菌類による花卉・野菜の新病害の立証と診断

誌名	近畿中国四国農業研究センター研究報告
ISSN	13471244
著者名	富岡,啓介
発行元	農業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター
巻/号	5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 91-187
発行年月	2005年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

近中四農研報 5
91−187（2005）

菌類による花卉・野菜の新病害の立証と診断

富岡啓介*

Key words：new plant disease ; fungi ; pathogen-identification ; diagnosis ; flower ; vegetable

目　　次

Ⅰ　緒　　言 …… 91
Ⅱ　既往の研究 …… 93
Ⅲ　材料および方法 …… 100
Ⅳ　新病害の立証 …… 106
　1　花卉の菌類病 …… 106
　2　野菜の菌類病 …… 138
Ⅴ　新病害の診断 …… 160
　1　花卉の菌類病 …… 161
　2　野菜の菌類病 …… 164
Ⅵ　総 合 考 察 …… 167
Ⅶ　摘　　要 …… 174
引 用 文 献 …… 176
Summary …… 185

Ⅰ　緒　　言

農作物における生育不良，収量減少，品質低下といった被害の原因を解明することは，その正確な診断法および防除法を構築する上で必須の初動課題であり，作物保護的な観点ならびにポストハーベスト障害防止の面から農作物の安定生産および効率的流通技術の開発に大きく貢献する重要な基礎的農業研究のひとつである．近年，我が国では農産物に対する消費者のニーズが多様化するとともに，過疎化および高齢化が深刻な中山間地域等における基幹産業として農業を活性化し，その国際的な競争力や耐久力を強化することが社会的，行政的ないし経済的な側面から強く推し進められている．これらに呼応して，生産される農作物の品目の増加はもとより，栽培の地域・規模・時期・様式，さらに流通販売形態までも大きく変化し急激に多様化している[5, 24, 46, 60]．この状況と並行して，様々な農作物において生育不良，収量減少，品質低下といった被害事例も多く報告されるようになっている．そのような被害が発生するたび，生産および流通現場等においてはそれらを克服するため適切な診断・防除策を整えることが急務となることから，なによりもまず，当該被害の原因解明を正確かつ迅速に実施することの重要性が以前にも増して強調されるようになっている[104]．

これまで，幾多の研究者による調査の結果として，農作物における上記の被害には，植物に対して病原性を有する菌類，放線菌，細菌，ファイトプラズマ，ウイルス，ウイロイドといった様々な微生物によって引き起こされる事例（病害）が非常に多い傾向が見られる[83]．この既知の傾向に鑑み，農作物における生育不良，収量減少，品質低下といった被害が認められた場合，まず初めに植物病原微生物に起因するものとしてその原因を植物病理学的見地から調査することがひとつの方策となる．すなわち，コッホの原則（Koch's postulates）に基づいて，当該被害植物から分離される微生物を，その形態や培養特

（平成17年 5 月31日受理）
特産作物部
*現農業生物資源研究所

性等の調査によって同定するとともに，これを健全植物に接種して病原性の有無を評価・確認する作業である[86]．病原性のある微生物が認められない場合は，植物栄養学的，気象学的ないし外与の薬物学的な他の環境条件等に起因する被害であると消去法的に結論づけることができるため，次にはそれらの諸条件にひとつひとつ順次に絞り込みながら原因の解明を図っていくという作業手順が採られる[58, 59]．昨今の農作物における被害事例には，各々の生産および流通現場等に新たに導入されはじめた農作物，特に収益性が高まりつつある花卉および野菜におけるものが非常に多く，その原因としては病原微生物の中でもとりわけ菌類によって引き起こされる病害（菌類病）が圧倒的に高い頻度で見受けられる[18, 28, 83]．生理障害等を含めて精力的に研究されているイネやムギなどの主要農作物に比べ，多種多様な花卉および野菜では今後とも菌類病を中心に新たな被害の増加が予測されることから，それらの防除策構築の基礎として，第一に病害の病原同定をその都度行い，迅速かつ正確に診断しなければならない．特に，花卉および野菜では菌類病による被害の頻発を見据えた対処が肝要である．

菌類は原虫や藻類と同じく真核性の微生物である．これら3者の中で最も巨大な生物群が菌類で，その種の数は動物や植物にも比肩し，一説には10万種，また一説には，未だ発見されていないものを推定して含めると植物の数倍の100万種以上ともいわれている[29, 163]．菌類（菌界）は変形菌門および真菌門の2つに分類され，特に真菌門の方が，菌種の数の上でも，またバイオマス量からみても格段に多く，植物に対して病原性を有する菌種も真菌門に類別されるものが非常に多い．真菌門はさらに，鞭毛菌亜門，接合菌亜門，担子菌亜門，子嚢菌亜門，および菌類の分類体系に特有の，完全世代（有性世代）が確認できない菌種を便宜的に括った不完全菌亜門の5つに類別され，植物病原菌類はそれらのいずれの亜門にも多く存在する[28, 57]．最近，生物8界説が提唱され，植物の重要病原菌類として知られる*Phytophthora*属菌や*Pythium*属菌などが所属する鞭毛菌亜門の卵菌綱を，菌界から褐藻植物や異形鞭毛虫などと同じクロミスタ界に移す意見が広く受け入れられつつあるなど[1, 10, 15, 16, 22, 31, 44, 51]，分子生物学などの先端的な研究分野がめざましく進歩したことにより，微生物における分類学や系統進化学の研究に関しても様々な手法によって新たな情報が着々と集積されている[110]．それと同時に，微生物の自然界における多様性要素を把握するとともに，あらゆる特性情報を付与した形での微生物の収集・整理・保存・配布といった，いわゆるインベントリーやカルチャーコレクションの整備・拡充についても，農業分野にとどまらず，将来の基礎科学や産業の発展を支える基盤的な課題として推し進められている[97, 99, 119, 122, 125, 158]．このような現状と将来展望において，動物や植物にも比肩する巨大生物群である菌類について，菌株などの材料を収集し，基礎的な分類学をはじめ様々な角度から研究を展開していくことは非常に重要である．

先に述べた農業上の作物保護的研究の重要性はもとより，菌類学上の基盤的研究の重要性にも鑑みつつ，著者はこれまで様々な農作物における生育不良などの被害の原因解明に着手し，実際に高い頻度でいくつかの菌類病を確認してきた．それらの中でも，花卉および野菜において新たに発生し，生産・流通現場等で深刻な問題となった特筆すべき新病害および日本新産菌による病害［13の菌類病（10宿主・12菌種）］について実施した病原同定と診断に関する研究を本論文において論述する．すなわち，花卉の菌類病であるオミナエシの炭疽病（新病害）[138]，ネメシアの炭疽病（新病害）[136, 145, 146]，カランコエの斑点病（新病害）[103, 146, 147]，マリーゴールドの斑点病（日本新産菌による病害）[135, 152]，チェリーペパーの疫病（新病害）[145, 148] およびベルゲランツスの腐敗病（新病害）[129]，ならびに野菜の菌類病であるピーマンの果実腐敗病（新病害）および実腐病（新病害）[130, 131]，ヤーコンおよびオカの炭腐病（新病害）[104, 107]，ヤーコンの立枯病（新病害）[131, 140] およびオユコの腰折病（新病害）[130, 139] の立証と，それらの病害が生産・流通現場等でも簡易・迅速・的確に診断できるよう策定した診断法について論述する．

謝　辞

本研究の遂行およびその取りまとめにあたってお世話になった皆様に感謝申しあげる．終始一貫して

懇切な御指導・御鞭撻を賜った農業生物資源研究所佐藤豊三博士、ならびに、本論文の取りまとめにあたって真摯な御指導を賜った東北大学大学院農学研究科 羽柴輝良博士には，ここに記して深く御礼申し上げる．

II　既往の研究

本章では，本論文において論述する研究と関連のある既往の研究を詳述する．すなわち，「オミナエシおよびネメシアの菌類病」，「マリーゴールドおよびカランコエの菌類病」，「チェリーペパーおよびベルゲランツスの菌類病」，「ピーマンの菌類病」ならびに「ヤーコン，オカおよびオユコの菌類病」についてこれまでに得られている知見を詳述する．

オミナエシおよびネメシアの菌類病

オミナエシ（オミナメシ）［dahurian patrinia, *Patrinia scabiosaefolia* Fischer］は東部および中央アジア原産のオミナエシ科（Valerianaceae, valerian family）・オミナエシ属・双子葉多年生草本植物である（Plate 1-A）[36]．黄色の小さな花を散房状に咲かせる本種植物は，我が国では秋の七草のひとつとして古来より親しまれており，いくつかの品種，自生系統あるいは改良系統が庭園に栽培されるほか，切り花としても広く利用されている．本論文において論述する，本種植物に認めた *Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughes による炭疽病（anthracnose）を著者らが新病害として報告するまでは[138]，コッホの原則を満たして病原性の立証されたオミナエシ属植物における既往の菌類病として，*Puccinia hemerocallidis* Thümen によるさび病（rust）および *Verticillium dahliae* Klebahn による半身萎凋病（wilt）が記録されている[83]．また，*C. coccodes* は，ナス科のトウガラシ，ピーマン，バレイショ，トマト，ナスおよびホオズキのほか，アオイ科のイチビ（ボウマ）に対して根腐性，斑点性あるいは茎腐性の病害（root rot, black-dot root-rot, stem rot, anthracnose）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 83]．

ネメシア（ウンランモドキ）［nemesia, *Nemesia strumosa* Bentham］は南アフリカ原産のゴマノハグサ科（Scrophulariaceae, figwort family）・ネメシア（アフリカウンラン）属・双子葉一年生草本植物である（Plate 1-B）[36]．紅色，橙色，白色などの小さな花を腋生する本種植物は，園芸観賞用としてネメシア属の中で最も普及しているもので，いくつかの品種あるいは改良系統が鉢物仕立あるいは花壇栽培に利用される．本論文において論述する，本種植物に認めた *Colletotrichum fuscum* Laubert による炭疽病（anthracnose）を著者らが新病害として報告するまでは[136, 153, 154]，ネメシア属植物における病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．なお，*C. fuscum* は，ネメシアと同じゴマノハグサ科のジギタリスにおいて炭疽病を引き起こす菌種であることが立証されているが，そのジギタリス炭疽病菌株は同科のキンギョソウに対しては病原性を示さなかったと報告されている[25, 116]．また，先に述べたホオズキ由来 *C. coccodes*（ホオズキ炭疽病菌株 HC3）がキンギョソウに対して病原性を有することが既に報告されているが，その報告には病原性の実証に関する記述はなく，コッホの原則を満たすものではない[77]．さらに，別途，キンギョソウにおいては，*Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardo によって引き起こされる炭疽病が記録されているが，その報告についても病原性の実証に関する記述がなく，コッホの原則を満たすものではない[23, 57, 81]．

オミナエシおよびネメシアの炭疽病菌が所属する *Colletotrichum* 属は，真菌門（Eumycota）・不完全菌亜門（Deuteromycotina）・分生子果不完全菌綱（Coelomycetes）・メランコニウム目（Melanconiales）・メランコニウム科（Melanconiaceae）に分類され，本属の完全世代としては，真菌門・子嚢菌亜門（Ascomycotina）・核菌綱（Pyrenomycetes）・クロカワキン目（Phyllachorales）・クロカワキン科（Phyllachoraceae）に分類される *Glomerella* 属の 1 属が確認されている[57]．*Colletotrichum* 属菌および *Glomerella* 属菌は，花卉や野菜はもとより，特用作物，果樹，樹木などといった様々な植物に対して病原性を有し，一般に炭疽病菌と呼称されて農業上の重要病原の一群として位置づけられている[6, 38, 39, 56, 99]．近年，両属内の種レベルにおける分子分類学的

研究が急速に進展しており，著者らが報告したオミナエシおよびネメシアの炭疽病菌株は，のちに，リボゾームDNA ITS領域の塩基配列による系統解析結果に基づき，*Colletotrichum destructivum* O'Garaや*Colletotrichum higginsianum* Saccardoなどいくつかの菌種に属する複数の菌株とともに単一のグループを形成することが報告され，それらを同一種として*C. destructivum*に統合することが提案されている[72, 73]．

カランコエおよびマリーゴールドの菌類病

カランコエ（ベニベンケイ）［kalanchoe, *Kalanchoe blossfeldiana* Poellnitz］はマダガスカル原産のベンケイソウ科（Crassulaceae）・カランコエ（リュウキュウベンケイ）属・双子葉多年生多肉草本植物である（Plate 1-C）[36, 171, 172]．枝の頂端に朱色，橙色，ピンク，黄色などの小さな花を散房状に咲かせる本種植物は，園芸観賞用として広く普及しており，近縁種との交配種も含め，いくつかの品種あるいは改良系統がプランターや鉢物仕立あるいは花壇栽培に利用される．本論文において論述する，本種植物に認めた*Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamotoによる斑点病（leaf spot）を著者らが新病害として報告するまでは[103, 128, 147]，コッホの原則を満たして病原性の立証されたカランコエ属植物における既往の菌類病として，*Stemphylium bolicki* Sobers & Seymourおよび*Cercospora* sp.の各菌による斑点性の病害（leaf spot），*Botrytis cinerea* Persoon : Friesによる灰色かび病（gray mold），*Erysiphe polygoni* de Candolleによるうどんこ病（powdery mildew），*Phytophthora* sp.による疫病（Phytophthora rot）ならびに*Puccinia benkei* Kusanoによるさび病（rust）が記録されている[23, 83]．また，*S. lycopersici*は，ナス科のトウガラシ，ピーマンおよびトマトのほか，キキョウ科のキキョウ，フウロソウ科のゼラニウムおよびイソマツ科のスターチスに対して斑点性あるいは葉枯性の病害（leaf spot, leaf bligh）を，キク科のキクおよびナデシコ科のナデシコに対して花枯性あるいは花腐性の病害（pet al blight, pet al rot）を，パパイア科のパパイアに対して果実腐敗性の病害（fruit rot）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 83]．なお，本菌種と同属で，カランコエ属植物（*Kalanchoe* spp.）に斑点性の病害（leaf spot）を引き起こすことが記録されている*S. bolicki*の菌株は，トマトに対しては病原性を示さなかったと報告されている[115]．また，カランコエさび病については，その病原菌*P. benkei*の菌株を用いて，カランコエ属以外のベンケイソウ科植物についても本病に対する罹病性調査が進められている[166, 167]．

マリーゴールド（マンジュギク）属［marigold, *Tagetes* Linnaeus］は中南米原産のキク科（Compositae, Asteraceae, composite family）・双子葉一年生あるいは多年生草本植物である[36]．黄色，橙色，クリーム色などの花を頂生あるいは腋生する本属植物は，一年生のアフリカンマリーゴールド（マンジュギク，センジュギク）［African marigold, Aztec marigold, big marigold, *Tagetes erecta* Linnaeus］およびフレンチマリーゴールド（コウオウソウ，クジャクソウ）［French marigold, *Tagetes patula* Linnaeus］（Plate 1-D）の2種を中心に園芸観賞用として広く普及しており，いくつかの品種あるいは改良系統がプランターや鉢物仕立，花壇栽培あるいは切り花に供される．本論文において論述する，*Alternaria tagetica* Shome & Mustafeeによるマリーゴールドの斑点病（leaf spot）は，アフリカンマリーゴールドおよびフレンチマリーゴールドの2種において認めたものである[135, 152]．本病はその初発生がインドにおいて既に確認されて以来[111]，アメリカ合衆国，メキシコおよび韓国においても認められている[12, 35, 112, 171]．しかしながら，本病はもとより，その病原菌種である*A. tagetica*の我が国における分布は著者らが報告するまでは知られていなかった．なお，コッホの原則を満たして病原性の立証されたマリーゴールド属植物における他の既往の菌類病としては，*Alternaria zinniae* Pape ex M.B. Ellisおよび*Septoria tageticola* Changsri & G.F. Weberによる斑点性あるいは葉枯性の病害（leaf spot, leaf blight），*B. cinerea*による灰色かび病（gray mold），*Rhizoctonia solani* Kühnによる株腐病（stem and foliage blight）および*V. dahliae*による萎凋性の病害（wilt）が記録されている[23, 83]．*Alternaria tagetica*の宿主はマリーゴールド属以外には認められていない．

