パラグアイの植物ウイルス研究の現状とウイルス病（1）

社団法人日本植物防疫協会研究所　匠原（しょうはら）　監一郎（けんいちろう）

はじめに

南アメリカ大陸のやや南寄りに位置するパラグアイ共和国は，年平均気温 21℃，年間降雨量 1,650 mm で，亜熱帯性気候圏に属し，ブラジル，ボリビア，アルゼンチンの 3 か国に囲まれた内陸国である。

面積 40 万 7 千 km²（人口 440 万人）の比較的平たんな国土は，その中央部を北から南へ流れるパラグアイ川によって，西部のチャコ地方と東部地域に二分される（図-1）。高温乾燥気候のチャコ地方では，森林を開拓して牧畜が行われ，人口の 98%が住む東部地域は土地も肥沃で畑作が盛んである。

産業構造をみると，イタイプダムによる世界最大の発電力がありながら，国内では農牧林業とその関連製造業の占める割合がきわめて高く，それ以外にこれといった産業もない。

図－1　パラグアイ共和国

一方，農業形態は，一般には国内自給を満たすだけの，生産性の低い伝統的農法が続けられている。社会基盤の整備も相当に遅れており，パラグアイは現在農牧立国として生産性向上に努めているが，そのためにはわが国をはじめ欧米先進諸国の農業分野での経済的，技術的援助に依存するところが大きい。

筆者は，1991 年 7 月から 3 か年間，農林業分野の基礎研究協力の一環として，国際協力事業団（JICA）から派遣され，作物保護教育・研究の強化を図るために，国立アスンシオン大学農学部で個別専門家として勤務した。

1891 年に創立されたこの大学は，首都アスンシオン南東に隣接するサン・ロレンソ市にあって，1 万 m² 余りのキャンパスに 10 学部が統合配置され，首都に残る医学部と法学部を含めて 2 万名の学生が学ぶ国内唯一の総合大学である。

農獣医学部として 1954 年に発足した農学部は，1974 年に分離独立して拡充整備され，今では二つの分校を含めて，12 学科に 900 名の学生と 350 名の教職員を擁する。

カウンターパート（CP）は，植物病理と生物工学両学科の主任教授，教授，助手で，皆友好的かつ熱心であった。研究室では実験設備を調整，補完しながら，技術協力の目標として，これまでになされていなかった植物ウイルスの研究方法に関して，基礎から応用まで理論を含めて指導することになった。

本稿と次号で，不完全ながらもできる範囲で実施したパラグアイのウイルス病についての調査，研究の結果を紹介する。

I　パラグアイの農業

パラグアイの産業構造をみると，農牧林業が国内総生産（GDP）の 27%を占める最大の産業で，可働人口の 40%が直接従事している。また，製造業の大半が一次産品加工であるから，これを加えると，実に GDP の 45%，全就労者の半数が農牧林業とその関連産業に関与している（1992 年，在パ日本大使館資料）。

国土の 90%以上が畑作，牧畜，林業に適した耕地，牧草地及び森林である。人口の 98%が住む東部地域はテラ

The Status Quo of Virus Research and Plant Virus Disease in Paraguay (I).　By Kenichiro SHOHARA

ロシア土壌で土地も肥沃なため，ダイズ（40万ha），ワタ（95万ha），コムギ（20万ha）の他，サトウキビ，トウモロコシ，キャッサバ，タバコなどが自給用または換金作物として栽培されている。カンキツ類，マンゴー，バナナなども豊富にあって常食されている。

最近，都市部では肉食主体の食生活改善も推進され，トマト，ナス，キュウリのほか，イチゴ，メロン（すべて露地栽培）及び緑色野菜類の消費も増えてきた。近郊農家ではハクサイ，キャベツ，レタス，ホウレンソウの栽培も盛んになってきた。

南部三角地帯（首都アスンシオン，エステ市，エンカルナシオン市を結ぶ域内）で生産されるダイズ，綿花は輸出産品の65%を占め，肉製品と木工品（計20%）とともに重要な外貨獲得源になっている。畜産は肉牛が主体で，広大な草地に放牧した粗放なものであり，肥育に年数を要するものの，現在全国頭数は700万頭以上といわれる。

