

第1回キウイフルーツかいよう病国際会議に出席して

静岡大学創造科学技術大学院

瀧川 雄一 (たきかわ ゆういち)

はじめに

ニュージーランド (NZ) 北島の北東部に位置する町 Tauranga は、Bay of Plenty (プレンティ湾) に面した砂州の上に発展した町であり、Bay of Plenty 地方の中心都市である。砂州の先端には Mount Maunganui という見晴らしのよい小山を擁する。この町の Bay Park 公園にある Arena Suites 会場において、第1回のキウイフルーツかいよう病国際会議 (1st International Symposium on Bacterial Canker of Kiwifruit (Psa) 以下 Psa2013 と略) が 2013 年 11 月 19 ~ 22 日に開催された。この Tauranga の町から南東にプレンティ湾のビーチに沿って車で約 30 分のところが Te Puke (テプケ) という町で、NZ のキウイフルーツ栽培の中心地であり、一面のキウイフルーツ畑の中にキウイフルーツを中心にしたアトラクション施設や Plant and Food Research の研究所 (独法) がある。この Bay of Plenty 地方は 2010 年の 11 月に NZ で初めて *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (Psa) によるかいよう病が発見された場所でもある。

2013 年の 6 月ごろに、委員長の Joel VANESTE 博士からこの Psa2013 に組織委員会委員として参加するように誘いを受けた。当初、最近では Psa の研究をやっていないので発表する材料もなくお断りしていたが、かいよう病についての日本の現状をもとにディスカッションに参加してもらえればということで、同年夏の北京での国際学会でも促され参加することにした。Psa については、正式の学名を *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* TAKIKAWA et al. 1989 と記するとしており、筆者らが 1989 年に最初に記載したもので、同時に芹沢ら (1989) によって病気の記載が世界で初めて行われた日本オリジナルの病害である。それがいつしか韓国、中国、イタリア等と発生し、とうとう大産地の NZ にまで到達したということであっ

た。後でも述べるようにこの Psa が世界を一周してまた日本に戻ってこようとはそのときは知る由もなかった。

なお、本稿では Psa の系統について CHAPMAN ら (2012, *Phytopathology* 102: 1034 ~ 1044) の Psa1 ~ Psa4 の表記に従う。実際の会議では多くの発表で PsaV (virulent 系統) が使われていたが、これは Psa3 のことである。

講演発表

さて、Psa2013 の参加者は約 130 名であり、そのうち 100 人ほどが NZ の関係者であった。ほかは米国、オーストラリア、チリ、アルゼンチン、中国、韓国、イタリア、フランス、スペイン、カナダからの参加者であった。日本からは私のほか農薬メーカーの 2 名の方の参加があった。発表は口頭が 44 題、ポスターが 26 題 (4 題欠席) であった (図-1)。以下、発表者名は共著の場合筆頭著者 (発表者) のみを記載してある。プログラムおよび要旨の全文は <http://www.psa2013.co.nz/page/programme/> からダウンロードすることができる。



図-1 基調講演を行う J. VANESTE 博士

基 調 講 演

J. VANESTE による冒頭の挨拶では、世界の主要生産地ではイランを除いてどこでも発生していること（米国は主要産地ではなく未発生とのこと）、NZではPsaによって年間3.5億NZドルの損失を被っていること、77%の園地で発生が認められていること、2010年の初めにはPsaの研究者はNZ全体で3人しかいなかったのが、現在では100人以上に増えていることなどの紹介があった。

R. FERGUSON による Keynote speech では、キウイフルーツのNZでの栽培の歴史、品種、栽培特性等が紹介された。NZでの主要な栽培方法が日本と同様に棚栽培（pergola system）であること、収穫、落葉、剪定等により地上部の60%が毎年入れ替わり、傷が多数できる栽培方法であることが強調された。

G. COSTA による同じく Keynote speech では、ヨーロッパ特にイタリアでの発生状況が紹介され、早々に撲滅はあきらめられたこと、地区の条例で緊急防除措置が行われたこと、EU圏内で移動規制措置が取られたこと等が示された。特に、単純な農薬散布などでは防ぎきれず、圃場衛生の強化が重要であることが強調された。また、花器感染の重要性と雨除けによる被害回避についても強調されていた。

Li Li によって中国での発生について報告があり、中国では1978～81年に商業栽培が始まったが、かいはよう病は1985年から18の省で発生していること（生産園地の1.5%以下とのこと）、3倍体は強いこと、中国のPsaには4系統ありいずれもハローを作らないことが述べられた。この4系統は後述のようにいずれもPsa3（=PsaV）であるようだ。