*Alternaria*属菌は，分生子柄上に形成される分生子の連鎖数（catenulation）に基づいて，一般に以下の①～③のグループに類別される[96]．①*Longicatenatae*（分生子長連鎖グループ）：分生子が10個以上連鎖する．②*Brevicatenatae*（分生子短連鎖グループ）：分生子が3～5個連鎖する．③*Noncatenatae*（分生子無連鎖グループ）：分生子は通常連鎖しない．*Alternaria tagetica*および*A. zinniae*はいずれも③の*Noncatenatae*（分生子無連鎖グループ）に属する．本グループのうち，これらの2菌種と同様に分生子に長いくちばし状突起（beak）を有し，かつ，キク科植物に対する病原性が確認されている菌種としてさらにもう1種，*Alternaria carthami* Chowdhuryがある[11, 19, 95, 96]．本菌種はベニバナに対する病原性が，*A. zinniae*はマリーゴールド属植物のほかにジニアおよびベニバナに対する病原性が記録されている[12, 35, 96, 112, 171]．*Alternaria tagetica*はジニアのほか，エゾギク，キンセンカ，コスモス，ガザニア（クンショウギク），シャスタデージーといった他のキク科植物に対しても病原性を示さなかったと報告されている[12, 35, 96, 112, 171]．本菌種がベニバナに対して病原性を有するか否かは不明である．なお，*Alternaria*属菌には毒素（toxin）を産生する菌種が多くあり，*A. tagetica*についてもzinniolという毒素の産生が確認されている[12]．本毒素の産生は，*A. tagetica*と同様，長いくちばし状突起（beak）を有する大型の分生子を形成する*A. zinniae*，*Alternaria dauci* (Kühn) Groves & Skolkoおよび*Alternaria solani* Sorauerにおいても確認されており，そういった形態に特徴づけられる菌群の近縁性を示すもうひとつの特徴であることが示唆されている[7, 12, 117, 118]．本毒素は，*A. zinniae*の宿主であるマリーゴールドおよびジニア，ならびに*A. dauci*の宿主であるニンジンに対して交差的に毒性を示すことから，宿主非特異的毒素（non-selective toxin, non-specific toxin）であることが明らかとなっている[7, 12, 117, 118]．*Alternaria tagetica*には宿主特異的毒素（host-selective toxin, host-specific toxin）の産生は確認されていない．

カランコエの斑点病菌が所属する*Stemphylium*属およびマリーゴールドの斑点病菌が所属する*Alternaria*属も，花卉や野菜をはじめ，他の様々な植物に対して病原性を有する周知の重要病原属である．両属はいずれも真菌門・不完全菌亜門・不完全糸状菌綱（Hyphomycetes）・不完全糸状菌目（Hyphomycetales）・デマチウム科（Dematiaceae）に分類され，両属ともに完全世代としては，真菌門・子嚢菌亜門・小房子嚢菌綱（Loculoascomycetes）・ドチデア目（Dothideales）・プレオスポラ科（Pleosporaceae）に分類される*Pleospora*属の1属が確認されているが，*Alternaria*属の完全世代については別属とする説もある[57]．*Stemphylium*属菌および*Alternaria*属菌は，分生子がともに疎水性の乾性胞子（dry airborne spores）で，そもそも互いに形態が似ている上，宿主植物や環境の相違によって形態の変異幅が大きいことから，同属異名，同種異名，異属同名，異種同名などの菌種がかつて多く存在し，属レベルおよび種レベルともに分類体系が混乱していた経緯があるが，現在では少なくとも両属は互いに分生子形成様式によって明確に識別されるようになっている[19, 20, 96, 112, 113, 164, 165]．

チェリーペパーおよびベルゲランツスの菌類病

チェリーペパー（ゴシキトウガラシ）［cherry pepper, *Capsicum annuum* Linnaeus var. *cerasiforme* Bailey］は中南米原産のナス科（Solanaceae, nightshade family）・トウガラシ属・トウガラシの1変種（エノミ品種群およびチェリー品種群）として分類される双子葉一年生草本植物で（Plate 1-E），分類学的には普通のトウガラシ（いくつかの辛味系の品種群）やピーマン（ベル品種群および在来獅子品種群）と呼ばれる食用のものと同じ種に含められているが，それらとは明確に別の変種として位置づけられている[32, 41]．本変種植物は，緑色から朱色，紫色，次いで黒紫色に変化していく小さな光沢のある上向きの類球形果実をつけ，品種エノミを代表品種としていくつかの品種あるいは改良系統が育成されており，専ら園芸観賞用としてプランターや鉢物仕立あるいは花壇栽培に利用される．本論文において論述する，本変種植物に認めた*Phytophthora capsici* Leonianによる疫病（Phytophthora blight）を著者らが新病害として報告するまでは[101, 127]，別の変種であるトウガラシお

よびピーマンにおいて既に同菌種による疫病（fruit and root rot, Phytophthora blight）および*Phytophthora* sp.による茎腐病（stem blight）がコッホの原則を満たして病原性の立証された病害として記録されているが[23, 38]，チェリーペパーにおける病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．なお，*P. capsici*は，チェリーペパーと同じナス科植物ではトウガラシおよびピーマンのほかにナスおよびトマトに対しても，また，ウリ科のスイカ，シロウリ，マクワウリ，メロン，キュウリ，カボチャおよびユウガオ，ならびにパパイア科のパパイアに対しても病原性を有し，それらのいずれの植物にも腐敗性の病害（brown rot, fruit rot）を引き起こすほか，ヤマモガシ科のマカダミアに対して葉枯性あるいは茎枯性の病害（leaf and shoot blight）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 38]．

ベルゲランツス［bergeranthus, *Bergeranthus jamesii* Linnaeus Bolus］はアフリカ南部原産のツルナ科（Aizoaceae, carpet-weed family）・マツバギク亜科（Aptenioideae）・メセンブリアンテマ（メセン）類（Mesembryanthema）・ベルゲランツス属の双子葉多年生多肉草本植物である（Plate 1-F）[36, 43]．3稜形で先が尖った葉を無幹で対生し，その葉間から小さなタンポポに似た黄色の花を咲かせる本種植物は，通称“セナミ”という園芸名で観賞用の小鉢物として広く普及している．本論文において論述する，本種植物において認めた*Pythium myriotylum* Drechslerによる腐敗病（Pythium rot）を著者らが新病害として報告するまでは[129]，ベルゲランツス属植物における病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．なお，*P. myriotylum*は，ナス科のトマト，ウリ科のキュウリ，アカザ科のホウレンソウ，サトイモ科のサトイモ，オモダカ科のクワイ，ゴマノハグサ科のキンギョソウ，モクセイ科のトウネズミモチ，ならびにマメ科のインゲンマメ，ラッカセイおよびタマザキフジに対して根腐性，茎腐性，莢腐性，立枯性あるいは萎凋性の病害（root rot, stem rot, petiole rot, pod rot, damping-off, seedling blight, wilt, Pythium rot, Pythium blight, Pythium wilt）を引き起こすほか，バラ科のイチゴにおけるすくみ症状（stunt）を助長する菌種であることが記録されている[23, 38]．

チェリーペパーの疫病菌が所属する*Phytophthora*属およびベルゲランツスの腐敗病菌が所属する*Pythium*属も，花卉や野菜をはじめ，他の様々な植物に対して病原性を有する周知の重要病原属である．普遍的な多犯性の土壌伝染性菌類としても知られている両属菌は[181]，緒言でも一部述べたように，いずれも真菌門・鞭毛菌亜門（Mastigomycotina）・卵菌綱（Oomycetes）・ツユカビ目（Peronosporales）・フハイカビ科（Pythiaceae）に分類されていた[57]．最近，葉緑体やミトコンドリアなどの細胞内器官の微細構造形態ならびにそれらオルガネラDNAやリボゾームDNAの分子生物学的手法による解析結果に基づいて，生物の系統進化を強く反映した生物8界説が提唱され，卵菌綱そのものを菌界（Kingdom Fungi）から褐藻植物や異形鞭毛虫などが所属するクロミスタ界（Kingdom Chromista）に移す意見が出されている[1, 10, 15, 16, 22, 31, 44, 51]．

ピーマンの菌類病

重要野菜のひとつである果菜類のピーマン［sweet pepper, *Capsicum annuum* Linnaeus var. *grossum* Sendtner］は，先に述べたチェリーペパーと同じトウガラシの1変種（ベル品種群および在来シシ品種群）で，その草姿は普通のトウガラシ（いくつかの辛味系の品種群）に似ているが，葉は一般に広大で，特に食用に供する果実が大型，獅子頭状，かつ，果肉が厚い特徴がある[32, 36, 41]．我が国におけるピーマンは主に緑色の未熟果実品種が従来から広く普及している．一方，一般にカラーピーマン（完熟ピーマン，ジャンボピーマン，パプリカ，フルーツパプリカ）と呼ばれ，赤色，黄色，紫色などの果色を呈する超大型果実品種が，10年ほど前から新しい食材のひとつとしてオランダなど海外から導入されるとともに，我が国においても新たな品種あるいは改良系統が育成されてその普及率を伸ばしている[74]．本論文において論述するピーマンの果実腐敗性病害（fruit rot）のうち，*Fusicoccum aesculi* Cordaおよび*Phomopsis phomoides* (Saccardo) Arxの各菌種による果実腐敗病はカラーピーマン（超大

型果実）品種において，*Fusarium lateritium* Nees : Fries emend. Snyder & Hansen による実腐病は未熟果実品種において認めたものである[142, 143]．

これらの病害を新病害として著者らが報告するまでに，コッホの原則を満たして病原性の立証されたトウガラシ属植物における既往の菌類病として，果実腐敗症をはじめ，葉斑点性，葉枯性，根腐性，茎腐性，立枯性あるいは萎凋性の病害が多く記録されている[23, 38]．それらの病原は，先の，オミナエシ，カランコエおよびチェリーペパーにおける既往の菌類病に関する節でも触れた *Colletotrichum coccodes*，*Phytophthora capsici*，*Stemphylium lycopersici* および *Phytophthora* sp. のほか，*Alternaria solani* Sorauer，*Alternaria* sp.，*Botrytis cinerea*，*Cercospora capsici* Heald & Wolf，*Cladosporium herbarum* (Persoon : Fries) Link，*Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisby，*C. gloeosporioides*，*Colletotrichum nigrum* Ellis & Halsted，*Curvularia geniculata* (Tracy & Earle) Boedijn，*Erysiphe cichoracearum* de Candolle，*Fusarium oxysporum* Schlechtendahl : Fries，*Fusarium* sp.，*Nectria haematococca* Berkeley & Broome [*Nectria haematococca* Complex, 不完全世代 *Fusarium solani* (Martius) Saccardo]，*Oidiopsis sicula* Scalia，*Oidiopsis* sp.，*Phoma exigua* Desmazières，*Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrick，*Rhizoctonia. solani*，*Rhizopus stolonifer* (Ehrenberg: Fries) Vuillemin，*Sclerotinia sclerotiorum* (Libert) de Bary，*Sclerotium rolfsii* Saccardo，*Stemphylium botryosum* Wallroth，*Stemphylium solani* G. F. Weber，*Stemphylium* sp. および *V. dahliae* である．

Fusicoccum aesculi［完全世代 *Botryosphaeria dothidea* (Mougeot : Fries) Cesati & de Notaris］および *P. phomoides* によるトウガラシ属植物の病害に関する記録はこれまで全くなく，また，本属植物に対して病原性が認められていた *Fusarium* 属菌は，萎凋病菌 *F. oxysporum*[75, 175, 176]，立枯病菌 *F. solani*［完全世代 *N. haematococca*］[40] および実腐病菌 *Fusarium* sp.[85] である．この実腐病菌株はその報告の中で，*F. lateritium* と同定されているが，菌叢が赤色系であるなどの点で *Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo [*Fusarium roseum* Link : Fries emend. Snyder & Hansen] の可能性があり，同定根拠に明らかな誤りが認められる．本病の病原菌についてはその菌株が残されておらず，同定の検証もできないことから，日本植物病名目録[38] では *Fusarium* sp. と扱われている．なお，*F. aesculi* [*Botryosphaeria dothidea*] はウリ科のメロンにおいて果実腐敗性の病害（黒渋腐敗病，Fusicoccum fruit rot）[70] を，マタタビ科のキウイにおいて果実腐敗性および枝枯性の病害（果実軟腐病，fruit rot, soft rot, dieback）[48, 49, 50, 91, 123, 168] を，ナス科のナスにおいて茎枯性の病害（茎枯病，stem blight）[169, 170] を引き起こすことが記録されている．*Phomopsis phomoides* はナス科のトマトにおいて果実腐敗性の病害を引き起こす菌種であることが報告されているが，その病原性はコッホの原則を満たして立証されていない[3, 4, 159]．また，*F. lateritium* は，ヒユ科のケイトウ，アオイ科のキンゴジカ，クワ科のコウゾおよびクワ，ならびにマメ科のニセアカシア，ネムノキおよびエンジュのほか，マツ科，スギ科およびカエデ科植物に対して立枯性，芽枯性，枝枯性あるいは癌腫性の病害（damping-off, twig blight, red stain, canker）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 38]．先に述べた既知の実腐病菌 *Fusarium* sp. の菌株は，*F. avenaceum* [*F. roseum*] などと同様にトマトに対する病原性が記録されいるが[9, 68, 85]，*F. lateritium* が本植物に対して病原性を有するか否かについては他に情報はない．

ピーマン果実腐敗病の一方の病原である *F. aesculi* の当該属は，真菌門・不完全菌亜門・分生子果不完全菌綱・スファエロプシス目（Sphaeropsidales）・スファエリオイド科（Sphaerioidaceae）に分類される[57]．最近，形態や培養特性ならびにリボゾーム DNA 領域の塩基配列の詳細な解析によって，本属は真菌門・子嚢菌亜門・小房子嚢菌綱・ドチデア目・ボトリオスファエリア科（Botryosphaeriaceae）に分類される *Botryosphaeria* 属の不完全世代のひとつであることが改めて示された[42]．*Fusicoccum* 属は，これまで同じスファエリオイド科で完全世代属も共通とされていた *Dothiorella* 属と混同されてきた経緯があるが，最近になってこの *Dothiorella* 属は，これも同科で完全世代属も共通の *Diplodia* 属

の異名との見解が示され，*Dothiorella*属と同定されていた菌株が*Fusicoccum*属菌として再同定されはじめている[13, 14]．先に述べたキウイにおける枝枯性の病害（dieback）およびナスにおける茎枯性の病害（stem blight）を引き起こす*F. aesculi*の菌株はその例である[48, 49, 50, 169, 170]．もう一方の果実腐敗病菌である*P. phomoides*の当該属は，*Fusicoccum*属と同じスファエリオイド科に分類され，完全世代としては，真菌門・子嚢菌亜門・核菌綱・ディアポルテ目（Diaporthales）・バルサ科（Valsaceae）に分類される*Diaporthe*属の1属が確認されている[57]．*Phomopsis*属は，長い分生子柄の頂端に 型分生子および 型分生子の2種類の分生子を形成することで特徴づけられる．しかし，種によっては細長い 型分生子を形成しない場合があるため，本属も*Fusicoccum*属と混同されてきた経緯がある．例えば，*F. aesculi*と同定されていたモモ枝枯病菌株が*Phomopsis amygdali* (Delacroix) Tuset & Portillaと再同定されるなど，徐々に分類学的整理が図られている[45, 159]．なお，先に述べたキウイにおける果実腐敗性および枝枯性の病害，ならびにナスにおける茎枯性の病害を引き起こす*F. aesculi* [*B. dothidea*]が分離された時も，本研究において論述する果実腐敗病菌*F. aesculi*と同様に，それぞれ同じ罹病部から病原性を有する*Phomopsis*属菌（*Phomopsis* sp.）が同時に分離されている[48, 49, 50, 123, 169, 170]．また，キウイにおける果実腐敗性の病害では，*Phomopsis* sp.よりも*F. aesculi* [*B. dothidea*]の菌株に強い病原力が認められ[123]，枝枯性の病害では，逆に*F. aesculi* [*B. dothidea*]よりも*Phomopsis* sp.の菌株に強い病原力が認められたと報告されている[48, 49, 50]．

