

第 66 回大会講演要旨（令和 3 年 11 月 17 日～18 日）

【特別講演】

植物防疫と国際ルール：IPPC の経験から

横井幸生

（農研機構・生物系特定産業技術研究支援センター）

キーワード：植物検疫，植物防疫，条約，国際基準

はじめに

新型コロナウイルスの第 5 波の感染拡大がようやく沈静化し、徐々にもとの生活が戻つつあるが、6 つ目の波への警戒が必要である。このような被害の広さと大きさは人類の歴史においてもきわめてまれであろう。国境を越えて侵入したものを鎮めるのがいかに大変なことであるかについて、多くの人々が体感を教訓に変え、検疫の重要性についての社会の認識が大きく変わった、と期待したいところである。

1. 植物検疫の歴史

植物検疫の歴史においては、米国からの苗木を経由したブドウネアブラムシの侵入によりフランスのぶどう生産が壊滅的な被害を受けたこと、同様にアイルランドに侵入した疫病によりじゃがいも飢饉が起きた結果、数百万の規模で死者や国外への脱出者が出たことなどが紹介される。国境を超える植物の移動に関する規制は 19 世紀中ごろに始まり、日本の植物検疫制度も大正 4 年以来百年を超える長い歴史の中で、さまざまな波を経験してきた。新型コロナウイルスでは次に起こり得る「第 6 波」が懸念されているが、植物検疫では、これまで「百以上の波」と闘い続けている。

貿易や人の移動へのニーズ増大は激増しており、それに伴い病害虫の侵入リスクは著しく増えている。現在は人の往来が制限されているものの、近いうちに国際社会はウィズ・コロナの対応を獲得し、人の流れはもとの増大傾向に戻るであろう。

2. 貿易の国際ルールと植物検疫

貿易の国際ルールは、GATT の流れを受けた

WTO 諸協定が最も重要な役割を果たしている。近年いろいろと機能不全が指摘される面はあるものの、中心的な役割を有することは論を待たない。WTO の下では、一般則として輸入制限が禁止される一方で、衛生・検疫上の理由による規制は例外のひとつとされており、その詳細は WTO の SPS 協定に定められている。ただし、衛生・検疫が目的であればなんでも例外になるのではなく、適切な措置である必要があるが、SPS 協定は適切さの判断のよりどころを他の専門機関に委ねている。食品安全では国際食品委員会（Codex）、動物衛生では国際獣疫事務局（OIE）、これらとともに、植物検疫においては国際植物防疫条約（IPPC）が定める国際基準がその役割を担っている。

3. 国際植物防疫条約（IPPC）

国際植物防疫条約（IPPC）は、1952 年（昭和 27 年）に原条約が発効し、その後 2 度の改正を経て現在の姿となっている。2 度目の改正は、多国間貿易交渉のウルグアイラウンドの結果の反映であり、植物を守ることに加え、貿易を阻害する過剰な措置を避けるための規定が加わり、また国際基準策定活動が開始された。

IPPC は、国際基準すなわちルールを作る場であるだけでなく、ルールの適切な実施を支援するとともに、さまざまな関連情報が各国関係者間で共有されるような場にもなっており、ルールづくり、実施支援、情報交換、の 3 つを主な役割としている。また、IPPC では、加盟国間の協議により定める長期戦略にもとづいて活動を行っており、現在は 2030 年までの戦略枠組みの下でさまざまな活動が進められている。

近年、実施支援のひとつとして植物検疫証明書

の電子的な交換、すなわち ePhyto の仕組みが導入

された。従来の文書による証明に代えて、各国の植物検疫当局同士が電子的に相互の証明を発信・受信するものである。迅速化、労力・コスト減、紛失・偽造防止など物流関係者や検疫当局に多くのメリットをもたらす画期的な取り組みであり、徐々に利用が進んでいる。日本も、従来のシステム改修を行っており、ePhyto の本格利用への準備を進めている。

IPPC における議論では、このほかにも、物流とそれに伴うリスクの多様化などを背景にした新しい課題への取組が行われており、種子貿易、中古車貿易、インターネット取引、コンテナ貨物などに関し、植物検疫上のリスクについての検討が進められているところである。