一方，1960年代後半から農業生産が順調に延びてきた背景には，新しい技術の導入による農法の改良結果というよりは，自然林を伐採して農地を拡大したためとされている。生産力のある改良品種が導入されたり，一部で除草剤をはじめ殺虫・殺菌剤等農薬が有効に利用され始めたものの，他方で顕著な土壌侵食と自然破壊を引き起こして問題となっている。

II 教育制度

教育制度は，初等，中等及び大学以上の高等教育に区分される。就学年齢6，7歳から始まる初等の義務教育は6年間で，1990年度の就学率は83%とされている。次に希望者が6年間の中等教育を受ける。3年間の基礎教育課程（日本の中学校にあたる）と，それに続く工業，農業，商業または一般教育などのコースを選択する3年間の専門課程（高等学校）があり，この間に男子には兵役の義務がある。1993年度に中等教育を受けている者は，該当年齢者の約半数で，文盲率は全国平均で13%前後と聞いている。

高等教育機関には国立と私立の大学のほかに，職業訓練校（専門学校）がある。アスンシオン大学への入学は，学部別に行われる試験によって許諾され，競争率は年により，学部によって異なるが大体3〜9倍で，入学金や授業料はない。

農学部は5年制で，講義は3月に始まって11月に終わり，前期と後期に分かれる。11月中旬から翌年の3月まで(1月は夏期休暇)試験期間で3回のチャンスがあり，合格者は進級及び5年生は卒業できる。

カリキュラムの構成は，1，2年生が数学，化学，遺伝学，微生物学などの基礎科目，3，4年生が農場実習を含めて，そ薬学，果樹学，畜産学，林学などの専門科目を受講する。植物病理学や昆虫学もこれに含まれる。第5学年には四つのコースがあり，農業生産，農村経済，農業工学または家畜繁殖のうち一つを専攻する。作物保護学や農業害虫学の講義は農業生産コースに含まれ，同時に用意されたテーマを選んで専攻実験（卒論実験）を行い，レポートを提出する。

III 試験研究機関とウイルス病研究

国の中心的な研究機関として，農牧省農業試験場(IAN，カークペ市）と地域農業研究センター（CRIA，カピタン・ミランダ）がある。東部のイグアス移住地にはJICAの農業総合試験場（CETAPAR）があって，日系移住者の農業振興とパラグアイ技術者の育成に寄与している。

これらの試験場には作物保護をはじめ，育種，栽培，土壌肥料，農業気象などの研究室があり，現在では主に日本の個別派遣またはプロジェクト方式による技術協力が行われている。また，各地に果樹，林木，畜産などの専門試験場もあり，日本の農業改良普及所に相当する機関も設置されている（西部のチャコ地方にはドイツの協力によるチャコ中央研究所があって，土壌調査と適応作物の研究が開始された)。

パラグアイ人子弟の農業教育の場として，アスンシオン大学とカトリック大学の農学部及び分校があり，穀物，そ菜，果樹の栽培実習が行われているが，ウイルス病対策はほとんどなされていない。

いずれの機関も，外国の援助協力がある場所を除いて，研究費や活動費が極度に不足していて，人も設備も十分に機能しているとは言い難い。

ウイルス病に対する取り組みを見ると，例えばIANではJICA専門家を中心にしたイチゴのウイルスフリー化計画があって，メリカルチャーによる無毒苗が農家へ配布された。最近では同じくIANで，ワタのblue disease（または葉巻病）やトマトのVira cabeza（ビラ・カベサ）症（トマト黄化えそウイルス，TSWV）に対する抵抗性品種の選抜試験が行われたが，ウイルス検定が一切なされておらず，ウイルスを特定しないままに作業が進められていた（これらの病気については後で述べる)。CRIAでも同様の状態で，病理担当者はダイズやコムギのウイルス病を主要テーマの一つにあげていたが，具体的な内容については聞けなかった。