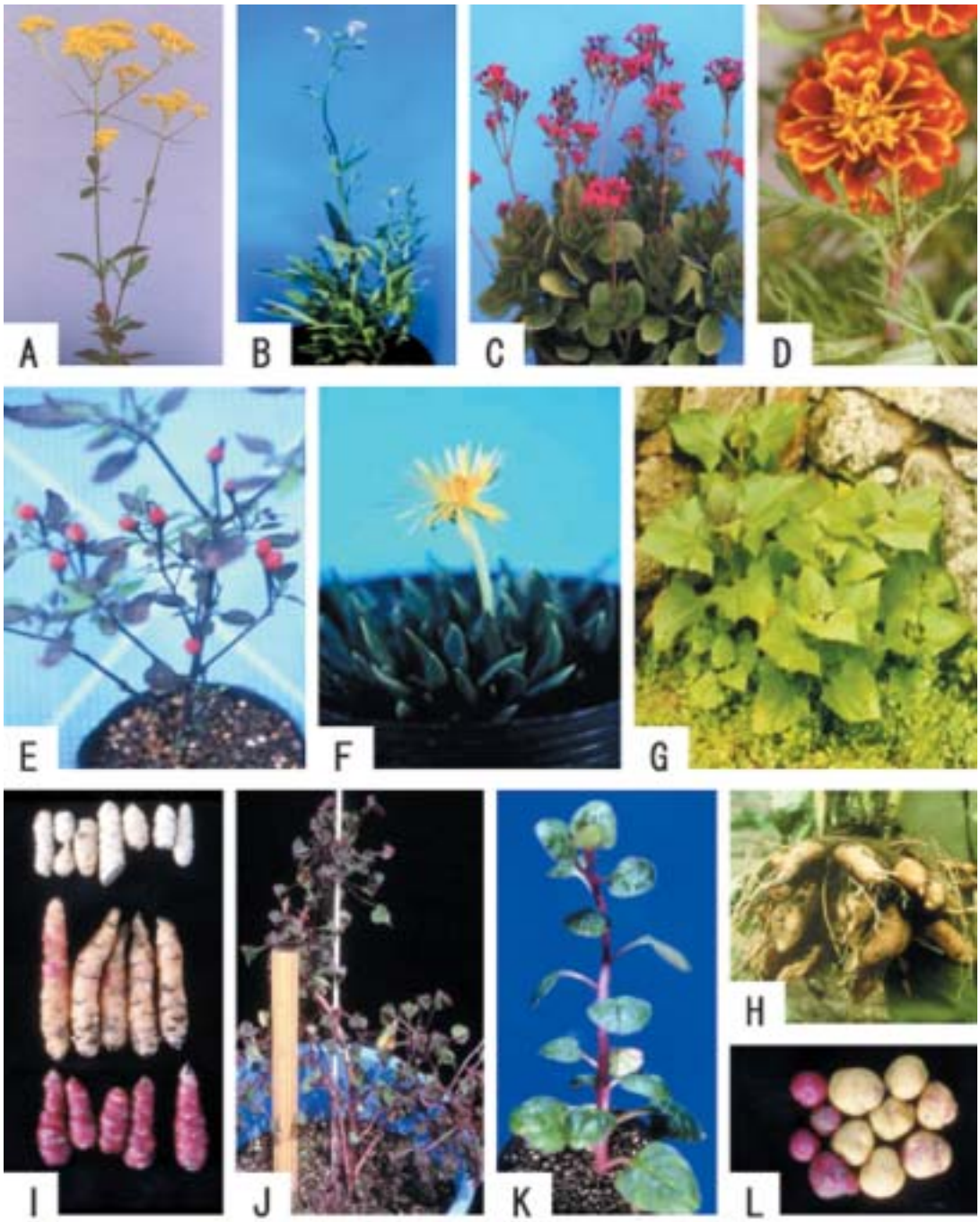
ピーマン実腐病菌である*F. lateritium*の当該属は，真菌門・不完全菌亜門・不完全糸状菌綱・ツベルクラリア目（Tuberculariales）・ツベルクラリア科（Tuberculariaceae）に分類され，真菌門・子嚢菌亜門・核菌綱・ボタンタケ目（Hypocreales）・ボタンタケ科（Hypocreaceae）に分類される*Gibberella*属の不完全世代として，また，同科の*Nectria*属のいくつかの不完全世代のひとつとして知られる[57]．*Fusarium*属の完全世代は他にもいくつか記録が蓄積されつつあるが，それらは再現性を確認することが困難であるなどの理由で分類学的に論議がある[23, 37]．*Fusarium*属も，先に述べた*Phytophthora*属および*Pythium*属と同様に，普遍的な多犯性の土壌伝染性菌類で，花卉や野菜をはじめとして他の様々な植物に対して病原性を有する周知の重要病原属である[181]．*Fusarium*属には，種内の分類級（taxonomic rank）として寄生性の差異に基づく分化型（forma specialis : f. sp.）の類別が適用される菌種がいくつかあり，*F. lateritium*もこれまでに延べ8分化型が提唱されてきた経緯がある[23, 38, 69, 181]．

ヤーコン，オカおよびオユコの菌類病

ヤーコン［yacon, *Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson］はキク科（Compositae, Asteraceae, composite family）・ヤーコン（スマランスス）属，オカ［oca, *Oxalis tuberosa* Molina］はカタバミ科（Oxalidaceae, oxalis family, wood-sorrel family）・カタバミ属，オユコ［ulluco, *Ullucus tuberosus* Caldas］はツルムラサキ科（Basellaceae）・オユコ属のいずれも双子葉多年生草本植物である（Plate 1-G～L）[36, 79]．これらは南米アンデス高地原産の根菜類で，ヤーコンはキク科ヒマワリ属のキクイモに似た大型の塊根を，オカおよびオユコは白色，赤色，紫色などの色鮮やかなクルミ大の小型塊根を形成する．いずれの植物も，我が国における新規導入野菜として普及することを目的に，近年，品種育成，栽培条件および加工利用方法等の研究が進められており，ヤーコンについては既にいくつかの品種が育成されて広く普及しつつある[79, 80]．本論文において論述する，*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidánichによるヤーコンおよびオカの炭腐病（charcoal rot）[104, 107]，*R. solani*によるヤーコンの立枯病（Rhizoctonia blight）[131, 140]ならびに*P. aphanidermatum*によるオユコの腰折病（foot rot）[139, 142]のそれぞれを著者らが新病害として報告するまでは，コッホの原則を満たして病原性の立証されたこれらの植物における既往の菌類病としては，*S. rolfsii*によるヤーコン白絹病（southern blight）のみが記録されている38, 102)．

Macrophomina phaseolina，*R. solani*および*P. aphanidermatum*は，花卉や野菜を含めてそれぞれ

Plate 1



Explanation of Plate 1

A. Dahurian patrinia [*Patrinia scabiosaefolia* ; Valerianaceae]
B. Nemesia [*Nemesia strumosa* ; Scrophulariaceae]
C. Kalanchoe [*Kalanchoe blossfeldiana* ; Crassulaceae]
D. French marigold [*Tagetes patula* ; Compositae]
E. Cherry pepper [*Capsicum annuum* var. cerasiforme ; Solanaceae]
F. Bergeranthus [*Bergeranthus jamesii* ; Aizoaceae]
G-H. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* ; Compositae]
G. Foliage
H. Roots
I-J. Oca [*Oxalis tuberosa* ; Oxalidaceae]
I. Tubers
J. Foliage
K-L. Ulluco [*Ullucus tuberosus* ; Basellaceae]
K. Foliage
L. Tubers

少なくとも300種以上，200種以上および80種以上の植物において萎凋性，立枯性，葉枯性，腐敗性などの各種の病害を引き起こす重要病原で，いずれも普遍的な多犯性の土壌伝染性菌類として知られる[33, 76, 181]．真菌門・不完全菌亜門・分生子果不完全菌綱・スファエロプシス目・スファエリオイド科に分類される*M. phaseolina*は，当該属の唯一の菌種（１属１種）で，その完全世代は未詳である[57]．一般に本菌種による草本植物における病害は炭腐病，木本植物における病害は微粒菌核病（black root rot）と呼称される[33, 181]．また，*R. solani*は，真菌門・不完全菌亜門・不完全糸状菌綱・無胞子不完全菌目（Agonomycet ales）・無胞子不完全菌科（Agonomycetaceae）に分類され，その完全世代としては，真菌門・担子菌亜門（Basidiomycotina）・菌蕈綱（Hymenomycetes）・ツラスネラ目（Tulasnellales）・ツノタンシキン科（Ceratobasidiaceae）に分類される*Thanatephorus*属の１属が確認されている[57, 87]．*Rhizoctonia solani*は，形態的，生理的，遺伝的および生態的な性質を異にする菌群から成る複合種と考えられており，現在，種内群として，菌糸融合群（anastomosis group : AG）を中心的な基準とした分類体系が詳細に整理されつつある[62, 76, 87, 181]．*Pythium aphanidermatum*は，先のベルゲランツスにおける既往の菌類病に関する節でも述べた*Pythium*属の中で最も代表的な種で，ベルゲランツス腐敗病菌が所属する*P. myriotylum*と同様に好高温性であるが，蔵卵器に付着する蔵精器の数などが異なる[179, 181]．

III　材料および方法

本章では，本論文において論述する研究に供試した材料ならびに適用した基本的方法を述べる．すなわち，「供試菌株」，「供試植物」，「供試培地」，「病徴の観察」，「菌株の分離」，「菌株の観察」，「菌株の生育調査」および「菌株の病原性調査」について述べる．

供試菌株

各病害の原罹病植物から分離した菌株をはじめ，それらの病原性評価や菌種同定等のため比較・基準用に供試した菌株をTable 1に示す．*Rhizoctonia solani* Kühnの12菌株のうち，ヤーコン由来の２菌株（YR1およびYR2）のほか10菌株（イネ由来菌株C-418，レタス由来菌株C-527，エンドウ由来菌株PS-2，コウライシバ由来菌株C-623，ラッカセイ由来菌株C-656，バレイショ由来菌株C-564およびC-672，ならびに土壌由来菌株HAM-1-1，1529およびAI-1-4），ならびに*Colletotrichum acutatum* Simmonds ex Simmondsのリンゴ由来菌株EA1，*Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisbyのダイコン由来菌株RC13，*Colletotrichum circinans* (Berkeley) Vogrinoのタマネギ由来菌株OC1，*Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughesのホオズキ由来菌株HC3および*Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardoのリンゴ由来菌株911003-5は，独立行政法人農業生物資源研究所ジーンバンクより配布を受けた．また，*Phytophthora capsici* Leonianのピーマン由来菌株SP1は，高知県農業研究センター　竹内繁治　病理科主任研究員より提供していただいた．以上の菌株以外でMAFF番号が付されているものは，著者らが当該菌株に関する研究結果を公表したのちに同研究所ジーンバンクに登録・保存を寄託したものである．

供試植物

菌株の病原性調査のために供試した被接種用の植物をTable 2に示す．カランコエ属植物のうち，*Kalanchoe blossfeldiana* Poellnitz以外の10種，すなわち，*Kalanchoe longiflora* Schlechter ex J. M. Wood（園芸名ミョウギ），*Kalanchoe pinnata* (Lamarck) Persoon（園芸名セイロンベンケイ），*Kalanchoe pumila* Baker（園芸名シロガネノマイ），*Kalanchoe laxiflora* Baker（園芸名コチョウノマイニシキ），*Kalanchoe tomentosa* Baker（園芸名ツキトジ），*Kalanchoe manginii* Hamet & Perrier（園芸名ベニチョウチン），*Kalanchoe rosei* Hamet & Perrier（園芸名ラウイ），*Kalanchoe daigremontiana* Hamet & Perrier（園芸名シコロベンケイ），*Kalanchoe tubiflora* (Harvey) Hamet（園芸名キンチョウ）および*K. daigremontiana*×*K. tubiflora*（＝*Kalanchoe*×hybrida horti）（園芸名フシチョウ）

Table 1　Fungal isolates used.

Species	Isolation source	Collection locality	Isolate (MAFF accession No.)	Anastomosis group	Cultural type	Relevant chapter in this paper
Colletotrichum coccodes (Wallroth) S. Hughes	*Patrinia scabiosaefolia* Fischer [dahurian patrinia]	Miyagi, Japan	PC1			IV-1-1)
			PC2			IV-1-1)
			PC3 (MAFF238453)			IV-1-1),2)
	Physalis alkekengi Linnaeus var. *francheti* (Masters) Makino [lantern plant]	Saga, Japan	HC3 (MAFF238560)			IV-1-1),2)
Colletotrichum fuscum Laubert	*Nemesia strumosa* Bentham [nemesia]	Kagawa, Japan	NC1			IV-1-2)
			NC2			IV-1-2)
			NC3 (MAFF238340)			IV-1-2)
Colletotrichum acutatum Simmonds ex Simmonds	*Malus pumila* Miller [apple]	Ehime, Japan	EA1 (MAFF306546)			IV-1-2)
Colletotrichum capsici (Sydow) Butler & Bisby	*Raphanus sativus* Linnaeus [Japanese radish]	Miyazaki, Japan	RC13 (MAFF238704)			IV-1-2)
Colletotrichum circinans (Berkeley) Voglino	*Allium cepa* Linnaeus [welsh onion]	Kagawa, Japan	OC1 (MAFF238640)			IV-1-2)
Colletotrichum gloeosporioides (Penzig) Penzig & Saccardo	*Malus pumila* Miller [apple]	Ibaraki, Japan	911003-5 (MAFF238043)			IV-1-2)
Stemphylium lycopersici (Enjoji) Yamamoto	*Kalanchoe blossfeldiana* Poellnitz [kalanchoe]	Kagawa, Japan	KS2			IV-1-3)
			KS3 (MAFF238342)			IV-1-3)
			KS4			IV-1-3)
Alternaria tagetica Shome & Mustafee	*Tagetes erecta* Linnaeus [African marigold]	Miyagi, Japan	AM1			IV-1-4)
			AM2 (MAFF238339)			IV-1-4)
	Tagetes patula Linnaeus [French marigold]	Miyagi, Japan	FM1			IV-1-4)
			FM2 (MAFF238338)			IV-1-4)
Phytophthora capsici Leonian	*Capsicum annuum* Linnaeus var. *cerasiforme* Bailey [cherry pepper]	Kagawa, Japan	CP3			IV-1-5)
			CP4			IV-1-5)
	Capsicum annuum L. var. *grossum* Sendtner [sweet pepper]	Kochi, Japan	SP1			IV-1-5)
Pythium myriotylum Drechsler	*Bergeranthus jamesii* Louisa Bolus [bergeranthus]	Kagawa, Japan	BP1			IV-1-6)
			BP2 (MAFF238454)			IV-1-6)

MAFF : Acronym of accession number of microorganisms deposited in Genebank, National Institute of Agrobiological Sciences, Japan.

Table 1　(Continued)

Species	Isolation source	Collection locality	Isolate (MAFF accession No.)	Anastomosis group	Cultural type	Relevant chapter in this paper
Fusicoccum aesculi Corda	*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendtner [sweet pepper]	Kagawa, Japan	PF1			IV-2-1)
			PF2 (MAFF238559)			IV-2-1)
Phomopsis phomoides (Saccardo) Arx	*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendtner [sweet pepper]	Kagawa, Japan	PP1			IV-2-1)
			PP2 (MAFF238558)			IV-2-1)
Fusarium lateritium Nees emend. Snyder & Hansen	*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendtner [sweet pepper]	Kagawa, Japan	SF1 (MAFF238882)			IV-2-2)
			SF2			IV-2-2)
Macrophomina phaseolina (Tassi) Goidanich	*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson [yacon]	Kagawa, Japan	YS3 (MAFF238568)			IV-2-3)
			YS4 (MAFF238569)			IV-2-3)
						IV-2-3)
	Oxalis tuberosa Molina [oca]	Kagawa, Japan	OM0 (MAFF238570)			IV-2-3)
			OM8 (MAFF238572)			
Rhizoctonia solani Kuhn	*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson [yacon]	Ehime, Japan	YR1			IV-2-4)
			YR2 (MAFF238452)			IV-2-4)
	Oryza sativa Linnaeus [rice]	Fukuoka, Japan	C-418 (MAFF305231)	AG-1	IA	IV-2-4)
	Lactuca sativa Linnaeus [lettuce]	Gunma, Japan	C-527 (MAFF305220)	AG-1	IB	IV-2-4)
	Pisum sativum Linnaeus [pea]	Tokushima, Japan	PS-2 (MAFF305221)	AG-2-1	II	IV-2-4)
	Zoysia tenuifolia Willdenow [mascarene grass]	Chiba, Japan	C-623 (MAFF305223)	AG-2-2	IV	IV-2-4)
	Solanum tuberosum Linnaeus [potato]	Hokkaido, Japan	C-564 (MAFF305250)	AG-3	IV	IV-2-4)
	Arachis hypogaea Linnaeus [peanut]	Ibaraki, Japan	C-656 (MAFF305255)	AG-4	IIIA	IV-2-4)
	Solanum tuberosum Linnaeus [potato]	Hokkaido, Japan	C-672 (MAFF305258)	AG-5		IV-2-4)
	Soil	Hokkaido, Japan	HAM-1-1 (MAFF305259)	AG-6		IV-2-4)
		Kagawa, Japan	1529 (MAFF305551)	AG-7		IV-2-4)
		Hokkaido, Japan	AI-1-4 (MAFF305263)	AG-BI		IV-2-4)
Pythium aphanidermatum (Edson) Fitzpatrick	*Ullucus tuberosus* Caldas [ulluco]	Kagawa, Japan	UP1			IV-2-5)
			UP2 (MAFF238720)			IV-2-5)

MAFF : Acronym of accession number of microorganisms deposited in Genebank, National Institute of Agrobiological Sciences, Japan.

