

特集：ジャガイモそうか病対策に向けた新たな研究

# 総説：「馬鈴しょそうか病に関する 国際シンポジウム (IPSS 2004)」から

北海道大学大学院農学研究科作物生産生物学講座 ない とう しげ お  
植物病理学分野 内 藤 繁 勇

## はじめに

ジャガイモは生食・加工・澱粉用として世界的にも重要な作物である。その主産地ではいずれもそうか病が発生し、栽培上の大きな問題となっている。本病に侵されると、塊茎表面にあばた状の病斑が形成される。このため生食・加工用イモは商品価値が著しく損なわれ、また症状が重いと澱粉価も低下する。種イモ生産農家においては、罹病イモは植物検疫上から不合格となり、経済的損失は一層深刻なものとなる。被害対策はこれまでに種々検討されてきたが、病原菌の同定・識別・定量法が未確立であったことも大きく影響し、病気・病原菌の正確な情報に欠け、決め手となる防除法は見出されないままであった。1980年の国際細菌命名規約成立以来、放線菌の分類には16SrDNA解析からの推定を表現型、形態と化学性状で確認するという手順が放線菌の現実的な同定法となり（日本放線菌学会，2001）、これに呼応してジャガイモそうか病菌の分類や検出・定量、植物毒素（サクストミン，コンカナマイシン），病原性遺伝子（*nec1*），多発圃場の要因解析，品種抵抗性などの研究が急速に進歩し、防除対策上の重要な知見が累積してきた。

こうした状況のもと、2004年9月6～7日に北海道大学学術交流会館において、馬鈴しょそうか病に関する国際シンポジウム組織委員会主催による「International Potato Scab Symposium (IPSS 2004)」が開催された。アメリカ，カナダ，フィンランド，オーストラリア，韓国および中国からそうか病研究の第一人者を迎え，メインテーマ「馬鈴しょそうか病対策へ向けた新たな研究アプローチ」のもと，最新情報の講演と討論が2日間にわたり活発に行われた。開催当日は国内外から160名の参加があり，ポスター発表も行われた。講演の部では，病原性の進化（R. LORIA，コーネル大学），植物毒素（夏目雅裕，東京農工大学），病原菌の同定と定量法（田中文字夫，北海道立中央農業試験場），スカンジナビア諸国における病原菌の同定・検出と防除研究の現況（J. P. T.

VALKONEN，ヘルシンキ大学），韓国における病原菌の特性（D. H. PARK，江原大学校），インドにおける抵抗性品種選抜と病害管理（J. S. SRIVASTAVA，バナラスヒンズー大学，欠席：講演要旨のみ），カナダにおける防除のための育種法（T. R. TARN，ジャガイモ研究センター），日本における抵抗性品種の育成（小林 晃，北海道農業研究センター），中国におけるそうか病の概観（D. LIU，河北農業大学），オーストラリアにおけるそうか病研究の概要（C. R. WILSON，タスマニア農業研究センター），そうか病に対する土壌交換酸度，有機物施用，緑肥の影響（志賀弘行，北海道立中央農業試験場），発生程度に応じた総合防除（田中民夫，北海道立中央農業試験場）について，それぞれ話題提供があった。ポスター発表は15課題であった。講演・ポスターセッションの内容は要旨集（A4版，395頁）としてまとめられている。

本稿では，海外からの講演内容を中心に概説する。そうか病菌の分類および同定，日本における抵抗性品種の開発，土壌環境制御による防除対策，発生程度に応じた総合防除については，本特集号で各話題提供者が執筆した。

## I アジア，北欧，カナダ，オーストラリアにおける発生被害

そうか病は北海道，西南暖地をはじめとし，国内各地のジャガイモ産地で恒常的に発生して被害が深刻なものとなっている。本シンポジウムで紹介された，各国におけるジャガイモそうか病の発生概況を以下に示した。

①中国：黒竜江省，内蒙古自治区ほかほとんどの地域に発生し，特に連作，アルカリ性土壌，管理不十分な圃場で目立っている。②韓国：金羅南道，済州道などの南部で被害が大きい。近年，北部の京畿道，江原道でも多発傾向にある。被害は済州道で最も大きい。③インド：発病はジャガイモ栽培地域の大部分に及んでいる。特にウッタール・プラデーシュ州東部で被害が大きい。④オーストラリア：タスマニア，ビクトリアの両州で被害が最も大きい。近年，剥皮工程で製品歩留への影響が大きい。⑤カナダ：ジャガイモ産地はプリンスエドワード島，マニトバ，アルバータ，ニューブランズウィック，ケベックの各州に集中している。ケベック州では最重要病害

Outline of International Potato Scab Symposium (2004). By Shigeo Narro

(キーワード：ジャガイモ，防除，そうか病，*Streptomyces* spp.)

