

植物病原菌を利用した難防除侵入雑草の 生物的防除の展開

九州大学大学院農学研究院 ^{くろせ}黒瀬 ^{だいすけ}大介・^{ふるや}古屋 ^{なると}成人・^{つちや}土屋 ^{けんいち}健一

CABI Europe-UK **SHAW R. H. · DJEDDOUR D. H. · EVANS H. C.**

はじめに

イタドリ (*Fallopia japonica*) はタデ科の多年生雑草で、路傍や山地など様々な場所に自生している。西欧では19世紀前半、シーボルトが九州からオランダに持ち込み (BAILEY, 2007)、その後19世紀中ごろ、鑑賞植物として英国に導入された (CHILD and WADE, 2000)。しかし、1886年、英国において本雑草の野外繁殖が初めて記録されて以降 (CONOLLY, 1977)、欧州全土にその分布が急速に拡大しつつある。これはイタドリに対する天敵が存在しないこと、および旺盛な生命力および繁殖力によって在来植物との生存競争にも打ち勝つことに起因すると考えられる。そのため、生物多様性の減少、アスファルトの侵食等の様々な問題が発生し、特に英国では被害が深刻である (口絵①)。このように、西欧においてイタドリは有害雑草として問題視されており (CHILD and WADE, 2000)、現在では世界の外来侵入種ワースト100の1種となっている (<http://www.issg.org/database/welcome/>)。

現在、英国では本有害雑草を駆除するために化学的防除が行われているが (KUROSE et al., 2006)、その費用は年間2,500億円以上に達している (DEFRA UK, 2003)。さらに除草剤の長期に及ぶ施用がもたらす環境に対する影響や (MOSS and RUBIN, 1993; JASIENIUK et al., 1996)、除草剤耐性イタドリの出現に対する危惧等が指摘されている。そこで筆者らは、我が国のイタドリ群落に生息している植物病原菌や植食性昆虫を活用したユニークで環境に優しい伝統的生物的防除法を開発し、その技術を海外に導入することを目指した国際共同研究を英国の研究機関 CABI Europe-UK との間で開始し、現在展開中である。

伝統的生物的防除法により侵略的外来性植物を防除するためには、その植物の起源地域から共進化してきた1

種もしくはそれ以上の生物種を導入する必要がある (SHAW, 2001)。そこで日本全国において、イタドリに寄生または食害する生物種を探索したところ、植物病原菌5種および植食性昆虫186種を見いだした。これらのうち斑点病菌 (*Mycosphaerella polygoni-cuspidati* HARA) (KUROSE et al., 2009) 並びにイタドリマダラキジラミ (*Aphalara itadori* SHINJI) (口絵②) を有望な防除素材として選抜した。2009年7月、英環境・食料・農村地域省 (DEFRA) は高い宿主特異性を示すイタドリマダラキジラミ (SHAW et al., 2009) を野外に放飼する方針を発表した (<http://www.defra.gov.uk/news/latest/2009/defra-0723.htm>)。導入が実施されれば、外来性天敵による雑草の伝統的生物的防除の歴史において欧州初の事例となることから、世界的にも注目されている。しかしながら、本邦における野外調査では、本導入予定昆虫によりイタドリが枯れてしまう現象は一例のみであった。そのため対象昆虫が英国で効果的に定着せず生物的防除機能が発現されないことが懸念される。その場合の対策として、斑点病菌の導入が立案されている。このためイタドリマダラキジラミと斑点病菌の動態並びに斑点病菌に密接に関連する糸状菌の性状と機能等の解析を進めている。本稿では、異種生物種を活用した侵略的外来性雑草の伝統的生物的防除の可能性について、植物病理学と昆虫学の専門家による国際的共同研究の成果と現状について紹介する。