Table 2　Plants used.

Family	Species [common name]	Cultivar / Strain / Horti. name	Relevant chapter in this paper
Valerianaceae	*Patrinia scabiosaefolia* Fischer [dahurian patrinia]	Asuka	IV-1-1)
Scrophulariaceae	*Nemesia strumosa* Bentham [nemesia]	KLM	IV-1-2)
	Digitalis purpurea Linnaeus [foxglove]	Foxy	IV-1-2)
	Antirrhinum majus Linnaeus [snapdragon]	Merryland White	IV-1-2)
	Linaria bipertita Willdenow [cloven-lip]	White Guppy	IV-1-2)
	Penstemon gloxinioides Hortorum [gloxinia penstemon]	Midnight	IV-1-2)
	Torenia fournieri Lidley [torenia]	Piccolo	IV-1-2)
	Angelonia gardneri Hooker [angelonia]	Whity	IV-1-2)
	Veronica alpina Linnaeus [alpine speedwell]	Blue Bouquet	IV-1-2)
	Calceolaria × *herbeohybrida* Voss [slipperwort]	Midas	IV-1-2)
Crassulaceae	*Kalanchoe blossfeldiana* Poellnitz [kalanchoe]	Singapore	IV-1-3)
		Suisse Pink	IV-1-3)
		Hokan	IV-1-3)
Compositae	*Kalanchoe longiflora* Schlechter ex J.M. Wood	Myogi	IV-1-3)
	Kalanchoe pinnata (Lamarck) Persoon	Seiron Benkei	IV-1-3)
	Kalanchoe pumila Baker	Shirogane-no-mai	IV-1-3)
	Kalanchoe laxiflora Baker	Kocho-no-mainishiki	IV-1-3)
	Kalanchoe tomentosa Baker	Tsukitoji	IV-1-3)
	Kalanchoe manginii Hamet & Perrier	Beni Chochin	IV-1-3)
	Kalanchoe rosei Hamet & Perrier	Raui	IV-1-3)
Solanaceae	*Kalanchoe daigremontiana* Hamet & Perrier	Shikoro Benkei	IV-1-3)
	Kalanchoe tubiflora (Harvey) Hamet	Kincho	IV-1-3)
	K. daigremontiana × *K. tubiflora* (= *Kalanchoe* × *hybrida* horti)	Fushicho	IV-1-3)
	Tagetes erecta Linnaeus [African marigold]	Yellow Isis	IV-1-4)
	Tagetes patula Linnaeus [French marigold]	March Orange	IV-1-4)
	Zinnia elegans Jacquin [zinnia]	Sanbo White	IV-1-4)
	Carthamus tinctorius Linnaeus [safflower]	Mogami Benibana	IV-1-4)
	Smallanthus sonchifolius (Poeppig & Endlicher) H. Robinson [yacon]	A Peruvian strain	IV-2-3),4)
		A strain derived from cultivar Sarada Otome	IV-2-3),4)
Aizoaceae	*Capsicum annuum* Linnaeus var. *cerasiforme* Bailey [cherry pepper]	Enomi	IV-1-5)
	Capsicum annuum Linnaeus var. *grossum* Sendtner [sweet pepper]	Kentucky Wonder	IV-1-5)
		Eagle Orange	IV-2-1)
Oxalidaceae		High Green	IV-2-2)
		Spirits	IV-2-2)
Basellaceae	*Solanum tuberosum* Linnaeus [potato]	Danshaku	IV-1-1)
	Solanum melongena Linnaeus [eggplant]	Senryo No. 2	IV-1-5)
	Lycopersicon esculentum Miller [tomato]	Odoriko	IV-1-1),5)
		Fukuju No. 2	IV-1-3)
		Momotaro	IV-1-6), IV-2-1),5)
	Bergeranthus jamesii Louisa Bolus [bergeranthus]	Senami	IV-1-6)
	Lampranthus sp. [fig-marigold]		IV-1-6)
	Oxalis tuberosa Molina [oca]	Three Bolivian strains (white, purple and red)	IV-2-3)
	Ullucus tuberosus Caldas [ulluco]	A Peruvian strain	IV-2-5)

は，筑波大学生物資源学類　山岡裕一　農林学系助教授より提供していただいた．また，ベニバナ［safflower, *Carthamus tinctorius* Linnaeus］は山形県立農業試験場　田中　孝　病理昆虫部長より提供していただいた．なお，バレイショ（ジャガイモ）［potato, *Solanum tuberosum* Linnaeus］については，その塊茎を菌株培養培地の調製用にも供試した．また，Table 2 に示した植物のほかに，ニンジン［carrot, *Daucus carota* Linnaeus］の主根，アサ［hemp, *Cannabis sativa* Linnaeus］の種子，インゲンマメ［common bean, *Phaseolus vulgaris* Linnaeus］の茎，カーネーション［carnation, *Dianthus caryophyllus* Linnaeus］の葉およびシバ［Japanese lawn grass, *Zoysia japonica* Linnaeus］の葉を，菌株培養培地の調製用あるいは菌株の子実体等の形成用として供試した．

供試培地

以下の①～⑦の菌株培養培地を供試した．すなわち，①素寒天培地（water agar）［WA：2％寒天抹，pH5.5～7.5］，②ジャガイモ煎汁ブドウ糖寒天培地（potato dextrose agar）［PDA：ジャガイモ（300 g / ℓ）煮沸浸出液，2％ブドウ糖，2％寒天抹，pH5.5～7.5］[161]，③ジャガイモ・ニンジン煎汁寒天

培地（potato carrot dextrose agar）［PCA：ジャガイモ（20g/ℓ）・ニンジン（20g/ℓ）煮沸浸出液，2%寒天抹，pH5.5〜7.5］[161]，④V-8ジュース寒天培地（V-8 juice agar）［V-8A：4.5gの$CaCO_3$を添加したV-8野菜ジュース（キャンベル）300mlの低速遠心（3000rpm，5min.）上清200ml/ℓ，2%寒天抹，pH5.5〜7.5］[161]，⑤Synthetic low nutrient agar［SNA：0.1%KH_2PO_4, 0.1%KNO_3, 0.05%$MgSO_4$・$7H_2O$，0.05%KCl，0.02%ブドウ糖，0.02%ショ糖，2%寒天抹，0.024g/ℓNaOH，pH5.5〜7.5］[84]，⑥アサ種子寒天培地（hemp seed agar）［HSA：粉砕アサ種子(20g/ℓ)煮沸浸出液，2%寒天抹，pH5.5〜7.5］[92]，および，⑦Modified Weitzman-Silva-Hutner agar［WSH：0.1%$NaNO_3$，0.1%$MgSO_4$・$7H_2O$，0.1%KH_2PO_4，1%粉砕オートミール，2%寒天抹，pH5.5〜7.5］[34, 182]を供試した．各培地は121℃で20分間高圧蒸気滅菌し，直径60mmあるいは90mmの滅菌プラスチックシャーレに5〜20ml注いで固形平板培地としたほか，口径18mmの滅菌ガラス試験管に10〜15ml注いで固形斜面培地として使用した．また，10〜20mlあたり3〜4滴の25%乳酸を添加した培地WA（aWA）あるいはPDA（aPDA）を直径90mmの滅菌プラスチックシャーレに注いで固形平板培地として使用した．さらに，プロピレンオキサイドによって1晩殺菌処理したインゲンマメの茎，カーネーションの葉およびシバの葉のそれぞれを置床したWA平板培地［インゲン茎WA[178]，カーネーション葉WA[37]およびシバ葉WA[92]］を使用した．なお，実験器具類の滅菌は，121℃・20分間の高圧蒸気，紫外線照射あるいはプロピレンオキサイドにより行った．

病徴の観察

各病害を認めた現場において，原罹病植物を肉眼および5〜10倍拡大率のルーペによって観察し，罹病部位，病斑の形状と大きさ，腐敗状況，標徴（菌糸や子実体）のほか，被害の程度，発生環境等を記録するとともに，原罹病植物の試料を採取した．試料は紙製の袋に入れて運搬し，5〜10℃下で保存した．鉢物については，鉢ごと持ち帰り，実験室窓際において管理した．次いで，それらの試料は，多湿条件に保った滅菌角型プラスチックシャーレ等の容器に入れ，20〜30℃，自然散光下あるいは近紫外線［black light blue (BLB)：東芝FL20S-BLB 20W］下において菌糸や子実体の発生および病斑の進展を促進し，実体顕微鏡を使用してさらに詳しく観察した．高頻度に現れた菌種の子実体，菌核，菌糸等については，それらを滅菌タングステン柄付針で採取し，ラクトフェノール液［25%（w/v）フェノール，25%乳酸，25%グリセリン，25%滅菌蒸留水］あるいはラクトフェノールコットンブルー液（0.1%アニリンブルーを含むラクトフェノール液）を封入剤としてプレパラートを作成し，光学顕微鏡を使用して観察した．なお，原罹病植物の試料の一部は，菌糸や子実体の発生および病斑の進展を促進したものも含め，顕花植物の押葉標本の作製法と同様に，新聞紙等に挟んで1〜2カ月間圧力をかけて乾燥押葉標本とし，植物名，採集年月日および採集場所など，試料の来歴に関する事項を記入した紙製ポケット等に入れて防虫・防かび剤とともに保存した[98]．

菌株の分離

原罹病植物の病斑に現れた菌糸や子実体等を滅菌柄付針で採取し，WA，aWA，PDA，aPDA等の平板培地上，20〜30℃，自然散光下あるいはBLB下において培養した．その後，それらの平板培地において伸長した菌糸や新たに形成された子実体から，菌糸については単菌糸分離，子実体については単胞子分離を常法にしたがって実施し，純粋分離菌株を得た．これらの菌株分離には，電解研磨した直径0.2mmのタングステン線を取り付けた柄付針を火炎滅菌して使用した[157]．多湿条件に保っても菌糸や子実体の形成が認められない罹病組織や，雑菌が多く付着した罹病組織については，5〜10mm四方の大きさに切り出した病斑外縁部の組織片を，70%エタノールに1〜3分間浸漬，次いで有効塩素1〜2%の次亜塩素酸ナトリウム溶液（アンチホルミン）に1〜3分間浸漬することにより表面殺菌した．その後直ちに，WA，aWA，PDA，aPDA等の平板培地上に置床し，20〜30℃，自然散光下あるいはBLB下においてインキュベートすることによって菌糸や子実体を生じさせ，常法の単菌糸分離法あるいは単胞子分離法にしたがって純粋分離菌株を得た．なお，菌株はPDA斜面培地をはじめ，SNA

斜面培地あるいはWSH斜面培地に植え継ぎ，*Phytophthora capsici* Leonian，*Pythium myriotylum* Drechsler および *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrick の菌株については20～30℃下において，それら以外の菌株については10～15℃下において保存した．

菌株の観察

菌株を培養して形成された菌叢，菌核，菌糸，子実体などの形状は，実体顕微鏡，光学顕微鏡あるいは低真空走査電子顕微鏡を使用して観察した．光学顕微鏡による観察にあたっては，先に述べたラクトフェノール液もしくはラクトフェノールコットンブルー液に封入してプレパラートを作製し検鏡した．その際，菌株により付着器の観察が必要な場合は，スライドカルチャー法［スライドガラス培養法（slide culture method）］によって菌株を前培養した．すなわち，10mm四方の大きさに切り出したPCA平板培地片を滅菌スライドグラスに載せ，培地片の周縁に菌体片を移植し付着させたのち，大きさ20mm×30mmの滅菌カバーグラスを水平に載せた．この培地片が載ったスライドグラスを多湿条件に保った滅菌角型プラスチックシャーレ等の容器に入れ，20～30℃，自然散光下あるいはBLB下において培養し，これをそのままプレパラートにして検鏡した[161]．また，菌体の核の観察については，塩酸ギムザ染色法によって菌体を前処理した[126]．すなわち，PDA等において培養して得た菌体を，酢酸・エタノール混合液（1：3）に30分間，95%エタノールに5分間，70%エタノールに30分以上，5N HClに30分間，次いで1/15Mリン酸緩衝液（pH7.0）を含む3～5%ギムザ染色液に20～30分間浸漬した．そして，余分な染色液を1/15Mリン酸緩衝液で洗い流した菌体を試料としてプレパラートを作製し検鏡した．なお，菌株の子実体を有する平板培地菌叢の一部は，自然乾燥後，防虫・防かび剤とともに標本として保存した．

菌株の生育調査

25℃，暗黒下において培養して得た各菌株のPDA平板培地菌叢の周縁部から，滅菌ポリエチレンストローを使用して直径6mmの菌叢ディスクを切り出し，新しいPDA平板培地1枚につき，この菌叢ディスクを1枚，培地の中央に置床して培養した．培養は，5～45℃の間に10～12区の温度区を暗黒下に設定して実施した．1菌株につき各温度区，菌叢ディスク2～3枚（2～3反復）を供試した．そして，一定期間培養後，生育した菌叢，菌核，菌糸，子実体などの形状を観察するとともに，各菌叢の長径および短径をデジタルノギスを使用して計測し，菌株ごとに各温度区におけるその平均値を算出した．この平均値から移植した菌叢ディスクの直径である6mmを差し引いた値に基づいて，各菌株の生育温度範囲，生育適温ならびに生育適温における菌叢の生育速度（平均半径mm/day）を求めた．

菌株の病原性調査

菌株の植物に対する病原性調査は，以下の①～⑥のいずれかの接種法を適用して実施した．①分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：各菌株を平板培地上で培養して得た分生子を滅菌蒸留水あるいは0.1%Tween20滅菌溶液に $1\times10^{3\sim8}$ 個/mlの密度で懸濁し，薄層クロマトグラフィー用の噴霧器を使用して無傷の健全植物に噴霧した．対照実験区では，滅菌蒸留水あるいは0.1%Tween20滅菌溶液を噴霧した．②分生子懸濁液滴下接種法（無傷接種あるいは有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，マイクロピペッターを使用して健全植物の茎葉など無傷の器官あるいは滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた器官に10～50μℓ滴下した．対照実験区では，滅菌蒸留水あるいは0.1%Tween20滅菌溶液を滴下した．③分生子懸濁液注入接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，マイクロピペッターを使用して健全植物の果実を穿孔し内部に1ml注入した．対照実験区では，滅菌蒸留水を注入した．④菌叢貼付接種法（無傷接種あるいは有傷接種）：各菌株を平板培地上で培養して得た菌叢から，10mm四方の大きさで菌叢片を切り出し，これを滅菌ピンセットを使用して健全植物の茎葉など無傷の器官あるいは滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた器官に貼り付けた．対照実験区では，接種用菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌の当該平板培地から10mm四方の大きさで切り出した培

地片を菌株接種実験区と同様に被接種植物に貼り付けた．⑤菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：Keeling (1982)[47] およびSato *et al.* (1993)[109] による方法（toothpick method）に準じた．すなわち，30分間煮沸した長さ10mmの木製楊子を高圧蒸気滅菌し，先端側を上にして8～12本平板培地に斜めに挿し込んで立てた．各菌株をこれら楊子の林立した平板培地において培養し，菌糸体が着生した楊子を健全植物の茎に突き挿した．対照実験区では，接種用菌株の培養と同時に別の無菌の当該平板培地においてインキュベートした楊子を突き挿した．⑥浸根接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液，あるいは④の接種法と同様に調製した各菌株の10mm四方菌叢片を数個入れたペトリ液[160]［the petri solution：0.015%KH_2PO_4，0.015%$MgSO_4 \cdot 7H_2O$，0.006%KCl，0.004%$Ca(NO_3)_2$］に，水道水で培土を洗い流した健全植物の根部をビーカー内で一定期間浸漬したのち，その植物体をポリビニルポットまたは素焼鉢に入れた培土に植え戻した．分生子懸濁液を接種に用いた場合の対照実験区では，滅菌蒸留水あるいは0.1%Tween20滅菌溶液を用いて被接種植物を浸根処理した．また，菌叢片を入れた滅菌ペトリ液を接種に用いた場合の対照実験区では，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌の当該平板培地から切り出した大きさ10mm四方の培地片を数個入れた滅菌ペトリ液を用いて被接種植物を浸根処理した．なお，浸根接種法においては，水道水で培土を洗い流した際，健全植物の細根部は部分的に切断されて有傷となった．以上の①～⑥の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，15～35℃の範囲で温度設定したガラス室内あるいは実験室内において，初めの数日間は透明ポリエチレン袋を被覆あるいは調査終了までビーカー内に置床し多湿条件に保って管理した．そして，上記の「病徴の観察」において述べた方法に準じて病徴の発現を観察するとともに，菌株を接種した植物体はもとより，対照実験区の植物体についても，上記の「菌株の分離」において述べた方法に準じて菌類の分離（接種菌の再分離）を試みることによって，接種した菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．病原性を認め，新病害あるいは日本初発生病害と判断した病害は，日本植物病理学会が定める新病名等命名基準に則って，和病名および英病名を命名した[38]．なお，以上の病原性調査において病徴が発現した植物体についても，その一部は，上記の「4．病徴の観察」において述べた方法に準じて乾燥押葉標本とし，防虫・防かび剤とともに保存した．

