ポンド (約220億円) 以上に達する (Defra 2003)。また、長期にわたる除草剤の施用は環境に悪影響をもたらすとともに、薬剤耐性イタドリの出現を誘発すること等が指摘されている。そこで、著者らは雑草の原産国に生息する天敵 (植食性昆虫や植物病原菌) を用いた伝統的生物的防除法をイタドリの防除に適用するため、その防除法の開発に着手した。

2. 原産地のイタドリに寄生する天敵の探索

日本全国のイタドリ群落に生息する天敵の探索を行ったところ、植食性昆虫186種および植物病原菌5種が認められた。得られた天敵について宿主範囲試験等によるスクリーニングを行った結果、植食性昆虫としてイタドリマダラキジラミ、植物病原菌としてイタドリ斑点病菌を伝統的生物的防除素材

として選抜し、両素材に関する研究をそれぞれ展開した。

3. イタドリマダラキジラミを用いたイタドリの生物的防除の試み

(1) イタドリマダラキジラミの生態

イタドリマダラキジラミ (*Aphalara itadori* Shinji) (図-1) は日本全国に分布する、カメムシ目タデキジラミ科に属する植食性昆虫である。本昆虫の生態に関して野外調査したところ、1年間につき4回の発生ピークが認められ、春および秋に採取された個体は夏の個体よりも翅の長さが長く、また体色の暗化が確認された。そのため、秋と翌春の個体は同一世代であると考えられたことから、本昆虫は世代交代を年間3回行い、第3世代が越冬することが示唆された (津田ら 2009)。また、第3世代については、低温である冬を経験することにより産卵が可能となることも明らかにした。

次に、室内において本昆虫の生態を観察したところ、成虫の体長は約2mmで、卵から成虫に至る生育期間



図-1 イタドリマダラキジラミの卵 (矢印) および成虫



図-2 英国野外において観察されたイタドリマダラキジラミ。
2016年秋に観察された (a) 幼虫 (赤丸), (b) 越冬態の幼虫, (c) 2017年春に確認された越冬成虫 (赤丸)。

は約 32 日であることが明らかとなった (Shaw *et al.* 2009)。また、成虫は最大 67 日間生存し、雌 1 匹あたりの産卵個数は約 637 個、産卵期間は約 38 日であった。本昆虫は幼虫から成虫に至るまでイタドリ葉茎を吸汁し、最終的にはイタドリ個体を枯死させることから、高い加害力を有することが明らかとなった。

(2) イタドリマダラキジラミの安全性評価

外来の生物的防除素材を被害地域に導入する伝統的生物的防除法は、通常 1 回のみ野外散布により実施されることから、本法を用いた雑草防除の研究およびその実用化は政府および国立研究機関によって行われる。選抜した伝統的生物的防除素材の安全性試験については、Wapshere (1974) が提唱する Centrifugal (related plants) and Varietal (economic plants) Strategy に改変を加えた方法 (Briese 2003; Briese・Walker 2008) に基づき行われるのが一般的である。すなわち、被害地域に自生する植物種のうち、標的雑草に近縁な植物種を中心に防除素材の寄生性が評価される。さらに、被害地域における有用植物や経済的に重要な植物についても、防除素材の安全性評価が行われる。現在までのところ、本法により導入された外来天敵が被害地域の有用植物や他の植物に悪影響を及ぼしたという事例は報告されていない (Evans 2000)。

上記安全性評価法に基づき、イタド

リマダラキジラミの安全性試験に供試する植物種として、イタドリと分類上近縁な植物種および英国国内で経済的に重要な作物、合計 87 種が選抜された。これら植物種を用いて、イタドリマダラキジラミ成虫の産卵試験、幼虫への発育および生存試験、および成虫生存試験を行い、本昆虫の安全性について評価を行った。その結果、近縁植物数種において成虫による産卵が確認されたが、その後同植物種における幼虫への発育および生存は認められなかった (Shaw *et al.* 2009)。一方、ツルタデ (*Fallopia dumetorum*) においては 26.7% の成虫が生存することが確認された (イタドリでは 96.7%)。しかしながら、ツルタデとイタドリの生息場所が異なること、さらに両種を用いた本昆虫の産卵試験では、ツルタデにおける産卵数は全体の 2% 以下であったことから、野外において本昆虫がツルタデ上で生存する可能性は非常に低いことが示唆された。以上から、本昆虫は高い宿主特異性を有することが確認されたため、伝統的生物的防除素材として利用できる可能