CETAPARでは，日本の病害虫専門家が防除対策と

指導に活躍していて，ウイルス病対策の一環として弱毒系TMVによるトマトのモザイク病防除試験も行われている。なお，チャコ中央研究所では，現在のところ生理的障害を除いて，ウイルス病やその他の病虫害についての研究はなされていない。

次にアスンシオン大学農学部での状況について記す。植物病理学科と生物工学科のCPが植物病理学，作物保護学及び応用微生物学を担当し，講義や実習の一部としてウイルス病とその防除対策や植物ウイルスの概説が含まれている。学生実習では，数種葉タバコに対するタバコモザイクウイルス（TMV）の接種実験が行われ，全身感染と局部病斑を例にとって作物のウイルス病抵抗性が説明されていた。

1　植物病理学科

独立した平屋レンガ造りの建物（250 m²）に，教授と秘書用の4事務室，備品室，培養基室，診断室，線虫実験室，ウイルス実験室，学生実習室がある。4年生までの講義は，隣接する2階建の集中講義室で行われる。

備品室にはシステム顕微鏡，卓上クリーンベンチ，陽光式定温器など，培養基室には旧式のオートクレーブと乾熱滅菌器，線虫実験室にはベールマン装置と低速遠心機があったが，ウイルス実験室は物置になっていた。外にガラス室と網室（それぞれ20 m²）が付属している。

この学科の主テーマは，政府プロジェクトの一環として，キャッサバの *X. campestris* pv. *manihotis* とサトウキビの *Clavibacter xily* に対する抵抗性を含めた優良品種の探索試験を担当するとともに，全国の農家や試験場から持ち込まれる病植物の診断と防除対策に，有償で応じることである。菌類病と線虫病には検鏡による診断が実施されているが，細菌病，ウイルス病または生理病については，すべて外部病徴による推察の域を出なかった。現在では少なくとも生物検定と血清試験が実施されていると思われる。

2　生物工学科

学生管理棟内の一角に事務室，ガラス器具洗浄用と滅菌用設備だけの実験室，クーラーと照明を備えた植物育成室及びその中に木製ガラス張りのクリーンルームを設置して1学科をなしており，これに遮光網付の網室（100 m²）が付属している。

ここでは主としてカンキツトリステザウイルス（CTV）を対象にしたカンキツ類のウイルスフリー化試験が行われていた。手法はプリミティブで，生長点部分を切り出してカラタチ胚軸に接ぐ「（簡易）生長点接木法」を行っていたが，熱処理の行程が十分になされていないと見受けられた。ウイルス検定は，ステムピッティングの有無と，メキシカンライムまたはエトログシトロンへの接木による生物検定とが行われていた。今ではエライザ法を導入して，フリー株の検査や国内各地での無毒樹の探索などに取り組んでいる（後述）。

Ⅳ　ウイルス病調査とウイルス検定

1　調査場所

農学部の実習圃場は，キャッサバ，サトウキビ，ヒマワリをはじめ，野菜，花卉，緑肥作物など小規模ながら多種類の作物が年間を通じて連作されるために，好適な観察場所であった。

アスンシオンとサン・ロレンソ近郊のパラグアイ人や日系人が経営する野菜農場では，トマト，ピーマン，レタスなどは露地で通年栽培され，また，キャベツ，カリフラワー，ホウレンソウ，イチゴなどは冬期から夏期にかけて相当規模で収穫出荷されるために，定期的に訪れ調査した。南部三角地帯や東部のイグアス地域の日系農家ではダイズとコムギの輪作体系が確立し，大規模農業が行われている。同時にこれらの農家では，ネギ，シ