I 侵略的外来性雑草の伝統的生物的防除法

生物的防除とは生態系における捕食関係などを利用して、害虫や雑草等の防除を行う方法である。雑草の生物的防除法は効果発現機構に基づき、伝統的方法 (Classical method) と微生物除草剤 (Microbial herbicide) を利用する方法とに区分される (EVANS, 2002)。伝統的方法は要防除地域の一部に病原菌を接種し、自然のまま二次感染を引き起こし数年がかりで防除する方法であるのに対し、微生物除草剤は化学農薬同様、要防除時期に大量の病原菌を投下して一時期に雑草を防除する方法である (郷原, 2000)。英国産イタドリは地下茎で強靱な繁殖力を有する多年生植物であることから、微生物

Potential for Biological Control of Invasive Weeds using Phytopathogenic Fungi. By Daisuke KUROSE, Naruto FURUYA, Richard H. SHAW, Djamilia H. DJEDDOUR, Harry C. EVANS and Kenichi TSUCHIYA

(キーワード: 外来性侵入雑草, 伝統的生物的防除, イタドリ斑点病菌, イタドリマダラキジラミ)

物除草剤による方法では防除困難であると考えられる。伝統的防除法は化学的防除法と比較して、除草効果に速効性はないものの効果発現の持続性に優れ、残留物や環境汚染等の問題が少ないと考えられている。このようにイタドリなどの侵略的外来性雑草の生物的防除には伝統的方法が有効に機能すると考えられる。

生物的防除素材として有用な生物種は導入後、自分自身の拮抗種による抑制から解放されるため、急速に繁殖し拡散することが予想される。しかし、長期的には導入生物種の高い宿主特異性により、その分布拡大は抑制されるものと考えられる。最終的には、標的の雑草が原産地域のように自然な状態、または在来植物相の希少な構成要素となり、導入国の生態系を回復するように機能すると考えられる (EVANS, 2002)。

伝統的方法による雑草防除の研究は 100 年以上前から行われてきており、70 か国以上において標的とした植物種に対して天敵を 1,000 種以上導入してきた歴史がある (SHAW, 2001)。植物病原菌を用いた外来性植物の生物的防除は 1970 年代よりさび病菌を中心として実用化されている (表-1)。

このような事例と同様、欧州で野外繁殖しているイタドリは日本起源の雌 1 株のクローンに由来するものであることから、宿主特異性に優れた生物種の導入により本雑草の生物的防除が成功する可能性が高いと考えられる。

II 生物的防除資材の性状解析

1 斑点病の発生実態と病原菌の同定

年間を通じた経時的な定点調査に基づき、斑点病菌は初春から群落全体にわたり急速に病斑を形成し、梅雨時には激しい病徴 (口絵③) を呈し、晩秋にはすべての罹病葉が落葉することにより、生物的防除素材として有望な菌種であることが明らかとなった。

本菌は、イタドリ罹病葉上に形成される子のう胞子などの形態的特徴から原 (1918) が記載した *Mycosphaerella polygoni-cuspidati* HARA であると推定された。しかし、本種の記載は古く、標準菌株が現存せず、病原菌としても登録されていない。そこで、本菌の子のう胞子および菌糸体を用いて接種を行ったところ、野外で観察されるものと同様の病徴を再現した (図-1)。さらに rDNA-ITS 領域の塩基配列の解析では、本種と高い相同性を示す菌種は認められないことが明らかとなった (図-2)。以上から、病原学的特徴並びに系統分類学的位置づけに基づき、本種をイタドリ斑点病菌として再記載するとともに、ネオタイプを選定した (KUROSE et al., 2009)。

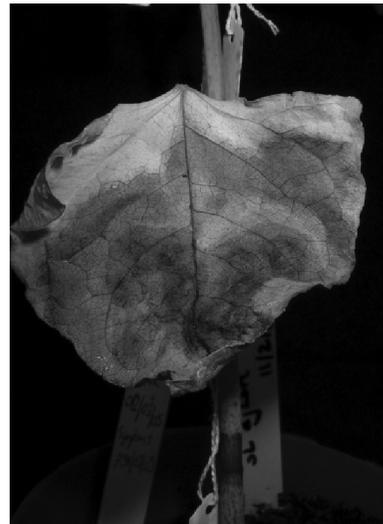


図-1 斑点病菌の子のう胞子の接種により形成された病斑 (KUROSE et al., 2009)