4. 世界の潮流と IPPC

植物防疫の重要性を国際社会で再認識するため、国連は、昨年（2020 年）を国際植物防疫年（International Year of Plant Health）とする決議を行った。さまざまな取り組みが行われるとともに、5 月 12 日が国際植物防疫の日に設定され、今後も広報等に有効に活用されることが望まれる。

さらに、本年（2021 年）は国連が定めた国際果実野菜年となっており、また国連食料システムサミット、気候変動条約 COP26、東京栄養サミット、と国際的なイベントが目白押しである。特に、9 月に開催された食料システムサミットでは、地球環境に影響を与えない形での食料生産・流通・消費の重要性がクローズアップされ、国内ではみどりの食料システム戦略が策定されている。今後もこのような方向での流れは一層大きくなっていくものと思われる。

世の中がリスクを適切に意識するようになり、ますますデジタル活用に向かう中、国際社会の動きを注視しつつ、より効果的・効率的な植物検疫をどのように構築していくか、が今後の課題である。

おわりに：国際機関勤務の経験

2010 年からの 5 年間にわたり条約事務局にて勤務する間、多くの方からご支援をいただいたことに感謝申し上げます。

この期間に、対立する各国間の意見がさまざまな過程を経て合意に至るまでの流れを、事務局の視点から観察することができた。また、多くの日本人が持ち合わせる「当たり前の配慮・心得」が国際機関の業務の中でとても重要であることにたびたび気づかされた。

この国から多くの方々が活躍することにより、そうした日本人の強みが国際社会に浸透していくことを願いたい。

参考文献

- ・後藤哲雄・上遠野富士夫（2019）「応用昆虫学の基礎」農山漁村文化協会 うち「植物検疫」：163-169
- ・園山由香・中村里香（2012）国連職員 NOW! 第 148 回、国連フォーラム（インタビュー記事）
<https://www.unforum.org/unstaff/148.html>, 2021 年 10 月 23 日アクセス
- ・横井幸生（2015）「国際植物防疫条約（IPPC）の役割と機能および関連貿易紛争の外観」日本国債連合学会、国連研究 16: 209-234
- ・横井幸生（2016）「植物検疫のはなし：作物と緑を守る」日本農芸化学会、化学と生物 54(10): 762-767

香川県産キウイフルーツの病害抵抗性に関する研究

五味 剣二

(香川大学農学部)

キーワード：キウイフルーツ，耐病性，キウイフルーツかいよう病

はじめに

キウイフルーツは、蔓性落葉植物のマタタビ科マタタビ属 (*Actinidia*) に属しており、食用として利用されているのは主に *A. deliciosa* と *A. chinensis* である。*A. deliciosa* 種は果肉が緑色で、代表的な品種としては Hayward, Bruno,

Abbott などがあり、*A. chinensis* 種は果肉が黄や赤色で、代表的な品種としては Golden King, Rainbow Red などが挙げられる (福田 2009)。これら様々な品種を有するキウイフルーツを含むマタタビ属植物は 76 種類以上の種から構成されており、東南アジアから東アジアの熱帯地域 (緯度 0°) から、寒冷帯地域 (緯度 50°N) まで幅広い地域に分布している (Ferguson and Huang, 2007)。日本では、キウイフルーツを除くと、サルナシ *A. arguta*, マタタビ *A. polygama*, シマサルナシ *A. rufa*, ミヤママタタビ *A. kolomikta* の 4 種のマタタビ属植物が自生している。また、日本において自生しているマタタビ属は沖縄県を除く 46 都道府県に分布しており (林ら 1993), キウイフルーツは沖縄県と北海道を除く 45 都府県で栽培されている。日本の試験研究機関や民間で育種を行っているところでは、マタタビ属植物の品種を収集・保存しており、交雑による新品種の開発が進められている (福田 2009)。このような状況の中で、香川県ではキウイフルーツの生産や育種を盛んに行っており、ブランド品種である香緑をはじめ、香粹, さぬきエンジェルスイート, さぬきゴールドなどのオリジナル品種のキウイフルーツが数多く生み出されている。これらのキウイフルーツは香川県の代表的な県産品の一つに数えられており、県で認定した生産者が栽培し、糖度など一定の品質基準を満たしたものは「さぬき讚フルーツ」に認定され、県内外問わず多くの消費者に向けた生産が進められている。