となっている。⑥スカンジナビア諸国：塊茎の発病のほかに、萌芽の遅れによる被害もある。

## II 増え続けるそうか病原菌の種類

北海道では *Streptomyces scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. acidiscabies* および未同定種が分離されている。それら菌種の種類上の特性は本特集号で詳述した (田中文夫：9頁)。

*S. turgidiscabies* は北海道 (1998)、韓国 (1998)、フィンランド (1999)、スウェーデン (2004) で発生が確認され、また今回のシンポジウムでアルゼンチンでの発生が報告された。韓国では *S. scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. acidiscabies* のほかに、3種類の新種 *S. luridiscabiei*, *S. puniscabiei*, *S. niveiscabiei* がそうか病病斑部から分離されている (PARK)。中国では菌種は調査中であるが、*S. scabies* が確認されている (LIU)。オーストラリアのタスマニア土壌からは *S. scabies* と類似の *necl* 遺伝子をもつ菌株が分離されている。しかし、その中には酸性耐性の菌株があり、形態的特徴も基準菌株と異なるものがある (WILSON)。また *S. turgidiscabies* に近似する菌株も見出されているが、基準菌株と異なる特徴をもつ菌株がある。

カナダにおけるそうか病菌の種類については、シンポジウムでの報告はなかったが、既にジャガイモに病原性のある *S. scabies*, *S. acidiscabies*, *S. albidoflavus* および *S. caviscabies* が知られている (GOYER et al., 1996 a, b)。またフランスでは新種の *S. stelliscabiei*, *S. europaei-scabiei* が病イモから分離されている (BOUCHEK, 2000)。

ポスターの部では、ジャガイモ亀の甲病の病原とその生態および防除 (鈴木孝仁ら、農業生物資源研究所) の発表があった。粗皮症状を起こす病原菌の種名は以前未同定 (無効種) であったが、今回、種名を *Streptomyces cheloniumii*, 病名を「亀の甲病」とすることが提案された。

## III ジャガイモそうか病菌が産生する植物毒素と病原性

### 1 サクストミンと *Streptomyces* 属菌における病原性の進化

前述したように、ジャガイモそうか病菌 *Streptomyces* の種類は、初めは *S. scabies* のみであったが、その後次々と新種が出現してきている。このことは、対象とする病原菌種が変わる中で本病の防除対策を考慮しなければならぬという厄介な問題を孕んでいる。そうか病菌の生産する植物毒素と病原性との関連性、病原性遺伝子 *necl*, サクストミン A 生合成遺伝子 *txtAB* など一連の先駆的研究を行ってきた RORIA 博士によると、ジャガイモに病原性をもった新種の出現は以下のように要約される。

サクストミンの生産は、すべてのジャガイモそうか病菌の種に共通する。また実験的証拠から *necl* が他の属から移動してきたものと示唆された。最近、病原性に関連し DNA の水平移動を担う他の遺伝子も見つかった。このことは、農業システム中でそうか病を引き起こす *Streptomyces* 属菌における植物病原性の進化が大きな病原性決定因子の移動を通じて起こることを意味している。すなわち、この因子が腐生性の種に移動すると病原性の表現型を獲得し、病原性のある新しい種が出現する。サクストミンの生合成遺伝子は病原性アイランドあるいは病原性遺伝子島 (pathogenicity island : PAI) 上に位置しており、病原性にはこの毒素が必要であるとした。PAI 上には他の付帯的な病原性遺伝子が存在し、そのいくつかは他の植物病原性微生物と同じものである。これらの遺伝子は高度に保存されているため、機能の解析はまだ行われていないが、病原性表現型においても重要な役割を担っているという。また PAI は動きやすいため長期的な病害防除のための効果の高い栽培法を開発するのは困難である。というのは、PAI が新しい土壌環境により適応した *Streptomyces* 種に移動するかもしれないからである。