表－1　調査対象植物（下線は大規模農場で調査したもの）

イネ，オオムギ，コムギ，トウモロコシ，キャッサバ，ジャガイモ，サツマイモ，ダイズ，アズキ，インゲン，ササゲ，エンドウ，ラッカセイ，クワ，タバコ，ヒマワリ，ゴマ，サトウキビ，ステビア，ナタネ，ハッカ，ジェルバ(マテ)，ワタ，ルピナス，クロタラリア，トマト，ナス，トウガラシ，ピーマン，キュウリ，マクワウリ，メロン，スイカ，カボチャ，ヘチマ，ダイコン，ハクサイ，キヤベツ，カリフラワー，ブロッコリー，カブ，カラシナ，コマツナ，チンゲンサイ，タマネギ，ネギ，ラッキョウ，ニラ，ニンニク，アスパラガス，ゴボウ，シュンギク，フキ，ニンジン，セルリー，ミツバ，シソ，ホウレンソウ，サトイモ，ショウガ，ミョウガ，イチゴ，ツルナ，オクラ
カンキツ類，リンゴ，セイヨウナシ，モモ，スモモ，アンズ，ウメ，ブドウ，カキ，クリ，ビワ，キウイ，バナナ，パイナップル，アボカド，マンゴー，パパイヤ，ヤシ，ドリアン，アサガオ，アスター，キンセンカ，コスモス，スィートピー，センニチコウ，ニチニチソウ，ペチュニア，マリーゴールド，オシロイバナ，カーネーション，ナデシコ，ガーベラ，キク，ゼラニウム，ベラドンナ，リュウゼツラン，アジサイ，バラ，ハイビスカス，ピラカンサ，アベリア，サルスベリ，ラパチョ（*Tabebuia* spp.），ハカランダ（*Jacaranda mimosifolia*），パロサント（*Bulnesia salmientoi*），ツバキ，カンナ，グラジオラス，ダリア，ユリ，アロエ，カトレア，サボテン，シンビジウム，その他ラン類，ヤナギ，キリ，トベラ，ソテツ，マツ，フェニックス，シュロ，アカクローバ，シロクローバ，アルファルファ，シバ，ツユクサ（*Commelina diffusa*），タハ・タハ（*Desmodium tortousum*），*Sida cordifolia*，*Caryatia* spp.，バーベナ（*Vervena intermedia*）トロ・ラティ（*Acantospermum hispidum*），*Chenopodium* spp.，*Lonicera* spp.，*Rumex paraguayensis*，*Solanum reflexum*，*S. sisymbriifolium*，*Physalis* spp.，*Nicotiana longiflora*，*Polygonum punctatum*，*Cyperus* spp.