解剖学的研究

P. SUTHERLAND は、抗血清で組織内の解剖学的観察結果を報告した。Psa3は組織中でEPSを生産しており、柔組織だけでなく木部に侵入し部分的に導管閉塞を起こしているが、導管が全部つまっているわけではないとした。外皮層のfiber layerの隙間を通り抜けているような像、細胞壁を壊しているような像も観察された。花の感染においては花卉の基部、おしべの葯に侵入したり、花粉に付着している等の様相が観察された。一方で *Actinidia arguta*（サルナシ）に対する接種時の病像は抵抗反応のそれであり、HR様の反応、カロース生産、カルスやチロース形成が見られたとのことであった。

S. NORDOZZA は導管液の中でのPsa3の生育を追跡し、展葉期にはglucoseやplanteoseの濃度が高くなるが、

その中でPsa3の生育良好であるとした。

M. CLEARWATER は導管の通水コンダクタンスが感染によって減少する（水が通りにくくなる）ことを測定で示した。しかし、この反応は感染によって褐変した部分よりも離れた先端部に近いところでも起きること、その反応は導管間のピットの部分が詰まることによるのではないかと推察している。

ゲノミクス・プロテオミクスなど

R. POULTER は分離株のゲノム解析により中国のPsaには4系統あり、ICE（Integrative Conjugative Element）のちがいで判別されるとした。いずれもPsa3であり、世界中のPsa3のオリジンは中国であろうと推定している。

H. McCANN も同様にゲノム解析による系統解析を行い、多様な系統が存在すること、系統間での遺伝子のやりとりがあったであろうこと、全世界に広がった現在のPsa3はそのうちのひとつが選ばれて生じたのであろうこと等を論じていた。

E. RIKKERINK は系統の多様性をIII型分泌機構のsecretome解析から研究し、transposition, insertion, deletion, conversion および recombination が分泌エフェクターの多様性を創出しており、それにより病原性の分化（キウイフルーツ品種に対する反応の違いなど）をきたしているのではないかと推定しており、この戦略が抵抗性品種育種にも役立つと論じた。

G. TACCONI はGFPラベルのPsa3を使い、Psa3はキウイの中で枝先に行ったあとに根にも侵入することを解剖学的に示した。さらに、健全樹、Psa3接種樹と、acibenzolar-S-methyl（ASM、バイオン）を処理してから接種した樹についてmRNAシーケンシング（トランスクリプトーム解析）を実施した。抵抗反応に関与する遺伝子発現などの違いがあるようだが、成果は解析中とのことであった。

G. CLARK はHort16A, Hayward, Gold3など抵抗性の程度のちがう品種についてメタボローム解析を行っている途中であり、カテキン類の生成量などに違いがありそうだと報告していた。

M. SCORTICINI は、感染したキウイフルーツ樹体におけるプロテオミクス解析（2次元タンパク電気泳動と半定量RT-PCR）を行い、やはり防御応答関連タンパク質の発現が感染によって制御されていること、感染による代謝の変化が樹体全身におよび、*A. deliciosa* では葉での感染が抑制的になること等を示した。

病原学的研究

V. VENTURI は多くの病原細菌で病原性を制御するメカニズムの一つとして知られているクオラムセンシングについて調査した。その結果、驚くことに *Psa3* は *acyl homoserine lactone* (AHL) やその他のクオラムシグナルと思われる物質を生産しないことを明らかにした。このことは *P. syringae* 群細菌としては極めて異例であり驚くべき結果であった。しかし一方でクオラムセンシング系の制御因子である *luxR* のホモログは有していることから、*Psa3* は他の細菌の AHL や植物のシグナルを感知しているのではないかと考察していた。

F. POLIAKOFF はフランスとドイツの菌株で *Psa3* と *Psa4* があり、*Psa3* は根からも分離されること、両者は細菌学的性状も異なることを示した。

生態学的研究

K. FROUD は 2012 年の NZ の発生について要因解析を報告し、その中で、前年の収穫日、当年の初発日（早いほど収量減）が強い関係を有すること、銅剤、抵抗性誘導剤、萌芽促進剤（着果促進剤）、葉面施肥、傷の保護剤、一般殺菌剤等の施用がいずれも収量増につながっていること、標高、地区、降水量（喝水）も影響していることを示した。

