

## 海外情報

# JST-JICA SATREPS ベトナム、カンボジア、タイにおけるキャッサバの侵入病害虫対策に基づく持続的生産システムの開発と普及：研究成果

九州大学 大学院農学研究院 教授 高須 啓志、講師 野村 久子  
東京農業大学 農学部 助教 キム オッキョン  
国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター 植物ゲノム発現研究チーム  
チームリーダー 関 原明、研究員 徳永 浩樹、研究員 内海 好規  
名古屋大学 農学国際教育研究センター 准教授 伊藤 香純  
立命館大学 文学部 准教授 馬場 多聞

### 【要約】

2016–2021年度に国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）と独立行政法人国際協力機構（JICA）の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）により日本側研究機関（九州大学、東京農業大学、東京大学、国立研究開発法人理化学研究所〈以下「理化学研究所」という〉、名古屋大学）と、ベトナム、カンボジア、タイの計12の研究機関が四つの研究課題、病害の同定とモニタリングシステムの確立、害虫の個体群管理技術の確立、種苗管理体制の構築、健全種苗と持続的な生産方法の生産農家への普及に関する共同研究を実施した。

## はじめに

キャッサバの病害虫管理技術の開発およびベトナムとカンボジアにおける健全種苗生産・普及システムのモデルの構築を目的として2016–2021年度に日本、ベトナム、カンボジア、タイの計12の研究機関による国際共同研究を実施した。プロジェクト対象地域の概要およびプロジェクト構成、中間報告については本誌2018年5月号<sup>1)</sup>で紹介しているので参照いただきたい。本稿では、その研究成果を紹介する。

### 研究課題1. 病害の同定とモニタリングシステムの確立

ファイトプラズマが病原体であると考えられているキャッサバてんぐ巢病（以下「CWB」という）は2008年にアジアで最初に発見されて以降、ベトナム、カンボジア、タイでの発生が大きな被害を出していた。2016年以降ベトナムとカンボジアでのCWBによる大きな被害の報告はないが、タイでは

広い地域でCWBが発生していた。3カ国で採集したCWB病徴を示す株からファイトプラズマを検出、同定するとともにLAMP法を用いた検出技術を開発した。

2015年にカンボジアで初めて発見されたキャッサバモザイク病（以下「CMD」という）は2022年1月現在、カンボジアの全主要生産地、ベトナムの南部と中部、北部の一部の広い範囲で発生している<sup>2)</sup>。カンボジアとベトナムから採取したCMD病徴を示す株からウイルスを検出し、遺伝子解析を行った結果、病原ウイルスはスリランカキャッサバモザイクウイルス（以下「SLCMV」という）だけであった。カンボジアとベトナムのSLCMVは全塩基配列の解析で99.9%以上の相同性を示していたことから両国のウイルスは単一の起源に由来すると考えられ、2015年にカンボジア・ラタナキリ州で発生したSLCMVがカンボジア全土とベトナムへ広がったことが強く示唆された<sup>2)</sup>。

SLCMVの正確な検出法としてPCR法に加え、簡便で特殊な機器が不要、かつ現地圃場<sup>ほじょう</sup>での検出が可

能なLAMP法を本プロジェクト独自に開発した（写真1）。さらに、自作LAMPキットの乾燥化を進めることで室温での安定性を図り、電力供給の不安定にも対応が可能となった。

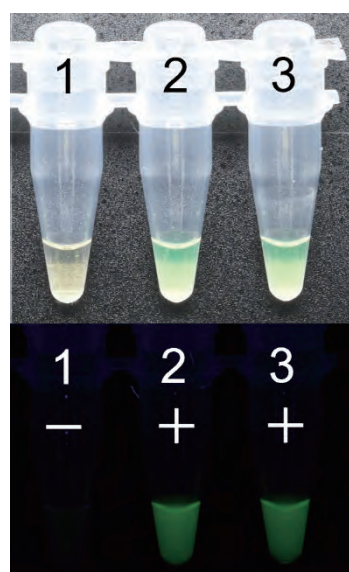


写真1 LAMPキットによるSLCMVの検出  
白色光下（上）とUV下（下）での陽性反応（2と3）

また、SLCMVを媒介するタバココナジラミ (*Bemisia tabaci*) は多くの遺伝型グループがあることが知られている。ベトナムとカンボジアのCMD発生圃場から採集したタバココナジラミのミトコンドリアCOI遺伝子配列の系統解析を行った結果、すべてAsia II 1に属することが明らかになった<sup>2)</sup>。