人間にとって有用である農作物などの植物を栽培・生産する上で障害となっている問題の一つが、植物病原菌が引き起こす病害の発生である。植物は人間や動物と同様に極めて多数の病原体に晒されているが、自身で移動しその場から逃避することが出来ないため、これらに抵抗するために植物ホルモン等を利用した様々な防御メカニズムを発達させてきた。しかしながら、現在、世界の作物生産における損失のうち病害による損失は約 14.1% と大きな割合を占めている (Agrios 2005)。これは、植物の品種改良を繰り返すことで食味や栽培のしやすさを向上させた一方で、病原体に対する抵抗性が低下してしまったことが一つの原因であると考えられる。また、これまでの抵抗性研究は、「遺伝子対遺伝子」や「ガード仮説」に基づく真性抵抗性の研究が主であり、それによって得られた成果は品種改良に利用されてきたが、このような強い抵抗性は、病原体の共進化を誘起し、結局は崩壊することが既に明らかとなっているため農業技術が発展した現代でも病害による被害は大きいままであり、真性抵抗性に基づいた対策法の確立は不可能であることが伺える。近年ではゲノム解析技術と分子育種技術の発展により、病害に強い野生種の有用遺伝子のみを栽培品種に導入するといった新しい品種改良技術が確立されつつある。

キウイフルーツの生産現場でも様々な病害が発生しており、例えば、*Botryosphaeria* 属菌と *Phomopsis* 属菌によって引き起こされる果実軟腐病、*Botrytis cinerea* によって引き起こされる灰色かび病、*Pseudomonas syringae* の一種によって引き起こされる花腐細菌病などが挙げられる。このようなキウイフルーツの病害の中でも近年非常に問題視されているのが、キウイフルーツかいよう病で

ある。キウイフルーツかいよう病は、キウイフルーツかいよう病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*; Psa) によって引き起こされる細菌病の一種である。この病害が発生することによって、世界各地のキウイフルーツ産業に甚大な被害が生じ、多大な経済的損失を被っていることが報告されている (Scortichini et al. 2012)。また、本病が激発すると、成木がひと冬間に枯死して経済栽培が壊滅することもあることから、キウイフルーツにおける最重要病害として恐れられている (三好ら 2012)。

キウイフルーツかいよう病が発症すると、葉、新梢、枝、花蕾などで様々な病徴が引き起こされる。まず、枝幹部では2月または3月初旬から6月頃まで罹病樹の枝や幹の皮目、亀裂及び切り口から病原菌を含む黄白色もしくは暗赤色の樹液の漏出が見られ、新梢や枝の変色・枯れこみ、がくや花卉の褐変・落下を引き起こす。4月頃からは、葉で黄色のハローを伴う不整形の褐色斑点が生じ、病斑から流出した菌が感染をさらに拡大させる。これは梅雨頃まで続き、降雨などで葉の表面が濡れている場合は発病部位からさらに菌が漏出し、重症化している場合は葉の枯死が起こることもある (香川県農業試験場害虫防除所 2017)。平均気温が25°Cを超える7月から9月は病勢が停滞するが、10月頃になると再び菌の増殖が活性化し、樹液の漏出が起こる (農林水産省 2018)。これは原因菌である Psa の自然界における生育適温が10~20°C程度であり、32°C以上の高温で多くの菌が死滅するからであるといえる (農林水産省 2016)。ゆえに、樹体内の菌量は秋季~春季が最も多くなり、夏季は減少するため、病徴の進展が抑制される (香川県農業試験場害虫防除所 2017)。

キウイフルーツかいよう病の原因菌である Psa は多様性に富んだ菌群であり、これらに対して必須遺伝子やエフェクター遺伝子に基づく MultiLocus Sequence Analysis (MLSA) 解析などの遺伝学的な解析を実施した結果、現時点では5つの biovar (Psa biovar1,2,3,5,6) に類別されている (澤田ら 2016a)。なお、近年まで Psa biovar4 とされていた菌群は、他の菌群と相違点が多いことから Psa とは異なる pathovar として取り扱うのが適