性が高いことが明らかとなった。

(3) 英国におけるイタドリマダラキジラミの野外放飼試験

2009 年、CABI はイタドリマダラキジラミに関する上記調査結果を取りまとめ、病害虫リスク評価書 (Pest Risk Assessment) を英国環境・食料・農村地域省 (Department for Environment Food & Rural Affairs; Defra) に提出した。その後、Defra は本昆虫の英国野外への導入可否に関する検討を行うとともに、国民からの意見も募った上で、2010 年 3 月、Defra およびウェールズ行政庁は本昆虫を野外に放飼することを決定し、2010 年春には試験的に野外に導入した。この試みは欧州で初めての外来性天敵による雑草の伝統的生物的防除の実用化事例となった。

野外放飼試験ではまずはじめに、野外および野外ケージにおいて、自然環境下における本昆虫の在来植物他種および在来昆虫種への影響を評価した。5 年間にわたる調査の結果、本昆虫による在来植物種への加害は確認さ

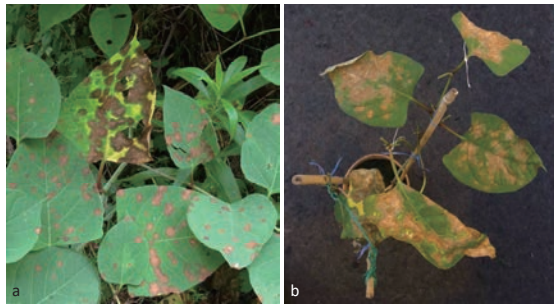


図-3 イタドリ斑点病菌に感染したイタドリ葉。(a) 日本野外で観察された罹病葉。(b) 菌糸体の接種により形成された病斑

れず、また在来昆虫種の多様性への影響についても認められなかった。本昆虫の導入における安全性が確認されたことから、現在、成虫の放飼箇所を水辺や川岸等に拡大し、本昆虫の定着性に関する調査を行っている。今までのところ、英国数ヶ所において幼虫が観察され(図-2a, b), 2016, 2017年春には越冬した成虫が確認された(図-2c)ことから、英国内でも越冬が可能であることが明らかになった。さらに、現在、カナダにおいても、日本産イタドリマダラキジラミの野外放飼が行われており、定着性や越冬に関して調査が進められている。

4. イタドリ斑点病菌を用いたイタドリの生物的防除の試み

(1) イタドリ斑点病菌の発生実態と生活環

日本全国における野外調査の結果、イタドリ斑点病菌がイタドリに優占的に寄生することが明らかとなった(黒瀬ら 2013)。本菌は斑点性の病徴を呈する病原菌(図-3a, b)で、形態学的特徴並びに分子系統学的解析に基づき、本菌を *Mycosphaerella polygони-cuspidati* Hara と同定した(Kurose *et al.* 2009)。年間を通した経時的な野外定点調査を行ったところ、本菌は初春に群落全体に病斑を形成し始めると、梅雨時に病勢が急速に拡大し激しい病徴を呈し、