農業支援アプリ「AGRIBUDDY」の運営を行うAGRIBUDDY Ltd.の協力により、農家に圃場内で病気のような症状のあるキャッサバ写真を募集し、集まった写真の症状から研究者が病害を診断する、オンライン診断を実験的に試みた<sup>3)</sup>。この方法を使うことにより研究者が自ら現地を訪問することなく病害発生分布を知ることができると考えられた。

## 研究題目2. 害虫の個体群管理技術の確立

ベトナム南部とカンボジアのキャッサバ害虫・天

敵類の調査により、害虫12種、天敵昆虫類15種を同定した<sup>4)</sup>。主要な害虫は、キャッサバコナカイガラムシ（以下「コナカイガラムシ」という）、パパイヤコナカイガラムシ、タバココナジラミ、ハダニ類であった。主要害虫と天敵の形態や生態の一部は「キャッサバ害虫フィールドガイド」（英語、ベトナム語、クメール語）にまとめ出版した。また、健全種苗生産には定期的な病害虫モニタリングが必要であるため、目視による病害虫モニタリング結果を記載するモニタリングシートを作成した。さらに、株式会社山東農園と九州大学がキャッサバの主要病害虫の画像診断アプリAgrishot\_Cassava（英語〈<https://www.facebook.com/agrishotcassava/>〉、ベトナム語、クメール語、タイ語）を開発し、公開した。このアプリは、Facebook Messengerから病害虫に被害されたキャッサバの写真を送るとAIが自動で画像診断し、診断結果を返信するもので、野外のスマートフォンが利用できる環境であれば誰でも利用が可能である。

2018年度にCMDがベトナム南部とカンボジアでまん延し始めたが、野外のCMDおよび媒介虫タバココナジラミの実態は不明であった。そこで、2018年度にCMDとタバココナジラミの野外の動態調査としてベトナム南部のブンタウ省とピンズオン省のキャッサバ圃場のCMD感染率、媒介虫密度および感染率（全株数に対する病徴株の割合）を毎月調べた。その結果、キャッサバ圃場内で媒介虫は年間を通して低密度で推移したが、非常に効率的にウイルスを媒介し、圃場内でCMDが急速に拡大することが明らかになった。また、CMDの地域動態を明らかにするため、フンロック農業研究センター（以下「HLARC」という）から半径5キロメートルのキャッサバ圃場（86～150圃場）におけるCMD感染率とコナジラミ密度を調査した。2019年度にこの地域にCMDの感染拡大が起こり、

2020年度には多くの圃場でCMDに感染していない株が植えられたが、栽培期間中コナジラミの防除（農薬散布）やCMD病徴株の除去は行われず、収穫時には多くの圃場でCMD感染率がほぼ100%となった。この地域で健全種苗が入手できないため2021年度は多くの圃場でCMD感染苗が植え付けられた。

2008年にタイに侵入後東南アジアで大発生したコナカイガラムシに対してタイ政府は寄生蜂キャッサバコナカイガラムシトピコバチ（以下「トピコバチ」という）を国際熱帯農業研究所（IITA）から導入し、放飼した<sup>5)</sup>。この生物的防除はタイで大成功し、被害は激減した。ベトナムとカンボジアでの防除効果を明らかにするため野外調査を行った結果、トピコバチは有効に作用し、主に乾期に発生するコナカイガラムシ個体群を低密度に維持していることが分かった。また、サトイモ（タロイモ）を代替寄主として利用したコナカイガラムシとトピコバチの効率的な室内飼育法を開発した（写真2）<sup>6)</sup>。