Ⅳ　新病害の立証

本章では，花卉および野菜において新たに発生し，生産・流通現場等で深刻な問題となった新病害および日本新産菌による病害の病原同定について述べる．すなわち，第1節において，花卉に認めた新病害あるいは日本新産菌による病害である「1）*Colletotrichum coccodes* によるオミナエシの炭疽病（新病害）」，「2）*Colletotrichum fuscum* によるネメシアの炭疽病（新病害）」，「3）*Stemphylium lycopersici* によるカランコエの斑点病（新病害）」，「4）*Alternaria tagetica* によるマリーゴールドの斑点病（日本新産菌による病害）」，「5）*Phytophthora capsici* によるチェリーペパーの疫病（新病害）」，「6）*Pythium myriotylum* によるベルゲランツスの腐敗病（新病害）」について詳述し，第2節において，野菜に認めた新病害である「1）*Fusicoccum aesculi* および *Phomopsis phomoides* によるピーマンの果実腐敗病（新病害）」，「2）*Fusarium lateritium* によるピーマンの実腐病（新病害）」，「3）*Macrophomina phaseolina* によるヤーコンおよびオカの炭腐病（新病害）」，「4）*Rhizoctonia solani* によるヤーコンの立枯病（新病害）」，「5）*Pythium aphanidermatum* によるオユコの腰折病（新病害）」について詳述する．

1　花卉の菌類病

1）*Colletotrichum coccodes* によるオミナエシの炭疽病

1998年10月，宮城県一迫町の露地において鉢植栽培中のオミナエシ（オミナメシ）［dahurian patrinia, *Patrinia scabiosaefolia* Fischer，オミナエシ科・オミナエシ属］の自生系統に斑点・葉枯・株枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，分生子果不完全菌綱・メランコニウム科の

Colletotrichum coccodes (Wallroth) S. Hughesと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として炭疽病（anthracnose）と名付けた[137, 138]．以下に，本病原菌の宿主範囲に関して得られた知見を含め，その詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

初め，茎葉において退緑色ないし褐色を帯びた直径0.5～1 mmの病斑が現れた（Plate 2-A）．それらの病斑は次第に拡大し，隣接する病斑が互いに融合するとともに，中央部から褐変・乾燥・枯死した．大きい病斑は中央部の組織が脱落し穴が空いた．そして病斑の多い茎葉は顕著な茎枯・葉枯症状を呈して早期に乾枯し，やがて植物全体が枯死に至った．多湿条件に置いた罹病茎葉の病斑上には，黒褐色の剛毛を有する病原の菌核および分生子層が高頻度で現れ，それらの分生子層には白色ないし淡橙色の分生子粘塊が粒状に生じた（Plate 2-B）．

病斑上の菌核は亜球形ないし偏球形で，大きさが直径30～240 μm，分生子層は基本的な大きさが直径30～50 μmで，しばしば互いに融合して直径120 μmとなり，複数の剛毛の基部周縁に複数の分生子形成細胞を形成した（Plate 2-C，D）．剛毛は分枝せずに真直ないしやや湾曲し，黒褐色，表面平滑，2～4横隔壁，長さは60～120 μm，基部幅は4～10 μmで先端に向かって徐々に細まっていた（Plate 2-D，E）．分生子形成細胞は楕円形ないし徳利形，無色，表面平滑，長さは6～12 μm，幅は2～4 μmでモノフィアライドであった（Plate 2-E）．分生子は分生子形成細胞の先端から連鎖せずに形成され，無色，単細胞，表面平滑，分生子離脱痕のない両端のやや尖った紡錘形ないし円筒形でやや中央がくびれるものがあり，大きさは13～19×2～3 μm，l/b比［length to breadth ratio (l/b ratio)］は3.5～6.5（平均4.8）であった（Plate 2-F）．

病斑上の分生子粘塊から単胞子分離法によって得た病原菌株PC1，PC2およびPC3の3菌株を供試し，各菌株をPDA，25℃，BLB下において培養した結果，いずれの菌株も菌核および分生子層を形成し，菌叢は初め黒点が散在する淡橙色であったが，1カ月以上の長期培養で黒色炭状となった（Plate 2-G）．その分生子層から生じた分生子は大きさが16～18×3～4 μmで，l/b比は4.0～6.0（平均5.2）であった．PDA菌叢に形成されたそれらの菌核，分生子層および分生子の他の形態特性は，病斑上におけるものと同様であった．また，各菌株はPCA，25℃，BLB下におけるスライドカルチャーにおいて付着器を形成した（Plate 2-H）．分枝した菌糸の先端に形成されたその付着器は，暗灰褐色ないし淡褐色，全縁の楕円形，大きさは8～16（～24）×6～12 μmであった．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において7日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，25～28℃を適温として10～35℃で生育し，表面が灰白色で裏面が黒緑色の菌叢を形成した（Fig. 1，Plate 2-G）．菌核，分生子層および分生子の形成は認められなかった．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径4.2mm/dayであった．なお，上記3菌株の形態・培養特性は，以下の「⑵　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，以下の「⑵　病原性立証および病名」および「⑶　宿主範囲に関する知見」で述べる調査を含めて，本研究においては病原の厚膜胞子および完全世代は認められなかった．

上記3菌株は，子実体の特徴，分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の

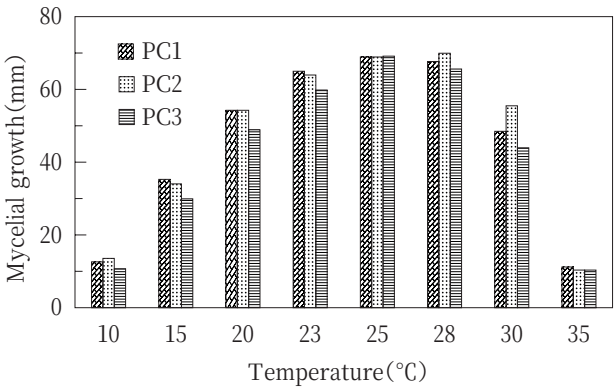


Fig. 1　Influence of temperature on mycelial growth of *Colletotrichum coccodes* isolated from diseased dahurian patrinia. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (PC1, PC2 and PC3) grown on PDA at 25℃ in the dark for a week was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 8 days, colony diameters were measured.

Table 3 Comparison of some characters of the present pathogens causing dahurian patrinia anthracnose and nemesia anthracnose with those of *Colletotrichum coccodes*, *C. fuscum*, *C. acutatum*, *C. destructivum*, *C. gloeosporioides* and *C. higginsianum* described previously.

Pathogen / Reference	Conidium			Sclerotium	Chlamydo-spore	Pathogenicity to		
	Shape	Length (μm)	Width (μm)			Nemesia	Foxglove	Dahurian patrinia
The present pathogen of dahurian patrinia anthracnose (Isolates PC1, PC2 and PC3)	straight, fusiform, abruptly tapered to each end, slightly constricted in the middle	16-18	3-4	+	—	N	N	V
The present pathogen of nemesia anthracnose (Isolates NC1, NC2 and NC3)	oblong-ellipsoid, bluntly pointing at both ends without hila, slightly curved	13-26	4-5	—	+	V	V	N
C. coccodes (= *C. atramentarium*)								
Arx (1957)	cylindrical, mostly straight with abrupt both ends	16-24	3-5	+				
Kishi and Iwata (1973)*	short cylindrical to ellipsoid	16-24	4-5					
Kishi (ed.) (1988)*	short cylindrical to ellipsoid, slightly tapered to each end	15.3-25	2.8-3.9	+				
Sutton (1992) [Sato (1996)*]	straight, fusiform, abruptly tapered to each end, slightly constricted in the middle	16-24	3-4	+				
Nakamura et al. (1998)* (Isolate HC3)	fusiform	13.2-20.4	2.4-4.8	+	—**	N **	N **	N **
C. fuscum								
Laubert (1937)	long, straight or somewhat clavate, slightly curved at the narrow end, containing vacuoles of various sizes	12-24						
Goto (1938)	long, elliptic to cylindric, both ends blunt or sub-acuminate at one end, straight or slightly curved	13-19	3.5-4.5					
Spilsbury (1952)	cylindric, straight or very slightly curved, obtuse or bluntly pointed at the ends, sometimes slightly subclavate at one end	14-22	2.2-4.4					
Arx (1957)	elongated ellipsoid or cylindrical, mostly straight with abrupt both ends	14-22	3-4	+	+		V	
Sutton (1992) [Sato (1996)*]	cylindric to ellipsoid, straight or slightly curved, apex obtuse, base slightly attenuated and truncate	15-21	3.5-4	+	+		V	
C. acutatum Sutton (1992) [Sato (1996)*]	straight, fusiform, abruptly tapered to each end, sometimes slightly medianly constricted	8.5-16.5	2.5-4					
C. destructivum Sutton (1992) [Sato (1996)*]	straight to slightly curved, abruptly tapered to an obtuse apex and truncate base	12.7-18.2	3.6-5.0	(+)				
C. gloeosporioides Sutton (1992) [Sato (1996)*]	straight, cylindrical, apex obtuse, base truncate	11-17.5	3-6					
C. higginsianum Sutton (1992) [Sato (1996)*]	straight or slightly curved, fusiform, abruptly tapered to each end	16.5-19	4					

[ ] : Literatures citing data described in upper one. * : In Japanese. ** : Results in this study. +: Present. —: Absent.
V : Virulent. N : Virulence was not detected. (+) : Occasionally present. Blank column : Not described.

*Colletotrichum*属に所属するものと判定するとともに[57, 120]，その他の形態・培養特性にも基づいて，菌種は*Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughesと同定した[3, 52, 54, 77, 103, 121]．特に，各菌株は，分生子の形態特性および菌核の形成について，*C. coccodes*以外の*Colletotrichum*属菌とは異なった．他の*Colletotrichum*属菌のなかでも，*Colletotrichum acutatum* Simmonds ex Simmonds，*Colletotrichum destructivum* O'Gara，*Colletotrichum fuscum* Laubert，*Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardoおよび*Colletotrichum higginsianum* Saccardoの5菌種が，*C. coccodes*と分生子の形態特性がよく似ている（Table 3）．しかし，*C. coccodes*および*C. destructivum*の2菌種は菌核を形成することが確認されており，前者は菌核を豊富に形成し，後者は菌核を時折形成すると報告されている[103, 121]．本研究において分離した菌株PC1，PC2およびPC3の3菌株は，いずれも典型的な菌核を豊富に形成したことから，*C. destructivum*を含むそれら他の5菌種とは異なるものと判断した．

⑵　病原性立証および病名命名

菌株PC1，PC2およびPC3のオミナエシに対する病原性調査は，品種アスカを用いて2回実施した．両調査ともに，分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，BLB下において6～9日間培養して得た各菌株の分生子を4～6×105個/mlの密度で滅菌蒸留水に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき2～3個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に滅菌蒸留水を噴霧した別の2個体の健全植物を対照実験区とした．菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，20～28℃に設定したガラス室内において，初めの3～4日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の4～5日後，3菌株を接種したすべての植物体の茎葉において，淡褐色を帯びた斑点が現れた．接種処理の10日後には，病斑が形成された茎葉は，病斑の拡大・融合によって顕著な茎枯・葉枯症状を呈し（Plate 2-I），接種処理の3週間後には，菌株を接種した個体はすべて枯れ上がり，原病徴が再現された（Plate 2-J）．一方，対照実験区の植物体は，1カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，菌株接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*C. coccodes*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*C. coccodes*が本病の病原であることが立証された．コッホの原則を満たして病原性の立証されたオミナエシ属植物における既往の菌類病として，*Puccinia hemerocallidis* Thümenによるさび病（rust）および*Verticillium dahliae* Klebahnによる半身萎凋病（wilt）が記録されている[83]．また，*C. coccodes*はこれまでにナス科のバレイショ，トマト，トウガラシ（ピーマン），ナスおよびホオズキのほか，アオイ科のイチビ（ボウマ）に対する病原性が記録されている[23, 83]．本菌種の宿主にオミナエシ科植物（Valerianaceae）は記録されていない．本科植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したオミナエシの病害は新病害と判断した．*Colletotrichum*属菌による植物の病害は一般に炭疽病（anthracnose）と呼称される[6, 38, 39, 56, 99]．したがって，この新病害を炭疽病と名付けた[138]．

⑶　宿主範囲に関する知見

先にも述べたように，*C. coccodes*は，ナス科のバレイショ，トマト，トウガラシ（ピーマン），ナスおよびホオズキのほか，アオイ科のイチビ（ボウマ）に対して病原性があり，根腐性，斑点性ないしは茎腐性の病害（root rot, black-dot root-rot, stem rot, anthracnose）を引き起こす菌種であることが記録されている[8, 23, 52, 53, 54, 77, 88]．そこで，本研究において分離したオミナエシ炭疽病菌の宿主範囲を把握する一環として，菌株PC1およびPC3のバレイショ［potato, *Solanum tuberosum* Linnaeus，品種ダンシャク］およびトマト［tomato, *Lycopersicon esculentum* Miller，品種オドリコ］に対する病原性を調査した．調査には，オミナエシ炭疽病菌と同じ*C. coccodes*で，ナス科のバレイショおよびトマトにも病原性を有することが報告されているホオズ

キ炭疽病菌株HC3を加えた[77]．調査は以下の①～④の接種法を順番に適用して実施した．すなわち，①分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：上記の「(2)病原性立証および病名命名」で述べたオミナエシ炭疽病の立証のために適用した方法に準じ実施した．②分生子懸濁液滴下接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき，滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた2個体の健全植物の葉に滴下した．対照実験区では1個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水を滴下した．③菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において10日間培養して各菌株の菌糸体を着生させた楊子を，各菌株につき3個体の健全植物の地際茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．④浸根接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液に，各菌株につき，水道水で培土を洗い流した3個体の健全植物の根部をビーカー内で3日間浸漬したのち，それらの植物体をポリビニルポットに入れた培土に植え戻した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水で浸根処理した．①～④の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，20～28℃に設定したガラス室内において，初めの3日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，①の分生子懸濁液噴霧接種法を適用した場合，菌株PC1およびPC3によるオミナエシ炭疽病が再確認された（Table 4）．また，トマトにおいては，供試したすべての菌株によって葉がやや黄化・褐変したが，それらの葉組織からは接種菌は再分離されなかった（Plate 2-K）．供試3菌株を接種したバレイショおよびホオズキ炭疽病菌株HC3を接種したオミナエシにおいては，①～④のいずれの接種法によっても，接種後2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった．

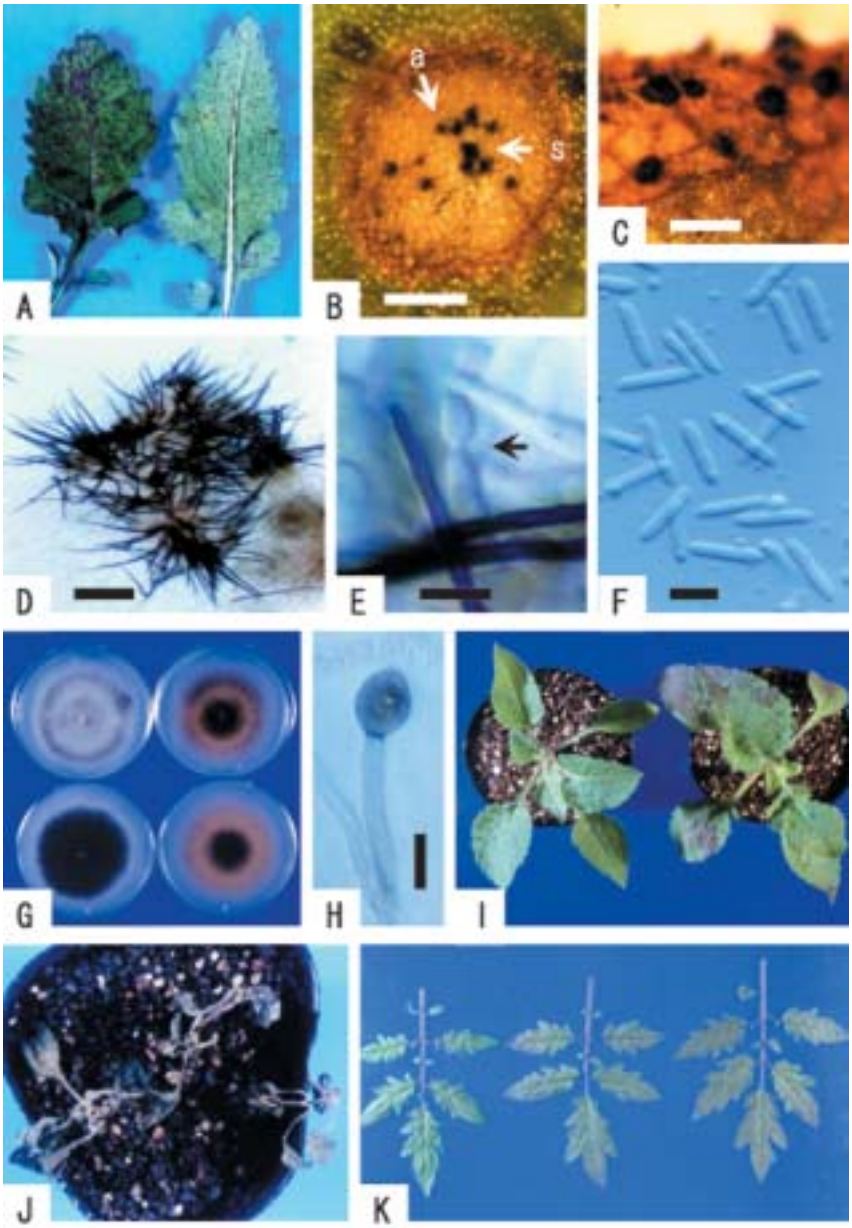
Table 4 Pathogenicity of *Colletotrichum coccodes* causing anthracnose of dahurian patrinia and lantern plant to potato, tomato and dahurian patrinia.