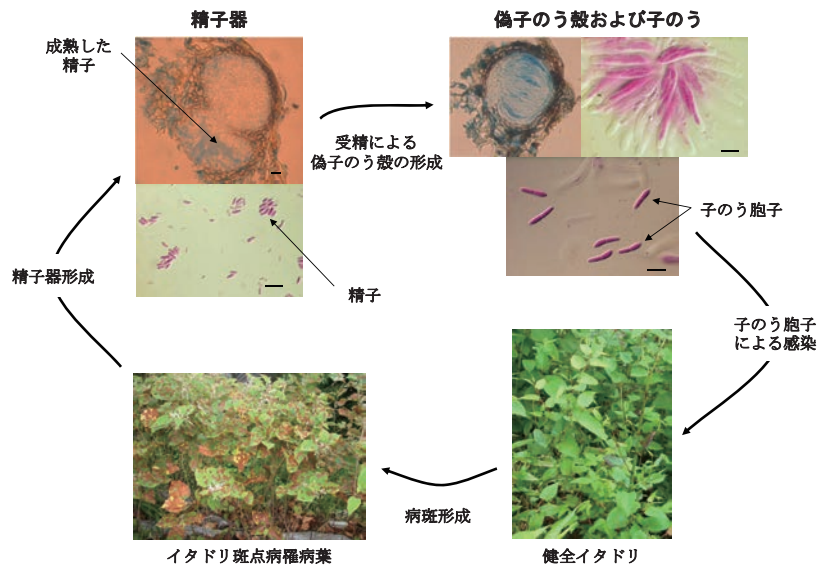


図-4 イタドリ斑点病菌の予想される生活環。スケール 10 μm (Kurose *et al.* 2009)

晩秋には全罹病葉の落葉が認められた。以上から、本菌は非常に強い病原力を有していることが示唆された。

経時的な野外調査並びに接種試験に基づき、本菌の生活環は以下のように推定された(図-4)。落葉の病斑上で越冬した偽子のう殻が春になると成熟し始め、温度や湿度の上昇とともに、その内部に子のう並びに子のう胞子を形成する。4月~5月頃に子のう胞子が成熟・野外放出され、イタドリ新葉に感染を引き起こす。感染約3, 4週間後、病斑を形成し始めると、その後の温度や湿度が上昇する梅雨の時期にかけて病勢が進展し病斑上に精子器を形成するようになる。精子器内に形成された精子は野外放出後、受精毛に付着し、再び偽子のう殻を形成する。その後、偽子のう殻内部には子のう並びに子のう胞子が形成される。形成された子のう胞子は放出後、新たな植物体に付着し、発芽・侵入し精子器を形成する。このようにして感染が数回繰り返されるものと推察される。12月頃には、全罹病葉が落葉し、落葉上には偽子のう殻だけが残存し越冬する。この偽子のう殻が翌年の一次伝染源となる。このように、本菌の生活環は不完全世代を

もたず、偽子のう殻および精子器のみを有し、群落内で完結することを解明した(Kurose *et al.* 2009)。さらに、本菌の交配型遺伝子の構造解析を行ったところ、本菌には2種類の交配型菌株が存在し、これらが交配することにより生活環を完結する雌雄異株性であることも明らかにした(黒瀬ら 2015)。

(2) イタドリ斑点病菌によるイタドリの防除効果および野外接種試験

イタドリ斑点病菌は子のう胞子および菌糸体が病原性を有しているが、現時点では本菌の子のう胞子の形成は *in vitro* で確認されていない。そのため、本菌の菌糸体を接種源として利用することが想定されている。そこで、菌糸体による効果的な接種条件として、葉齢、湿度100%条件下における濡れ温度・時間、および温室維持温度について検討した。その結果、菌糸体を展開7-9日後の葉に接種し、濡れ温度20°Cで48時間静置後、21°Cに維持する条件で最も強い病原力が発現されることが明らかとなった(Kurose *et al.* 2015)。本条件をもとに、日本の健全イタドリ圃場において本菌1株の菌糸体を供試した野外防除効果試験を行ったところ、接