写真2 タロイモで発育するキャッサバコナカイガラムシに産卵中の寄生蜂

### 研究題目3. 種苗管理体制の構築

ベトナムの農業遺伝学研究所（以下「AGI」という）とHLARC、カンボジアのバツタンバン大学（以下

「NUBB」という）で主要栽培品種の原種苗を組織培養苗と網室内栽培で維持する体制を確立した。また、硝酸態窒素を含む水耕液を植物に噴霧し、安定的に発根・生育させるキャッサバ苗の効率的な水耕栽培法を開発した<sup>7)</sup>。さらに、原種苗を網室内で栽培・維持品種を見分けるために各品種の形態的な特徴を示したディスクリプタを作成した（写真3～5）。



写真3 組織培養苗



写真4 キャッサバ苗の水耕栽培（エアロポニック栽培）



写真5 網室 (NUBB)

ベトナムのHLARCとカンボジアのNUBBではストック種苗生産圃場を設置して2017（平成28）年度から毎年ストック種苗の栽培および収穫を継続してきた（表1）（写真6、7）。NUBBのストック種苗生産圃場ではCMDの感染はこれまでまったくない。HLARCストック種苗生産圃場では周囲圃場のCMD感染拡大に伴い、2019-2020年度にHLARC敷地内圃場やストック種苗生産圃場の一部の株にCMD感染が確認されたが、定期病害虫モニタリングにより病徴株は除去し焼却処分した。収穫前にPCR検査を行い、2021年に陰性株をストック種苗として植え付け、現在栽培中である。

表1 ベトナムとカンボジアの品種別ストック種苗生産数

（単位：株）

国・研究機関	品種	年度				
		2017	2018	2019	2020	2021
ベトナム・HLARC	HL-S12	6500	7500	5000	3500*	5100
	KU50 (KM94)	—	—	—	3300	6400
	KM140	0	—	6200	3500*	—
カンボジア・NUBB	KU50	1800	—	1250	800	1000
	Rayong 7	1300	1200	1000	600	1000
	Rayong 9	—	700	1200	600	1000
	Huay Bong 60	—	1400	500	600	1000

資料：筆者作成

注：ストック種苗は毎年3～5月に植え付け、翌年2～3月に収穫。



写真6 NUBBにおけるストック種苗生産圃場（左：2017年8月撮影、右：2018年12月撮影）



写真7 ストック種苗生産圃場（左：植え付け準備、右：植え付け）

AGIに導入した国際熱帯農業センター（CIAT）のキャッサバの有望な育種材料および既存の系統の中から、CMD抵抗性の選抜を行った結果、C33系統は栽培期間中終始無病徴でありSLCMVに対して抵抗性を持つことが判明した<sup>2)</sup>。C33系統は、アジア栽培品種と比較して塊根の収量やでん粉含量は低いいため普及品種に適しておらず、現在、C33系統や他の品種を利用したCMD抵抗性品種の作出が行われている。

キャッサバの交配育種における問題の一つは、開花までの時間の長さにある。植え付けから開花までの期間を短縮できれば育種サイクルが短くなり、その分効率的に交配育種を進めることができる。そこで、まず、接ぎ木による早期開花技術と開花を制御する環境要因について研究した。理化学研究所では、接ぎ木による早期開花技術として、花芽を誘導するシグナル因子であるフロリゲン遺伝子（以下「FT」という）を過剰発現させた形質転換キャッサバを台木にして穂木のキャッサバ品種にも開花を誘導する研究を実施している<sup>2)</sup>。

開花を制御する環境要因を明らかにするため、キャッサバの開花を誘導する気象や栽培条件を調べるとともに、キャッサバの開花を誘導する仕組みを分子レベルで解析した。3年間の栽培調査では、平地の一般的な圃場（ハノイ市、ドンナイ省、バツタンバン州）では開花しないが、標高の高い地域（バツカム省、ランドン省）で開花することが分かった。