表-2　ウイルス検定結果

作(植)物名	症　状[1]	電顕観察[2]	生物検定[3]	血清試験[4]	判　定[5]
コムギ	M,St.	Potyvirus			(WSMV)
トウモロコシ	M,Stu	Potyvirus, 球(30)	グルチノーザ(M), ササゲ(LL)	CMV(+)	SCMV,CMV
キャッサバ	YS,CS,m	Carlavirus,Tobamovirus, 球(25)			2,3 種類(未同定)
ジャガイモ	M,N,LR	Potyvirus,Carlavirus,Potexvirus	サムスン(M,LL,N)	PVY(+),PVX(+)	PVY,PVM(S),PVX(PLRV)
ダイズ	M,LR	Potyvirus			SMV
インゲン	M	Potyvirus			BYMV
ササゲ	M,Mal	Potyvirus			CoMV
エンドウ	M	球(25)			BBWV
ラッカセイ	M	Potyvirus	キノア(LL)		PMoV(PStV)
タバコ	M,Mal	Potyvirus,Tobamovirus, 球(30)		PVY(+),TMV(+),CMV(+)	PVY,TMV,CMV
ヒマワリ	m,YS	—	サムスン NN(−), キノア(−)	PVY(−),CMV(−)	(?)
ステビア	Y,St	球(25)			(BBWV)
ワタ	LC,Stu	—			(Blue disease ?)
ルピナス	M,Stu	Potyvirus			BYMV
クロタラリア	M	Potyvirus			BYMV
トマト	M,N,Y,Stu,LR,Mal	Potyvirus,Tobamovirus, 球(30)	グルチノーザ(LL,M), サムスン(LL,M), サムスン NN(LL,M)	TMV(+),PVY(+),CMV(+),TSWV(エライザ,+)	TMV,PVY,CMV,TSWV
トウガラシ・ピーマン	M,N,St,Y	球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL), キノア(LL)	CMV(+),TMV(−),PVY(−)	CMV
キュウリ	M	Potyvirus, 球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL)	ZYMV(+),CMV(+)	ZYMV,CMV
メロン	M	球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL)	CMV(+)	CMV
スイカ	M	Potyvirus, 球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL)	ZYMV(+),CMV(+)	ZYMV,CMV
カボチャ	M	Potyvirus, 球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL)	CMV(+),ZYMV(−)	WMV,CMV
ダイコン・カブ	M,Stu	Potyvirus, 球(30)	サムスン NN(−), ササゲ(LL)	CMV(+)	TuMV,CMV
ネギ	M,Stu	Potyvirus			(OYDV)
アスパラガス	M	球(30)	グルチノーザ(M), ササゲ(LL)	CMV(+)	CMV
ゴボウ	YM	Closterovirus(?)			(BuYV)
ホウレンソウ	Y,Stu	球(25)		CMV(−)	BBWV
サトイモ	M	Potyvirus	グルチノーザ(−), キノア(−)	CMV(−)	DMV
ショウガ	M	—	グルチノーザ(M), キノア(−)	CMV(+)	CMV
イチゴ	Y,Stu	—			(?)
カンキツ類	St. P,D	—	メキシカンライム(+), エトログシトロン(+)	CTV(ELISA,+)	CTV,CExV,(CiMV)
パパイヤ	M,Mal,RS	Potyvirus	キュウリ(m), ササゲ(−)		PRSV
ニチニチソウ	M	球(25)	サムスン NN(−), ササゲ(−)	CMV(−)	BBWV
ペチュニア	M	球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(LL)	CMV(+)	CMV
オシロイバナ	Y,RS	球(25)		CMV(−)	BBWV
カーネーション	M	Potyvirus, 球(30)	サムスン NN(−), キノア(M)(LL)	CMV(−)	CaVMV,CaMV
キク	—	Carlavirus	サムスン NN(−), グルチノーザ(CS)		CVB
ユリ	—	Carlavirus	サムスン NN(−), グルチノーザ(−)		LSV
ラン類	m,NRS	Tobamovirus,Potexvirus	アマランティカラー(LL), キノア(LL)	ORSV(+)	ORSV,CyMV
シロクローバ	M	Potexvirus	ササゲ(m), アマランティカラー(−)		WCMV
ツユクサ	M	球(25), 球(30)	サムスン NN(M), ササゲ(+)	CMV(+)	BBWV,CMV
バーベナ	m	球(30)	グルチノーザ(M), ササゲ(LL)	CMV(+)	CMV
トロ・ラティ	Y,RL	—	サムスン(−), グルチノーザ(−)	TSWV(エライザ+)	TSWV

S. sisymbriifolium	m, Y	—	サムスン(−), グルチノーザ(−)	TSWV(エライザ+)	TSWV
Physalis spp.	M, Y	—	グルチノーザ(−), ササゲ(−)	TSWV(エライザ+)	TSWV
N. longiflora	m, Y	—	グルチノーザ(−), ササゲ(−)	TSWV(エライザ+)	TSWV

1) 病徴略号　M：モザイク，St：条斑，Stu：萎縮，YS：黄斑，CS：退色斑，N：えそ，LR：葉巻，Mal：奇形，LC：巻葉，St.P：ステムピッティング，D：枯死，RS：輪点，NRS：えそ輪点（小文字は軽い病徴を示す）