当であるとされ、Psa ではなく *Pseudomonas syringae* pv. *acnidifoliorum* (Pfm) として独立させることが提唱されている (澤田ら 2016b)。これらの菌群間では、病原性関連遺伝子の構成パターンや病原力に差があることが明らかとなっている (Fujikawa and Sawada 2016)。なお、日本ではこれらの Psa のうち、biovar 2を除く biovar 1,3,5,6 の4種が分布しており、キウイフルーツ *A. deliciosa* および *A. chinensis* やサルナシ *A. argute* などのマタビ属植物において被害が確認されている (澤田ら 2016a, b)。

近年世界各地で猛威を振るったキウイフルーツかいよう病のパンデミックの原因菌は Psa3 である。Psa3 によって引き起こされたキウイフルーツかいよう病は、日本を含むニュージーランドやイタリア、中国などのキウイフルーツ生産国13か国で発生が確認されている (農林水産省 2018)。イタリアでは、発生が確認された当初は黄・赤色果実品種のキウイフルーツである *A. chinensis* (Hort16A) などで大きな被害が確認され、一方で緑色果実品種のキウイフルーツである *A. deliciosa* (Hayward) などでは被害が確認されていなかった。最近では *A. deliciosa* でも同様の被害を生じることが報告されているが、*A. chinensis* の方が病害の進行が早いとされており、また、フランスでは *A. chinensis* に多くの被害が確認されている (EPPO 2012)。日本では近年まで Psa3 によるキウイフルーツかいよう病の発生は確認されていなかったが、2014年に初めて愛媛県で確認され (澤田ら 2015)、その後、2017年12月時点では16都県において発生が確認されている。香川県では1990年と1995年に Psa1 の発生が確認されて以来、キウイフルーツかいよう病の発生は確認されていなかった。しかしながら、2015年に Psa3 の発生が初めて確認され、2017年には4市町11圃場まで発生が拡大している (香川県農業試験場害虫防除所 2017)。Psa3 の防除としては、圃場の管理や耕種の対策、薬剤防除などが実施されているが、海外で Psa3 の根絶を成功したという報告はされておらず、難防除病害の一つとされている。このような状況から、今後も世界のみならず日本国内の各地において更なる Psa3 の感染や産業的な被害の拡大が起こる可能性があると考えら

れるため、Psa3 によって引き起こされるキウイフルーツかいよう病の侵入や蔓延を防止する必要があるといえる。そのためには、Psa の判別・検出技術の高度化や、適切な防除法の確立、耐病性品種の育種などを進めることが重要であると考えられる。

このような背景のもと、多くのオリジナル品種を持つ香川県と、詳細なゲノム研究及び遺伝子研究を実施できる香川大学が共同でキウイフルーツかいよう病に関する研究を進めることとなった。今回は、生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）課題番号 16822474：野生種遺伝資源を利用したキウイフルーツ Psa3 系統耐病性付加による競争力強化戦略：2017～2019」で得られた成果と、その後の研究で得られた成果について要点を絞って紹介させていただきたいと思う。