また、キャッサバを低温条件で栽培すると花成ホルモンをコードするFT遺伝子の誘導および花序形成が促されることを初めて明らかにした<sup>8)</sup>。

形質転換技術を利用すればCMD抵抗性やその他の有用な農業形質を実用品種に効率的に付与することができる。理化学研究所ではアジアの実用品種KU50の胚形成カルス誘導法と形質転換方法を世界に先駆けて開発した。これは、アジアにおけるキャッサバの分子育種を推進する上で大きなブレイクスルーである<sup>9)</sup>。

2016年度タイ国内の研究機関および農家の持つ種苗管理技術や栽培技術に関する現地調査を相手国機関（AGI、HLARC、NUBB）と共に実施し、これまでにキャッサバディスクリプタ、点滴かんがい設備、キャッサバ順化技術などの技術を移転した。

#### 研究題目 4. 健全種苗と持続的な生産方法の生産農家への普及

ベースライン調査を2017年度に実施し、ベトナム・カンボジア両国の一般的なキャッサバ生産者の生産状況と社会経済状況を明らかにした。両国のキャッサバ生産者とも一定数苗を新規に購入していた（ベトナム：キャッサバの栽培面積5ヘクタール以下の生産者の約3割、5ヘクタール以上の約2割、カンボジア：1ヘクタール以下の生産者の約3割、1ヘクタール以上の約5割）。キャッサバ生産者の世帯の多くは雇用労働を主な収入源としており

(ベトナム47.2% (n=176)、カンボジア45.2% (n=199))、キャッサバを主な収入源としている生産者はベトナムで22%、カンボジアで28%であった。ベトナムでは苗の購入先は5割が隣人や親類から、5割が種苗販売者から、それぞれ購入しており、種苗販売ビジネスの存在が示唆された。カンボジアの苗の購入先は、8割弱がバタンバン州やパイリン州内の近隣であったが、タイやベトナムの商人から購入した事例もそれぞれ約1割見られた。キャッサバ苗の販売の需要があること、病害虫感染拡大を招く可能性が高い苗の移動や病害虫に対する知識が無く病害虫防除を行わない農家が半数近くあることから、病害虫管理の知識や技術の普及の必要性が確認された。また、キャッサバ芋は、農家自身または仲買人を通じて集積加工場に集められることや、仲買人・集積加工場・輸出はキャッサバの大規模生産者が担う傾向があることが分かった。

次に、ベトナムのHLARCとカンボジアのNUBBで生産されたストック種苗を増殖して一般生産者に販売する「健全種苗生産者」を通じた持続的な生産体制を構築した。健全種苗生産者には、2週間ごとの病害虫モニタリングを課した。ベトナムおよびカンボジアにおける健全種苗生産者数、健全種苗の販売者数、販売量の推移を表2に示す。

ベトナムでは、2018年度にドンナイ省で健全種苗を生産した3軒のうち2軒は、収穫時の低い塊茎でん粉含量を理由に健全種苗の生産を断念した。2019年は1軒、2020年度は4軒の生産者が新たに健全種苗生産を試みたが、ドンナイ省のCMD感染拡大により生産者5軒すべての圃場でのCMDの感染率が高くなり、最終的には健全種苗として認められる生産者はなかった。2021年度は、新たに2軒が健全種苗生産を試みている。

カンボジアでは、NUBBで生産された健全種苗(KU 50とRayong 7)を2軒のキャッサバ生産者(バタンバン州に所在するキャッサバ組合長とバンティミンチェイ州でドイツ国際協力公社(以下「GIZ」という)と連携しているキャッサバ生産者)へ売却し、病害虫モニタリング法を指導した。また、GIZと連携し、ウドンミエンチェイ州とバンティミンチェイ州のキャッサバ生産者向けのワークショップを開催し、健全種苗や病害虫モニタリング法の情報を提供した。バンティミンチェイ州の生産者の状況を見た生産者が健全種苗の生産に興味を持ち、翌年以降の生産者数が増えた(表2)。健全種苗生産者による病害虫モニタリングの実施は定着しつつある。また、生産した健全種苗の一般農家への販売も行われ、市場価格よりわずかに高い価格設定をする