表-1 植物病原菌を用いた雑草の伝統的生物的防除の成功例

植物病原菌	標的雑草	原産国	導入国 (年)
さび病菌			
<i>Maravalia cryptostegiae</i>	<i>Cryptostegia grandiflora</i>	マダガスカル	オーストラリア (1994)
<i>Phragmidium violaceum</i>	<i>Rubus constirictus</i>	ドイツ	チリ (1973)
<i>Puccinia carduorum</i>	<i>Rubus ulmifolius</i>		
	<i>Carduus nutans</i>	トルコ	アメリカ (1987)
<i>Puccinia chondrillina</i>	<i>Chondrilla juncea</i>	イタリア	オーストラリア (1971, 1980, 1982, 1996)
		トルコ	アメリカ (1976)
<i>Uromycladium tepperianum</i>	<i>Acacia saligna</i>	オーストラリア	南アフリカ (1987)
黒穂病菌			
<i>Entyloma ageratinae</i>	<i>Ageratina riparia</i>	ジャマイカ	アメリカ (1975)

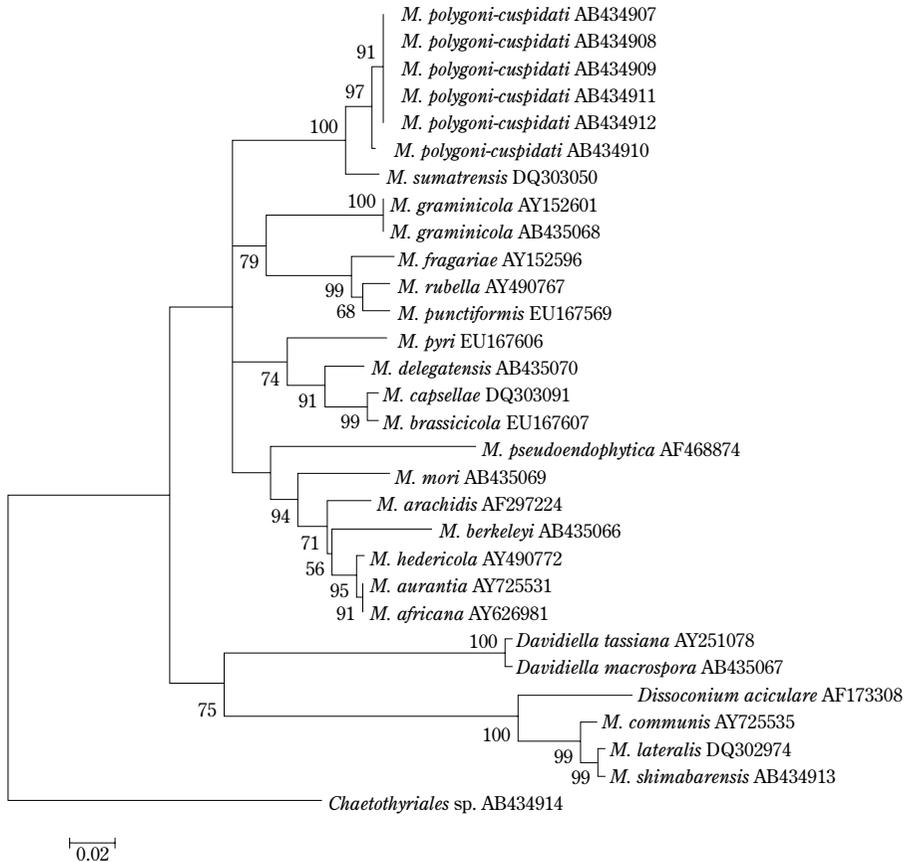


図-2 rDNA-ITS 領域を用いた *Mycosphaerella* 属菌種の分子系統学的解析 (KUROSE et al., 2009)