Isolate	Potato	Tomato	Dahurian patrinia
PC1 from dahurian patrinia	—	—	Anthracnose
PC3 from dahurian patrinia	—	—	Anthracnose
HC3 from lantern plant	—	—	—

—: Virulence was not detected.

トマトには*C. coccodes*に対する感受性において品種・系統間差があると報告されている[8]．本研究において，*C. coccodes*のオミナエシ炭疽病菌株およびホオズキ炭疽病菌株はいずれもトマトの葉に変色を起こしたが，それはコッホの原則を満たすものではなく，それらのトマトに対する病原性は，同じナス科植物であるバレイショに対する病原性とともに確認されなかった．供試したホオズキ炭疽病菌株は両植物に対する病原性が記録されている[77]．その立証に供試された品種はいずれも不明であるが，上記の接種実験の結果から，本研究において供試したバレイショ品種ダンシャクおよびトマト品種オドリコは，ホオズキ炭疽病菌株およびオミナエシ炭疽病菌株に対して抵抗性の品種の可能性がある．なお，次のネメシア炭疽病に関する節で述べるように，このホオズキ炭疽病菌株は，オミナエシ炭疽病菌株と同様，ゴマノハグサ科のキンギョソウ［snapdragon, *Antirrhinum majus* Linnaeus，品種メリーランドホワイト］およびヒメキンギョソウ（リナリア）［cloven-lip, *Linaria bipertita* Willdenow，品種ホワイトグッピー］に対する病原性がのちに確認されたことから，バレイショおよびトマトに対する病原性を喪失していたとは考え難い．他方，本研究においては，菌株HC3のオミナエシに対する病原性も検出されなかった．この結果はナス科植物を犯す*C. coccodes*の菌株とオミナエシ科植物を犯す*C. coccodes*の菌株は宿主範囲に違いがあることを示す．本菌種には，アオイ科のイチビ（ボウマ）に対して病原性を有する菌株も分離されているので[88]，今後，この菌株も含め，*C. coccodes*の宿主範囲や寄生性分化を詳細に調査・整理することが植物病原菌学的に重要である．

Plate 2



Explanation of Plate 2

A-C. Natural symptoms and signs of dahurian patrinia anthracnose caused by *Colletotrichum coccodes*.
- A. Foliar lesions (left : upper side, right : lower side).
- B. Sclerotia and acervuli on a foliar lesion (a : acervulus, s : sclerotium, bar : 1 mm).
- C. Magnified sclerotia on a stem lesion (bar : 400 µm).

D-H. Morphological and cultural characters of the pathogen of dahurian patrinia anthracnose, *C. coccodes*.
- D. Acervuli with seta separated from a foliar lesion (bar : 50 µm).
- E. A conidiogenous cell bearing a conidium and a brown to dark seta on a foliar lesion (arrow : conidiogenous cell, bar : 10 µm).
- F. Conidia formed on a foliar lesion (bar : 10 µm).
- G. Colonies of isolate PC3 produced on PDA at 25°C for a week (left : in the dark; right : under black light; upper : surface view; lower : reverse view).
- H. An appressorium formed on PCA at 25°C under black light (bar : 10 µm).

I, J. Symptoms reproduced by inoculation of dahurian patrinia with *C. coccodes* isolate PC1.
- I. Symptoms 10 days after inoculation (left : control).
- J. Symptoms 3 weeks after inoculation.

K. Discoloration of tomato leaves 2 weeks after inoculation with *C. coccodes* isolates from dahurian patrinia and lantern plant (left to right : control, isolate PC3 and isolate HC3).

2）*Colletotrichum fuscum* によるネメシアの炭疽病

1999年2月，香川県豊中町の温室において鉢植栽培中のネメシア（ウンランモドキ）［nemesia, *Nemesia strumosa* Bentham，ゴマノハグサ科・ネメシア（アフリカウンラン）属］の品種KLMに斑点・萎凋・株枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，分生子果不完全菌綱・メランコニウム科の *Colletotrichum fuscum* Laubertと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として炭疽病（anthracnose）と名付けた[136, 149, 153, 154]．以下に，本病原菌の宿主範囲に関して得られた知見を含め，その詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

初め，茎葉において水浸状の不整形病斑や退緑色ないし淡褐色を帯びた直径1～3 mmの斑点が現れた（Plate 3-A, B）．それらの病斑は次第に拡大し，隣接する病斑が互いに融合して罹病した植物組織の腐敗を招いた．それに伴い，罹病した植物全体が萎凋するとともに，徐々に乾燥してやがて早期枯死に至った（Plate 3-C）．多湿条件に置いた罹病茎葉の病斑上には，褐色の剛毛を有する病原の分生子層が高頻度に現れ，白色ないし淡橙色の分生子粘塊が粒状に生じた（Plate 3-D）．

病斑上の分生子層は大きさが直径10～20 μmで1～2本の剛毛を持ち，剛毛の基部周縁に複数の分生子形成細胞を形成した（Plate 3-E）．剛毛は分枝せずに真直ないしやや湾曲し，褐色，表面平滑，3～5横隔壁，長さは80～160 μm，基部幅は4～8 μmで先端に向かって徐々に細まっていた．分生子形成細胞は楕円形ないし徳利形，無色，表面平滑，長さは3～12 μm，幅は2～4 μmでモノフィアライドであった．分生子は分生子形成細胞の先端から連鎖せずに形成され，無色，単細胞，表面平滑，長楕円形でしばしばやや湾曲し，両端はやや尖り，基端はやや截切状であり，大きさは14～26×4～5 μm，l/b比は3.4～6.5（平均4.6）であった．

病斑上の分生子粘塊から単胞子分離法によって得た病原菌株NC1，NC2およびNC3の3菌株を供試し，各菌株をPDA，25℃，BLB下において培養した結果，いずれの菌株も分生子層を生じ，淡鮭肉色の菌叢を形成した（Plate 3-F）．その分生子層には1～2本の剛毛を有するものと剛毛を持たないものがあった．分生子層の基本的な大きさは直径10～30 μmで，しばしば互いに融合して直径120 μmになるものがあった（Plate 3-G）．剛毛は長さが24～80 μm，基部幅が4～6 μmで，1～3横隔壁が認められた．分生子層から生じた分生子は大きさが13～22×4～5 μmで，l/b比は2.6～5.5（平均4.2）であった（Plate 3-H）．PDA菌叢に形成された分生子層および分生子の他の形態特性は，病斑上におけるものと同様であった．このPDA菌叢においては，菌糸細胞の一部が厚膜胞子となっている場合が認められた（Plate 3-I）．その厚膜胞子は亜球形，角球形ないし不整形，褐色，表面平滑，大きさは8～12×8～10 μmであった．また，各菌株はPCA，25℃，BLB下におけるスライドカルチャーにおいて付着器を形成した（Plate 3-J）．分枝した菌糸の先端に形成されたその付着器は，暗灰褐色ないし灰褐色，楕円形ないしやや切れ込みのある不整形，大きさは8～18×5～7 μmで，しばしば不規則に連鎖した．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において7日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，28℃を適温として5～35℃で生育し，白色ないし灰白色の菌叢を形成した（Fig. 2, Plate 3-F）．分生子層および

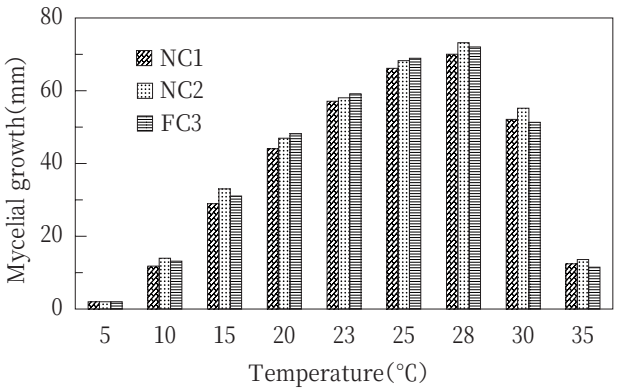


Fig. 2　Influence of temperature on mycelial growth of *Colletotrichum fuscum* isolated from diseased nemesia. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (NC1, NC2 and NC3) grown on PDA at 25℃ in the dark for a week was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 6 days, colony diameters were measured.

分生子の形成は認められなかった．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径5.0mm/dayであった．なお，上記3菌株の形態・培養特性は，以下の「⑵ 病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，以下の「⑵ 病原性立証および病名」および「⑶ 宿主範囲に関する知見」で述べる調査を含めて，本研究においては病原の菌核および完全世代は認められなかった．

上記3菌株は，子実体の特徴，分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Colletotrichum*属に所属するものと判定するとともに[57, 120]，その他の形態・培養特性にも基づいて，*Colletotrichum fuscum Laubert*と同定した[3, 25, 66, 99, 116, 121]．特に，各菌株は，分生子の形態特性および厚膜胞子の形成について，*C. fuscum*以外の*Colletotrichum*属菌とは異なった．他の*Colletotrichum*属菌のなかでも，*C. acutatum*，*C. coccodes*，*C. destructivum*，*C. gloeosporioides*および*C. higginsianum*の5菌種が，*C. fuscum*と分生子の形態特性がよく似ているが，*C. fuscum*のみに厚膜胞子の形成が確認されている（Table 3）．本研究において分離した菌株NC1，NC2およびNC3の3菌株は，いずれも典型的な厚膜胞子を形成したことから，それら他の5菌種とは異なるものと判断した．

⑵ 病原性立証および病名命名

菌株NC1，NC2およびNC3のネメシアに対する病原性調査は，品種KLMを用いて2回実施した．両調査ともに，分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，BLB下において7日間培養して得た各菌株の分生子を1×104～6個/mlの密度で滅菌蒸留水に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき3～8個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に滅菌蒸留水を噴霧した別の3～8個体の健全植物を対照実験区とした．菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，24～28℃に設定したガラス室内において，初めの1日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の1～2日後，3菌株を接種したすべての植物体の茎葉において，水浸状の不整形病斑や退緑色ないし淡褐色を帯びた直径1～3mmの斑点が現れた．接種処理の3～5日後には，病斑が形成された茎葉は，病斑の拡大・融合とともに腐敗・枯死しはじめ，同時に数個体は植物全体が萎凋しはじめた．接種処理の2週間後には，菌株を接種した植物体はすべて枯れ上がり，原病徴が再現された（Plate 3-K）．一方，対照実験区の植物体は1カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，菌株の接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*C. fuscum*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*C. fuscum*が本病の病原であることが立証された．

*Colletotrichum fuscum*は，ネメシアと同じゴマノハグサ科のジギタリス（*Digitalis* spp.）に炭疽病を引き起こす菌種であることが記録されている[3, 25, 66, 99, 116, 121]．そこで次に，菌株NC1，NC2およびNC3のジギタリス［foxglove, *Digitalis purpurea* Linnaeus，品種フォクシー］に対する病原性を，上記のネメシアに対する病原性調査において適用した方法に準じ調査した．その結果，各菌株は本植物に炭疽病を引き起こした（Table 3, Plate 3-L, M）．すなわち，菌株を接種した幼植物は，ネメシアにおける接種実験の結果と同様の発病経過・症状を示した（Plate 3-L）．成植物では，菌株を接種した3～5日後に茎葉に現れた水浸状の不整形病斑が拡大し（Plate 3-M），接種処理の3週間後には植物全体が萎凋してすべて枯れ上がった．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，菌株の接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*C. fuscum*は分離されなかった．以上の結果は，供試菌株が*C. fuscum*であることを支持するものである．ネメシア属植物における病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．本研究において立証した*C. fuscum*によるネメシアの病害は，本属植物において初めて確認した病害である．先にも述べたように，*C. fuscum*は，唯一，ネメシ

アと同じゴマノハグサ科のジギタリスに炭疽病を引き起こす菌種として知られていた．ネメシアは本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証した本植物の病害は新病害と判断した．*Colletotrichum*属菌による植物の病害は，一般に炭疽病（anthracnose）と呼称される[6, 38, 39, 56, 99]．また，本研究において病原性を立証したネメシアの病害の病原菌株は，実際にジキタリス炭疽病も引き起こした．したがって，ネメシアにおいて認めたこの新病害を炭疽病（anthracnose）と名付けた[136, 149, 153, 154]．

⑶　宿主範囲に関する知見

ネメシアおよびジキタリスのほかに，花卉として広く普及しているゴマノハグサ科植物の*C. fuscum*に対する感受性を把握する一環として，キンギョソウ［品種メリーランドホワイト］，ヒメキンギョソウ（リナリア）［品種ホワイトグッピー］，カルセオラリア（キンチャクソウ）［slipperwort, *Calceolaria* ×*herbeohybrida* Voss，品種ミダス］，トレニア（ハナウリクサ）［torenia, *Torenia fournieri* Lidley，品種ピッコロ］，ペンステモン［gloxinia penstemon, *Penstemon gloxinioides* Hortorum，品種ミッドナイト］，アンゲロンソウ［angelonia, *Angelonia gardneri* Hooker，品種ホワイティー］およびクワガタソウ（ヒメルリトラノオ）［alpine speedwell, *Veronica alpina* Linnaeus，品種ブルーブーケット］の7種植物に対するネメシア炭疽病菌株NC3の病原性を調査した．また，これと合わせて，*C. acutatum*のリンゴ炭疽病菌株EA1[105]，*C. gloeosporioides*の同病菌株911003-5[105]，*Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisbyのダイコン炭疽病菌株RC13[106]，*Colletotrichum circinans* (Berkeley) Voglinoのタマネギ炭疽病菌株OC1[73]，ならびに前節において述べたオミナエシ炭疽病菌株PC3および*C. coccodes*のホオズキ炭疽病菌株HC3[77]について，ネメシアおよびジキタリスを加えた9種ゴマノハグサ科植物およびオミナエシに対する病原性を調査した．調査は以下の①～④の接種法を順番に適用して実施した．すなわち，①分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：上記の「⑵　病原性立証および病名命名」で述べたネメシア炭疽病の立証のために適用した方法に準じ実施した．②分生子懸濁液滴下接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき，滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた3～5個体の健全植物の葉に滴下した．対照実験区では3～5個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水を滴下した．③菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において7日間培養して各菌株の菌糸体を着生させた楊子を，各菌株につき3～5個体の健全植物の地際茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では2～5個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．④浸根接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液に，各菌株につき，水道水で培土を洗い流した3～5個体の健全植物の根部をビーカー内で1～3日間浸漬したのち，それらの植物体をポリビニルポットに入れた培土に植え戻した．対照実験区では3～5個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水で浸根処理した．①～④の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，24～28℃に設定したガラス室内において，初めの1～3日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，①の分生子懸濁液噴霧接種法を適用した場合，キンギョソウおよびヒメキンギョソウにおいては，供試したすべての菌株によって花弁のみが枯死した（Table 5, Plate 4-A～I）．また，カルセオラリアにおいては，菌株NC3およびRC13によって茎葉が枯死し（花弁を有する植物では調査せず）（Plate 4-J, K），菌株EA1，911003-5およびOC1によって花弁のみが枯死した（Plate 4-L～N）．それらの症状はいずれも，当該菌株を接種処理後3～4日目に現れ，水浸状ないしは褐色を帯びた直径0.5～1 mmの病斑が拡大するとともに隣接する病斑が融合して当該植物組織を腐敗・乾枯させるものであった（Plate 4-I）．また，それら罹病した植物体病斑部からは接種菌が再分離された．これらのほかには，菌株NC3によるネメシア炭疽病とジギタリス炭疽病，ならびに菌株PC3によるオミナエシ炭疽

Table 5　Pathogenicity of isolates causing anthracnose of nemesia, apple, radish, onion, lantern plant and dahurian patrinia to several scrophulariaceous flowering plants and dahurian patrinia.