2) (　) は球形粒子の直径を nm で示す

3) 主な指標植物の病徴．LL は局部病斑，その他は注 1 に同じ，(−) は非感染を示す．

4) ミクロプレシピチンテスト：(−) は反応陰性，(エライザ，+) はエライザ法陽性反応を示す．

5) 原寄主の病徴及び検定結果からウイルスを判定した．不確実なものは (　) に入れた．

ウイルス名　WSMV：Wheat streak mosaic virus, SCMV：サトウキビモザイクウイルス, CMV：キュウリモザイクウイルス, PVY：ジャガイモ Y ウイルス, PVM(S)：ジャガイモ M(S)ウイルス, PVX：ジャガイモ X ウイルス, PLRV：ジャガイモ葉巻ウイルス, SMV：ダイズモザイクウイルス, BYMV：インゲンマメ黄斑モザイクウイルス, CAMV：ササゲモザイクウイルス, BBWV：ソラマメウイルトウイルス, PMoV：ラッカセイ斑紋ウイルス, PStV：Peanut stripe virus, TMV：タバコモザイクウイルス, TSWV：トマト黄化えそウイルス, ZYMV：ズッキーニ黄斑モザイクウイルス, TuMV：カブモザイクウイルス, OYDV：ネギ萎縮ウイルス, BuYV：ゴボウ黄化ウイルス, DMV：サトイモモザイクウイルス, CTV：カンキツトリステザウイルス, CExV：カンキツエクソコーティスウイロイド, CiMV：カンキツモザイクウイルス, PRSV：パパイヤ輪点ウイルス, CaVMoV：カーネーションベインモトルウイルス, CaMoV：カーネーション斑紋ウイルス, CVB：キク B ウイルス, LSV：ユリ潜在ウイルス, ORSV：オドントグロッサムリングスポットウイルス, CyMV：シンビジウムモザイクウイルス, WCMV：シロクローバモザイクウイルス

ソ，サトイモ，ダイコンなど，日本で通常みられる多種多様な野菜（及びウメ，カキなどの果樹類）が自家用として植えられている。これらの地域へは適時出かけて調査，採集した。

カンキツ類の調査は，チャコ地方，エンカルナシオンまでの国道 1 号周辺，東北部のサン・ペドロ周辺など広域調査した。

調査の対象とした作物と，樹木，雑草を含むその他植物を表-1 に示した。

2　ウイルス検定

病徴を示す作物（植物）を株ごと抜き取り，大学周辺ではその日のうちに，また遠方からは試料をクーラーボックスに氷詰めにして持ち帰り，電顕観察，生物検定及び血清試験に供した。

ウイルス粒子の電顕観察は，固定（10%中性ホルマリン，または 2%グルタルアルデヒド），または未固定の葉片を 2%PTA による DN 法で調製し，JEM100-SX 透過型電顕（医学部保健科学研究所）によって行った。

生物検定用には，グルチノーザ（*N. glutinosa*），サムスン（*N. tabacum* 'Samsun'），サムスン NN（'Samsun NN'），キノア（*C. quinoa*），アマランティカラー（*C. amaranticolor*），ササゲ（十六文）を常時準備して供試し，必要に応じてキュウリ，カボチャ，エンドウ，コマツナそのほかの指標植物を育苗した。接種は常法のカーボランダム法によった。なお，カンキツ類の接木検定については別に記す。

日本から購入送付された 8 種類の抗血清〔CMV, ZYMV, TMV (3 系統), PVY, PVX, CGMMV (2 系統), ORSV, CTV〕及び現地で米国と英国からそれぞれ入手した CTV と TSWV（ポリクローナル及びモノクローナル抗体）を用い，主としてミクロプレシピチンテストとエライザ法によって血清試験を行った。リングテストや（簡易）寒天ゲル拡散法も必要に応じて実施した。

V　調査・検定結果

パラグアイ国内の各地農場で調査し，病植物を大学へ持ち帰ってウイルス検定した結果の概要を表-2 にまとめた。

表中の判定の欄に複数のウイルス名が記された作物（植物）では，1 株に何種類かのウイルスが重複感染している場合と，ウイルスが単独で個体別に感染している場合とがある。例えばジャガイモでは，葉が全体に黄化し葉脈と茎に激しいえそが認められた株では PVY と PVX，または PVM (S) と PVX が重複感染していたし，PLRV は単独感染している場合が多かった。

表-1 の説明は次号で継続して行い，本稿はここまでにしたい。なお，参考資料，文献等も次号の末尾に一括して記す。