2 斑点病菌の生活環

接種試験並びに野外調査の結果から、推定される本菌の生活環を以下に示す (図-3)。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。4～5月ごろに子のう胞子が放出され、展開後、間もない新葉に感染を引き起こす。感染約3、4週間後、温度や湿度が上昇する梅雨の時期にかけて病斑を形成し始め、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放出後、風雨または媒介昆虫によって飛散する。飛散した精子は受精毛に付着し、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。このようにして繰り返し感染が起きるものと推察される。12月ごろには、罹病葉すべてが落葉し、落葉上には偽子のう殻だけが残り越冬する。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)。

4 イタドリ斑点病に随伴する内生菌

斑点病の分布並びに病原菌の生活環を調べる過程で、長崎県島原市のイタドリ群落には、斑点病菌に随伴する同属の糸状菌が生息していることを見いだした。本菌はイタドリに病原性を示さず、孢子形態 (図-4) 並びに rDNA-ITS 領域の塩基配列解析の結果から、未報告の糸状菌であることが明らかとなったため、本菌を新種 (*M. shimabarensis*) として提案した (KUROSE et al., 2009)。また、病原菌との交叉接種試験により本内生菌は斑点病の病徴進展を助長することが明らかとなった (黒瀬ら, 2009)。そのため、イタドリの生物的防除において本種を相乗的補助素材として利用できる可能性が考えられた。また現在までのところ、本種は島原市の群落からのみ見いだされており、その地理的特異性と斑点病菌との進化的関連性について、現在検討を加えている。

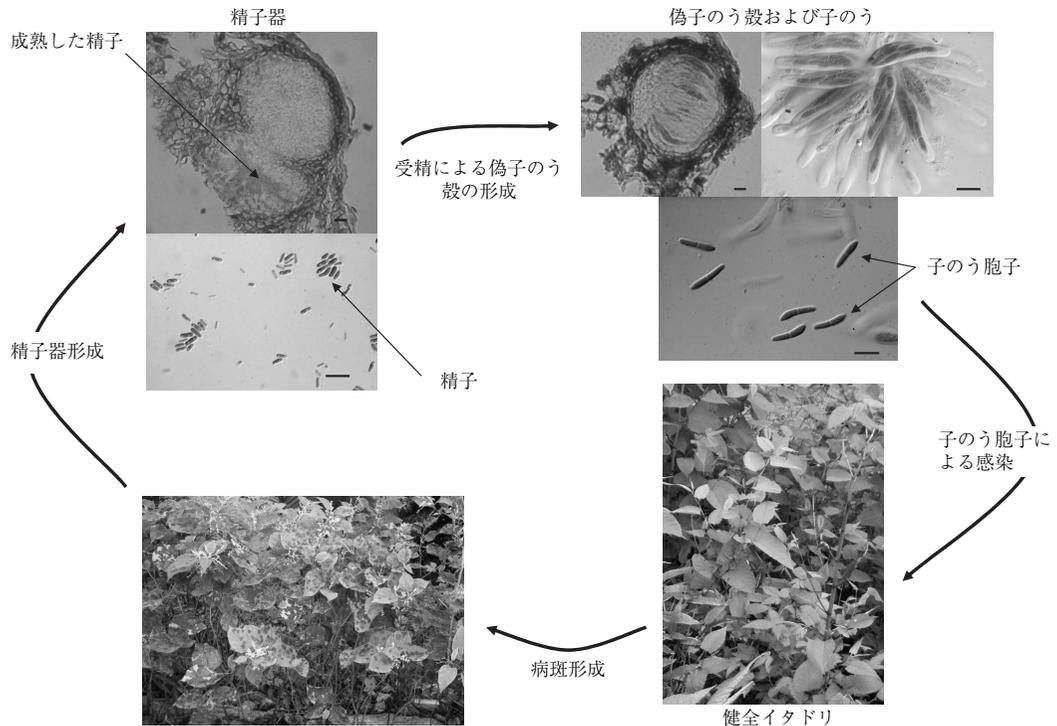


図-3 *Mycosphaerella polygoni-cuspidati* の予想される生活環
スケール：10 μ m (KUROSE et al., 2009)