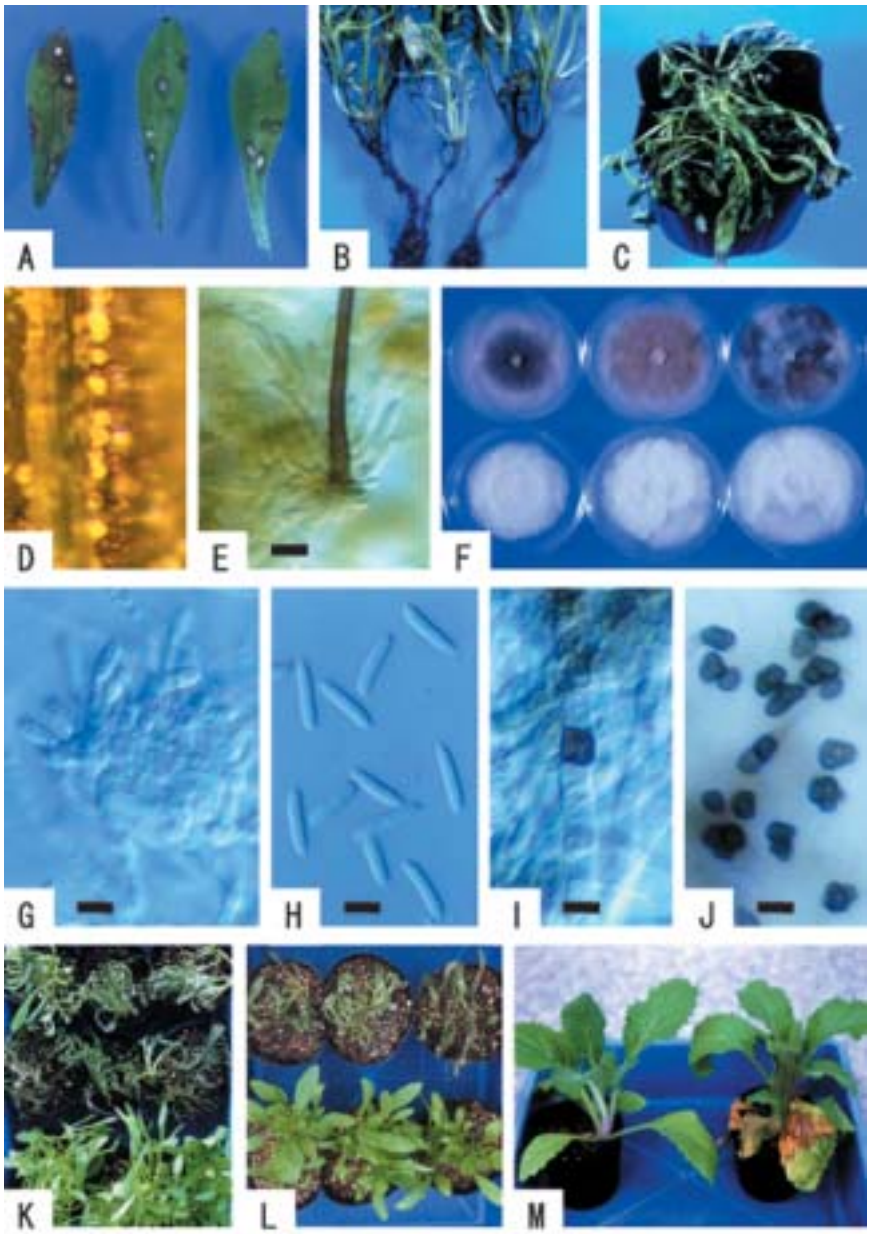
Species / Isolate	Scrophulariaceae									Valerianaceae
	Snapdragon	Cloven-lip	Slipperwort	Torenia	Gloxinia penstemon	Angelonia	Alpine speedwell	Nemesia	Foxglove	Dahurian patrinia
Colletotrichum fuscum										
Isolate NC3 from nemesia	Petal blight	Petal blight	Foliage blight	—	—	—	—	Anthracnose	Anthracnose	—
C. acutatum										
Isolate EA1 from apple	Petal blight	Petal blight	Petal blight	—	—	—	—	—	—	—
C. gloeosporioides										
Isolate 911003-5 from apple	Petal blight	Petal blight	Petal blight	—	—	—	—	—	—	—
C. capsici										
Isolate RC13 from Japanese radish	Petal blight	Petal blight	Foliage blight	—	—	—	—	—	—	—
C. circinans										
Isolate OC1 from welsh onion	Petal blight	Petal blight	Petal blight	—	—	—	—	—	—	—
C. coccodes										
Isolate PC3 from dahurian patrinia	Petal blight	Petal blight	—	—	—	—	—	—	—	Anthracnose
Isolate HC3 from lantern plant	Petal blight	Petal blight	—	—	—	—	—	—	—	—

—: Virulence was not detected.

病が再確認されたのみであった．以上の菌株・被接種植物の組み合わせ以外は，①〜④のいずれの接種法によっても，接種後 2 カ月を経ても，対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった．

ジギタリス炭疽病を引き起こす *C. fuscum* は，キンギョソウに対しては病原性を示さないと報告されていた[25, 116]．しかし，本研究において，ジギタリス炭疽病も引き起こすネメシア炭疽病菌株 NC3 を用いた接種実験の結果，*C. fuscum* がキンギョソウの花弁に対して病原性を有することが新たに明らかとなった．また，*C. coccodes* のホオズキ炭疽病菌株 HC3 がキンギョソウに対して病原性を有することは既に報告されていたが，その報告には病原性の実証に関する記述はなく，コッホの原則を満たすものではなかった[77]．しかし，本研究において，その菌株 HC3 のほか，オミナエシ炭疽病菌株 PC3 も用いた接種実験の結果，*C. coccodes* も本植物の花弁に対して病原性を有することが確認された．他方，キンギョソウにおいては，*C. gloeosporioides* によって引き起こされる炭疽病が記録されているが，その報告についても病原性の実証に関する記述はなく，コッホの原則を満たすものではない[23, 57, 81]．しかし，本研究において，リンゴ炭疽病菌株911003-5を用いた接種実験の結果，*C. gloeosporioides* も本植物の花弁に対して病原性を有することが確認された．南部（1916）の報告したキンギョソウ炭疽病菌株が残されていないため，本病の検証は正確にはできないが，上記の結果は本病の存在を強く示唆するものである．なお，本研究においては，以上の菌株の他の供試菌株，すなわち，*Colletotrichum acutatum* のリンゴ炭疽病菌株 EA1，*C. capsici* のダイコン炭疽病菌株 RC13 および *C. circinans* のタマネギ炭疽病菌株 OC1 もすべて，キンギョソウの花弁に対して病原性を有することが明らかとなった．その病原性は，いずれの菌株についても，本植物の花弁のみに対する特異的なもので，この現象はヒメキンギョソウにおいても認められ，また，菌株 EA1，911003-5 および OC1 については，カルセオラリアにおいても認められた．花弁に対する特異的な病原性は，*C. acutatum* のコスモスに対する病原性（コスモス花枯炭疽病）[162] と良く似ている．*Colletotrichum fuscum*, *C. coccodes*, *C. gloeosporioides*, *C. capsici* および *C. circinans* のキンギョソウ，ヒメキンギョソウおよびカルセオラリアの花弁に対する特異的な病原性については，本研究によって初めて明らかとなった．本研究で供試したそれらの菌株は，菌種ばかりでなく，来歴も全く異なるものである．以上より，*Colletotrichum* 属菌は一般的にゴマノハグサ科植物の花弁に対して病原性を有する可能性が示唆される．本科植物には広く普及している花弁が多く含まれることから，今後，キンギョソウ，ヒメキン

Plate 3



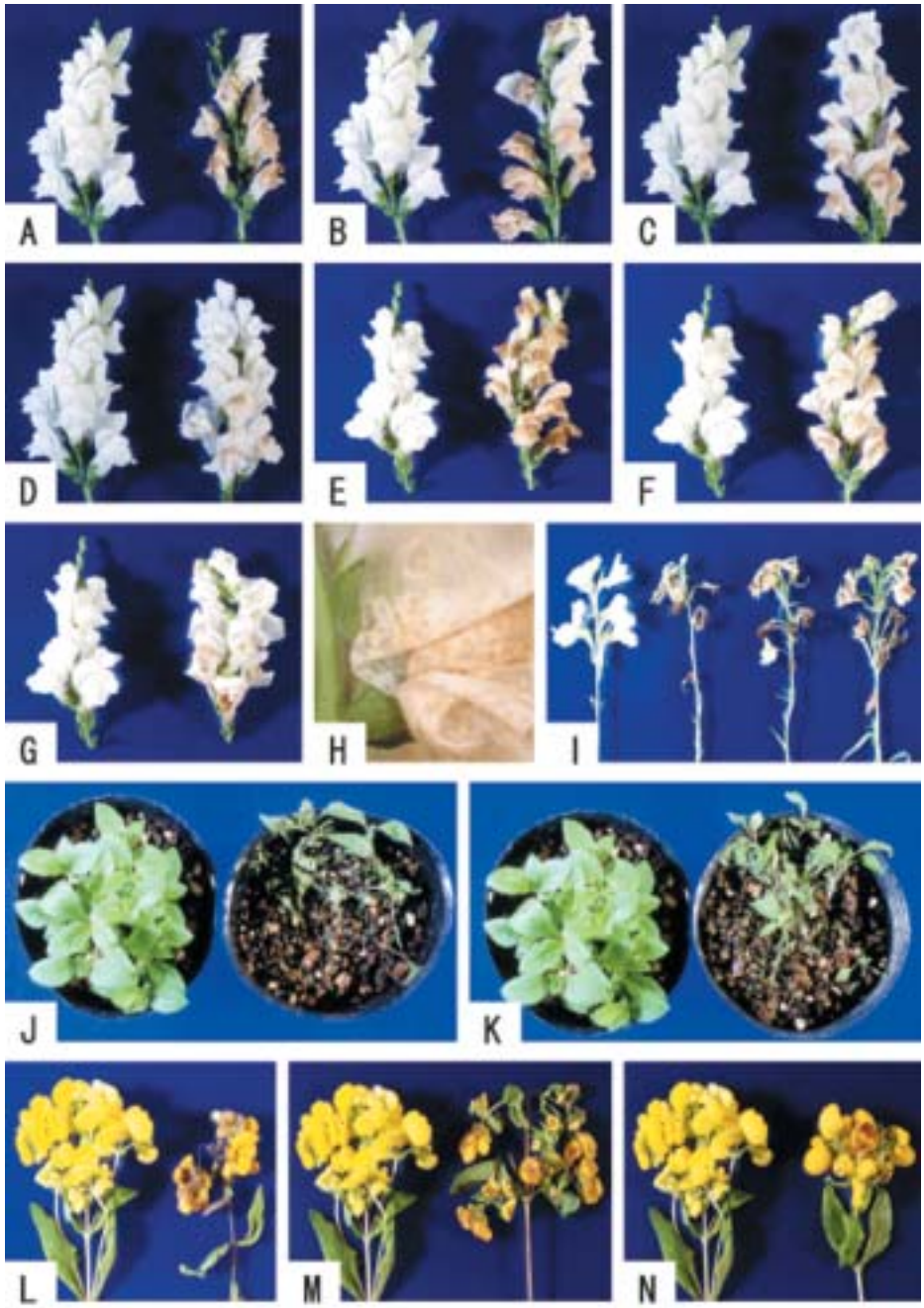
Explanation of Plate 3

A-D. Natural symptoms and signs of nemesia anthracnose caused by *Colletotrichum fuscum*.
- A. Lesions on leaves.
- B. Lesions on stems.
- C. Wilted plants.
- D. Conidial masses on the lesion.

E-J. Morphological and cultural characters of the pathogen of nemesia anthracnose, *C. fuscum*.
- E. An acervulus with a seta on the lesion (bar : 10 µm).
- F. Colonies formed on PDA at 25℃ for a week (left to right : isolate NC1, NC2 and NC3; upper : under black light; lower : in the dark).
- G. An acervulus bearing conidia on conidiogenous cells formed on PDA at 25℃ under black light for 1 week (bar : 10 µm).
- H. Conidia formed on PDA at 25℃ under black light for 1 week (bar : 10 µm).
- I. Chlamydospores formed on PDA at 25℃ under black light (bar : 10 µm).
- J. Appressoria formed on PCA at 25℃ under black light (bar : 10 µm).
- K. Symptoms reproduced 4 days after inoculation of nemesia with *C. fuscum* isolate NC1 (lowest : control).

L, M. Foxglove anthracnose produced by inoculation with *C. fuscum* isolate NC1 from nemesia.
- L. Wilted seedlings 4 days after inoculation (lower : control).
- M. Foliage blight of an adult plant 2 weeks after inoculation (left : control).

Plate 4



Explanation of Plate 4

A-H. Symptoms appeared 7-10 days after inoculation of snapdragon with some *Colletotrichum* species (left : control).
- A. Petal blight caused by *C. fuscum* (isolate NC3).
- B. Petal blight caused by *C. acutatum* (isolate EA1).
- C. Petal blight caused by *C. gloeosporioides* (isolate 911003-5).
- D. Petal blight caused by *C. capsici* (isolate RC13).
- E. Petal blight caused by *C. circinans* (isolate OC1).
- F. Petal blight caused by *C. coccodes* (isolate PC3).
- G. Petal blight caused by *C. coccodes* (isolate HC3).
- H. Magnified petal lesions, caused by *C. fuscum* (isolate NC3).

I. Symptoms appeared 7 days after inoculation of cloven-lip with *C. fuscum* and *C. coccodes* (left to right : control, isolate NC3, PC3 and HC3).

J-N. Symptoms appeared 5 days after inoculation of slipperwort with some *Colletotrichum* species (left : control).
- J. Foliage blight caused by *C. fuscum* (isolate NC3).
- K. Foliage blight caused by *C. capsici* (isolate RC13).
- L. Petal blight caused by *C. acutatum* (isolate EA1).
- M. Petal blight caused by *C. gloeosporioides* (isolate 911003-5).
- N. Petal blight caused by *C. circinans* (isolate OC1).