### 2 コンカナマイシン

そうか病菌は植物毒素コンカナマイシンを生産する。夏目らは、標準菌株の接種や圃場で採集した病斑型の異なる罹病イモに含まれる植物毒素の分析を行った。圃場で採集した罹病塊茎と標準菌株を接種した罹病塊茎の両方からコンカナマイシンが検出されたことから、本毒素は病斑形成に関与している可能性が高いとした。しかし、コンカナマイシンは単独ではジャガイモ塊茎切片を用いたアッセイでごく弱い壊死誘導活性しか示さないため、サクストミンによって形成される病斑の拡大・病徴の激化に関与しているのではないかと推察している。

一方、コンカナマイシンは動物細胞に対する生理活性物質 (マウス脾臓リンパ球の増殖阻害物質、ATPアーゼ阻害) として作用することが明らかにされている。先に述べたように、本毒素はそうか病罹病ジャガイモからも検出されている。しかし、菌種によって検出されるものとされないものがあることが示された。オーストラリアの WILSON は、仮に罹病組織片が食品供給網に入り込むとしたら、*Streptomyces* 属菌由来の食品毒が人の健康に影響を与える可能性について研究が必要であろうと述べている。

このほか病原性因子の水平伝播に関する内容として、ポスターの部で、ジャガイモそうか病菌アクチノファージの性質と宿主に対する遺伝学的影響 (川端育代ら、北海道大学) の発表があった。

#### IV そうか病菌の分離・定量法

土壌中には多くの種類の *Streptomyces* 属菌が生息しており、その中からジャガイモに病原性のあるそうか病菌を分離・識別することは容易ではない。しかし、近年、*S. scabies* の半選択培地 STR および改良 STR 培地が開発され、さらに病原菌の遺伝子診断法が格段に進歩した。それに伴い各種の方法を組み合わせることにより、以前は不可能であったそうか病菌を定量することも可能となった。特に最確値法と PCR を組み合わせた MPN-PCR 法は操作性、精度および迅速性で優れており、各方面での利用が期待されている。シンポジウム参加各国はいずれもそうか病菌の検出・同定に PCR 法を用いているが、その内容は我が国における研究 (田中文夫：別掲 9 頁) を凌駕するものではない。したがって、海外での研究内容は割愛し、ポスター関連課題のみを以下に列挙した。

*Streptomyces* 属菌の病原菌特異的プライマーを用いた土壌からの検出 (J. S. Kim et al., 韓国高嶺地農業研究所)、二次代謝産物を指標とした TLC 法による 3 種のジャガイモそうか病菌とその関連菌種の簡易識別 (眞鍋佳世ら、東京農業大学)、内部標準を用いたリアルタイム競合 PCR による土壌中のそうか病菌の定量 (馬目 章ら、環境エンジニアリング)、ジャガイモそうか病菌の病原性と植物毒素サクストミン A の産生能をジャガイモの果実で簡易検定する (谷 祥二ら、森永乳業)、ジャガイモそうか病の病徴形成—表皮で何が起きているのか? (田中みち子ら、北海道大学)。

#### V 海外におけるそうか病抵抗性品種の選抜と育成

日本におけるそうか病抵抗性品種の育成は、主に北海道農業研究センター、北海道立北見農業試験場、長崎県総合農林試験場愛野馬鈴薯支場の 3 箇所で行われている。現在までに抵抗性品種として‘スタークイン’、‘ユキラシャ’、‘春あかり’および‘北育 7 号’の 4 品種が育成された。我が国におけるそうか病抵抗性品種開発のための育種法、簡易抵抗性検定法、抵抗性の遺伝形質および抵抗性品種の系譜・特性については、別掲 (小林 晃：14 頁) した。ここでは海外参加国から報告のあった抵抗性品種育種の概況を述べる。

**カナダ**：そうか病抵抗性品種の開発は、ジャガイモ研究センター (フレデリクトン市) の育種プログラムによって実施している。最初に交雑に用いる親の選抜を行う。温室での実生苗選抜のあと、圃場検定 (最長 3 年間) が行われる。ついで適応試験 (4 地域)、出荷第一段階 (包括的企業評価)、出荷第二段階 (商品化) へと進む。