J. VANNESTE は *Psa3* の生存について調査報告している。水（水道水ではすぐに死滅、貯水池の水では 8～9 日生存、雨水でもすぐ死ぬが、オートクレーブすると 30 日以上生存）；土（数週間生存）；堆肥（数日生存するがその後死滅。拮抗微生物 *Delftia* sp. などの影響）；防風垣（NZ でよく使われる杉の葉の上で 3～7 日生存）；キウイフルーツ葉面（表より裏が少し多く 2 週間以上生存）；花（76% の外観健全花より検出、褐変花からは 97% 以上）；花粉（開花、未開花共に検出、保存中も生存）；ミツバチ（接種により 6 日以上保菌、感染果樹園で訪花時に 1/10 検出、帰巣時に 2/30 検出）などのデータを示した。圃場衛生が大事であることを強調していた。

F. SPINELLI は、褐変花に *Psa3* が（時に花腐れ病菌も）存在し、特におしべに定着していること、めしべ柱頭においても *Psa3* が生存し、幼果に侵入すること、汚染花粉を花に接種すると全身感染した（3/21 個体）こと、雄花が感染すると外部病徴がなくても高率に花粉が汚染すること等を報告した。また生物防除について検討し、市販の *P. fluorescens* や *Pantoea* 資材は効果がなかったが、キウイフルーツから分離した *Pantoea* sp. は効果があるかもしれないことを示唆していた。

K. FROUD によれば、NZ の農家（1,670 戸）の聞き取り調査を実施し、回答のあった 433 戸のうち 73% の圃地で病徴が見られたという。有機農家、小規模農家の回収率が高く関心の高さを示しているとしている。

I. HOENER は、枝ごと葉ごとの発病をデータ化した。その結果、雨の降らない時に展開した葉は発病しにくいこと、銅剤を前年度から施用しているところは発病しにくい等の事象を定量的に示した。同様な観測は日本でもなされていると思われるが、英語論文としてデータ化しておく必要性を強く感じた。

S. ROSANOWSKI は時間的空間的拡大の記述を行い、NZ での発生圃地をクラスタリングした。その結果、98% は発生源から 10 km 以下への広がりであり、90 日以内に 20 km 以下というのが一つの集団発生のクラスターとして認知できるとのことであり、それをもとに 12 回の個別の集団発生があったと推察した。

H. ALI は世界の発生地 の 気象条件 などから空間的地理的な広がり の 予測モデルを作成したとして、世界各地の危険度予測を行い、現在報告のない米国でも十分に発生しうると報告した。この人は学生優秀発表賞を得ていた。

R. BERESFORD は、やはり気象条件と発病を解析し、最適な感染温度は 15℃ であること、環境、特に降雨量と宿主の感受性、病原体に基づいて index を作成し、季節や場所による危険度予測を行った。また、NZ の気候では一年中感染源が存在することが示された。

A. MOWAT は窒素源と発病の影響について調査し、品種 Hayward ではアンモニア態窒素で発病が促進され、硝酸態窒素では発病が抑制されること、Hort16A では応答性が低く窒素の影響に関係なく発病しやすいこと等を示した。

W.-Z. LI によれば、中国で *Psa3* が *Actinidia* 属以外の三つの植物 *Altermanthera philoxeroides*（ナガエツルノゲイトウ ヒユ科）、*Setaria viridis*（エノコログサ）、*Paulownia fortune*（キリ的一种）から分離されているとのこと。病徴があるのかどうかについては明らかではなかった。近縁の *P. syringae* pv. *theae* の宿主であるチャからは分離されなかった。leaf hopper から分離され、ベクターになりうると推定している。

診断検出

M. ANDERSEN は、*Psa3* を検出する PCR プライマーを、特に *hop* などのエフェクター遺伝子などに着目して作成している。このほか、いくつかの PCR 検出の話が続いたが、それぞれ一長一短があるようである。

F. SPINELLI は Electronic Nose と呼ばれるセンサーを利

用した臭いによる病害の診断について予備的な報告をした。

防除手法

D. TANNER は総合研究対応計画の策定を試みている。それは三つのステージから成るとした。第1ステージ(1～3年)では検出, 生態, 遺伝子, 既存農薬, 既存抵抗性品種等についての研究, 第2ステージ(4～7年)では第1ステージの結果を強化, 最適化, 第3ステージ(8年目以降)では低コストで最高の研究および防除対策ならびに次世代の抵抗性品種の開発を目指す。

F. SPINELLI は, プラントアクチベーターのバイオン(acibenzolar-S-methyl ASM)の効果を高く評価し, その最適な施用法を検討している。また, その研究の中から, 気孔を閉じれば Psa3 の侵入を防げるのではないかという着想に至り, 成長調節剤として使われるアブシジン酸(ABA)にかいよう病抑制作用があるのは気孔を閉じる作用が関連しているのではないかと推察している。さらに Psa3 が樹体のエチレン生産を促進すること, 植物のエチレン前駆物質 ACC の投与で病斑が増え, 1 MCP (エチレン阻害剤) では抑制作用があったこと, エセホンでは効果がなかったこと等極めて興味深いデータを報告していた。