種個体において高い防除効果が認められた (Kurose *et al.* 2015)。

(3) 野外散布後のイタドリ斑点病菌の分子追跡法の開発

イタドリ斑点病菌を野外散布した場合には、イタドリおよびその他植物への本菌の感染状況等について経時的に観察する必要がある。そこで、本菌の分子追跡を目的とした、種特異的プライマーを利用した PCR 法の確立を試みた。rDNA-ITS 領域内の塩基配列情報において、本菌に特異的な配列に着目したプライマーを設計し、PCR 条件等について詳細な解析を加えた。その結果、選定された特異的プライマーは本種に近縁な菌種の DNA を増幅せず、その検出限界としては 1pg/ μ l の DNA 量であることが判明した (Kurose *et al.* 2016)。さらに、本病の罹病葉からも検出可能であったことから、野外での本菌の分子追跡手法として本法の有効性が示された (Kurose *et al.* 2016)。

(4) イタドリ斑点溶菌の安全性評価

イタドリマダラキジラミ同様、イタドリ斑点病菌の安全性評価はイタドリと分類上近縁な植物種および英国国内で経済的に重要な作物、合計 74 種を用いて行われた。本試験では子のう胞子および菌糸体を供試し、接種試験後、病徴観察ならびに光学顕微鏡を用いた葉組織観察を行った。その結果、英国に自生するウミミチヤナギ (*Polygonum maritimum*) において病原性および精

子器の形成が認められた。また、近縁植物数種においても、病斑の形成が確認されたが、それらの葉組織では抵抗性反応により菌糸が伸長していなかった。以上から、本菌は高い宿主特異性が示されたが、罹病性を示す在来植物が認められたため、現時点では英国における本菌の伝統的生物的防除の導入については見送られることとなった。

(5) イタドリ斑点病菌の微生物除草剤としての利用の可能性

本菌は *Mycosphaerella* 属菌他種とは異なり、繰り返し感染を引き起こす不完全世代を有していない。また、本菌は生活環を完結させるためには 2 種類の交配型菌株が必要となる雌雄異株性という特徴を有している。そのため、この特性を生かし、どちらか一方の交配型菌株の菌糸体を用いた微生物除草剤としての適用が考えられた。すなわち、一方の交配型菌株を野外散布することにより、本菌の生活環を完結することができず、かつ散布個体以外の植物種には本菌は拡散しない。この概念に関し、英国において特許を取得するとともに、国際特許についても出願中である。現在、この概念実証に向けて、研究を継続中である。

おわりに

近年、世界中において侵略的外来性雑草が侵入・定着し、在来植物種との競合等により生物多様性に影響を与え、自然生態系を攪乱している。この

ような問題は、一国だけで解決できるものではなく、各被害地域における問題点、対処方法等の知識の交換を含めて国際的に柔軟な対応が求められる。したがって、本研究のような生物的防除法の開発には、外来性雑草の原産国および導入予定国での研究者間における国際共同研究が必要不可欠である。国際共同研究が遂行されて初めて基礎的研究から実用化まで円滑に、かつ効率的に行われるものと考えられる。