そのほかサクストミン A 耐性クローン選抜を行っている。特異的分子マーカーによる抵抗性の選抜・育成は今後の検討項目になっている。

**オーストラリア**：タスマニアでは既存の加工用栽培品種からのサクストミン A 耐性ジャガイモクローン育成を組織培養技術により行っている。毒素耐性を利用することで、親品種の本質的な形質を損なうことなく病害抵抗性を高めることが可能であることが示された。このほか宿主と毒素の細胞レベルでの相互作用に基づく抵抗性誘導、抗菌性ペプチド (cecropin A, magainin) 合成遺伝子を導入した形質転換ジャガイモ作出についても研究を継続中である。

**フィンランド**：そうか病に対する品種間差を発病度、病斑型、貯蔵種イモ中の菌生存、病イモから新塊茎への伝播率、菌種の違いなど、様々な角度から比較検討している。品種 ‘Sabina’ は菌種 (*S. scabies*, *S. turgidiscabies*) に関係なく ‘マチルダ’ や ‘Bellona’ に比べて発病が少なく、また病イモからの新塊茎へ再発病率や貯蔵中の病イモからの菌検出率も ‘Sabina’ のほうが ‘マチルダ’ よりも少ないとの報告があった。

**その他**：韓国ではそうか病抵抗性は ‘Jopung’ と ‘Superior’ で高かった。中国では ‘Weiyu No.3’、‘Hezuo-88’、‘743-39’、‘Chuanyuzao’ および ‘Chuanyu-56’ で発病が少なかった。

ポスターの部では、そうか病抵抗性が“強”のパレイシヨ新品種 ‘北育 7 号’ (池谷 聡ら、北海道立北見農業試験場) について発表があった。

#### VI 海外におけるそうか病防除研究

これまで、ジャガイモそうか病の防除対策として、土壌の酸度矯正、緑肥作物、輪作、有機物の施用、畑灌がい、抵抗性品種、薬剤・微生物防除等、様々な方法が検討されてきた。しかしながら、効果 (防除価、安定性)、作付け規模、資材や運営のコスト、圃場立地条件、圃場の病原菌汚染程度、生産イモの用途、あるいは化学資材による環境への負荷や人体への毒性等、様々な要因によって十分な防除対策が講じられない状態であった。こうしたなかにあつて、最近、それら各種要因を加味した総合防除技術、あるいは新たな個別防除技術が開発されてきている。土壌環境制御による防除対策、発生程度に応じた総合防除について別掲 (志賀博行：19 頁、田中民夫：22 頁) したので、ここでは割愛し、シンポジウムで明らかにされた海外における防除研究の現状を記した。

**韓国**：硫酸カリウム処理による土壌 pH 矯正、輪作へのダイズ導入、ダイズやトウモロコシ残渣の鋤込みで発病軽減効果を認めている。種イモ対策として、モノクロ

ーナル抗体と ELISA を組み合わせた方法による選別が実用性に優れていることを明らかにした。生物防除については *Bacillus* 菌による発病抑制効果を抵抗性品種を用いたときに認め、感受性品種では効果がなかったとしている。

オーストラリア：種イモ対策は無病イモの肉眼による選別と種子消毒で対応している。タスマニアでは発病抑制の土壌 pH、および交換性陽イオンの限界値が明らかにされている。灌がいは水の供給に制限があり、また土壌の排水性と水分蒸散が高いので、導入しにくい。植付け時期の移動（遅植え）は発病軽減効果が大きい。

その他：北スカンジナビアでは、*S. scabies* によるそうか病の防除に用いられてきた従来の方法は、*S. turgidiscabies* が生息する圃場では効果的でないことが示唆された。現在、両菌種を対象とした防除法の開発を目指している。カナダではそうか病防除のための農薬使用を認可していない。そうか病抑制のために土壌を pH 5.4 以下に維持しつつ灌がいを利用するのが生産者にとって唯一の選択肢となっている。中国では土壌 pH 低下、拮抗性 *Streptomyces* 属菌によるそうか病防除の研究を実施している。インドではそうか病発生に対しての緑肥、有機質土壌改良剤および硫黄等の効果と、それらを異なる組み合わせた効果試験を行っている。シンポジウムの講演内容からは我が国における今後の防除研究に参考となる新技術は特に見当たらない。