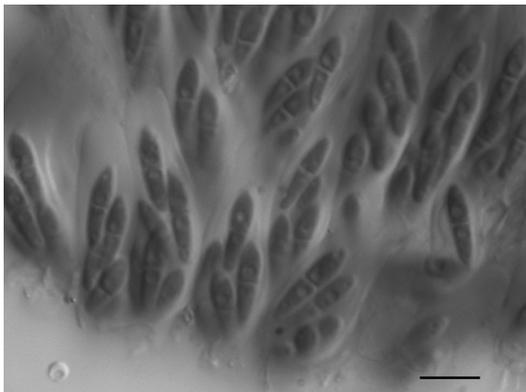


図-4 *Mycosphaerella shimabarensis* の子のう胞子
スケール：10 μ m

5 イタドリに寄生する内生糸状菌の共進化現象並びに罹病との関係

斑点病菌を分離する際には、多くの内生糸状菌が同時に分離される。そこで健全葉からの菌の分離を試みたところ、*Colletotrichum* 属菌や *Phomopsis* 属菌等多種類の糸状菌の存在が確認された (井上ら, 2008 a)。また、

日本および英国におけるイタドリ健全葉内に生息する内生菌相を比較解析したところ、すべての日本産の葉内には多種多様な内生菌が生息しているのに対して、英国では都市部に自生するイタドリ葉内には菌類が全く生存しておらず、郊外に向かうにつれて内生菌の存在と菌種の多様性が増大する傾向が見られることが明らかとなった (黒瀬ら, 2008)。このことは約 150 年間にわたるイタドリと糸状菌との間の共進化によるものと考えられる。また、このような共進化現象がイタドリの分布拡大抑制にも密接に関与している可能性が推察された。

さらに、内生菌と斑点病菌との相互関係について検討したところ、内生菌の中には斑点病菌による発病を抑制するもの、病徴進展を助長するもの、さらに病斑形成に対して全く関与していない (中立的な) ものが存在していることを明らかにした (井上ら, 2008 a)。高い発病助長能を有する内生菌は随伴菌である *M. shimabarensis* と同様、生物的防除の相乗的素材として利用できることが示唆された (井上ら, 2008 b)。

III 生物的防除資材の安全性評価

斑点病菌の安全性評価は WAPSHERE (1974) が提唱する概念に基づき、イタドリと同属の植物種および英国国内で経済的に重要な作物を含む計 74 種の植物に対して本病原菌が及ぼす影響を調べることにより行った。すなわち子のう胞子および菌糸を用いた接種試験により、葉組織の反応に基づき、総合的に病原性の有無を判定した。その結果、病斑を形成した植物が数種確認されたが、それら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。このことから、本菌はイタドリに特異的に病原性を示すものと推察された (黒瀬ら, 2008)。

以上より、斑点病菌 *M. polygoni-cuspidati* はイタドリの伝統的生物的防除素材としての安全性の一端が示された。しかしながら、導入種の安全性評価を宿主範囲試験のみから判断するには不十分であり、今後は環境リスクアセスメントや生物多様性保持等の多様な生態学的観点からの検討も必要であると考えられる。