野生種シマサルナシ *A. rufa* のかいよう病耐性メカニズムに関する研究

まず、香川県産品種の Psa3 に対する耐病性の評価を定量的に行えるように、接種方法及び評価方法を確立した (Kisaki et al., 2018)。確立した評価方法を用いて香川県産品種の耐病性評価を行ったところ、レインボーレッドに比べると香川県産品種はかいよう病耐性が強いことが明らかとなった (Kisaki et al. 2018)。また、*A. chinensis* (FCM1) と野生種シマサルナシ *A. rufa* (Fuchu) の交配で作られたさぬきキウイっこ®1号~5号も、Psa3 に対する耐性が高いことが明らかとなった。さらに解析を進めると、野生種シマサルナシ *A. rufa* が Psa3 に対する耐性が非常に高いことが明らかとなり、さぬきキウイっこ®の強いかいよう病耐性は *A. rufa* 由来であることが強く示唆された (Kisaki et al. 2019)。そこで、*A. rufa* の Psa3 耐性メカニズムの解明を試みた。まず、Psa3 に対する耐性が非常に低いキウイフルーツの栽培品種 *A. chinensis* (FCM1) と、耐性が非常に高い野生種シマサルナシ *A. rufa* (Fuchu) の二品種を用いて防御関連遺伝子の発現量を比較した。その結果、*A. rufa* (Fuchu) では主に植物ホルモンであるサリチル酸 (SA) シグナルのマーカー遺伝子として用いられる PR1 遺伝子やペルオキシダーゼ (Prx) 遺伝子など、多数の防御関連遺伝子が *A. chinensis* (FCM1) に比べて高発現していた。細胞壁

に局在する Prx は物理的抵抗性に重要な細胞壁成分であるリグニンの合成に関与すると考えられており、リグニンはかいよう病耐性に重要な成分であるという報告もある。そこで、*A. rufa* (Fuchu) の葉のリグニン含量を *A. chinensis* (FCM1) と比較したところ、有意にリグニン含量が高いことが明らかとなり、*A. rufa* (Fuchu) の高いかいよう病耐性は、リグニンの高蓄積により細胞壁が固くなり、病原菌が蔓延しにくいことが一因であることが明らかとなった (Kaji et al., in press)。

かいよう病に強い耐性を示したさぬきキウイっこ®1号~5号間では、若干の耐性強度の差があることが明らかとなり、緑色果実系統の 1, 3, 4 号の方が、黄色果実系統の 2, 5 号よりかいよう病耐性が強いことが明らかとなった。そこで、さぬきキウイっこ®1号~5号の全ゲノムを解析したところ、1, 3, 4 号のゲノム組成が *A. rufa* (Fuchu) に似ていることが明らかとなり、ゲノムレベルでも野生種シマサルナシ *A. rufa* (Fuchu) のかいよう病耐性形質が証明された。また、3号と5号の葉のメタボローム解析をしたところ、3号の方で SA が多く含まれていることが明らかとなり、SA シグナルが活性化していることが明らかとなった。以上のことより、さぬきキウイっこ®1号~5号間のかいよう病耐性の差異は、野生種シマサルナシ *A. rufa* (Fuchu) ゲノム由来の SA シグナル活性化の差異に起因する可能性が示された。

遺伝子研究の現場研究への有効利用

これまで示した研究成果により、キウイフルーツかいよう病抵抗性には物理的抵抗性の他に、SA シグナルの活性化が重要であることが示唆された。キウイフルーツ栽培の本場のニュージーランドでは、その性質を利用して SA シグナルの活性化剤である Acibenzolar-S-Methyl (ASM) を有効成分とする農薬の利用が進められている。しかしながら香川県産品種への ASM の有効性等を評価した例は未だない。また、実際に評価するとなると、ASM 処理した植物体にかいよう病菌を接種しなければならないため、実験圃場レベルでも非常に危険を伴う試験になってしまう。そこで、香川県産品種に対する ASM の有効性を定量的に評価するため、これま

で培った遺伝子研究技術を利用することにした。選抜した香川県産品種に ASM を処理し、ASM 応答性遺伝子の発現挙動を解析することによって、試験木等をかいはよう病菌に汚染することなく、適切な処理濃度、方法、時間等を安全に検討することができる。現在までに、ASM 応答性遺伝子の選抜まで終了しており、実際に香川県産品種への ASM の有効性試験を始めたところであるが、これまでに得られた成果を紹介したいと思う。