ポスターの部では、トリコデルマ属菌を用いたジャガイモそうか病の生物的防除（仲川晃生ら、中央農業総合研究センター）、紙筒移植栽培でそうか病からジャガイモを守る（内藤繁男ら、北海道大学）、雑草「アメリカフウロ」を利用したジャガイモそうか病の防除（大城篤ら、沖縄県農業試験場）；ジャガイモそうか病に対する緑肥用エンバク野生種の効果（佐久間 太ら、雪印種苗）、冬作マルチ栽培によるジャガイモそうか病の被害回避（田代暢哉ら、佐賀県果樹試験場）、土壌の C/N 比がジャガイモそうか病防除施肥法の防除効果に及ぼす影響（吉田穂積ら、東京農業大学）、についてそれぞれ発表があった。

## おわりに

シンポジウムでは、各国ともジャガイモ主産地でそうか病が深刻な問題であることが改めて認識された。またそうか病菌の新たな地域への拡大、あるいは分類学的に異なった種が新たに病原性を獲得し、被害を及ぼしてい

ることが示された。その原因として、*nec1*, *txtAB*, さらには病原性と関連するその他遺伝子の存在の可能性が明らかとなった。特にそれら遺伝子が PAI 上に位置し、*Streptomyces* 属菌の異なった種間を移動するという、病害防除上厄介な現象が起きていることがわかってきた。一方では、1980 年代以前はそうか病の病原菌自体が不明確で混乱期にあったが、1990 年代以降は分子生物学的手法、化学的分析手法等の著しい進歩により種の同定基準も明確になり、研究対象としてそうか病菌が格段に扱いやすくなった。このため、そうか病菌の研究領域は分子レベルから応用研究まで裾野が広くなり、そうか病菌を扱う研究者も急増した。結果として、そのことは病原菌、感染発病、発生生態を正しく理解することにつながり、そうか病防除に向けた対策が可能となってきたともいえる。

一方、新たな問題として、植物病原菌 *Streptomyces* 属菌が生産する食品毒が人の健康に影響を与える可能性について完全に否定できないであろうとの指摘もあった。食品中の混入の可能性やコンカナマイシン濃度などの研究が必要かも知れない。いずれにせよ、そうか病の防除法が確立されることにより解決される問題である。

今回のシンポジウムを契機として、近い将来にジャガイモそうか病に関する国際シンポジウムが開催されることを期待したい。

最後に、本シンポジウムの開催に当たり北海道馬鈴しょ生産安定基金協会、北海道澱粉工業協会、北海道、北海道農業研究センター、ホクレン農業共同組合連合会、および北海道植物防疫協会からは多大な財政的支援をたまわった。これら関係機関に厚くお礼申し上げる。さらに、本シンポジウム開催の端緒をたまわった北海道大学名誉教授生越 明先生、並びにシンポジウム要旨集作成に多大なご助力をたまわった北海道大学農学研究所近藤 則夫助教授および秋野聖之助手に深く感謝する。

## 参考文献

- 1) 馬鈴しょそうか病総合防除法開発プロジェクト運営会議 (2000)：ジャガイモそうか病総合防除法開発試験成績集、北海道馬鈴しょ生産安定基金協会、札幌、324 pp.
- 2) BOUCHEK, M. K. et al. (2000) : Intern. J. System. Evol. Microbiol. 50 : 91 ~ 99.
- 3) GOVER, C. et al. (1996 a) : Can. J. Plant Pathol. 18 : 107 ~ 113.
- 4) ——— et al. (1997 b) : Intern. J. System. Bacteriol. 46 : 635 ~ 639.
- 5) NAITO, S. et al. (2004) : Proceeding of the International Potato Scab Symposium (IPSS 2004), 395 pp.
- 6) 日本放線菌学会 (2001)：放線菌の分類と同定、日本学会事務センター、東京、413 pp.
- 7) 田中文夫 (2003)：土と微生物 57 : 69 ~ 77.