表2 ベトナムとカンボジアの健全種苗生産

(単位: 軒、株)

国	年度	健全種苗生産者数	継続者数	健全種苗の販売者数	健全種苗の販売数
ベトナム	2018	3	—	1	30,000
	2019	2	1	1	20,000
	2020	5	1	0	0
	2021	2	—	—	—
カンボジア	2018	2	—	1	2,000
	2019	6	2	2	3,495
	2020	15	6	8	26,600
	2021	13	13	1	1,900

資料: 筆者作成

注: 継続者数は同年度の健全種苗生産者のうち前年度も健全種苗を生産した者の数。

生産者も見られた。以上、カンボジアの健全種苗生産者の場合、CMDの感染が抑制されれば、小規模ビジネスとして継続することは可能であると考えられる。

ベトナムでは、本プロジェクトの共同機関の一つであるHLARCがキャッサバの健全種苗の生産を実施しているが、カンボジアにおいてキャッサバ生産を担当する農林水産省農業総局（以下「GDA」という）は本プロジェクトの共同研究機関ではない。そこで、GDAとワークショップなどにより情報・技術の共有を行うとともに、主要なキャッサバ生産州の地方農業局職員を対象とした研修を行った。ベトナム・カンボジアのキャッサバ生産農家のほとんどが病害虫に関する十分な情報を持たないことを踏まえて、キャッサバの病虫害や栽培技術に関する情報（リーフレット、ポスター、Tシャツなど）をパッケージとしてキャッサバ生産者に配布した（写真8）。結果、普及対象農家に対する調査結果から病害虫の基本情報や防除法を示したポスターにより農家の病害虫の知識や防除法の実践が向上することが証明された。



写真8 農家へ配布した情報パッケージの一部

## おわりに

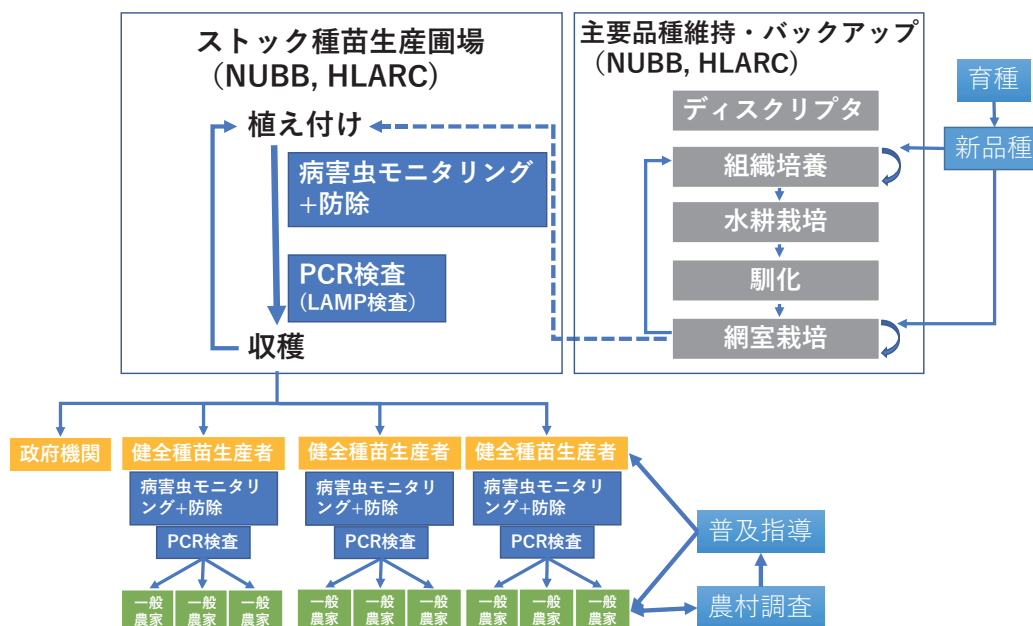
本プロジェクトでは上述したキャッサバの主要病害虫管理および種苗生産の技術を開発し、それらを利用したベトナムとカンボジアにおける健全種苗生産・普及システムのモデルを構築した（図）。より詳細な成果は、成果報告などを参照されたい<sup>10)・11)</sup>。