R. HILL はキウイの根から拮抗微生物の分離し, 特に *Trichoderma* spp. などで防除効果のあるものもあるとした。また, ASM などとの組合せも有望としている。

G. COSTA は, 耕種的な栽培慣行の発病に及ぼす影響について解析し, 窒素過多で発病多であり, また水ストレスにより発病が増加することを示した。さらに, 剪定によって光が入ると発病が低下して品質向上するが, 剪定期間によって発病に差があること, 発芽促進させると着果肥大が促進されること, 着果調節用のサイトカイニン剤が発病を抑制する傾向にあること, 雨除け栽培で発病抑制されること等を示した。

I. HORNER は, 枝のかいよう病斑に対する対処法として NZ で実施されているバーナーで焦がす手法を検定し, 病斑から 40 cm までの処理では 50% 以上の枝で再発病してしまうこと, 一方, 剪定でも切り口にカルスができれば病斑伸長しないことなどを示した。ただし処理の時期によって結果に大きな差があるという。

R. GASKIN は銅剤を主とした薬剤散布の効率を検討し, 剪定による葉の込み具合で散布の効率が異なるという, やや当たり前の話であるが数値データを示していた。展着剤の適切な使用が大事ともしている。

抵抗性品種

S. HOYTE は品種間差を調べるための接種方法の再評価を行い, 幼苗で針接種の方法を工夫していた。この中で, *A. arguta* (サルナシ) は抵抗性であり *A. kolomikta* (マタタビ) は感受性であると述べていた。この話は他の多くの人からも聞かされた。日本の Psa1 が両者に感染しやすいことを考えると, 別系統の Psa に対する感受性に差があるのかもしれない。今後追求すべき課題である。

J. VANNESTE は品種間で樹体内での菌の移動と菌量を解析している。湿度 100% の継続時間によって上下方向に移動する程度が異なること, 見た目に同程度の病斑長でも菌量は二桁ぐらい異なることから, 病徴と菌量は一致しないことを示した。つまり発病の見かけの程度と伝染源としてのポテンシャルは異なるということで注意を要すると思われた。

R. HELLENES と S. GARDINER は抵抗性品種のスクリーニングと遺伝的マーカーの開発について発表していた。この中でも *A. arguta* は抵抗性であり *A. kolomikta* は感受性であるとされていた。

このほか, 招待講演者として D. GUTTMAN は ICMP と共同で 1,000 株以上をゲノム解析中であり *P. syringae* のコアゲノムは遺伝子 2,000 個ぐらいであるという話, C. MORRIS による自然界の *P. syringae* の分布と遺伝子 reservoir としての役割の話, V. STOCKWELL によるブルーベリーへの *P. syringae* の話等が話題提供された。

ポスターセッション

以上, 口頭発表の内容をおおよそ発表順に概観してきたが, ポスターセッションでも目についた発表をいくつか取り上げたい。

O. CACIOPPO によればイタリアでの事例ではホセチルと銅剤の併用が効果があったとのこと。

R. SUBASINGHE によれば Psa3 はポリガラクトソナーゼ, キシラナーゼ, セルラーゼ, バクチンリアーゼの遺伝子をゲノム中に保有しているとのこと。

M. MANNING によれば接種した Psa3 は植物体の上下に広がり, 接木(台木 Bruno, 穂木 Hort16A)の部分で難なく通り抜けるとのこと。また, 圃場にシャーレを並べ, 降雨の際に水はねした水滴から Psa3 が分離できた。

F. SPINELLI によれば Psa3 は気孔の周囲に付着し, エチレンを生産して植物の抵抗反応を抑制しているらしい。また, 花粉による媒介が重要であること, ミツバチなど訪花昆虫からも Psa3 が分離できることなどを示した。

A. ARES-YEBRA は落葉の上で Psa3 が 2 か月以上生存す

ることを示した。また彼女はスペインでの発生を報告し、Psa3とPsa4があることを示している。

C.-S. OHはPsaに感染するバクテリオファージを分離した。

J.-S. JUNGはPsa1とPsa2を区別するマルチプレックスPCRを報告している。

M. BUTLERは近年韓国で発生した新たな系統がPsa3であること、そのゲノム解析より他の国の系統とはわずかに差があることを示している。

このほか、数名の研究者から抵抗性の*A. chinensis*の品種の報告があった。

これらの発表の中には既に論文として公表されているものも多いに違いないので、参照する場合には個別に文献検索していただくことを願う。また本原稿は筆者がメモ書きしたノートを基にしているため、要旨集の内容とは若干ずれているところがあることはご承知置きいただきたい。また、各見出し項目も、会議のセッション名とずれているものがある。