III 異種生物種を利用した侵略的外来性雑草の生物的防除の可能性

英国政府は数年以内にイタドリマダラキジラミを導入する予定であるが、その防除機能が効果的に発現しない場合には斑点病菌の散布が検討されている。この場合、斑点病菌と生態的挙動が類似し、かつ発病を助長する内生菌を補助剤として利用することも考えられる。最終的には、イタドリマダラキジラミ、斑点病菌および内生菌の 3 者を利用した新規の伝統的生物的防除法の開発が考案される。具体的にはイタドリマダラキジラミが斑点病菌あるいは内生菌の胞子拡散のためのベクターとして利用できる可能性などが挙げられる。しかしながら、イタドリマダラキジラミの原産地である日本における野外生態については、断片的な知見がほとんどであるのに加え、これまでイタドリと本導入予定昆虫、斑点病菌および内生菌の 4 者間の相互関係については未解明の状況である。そのため、これら 3 者の生物的防除素材が有するそれぞれの防除機能の発現に及ぼす影響に関する情報の蓄積を重ねることで、異種生物種を利用した効果的な防除法の開発へと展開を図る予定である。

おわりに

近年、世界中において外来性侵入雑草が侵入・定着し、在来植物種との競合などにより生物多様性に影響を

与え、自然生態系をかく乱している。このような問題は、一国だけで解決できるものではなく、それぞれの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対応する必要がある。したがって、本研究のような伝統的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。

今後は、斑点病菌を用いた伝統的生物的防除法としての実際的な利用法、すなわち微生物資材の効率的、安定的な製造技術、保存技術の開発等の研究を行う必要がある。本研究が実用化された後は、懸念される各種除草剤などにかかわる資材費、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、欧米諸国で被害が進行中の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現在、外来性雑草と植物病原菌および植食性昆虫、内生菌の 4 者系を利用した雑草の伝統的生物的防除に関する研究は世界初であり、本国際共同研究が国内外における侵略的外来雑草の防除に新知見を与えるものと期待される。

本稿の執筆に当たり、種々ご助言をいただいた九州大学農学部生物的防除研究施設高木正見教授に感謝申し上げる。

引用文献

- 1) BAILEY, J. P. (2007): The biological control of Japanese knotweed. Final project report. (Eds. Shaw, R. H.), CABI Europe-UK, p. 93 ~ 114.
- 2) CHILD, L. E. and P. M. WADE (2000): The Japanese knotweed manual. Packard, Chichester, 123 pp.
- 3) CONOLLY, A. P. (1977): *Watsonia* 11: 291 ~ 311.
- 4) DEFRA, UK. (2003): Review of non-native species policy - Report of the working group. PB8072: p. 1 ~ 90.
- 5) EVANS, H. C. (2002): *The Mycota XI*. (Ed. Kempken, F.), Springer-Verlag, Berlin, p. 135 ~ 152.
- 6) 郷原雅敏 (2000): 微生物除草剤—雑草防除の考え方と開発の現状 (山田昌雄編著), 全国農村教育協会, p. 46 ~ 62.
- 7) 原 攝祐 (1918): 病虫害雑誌 5: 617.
- 8) 井上優子ら (2008 a): 日植病報 74: 28.
- 9) ———ら (2008 b): 同上 74: 279.
- 10) JASIENIUK, M. et al. (1996): *Weed Sci.* 44: 176 ~ 193.
- 11) KUROSE, D. et al. (2006): *Mycologist* 20: 126 ~ 129.
- 12) ——— et al. (2009): *Mycoscience* 50: 179 ~ 189.
- 13) 黒瀬大介ら (2008): 日本微生物資源学会誌 24: 53.
- 14) ———ら (2009): 日植病報 75: 235.
- 15) MOSS, S. R. and B. RUBIN (1993): *J. Agri. Sci.* 120: 141 ~ 148.
- 16) SHAW, R. H. (2001): The biological control programme for Japanese knotweed (*Fallopia japonica*) in the UK and USA. Phase 1, Final Report, CABI *Bioscience*, 99 pp.
- 17) ——— et al. (2009): *Biological Control* 49: 105 ~ 113.
- 18) WAPSHERE, A. (1974): *Annals of Applied Biology* 77: 201 ~ 211.