本研究において導入天敵の野外放飼試験が成功した場合には、懸案である各種除草剤等の資材費、労力を大幅に減少させるとともに、地球資源と環境を保全しつつ、イタドリ群落の分布拡大を抑制できるものと期待される。そして、総合的病害虫管理 (IPM) の実践が指向されている中で、植食性昆虫および植物病原菌を含む天敵を利用した雑草の生物的防除に関する本国際共同研究が国内外における侵略的外来性雑草の防除に新知見を与えるものと期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり、九州大学土屋健一名誉教授、古屋成人教授、高木正見名誉教授、東京農業大学對馬誠也教授、CABI-UK Evans, H. C. 博士、Shaw, R. H. 博士、Seier, M. K. 博士をはじめ、多くの方々からの御指導、御鞭撻と多大な御協力をいただいた。皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Bailey, J.P. 2007. Chloroplast DNA variation and molecular biogeography of Japanese populations of *Fallopia japonica* and *F. sachalinensis*. In: Shaw, R. *et al.* (Eds.), The biological control of Japanese knotweed. Final project report. CABI Europe-UK, pp. 93-114.
- Briese, D.T. 2003. The centrifugal phylogenetic method used to select plants for host-specificity testing of weed biological control agents: can and should it be modernised? Improving the selection, testing and evaluation of weed biological control agents. CRC Technical Series No.7 23-33.
- Briese, D.T. and A. Walker 2008. Choosing the right plants to test: the host-specificity of *Longitarsus* sp. (Coleoptera: Chrysomelidae) a potential biological control agent of *Heliotropium amplexicaule*. Biol. Control 44 (3), 271-285.
- Child, L.E. and P.M. Wade 2000. The Japanese knotweed manual. Packard, Chichester.
- Evans, H.C. 2000. Evaluating plant pathogens for biological control of weeds: an alternative view of pest risk assessment. Australas. Plant Pathol. 29(1), 1-14.
- Defra 2003. Review of non-native species policy - report of the working group. PB8072.
- Kurose, D. *et al.* 2009. Systematics of *Mycosphaerella* species associated with the invasive weed *Fallopia japonica*, including the potential biological control agent *M. polygoni-cuspidati*. Mycoscience 50 (3), 179-189.
- 黒瀬大介ら 2013. イタドリ群落に発生する糸状菌の分布調査. 九病虫研会報 59, 31-37.
- 黒瀬大介ら 2015. イタドリの伝統的生物的防除素材であるイタドリ斑点病菌の交配型遺伝子について. 日植病報 81(3), 220-221.
- Kurose, D. *et al.* 2015. Factors affecting the efficacy of the leaf-spot fungus *Mycosphaerella polygoni-cuspidati* (Ascomycota): A potential classical biological control agent of the invasive alien weed *Fallopia japonica* (Polygonaceae) in the UK. Biol. Control 85, 1-11.
- Kurose, D. *et al.* 2016. Species-specific detection of *Mycosphaerella polygoni-cuspidati* as a biological control agent for *Fallopia japonica* by PCR assay. Mol. Biotechnol. 58 (10), 626-633.
- Shaw, R.H. *et al.* 2009. The life history and host range of the Japanese knotweed psyllid, *Aphalara itadori* Shinji: Potentially the first classical biological weed control agent for the European Union. Biol. Control 49 (2), 105-113.
- 津田宗一郎ら 2009. イタドリマダラキジラミの越冬生態. 日本応用動物昆虫学会大会講演要旨 53, 190.
- Wapshere, A. 1974. A strategy for evaluating the safety of organisms for biological weed control. Ann. Appl. Biol. 77 (2), 201-211.

田畑の草種

畦茅・畦萱 (アゼガヤ)

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

イネ科アゼガヤ属の一年生草本。本州から九州の水田や畦、農地周辺の湿地や休耕地などでよく見かける。茎は細く初めは地を這うが、次第に節ごとに根を下ろし斜めに立ち上がる。草丈は30～70cmくらいであるが、大きくなると1mを超えるものもある。花序は長さ15～40cm、多数の側枝の下側に整然と隙間なく小穂をつけ、小花は成熟すると紫色を帯びる。また、生産される種子数は1株当たり10万を超えるとも。

日本在来であるが、食用にも薬用にもならず、小花が成熟すると紫色を帯びることを除いて目立った特徴もなく、万葉人や京の宮廷人などに目を向けられることはなかった。しかし夏を過ぎて秋が始まるころ、黄色く色付きだした稲田をこの紫色を帯びた小花が額縁状に彩る様は、田で稲を作る農家にとっては

煩わしいだけのものではあるが、筆者には「畦の紅葉」としてなかなか美しいものとも思えるのだが・・・。

例えばこんな場面。

雲一つなく晴れ渡った空。空の向こうにはなだらかではあるが少しばかりの起伏を持った山並み。目の前には黄色く熟れだした稲田が少しずつ段差をもって辺り一面に続く。そんな農山村の中、人の行き来が作った畦道をボロボロになった袈裟をまとった坊主が行く。草臥れて畦に座ると心地よい風が体を抜けていく。目をいま来た畦道へと向けると、畦から田へと傾いたアゼガヤの薄紫色の穂が風に靡いている。

種田山頭火の句にこんながある。

すわれば風がある 秋の雑草 (昭和8年,「層雲」)