謝辞

本研究の一部は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト） 課題番号 16822474：野生種遺伝資源を利用したキウイフルーツ Psa3 系統耐病性付加による競争力強化戦略」の支援を受けて実施した。最後に、このような研究の場を与えてくださった、香川大学の片岡郁雄先生、秋光和也先生、及び、香川県農業試験場の関係者皆様方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- ・香川県農業試験場害虫防除所. (2017). キウイフルーツかいはよう病について. (改訂版) (平成 29 年 12 月 13 日)
- ・澤田宏之, 清水伸一, 三好孝典, 篠崎毅, 楠元智子, 野口真弓, 成富毅誌, 菊原賢次, 間佐古将則, 藤川貴史, 中畝良二. (2015). わが国で分離された *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 の特徴. 日本植物病理学会報, 81(2), 111-126.
- ・澤田宏之, 藤川貴史. (2016a). わが国で見つかったキウイフルーツかいはよう病菌の多様性. 第 27 回日本植物病理学会植物細菌病談話会論文集. 13-23.
- ・澤田宏之, 近藤賢一, 中畝良二. (2016b). キウイフルーツかいはよう病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) の新規 biovar (biovar 6) の特徴. 日本植物病理学会報, 82(2), 101-115.
- ・農林水産省. (2016). キウイフルーツかいはよう病の新系統 (Psa3) 系統について. (平成 28 年 11 月) https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/siryoku2/pdf/Psa3_h281109.pdf (2020.2.1 参照)
- ・農林水産省. (2018). キウイフルーツかいはよう病の Psa3 系統の防除対策マニュアル. (平成 30 年 5 月 22 日 第 3 版). <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/siryoku2/attach/pdf/index-14.pdf> (2020.2.1 参照)

- ・林弥栄, 古里和夫, 中村恒雄 監修 (1993). 原色樹木大図鑑. 北隆館
- ・福田哲生. (2009). キウイフルーツの情勢と品種動向. 日本家政学会誌, 60(10), 913-917.
- ・三好孝典, 清水伸一, 澤田宏之. (2012). ファゼオロトキシン産生能を失ったキウイフルーツかいはよう病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) の愛媛県における出現と分布. 日本植物病理学会報, 78(2), 92-103.
- ・Agrios, G. N. (2005). Plant pathology 5th Edition. Academic Press.
- ・EPP0. (2012). Pest risk analysis for *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. http://www.eppo.int/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRAdocs_bacteria/12-18034%20Express_PRA_PSA.pdf
- ・Ferguson, A. R. and Huang, H. (2007). Genetic resources of kiwifruit: domestication and breeding. Horticultural reviews, 33, 1-121.
- ・Fujikawa, T., and Sawada, H. (2016). Genome analysis of the kiwifruit canker pathogen *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 5. Scientific reports, 6, 21399.
- ・Kaji, R., Yariuchi, R., Fujii, Y., Taniguchi, S., Uji, Y., Suzuki, G., Kashihara, K., Kasaki, G., Suezawa, K., Ohtani, M., Kataoka, I., Akimitsu, K. and Gomi, K. (2021). Expression analysis of defense-related genes in bacterial canker-tolerant wild kiwifruit, *Actinidia rufa*. Journal of general plant pathology, in press.
- ・Kasaki, G., Tanaka, S., Ishihara, A., Igarashi, C., Morimoto, T., Hamano, K., Endo, A., Sugita-Konishi, S., Tabuchi, M., Gomi, K., Ichimura, K., Suezawa, K., Otani, M., Fukuda, T., Manabe, T., Fujimura, T., Kataoka, I. and Akimitsu, K. (2018). Evaluation of various cultivars of *Actinidia* species and breeding source *Actinidia rufa* for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3. Journal of general plant pathology, 84(6), 399-406.
- ・Kasaki, G., Shimagami, T., Matsudaira, K., Tsugi, Y., Moriguchi, K., Nakashima, K., Morimoto, T., Sugita-Konishi, S., Tabuchi, M., Gomi, K., Ichimura, K., Hamano, K., Suezawa, K., Otani, M., Fukuda, T., Manabe, T., Kataoka, I. and Akimitsu, K. (2019). A kiwifruit cultivar crossbred with *Actinidia chinensis* and *Actinidia rufa* has practical tolerance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3. Journal of Plant Pathology, 101(4), 1211-1214.
- ・Scortichini, M., Marcelletti, S., Ferrante, P., Petriccione, M. and Firrao, G. (2012). *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*: a re-emerging, multi-faceted, pandemic pathogen. Molecular plant pathology, 13(7), 631-640.