フィールドトリップ

会議2日目(11月21日)の午後には希望者によるフィールドトリップがあった。場所は冒頭に述べたTe Pukeのキウイフルーツの研究所である(図-2)。杉の木による高さ5mはあろうかという防風垣に囲まれた圃場を実際に見学し、すでに多くの植物が感染しているのを間近に見た(図-3)。筆者のいる静岡ではこのようなひどい発病は近年はあまり見たことがなく、驚くと同時に少し懐かしく思われた。病徴はハローがないものもあるものどちらもあるが、確かに日本で見られる大きなハローを出すものはないようであった(図-4)。環状剥皮の実演もあり、これが結構病気を抑制するという話であった。また、カミキリムシの被害もあるが、カミキリムシからもPsa3が分離されるとのことであった。また、ビニールで被覆した雨除け栽培の試験地もあり、もののみごとに発病を押さえていたが、広大なNZの果樹園でこれを実施するのは経済的に難しいとのことであった。場内の場所によっては枯死株が続出し、改植のために表土を15cmほど剥いで抜根した区画もあり、深刻さを実感した。最後にKiwi360というキウイフルーツのテーマパークに立寄り、キウイづくしのデザートをいただいた。

おわりに

最終日の閉会式において、次回は2015年にイタリアで会議を開催する予定であり、そのつもりで準備するようにとのコメントがあった。



図-2 Plant & Food Research 研究所 Te Puke センター



図-3 研究所内圃場



図-4 キウイフルーツ葉での病斑

会議中に何度も日本での発生について尋ねられ、一時は激しかったものの現在は散発的であり、防除でほどほどに食い止められていること、まだPsa3は発生していないのでそんなに心配していないこと等を話した。また、このような新たな系統の発生による新規のアウトブレイクはアブラナ科植物黒斑細菌病にも見られるところであり、分類学的な系統の解析の重要性を再確認したと

ころであった。

その後、2014年の5月に突如愛媛県でPsa3の侵入が確認され、福岡、佐賀、岡山、和歌山、静岡、茨城と相次いで報告がなされ、現在その対応に追われているのは既にご承知のことと思う。外国での発生事例を思えばこのPsa3による被害は相当なものがあると予想されるが、今回の報告のような先行研究も参考にし、日本独自の成果を加味すれば適切な対応によって封じ込めることも十分に可能であろうと考える。今回の発生で診断が迅速にできたのも、我が国の研究者が外国の事例を十分に調査して事前に診断方法がある程度確立していたからであっ

て、そのことは高く評価したい。

以上述べてきたようにPsa2013の内容は非常に多岐にわたり、特に緊急動員されたNZの研究者が極めて幅広い分野の研究を着実にこなして成果を出していること、またそれを強力な組織（KVH: Kiwifruit Vine Health; これはPlant and Food Researchや地方自治体、栽培農家組織、Zespri社等、官民一体となったキウイフルーツ保護の組織である）が統率をとって推進し、成果を還元していることなど、植物病害対応のお手本のような様態を実感した。この事例を参考にして、我が国としても多方面からの研究の発展が望まれる。

農薬と食の安全・信頼

梅津 憲治 著

—Q & Aから農薬と食の安全性を
科学的に考える—

A5判 本文282頁、価格 2,800 円(税別)



本書は農薬が有する多面的な側面のうち、主に「人の健康とのかかわり」に焦点を当て、農薬や残留農薬の人の健康に対する影響について科学的に分かりやすく解説しています。著者が取り組んできた農薬に関する講演や講義で、実際に一般消費者や学生から寄せられた農薬の安全性に対する素朴な質問と著者の答え（Q & A）を各章のはじめに置き、それに関連する本文を読み進めていただけるように構成してあります。農薬はどのような安全性試験を経て農薬登録され、適正使用されているのかなどの基本的な内容から、残留農薬のヒトに対する健康影響やリスクコミュニケーションの取り組みまでを詳述。農薬の研究開発から試験研究機関、技術普及、流通・卸、農業生産法人など植物防疫の関係者にとって必携の一冊です。

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部 出版担当

〒114-0015 東京都北区中里2-28-10

TEL 03-5980-2183, FAX 03-5980-6753

e-mail: order@jppa.or.jp

振替00110-7-177867番