しかし、ベトナムおよびカンボジアではCMD感染拡大が続いており、プロジェクトで構築した民間を利用した健全種苗増産や普及を拡大させる状況ではない。現在、ベトナムやタイの研究機関で精力的にCMD抵抗性品種の開発が進められている。高収量、高でん粉含量を持つCMD抵抗性品種の開発後、その品種の増産と普及にプロジェクトで開発した技術や生産・普及システムが利用されることであろう。

## 謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST、JPMJSA1508）と独立行政法人国際協力機構（JICA）の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）の支援を受けて実施した。

図 ベトナムおよびカンボジアにおける健全種苗生産・普及システム



#### 引用文献

- 1) 野村久子他 (2018) 「ベトナム、カンボジア、タイにおけるキャッサバの侵入病害虫対策に基づく持続的生産システムの開発と普及 (2016-2021) について」『砂糖類・でん粉情報』(2018年5月号) pp.61-68.独立行政法人農畜産業振興機構
- 2) Uke A. et al. (2021) 「Cassava mosaic disease and its management in Southeast Asia.」『Plant Mol Biol.』〈<https://doi.org/10.1007/s11103-021-01168-2>〉 (2022/4/5アクセス)
- 3) Agribuddy Ltd. 「ケーススタディ SATREPSとの取り組み」〈<https://www.agribuddy.com/case-studies/satreps>〉 (2022/4/5アクセス)
- 4) Tokunaga H. et al. (2018) 「Sustainable Management of Invasive Cassava Pests in Vietnam, Cambodia, and Thailand.」 In: Kokubun M., Asanuma S. (eds) 『Crop Production under Stressful Conditions.』 Springer, Singapore.
- 5) 高須啓志 他 (2021) 「東南アジアに侵入したキャッサバコナカイガラムシの生物的防除」『昆虫と自然』 56巻 pp.39-42 ニューサイエンス社.
- 6) Nguyen Tuan, D., et al. (2020) 「Taro *Colocasia esculenta* as an alternative host plant for rearing cassava mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) and its parasitoid *Anagyrus lopezi* (Hymenoptera: Encyrtidae).」『Appl Entomol Zool』 55.巻pp.355-359.
- 7) Tokunaga, Hiroaki (2020) 「An efficient method of propagating cassava plants using aeroponic culture」『Journal of Crop Improvement』 34巻1号 pp.64-83.
- 8) Hiroki Tokunaga, et al. (2020) 「Field transcriptome analysis reveals a molecular mechanism for cassava-flowering in a mountainous environment in Southeast Asia」『Plant Molecular Biology』〈<https://doi.org/10.1007/s11103-020-01057-0>〉 (2022/4/5アクセス)
- 9) Utsumi, Yoshinori, et al. (2021) 「*Agrobacterium*-mediated cassava transformation for the Asian elite variety KU50」『Plant Mol Biol.』〈<https://doi.org/10.1007/s11103-021-01212-1>〉 (2022/4/5アクセス)
- 10) JICA 「ODA見える化サイト ベトナム、カンボジア、タイにおける戦略作物キャッサバ侵入病害虫対策に基づく持続的生産システムの開発と普及」〈<https://www.jica.go.jp/oda/project/1500605/index.html>〉 (2022/4/5アクセス)
- 11) JST SATREPS 「ベトナム、カンボジア、タイにおける戦略作物キャッサバ侵入病害虫対策に基づく持続的生産システムの開発と普及」〈[https://www.jst.go.jp/global/kadai/h2708\\_vietnam.html](https://www.jst.go.jp/global/kadai/h2708_vietnam.html)〉 (2022/4/5アクセス)