ギョソウおよびカルセオラリアを中心に用い，*Colletotrichum*属菌とゴマノハグサ科植物間の親和性になんらかの傾向があるか否か調査することが望まれる．

3）*Stemphylium lycopersici*によるカランコエの斑点病

1996年4月，香川県多度津町の温室において鉢植栽培中のカランコエ（ベニベンケイ）［kalanchoe, *Kalanchoe blossfeldiana* Poellnitz，ベンケイソウ科・カランコエ（リュウキュウベンケイ）属］の品種シンガポールに斑点・葉枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，不完全糸状菌綱・デマチウム科の*Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamotoと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として斑点病（leaf spot）と名付けた[103, 128, 147]．以下に，本病原菌の宿主範囲に関して得られた知見を含め，その詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

本病の最も顕著な病徴は葉に生じる褐色病斑である（Plate 5-A～C）．病斑は下位葉から発達する傾向があり，初めは葉の表裏両面に小さな褐色斑点として現れた（Plate 5-A, B）．それらの病斑は徐々に拡大して直径1～5 mmの明瞭な斑点となり，隣接する病斑は互いに融合してさらに大きな病斑に発達した．葉の周縁付近に生じた病斑は葉縁に沿って特に早く拡大する傾向があった（Plate 5-B）．多くの病斑が発生した葉は早期に黄化した後，褐色に乾枯し脱落した（Plate 5-C）．多湿条件に置いた罹病葉の病斑には，病原の分生子柄および分生子が暗褐色ビロード状に表生した．

病斑上の分生子柄は分枝せずに単生し，褐色，表面細疣状，1～7横隔壁を有し，長さは30～125 μm，幅は4～7 μm，頂部はやや膨らみ幅6～9 μmで，その頂部において貫生（percurrent proliferation）した（Plate 5-D）．分生子は分生子柄先端で連鎖せずに全出芽で単生し，1～4主要横隔壁部で縊れる円筒形，倒棍棒形ないし長楕円形の褐色石垣状多細胞，先端は丸いか円錐状に尖り，表面には疣状突起が密生し，乾性（dry airborne spores），大きさは25～66×12～25 μm，l/b比は3.2～3.5（平均3.4）であった（Plate 5-D～F）．室温下においてWAあるいはPDA等に置床した分生子は不特定の複数細胞から発芽し菌糸を伸長させた．

病斑から単菌糸分離法よって得た病原菌株KS2，ならびに単胞子分離法によって得た病原菌株KS3およびKS4を供試し，各菌株をPDAあるいはV-8A，25～28℃，BLB下において培養した結果，いずれの菌株も暗オリーブ色の菌叢を形成し分生子柄および分生子を生じるとともに，黄褐色ないし赤褐色の色素を培地中に産生した（Plate 5-G）．特に菌株KS3は顕著に色素を産生した．培地上に形成された分生子柄は病斑上のものよりも長く，分生子は病斑上のものよりもやや小さい上に，先端がやや丸い傾向があり，l/b比は3.0よりも小さく，主要横隔壁数は1～3であった．PDAあるいはV-8A上の菌叢に形成された分生子柄および分生子の形態特性は，大きさなど上記の点以外については病斑上におけるものと同様であった．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において7日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，28～30℃ を適温として5～35℃で生育し（Fig. 3），表面が灰色の気中菌糸に覆われた暗オリーブ色の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径4.3mm/dayであっ

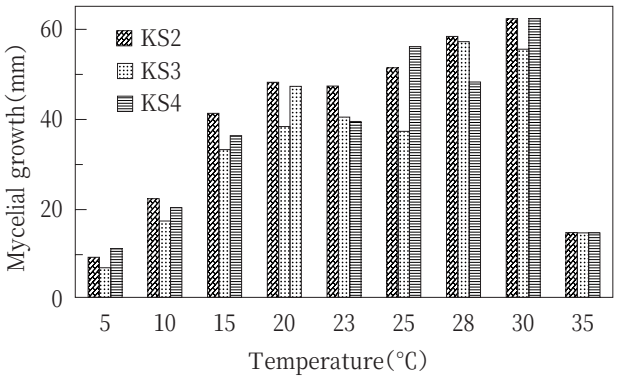


Fig. 3　Influence of temperature on mycelial growth of *Stemphylium lycopersici* isolated from diseased kalanchoe. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (KS2, KS3 and KS4) grown on PDA at 25℃ in the dark for a week was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 7 days, colony diameters were measured.

Table 6　Comparison of some characters of the present pathogen causing kalanchoe leaf spot with those of *Stemphylium lycopersici* and *S. bolicki* described previously.

Pathogen / Reference	Conidium				Pathogenicity to	
	Shape of apex	Number of constrictions	Surface structure	l/b ratio	Kalanchoe	Tomato
The present pathogen of kalanchoe leaf spot (Isolates KS2, KS3 and KS4)	often pointed in conical	often 3	minutely verruculose	3 <	+	+
S. lycopersici						
Enjoji (1931)*		1-4	minutely verruculose			+
Yamamoto (1960, 1961)*	flat to rounded	1-4	minutely verruculose			+
Ellis (1971)	pointed in conical	often 3	minutely verruculose	3 <		+
S. bolicki						
Sobers and Seymour (1963)	rounded	1-2	moderately verrucose	3 >	+	−

*: In Japanese.　+: Virulent.　−: Virulence was not detected.　Blank column : Not described.

た．分生子柄および分生子の形成は認められなかったことから，それらの形成はBLB下で促進されることが明らかとなった．23〜30℃では黄褐色ないし赤褐色の色素産生が認められた．なお，各上記3菌株の形態・培養特性は，以下の「⑵　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，以下の「⑵　病原性立証および病名」および「⑶　宿主範囲に関する知見」で述べる調査を含めて，本研究においては病原の完全世代は認められなかった．

上記3菌株は，その分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Stemphylium*属菌と判定するとともに[57]，その他の形態・培養特性にも基づいて，菌種は*Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamotoと同定した[19, 20, 21, 164, 165]．特に，各菌株の分離源および接種により形成された病斑上の分生子の形態特性が*S. lycopersici*以外の*Stemphylium*属菌とは異なった．*Stemphylium bolicki* Sobers & Seymourがカランコエ属植物（*Kalanchoe* spp.）において斑点性の病害（leaf spot）を引き起こすことが既に報告されている[115]．しかし，本研究において分離した菌株KS2，KS3およびKS4は，いずれも分生子の先端が円錐状に尖るとともに，1〜4主要横隔壁部で縊れ，さらにl/b比が3よりも大きいことから，*S. bolicki*ではなく*S. lycopersici*と判断した（Table 6）．

⑵　病原性立証および病名命名

菌株KS2，KS3およびKS4のカランコエ（*K. blossfeldiana*）に対する病原性調査は，品種シンガポールを用いて2回実施した．両調査ともに，分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，BLB下において10日間培養して得た各菌株の分生子を3〜4×105個/mlの密度で0.1% Tween 20滅菌溶液に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき6個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に0.1% Tween 20滅菌溶液を噴霧した別の6個体の健全植物を対照実験区とした．菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，25℃に設定したガラス室内において，初めの4日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の2週間後，3菌株を接種したすべての植物体の葉において，小さな褐色斑点が現れた．接種処理の3週間後には，それらの斑点は1〜5 mmの明瞭な褐色病斑となった．そして，接種処理の1カ月後には，罹病した葉は黄化して枯れはじめ，原病徴が再現された（Plate 5-H）．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*S. lycopersici*は分離されな

かった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*S. lycopersici*が本病の病原であることが立証された．

*Stemphylium lycopersici*は，ナス科植物のトマトに斑点病を引き起こす菌種であることが記録されている[21, 164, 165]．一方，本菌種と同属の*S. bolicki*がカランコエ属植物（*Kalanchoe* spp.）に斑点性の病害（leaf spot）を引き起こす病原として既に記録されているが，本病の病原菌株はトマトに対しては病原性を示さなかったと報告されている[115]．そこで次に，菌株KS2，KS3およびKS4のトマト品種フクジュ2号に対する病原性を，上記のカランコエ（*K. blossfeldiana*）に対する病原性調査において適用した方法に準じ調査した．その結果，各菌株はトマトに斑点病を引き起こした（Plate 5-I）．すなわち，罹病した植物体は，菌株を接種した7～10日後，茎葉に水浸状の不整形病斑や退緑色ないし淡褐色の小さな斑点が現れ，それらの病斑が次第に拡大することにより，接種処理の6週間後にはすべて枯死した．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず健全であった．また，菌株の接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*S. lycopersici*は分離されなかった．以上の結果は，供試菌株が*S. lycopersici*であることを支持するものである（Table 6）．

コッホの原則を満たして病原性の立証されたカランコエ属植物における既往の菌類病として，先にも述べた*S. bolicki*による斑点性の病害のほか，*Cercospora* sp.による斑点性の病害（leaf spot），*Botrytis cinerea* Persoon：Friesによる灰色かび病（gray mold），*Erysiphe polygoni* de Candolleによるうどんこ病（powdery mildew），*Phytophthora* sp.による疫病（Phytophthora rot）ならびに*Puccinia benkei* Kusanoによるさび病（rust）が記録されている[23, 83]．また，*S. lycopersici*は，ナス科植物のトウガラシ，ピーマンおよびトマトのほか，キキョウ科のキキョウ，フウロソウ科のゼラニウムおよびイソマツ科のスターチスに対して葉斑点性あるいは葉枯性の病害（leaf spot, leaf blight）を，キク科のキクおよびナデシコ科のナデシコに対して花枯性あるいは花腐性の病害（petal blight, petal rot）を，パパイア科のパパイアに対して果実腐敗性の病害（fruit rot）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 83]．本菌種の宿主にベンケイソウ科植物（Crassulaceae）は記録されていない．本科植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したカランコエ（*K. blossfeldiana*）の病害は新病害と判断した．本病は*S. bolicki*による斑点性の病害（leaf spot）と症状が似ている[115]．また，本研究において分離した病原*S. lycopersici*の菌株はトマトにも病原性を示し，斑点病[21, 164, 165]を引き起こした．したがって，本研究において立証したこの新病害を斑点病（leaf spot）と名付けた[103, 128, 147]．

⑶ 宿主範囲に関する知見

カランコエ（*K. blossfeldiana*）のほかに，花卉として広く普及しているカランコエ属植物の*S. lycopersici*に対する感受性を把握する一環として，同じ*K. blossfeldiana*の品種スイスピンクおよび品種ホウカンをはじめ，*Kalanchoe longiflora* Schlechter ex J. M. Wood（園芸名ミョウギ），*Kalanchoe pinnata* (Lamarck) Persoon（園芸名セイロンベンケイ），*Kalanchoe tomentosa* Baker（園芸名ツキトジ），*Kalanchoe rosei* Hamet & Perrier（園芸名ラウイ），*Kalanchoe manginii* Hamet & Perrier（園芸名ベニチョウチン），*Kalanchoe pumila* Baker（園芸名シロガネノマイ），*Kalanchoe laxiflora* Baker（園芸名コチョウノマイニシキ），*Kalanchoe daigremontiana* Hamet & Perrier（園芸名シコロベンケイ），*Kalanchoe tubiflora* (Harvey) Hamet（園芸名キンチョウ）および*K. daigremontiana*×*K. tubiflora*（＝*Kalanchoe*×*hybrida* horti）（園芸名フシチョウ）の10種各1系統に対するカランコエ斑点病菌株KS3の病原性を調査した．調査は以下の①～③の接種法を順番に適用して実施した．すなわち，①分生子懸濁液滴下接種法（無傷接種あるいは有傷接種）：上記の「⑵ 病原性立証および病名命名」で述べたカランコエ斑点病の立証のために適用した接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき2個体の健全植物の無傷の葉あるいは滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた2個体の健全植物の葉に滴下した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，0.1% Tween 20滅菌

溶液を滴下した．②菌叢貼付接種法（無傷接種あるいは有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において10日間培養して得た各菌株の菌叢片（分生子形成なし）を，各菌株につき3個体の健全植物の無傷の葉あるいは滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた3個体の健全植物の葉に貼り付けた．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．③菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において14日間培養して各菌株の菌糸体を着生させた楊子（分生子形成なし）を，各菌株につき2個体の健全植物の葉に突き挿した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を突き挿した．①～③の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，23～28℃に設定したガラス室内において，初めの5～7日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，①の分生子懸濁液滴下接種法を適用した場合，*K. pumila*，*K. tubiflora*および*K. laxiflora*の3種を除く7種植物が発病の程度に差があるものの菌株KS3に対して罹病性を示した（Table 7, Plate 6）．すなわち，*K. longiflora*，*K. pinnata*，*K. rosei*，*K. tomentosa*，*K. daigremontiana*および*K. tubiflora*×*K. daigremontiana*の6種植物においては菌株の無傷接種および有傷接種のいずれによっても，また，*K. manginii*においては有傷接種によってのみ，*K. blossfeldiana*において生じた褐色病斑と同様の病斑が接種処理の2～3週間後に現れ，病斑部から一貫して接種菌が再分離された．一方，菌株を無傷接種および有傷接種した*K. pumila*，*K. tubiflora*および*K. laxiflora*の3種植物，無傷接種した*K. manginii*ならびに対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず健全で，それらの植物体からは*S. lycopersici*は分離されなかった．なお，②の菌叢貼付接種法および③の菌体楊子挿入接種法によって菌株を接種したすべての植物も，接種後2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった．

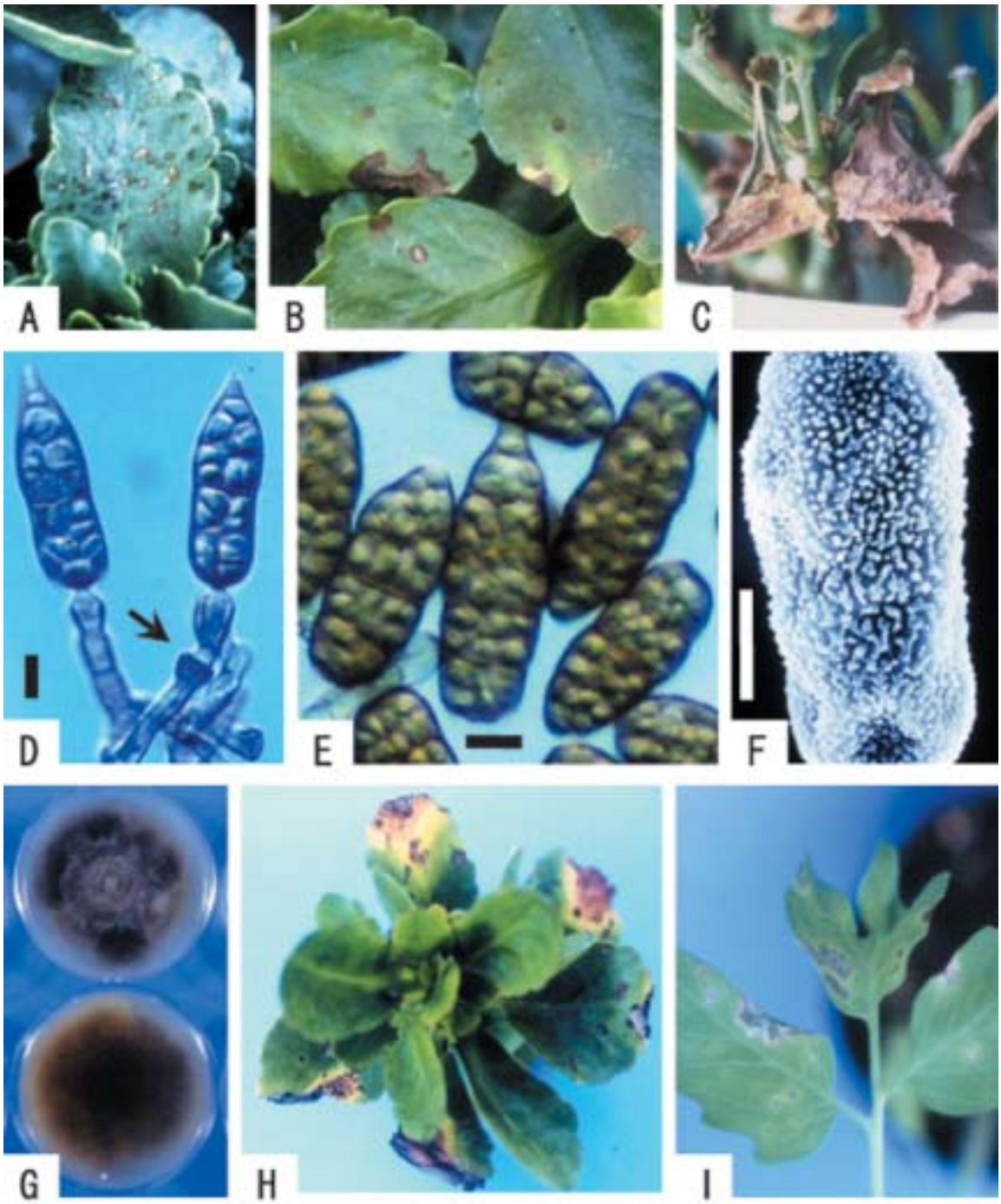
以上より，*K. longiflora*，*K. manginii*，*K. pinnata*，*K. rosei*，*K. tomentosa*，*K. daigremontiana*および*K. tubiflora*×*K. daigremontiana*の7種植物も，カランコエ（*K. blossfeldiana*）と同様，*S. lycopersici*に対して罹病性であることが明らかとなった．この罹病性は，供試菌株の分生子を接種源にすることによって確認することができ，分生子が含まれていない寒天培地菌叢片や菌糸着生楊子を有傷条件で接種しても確認することはできなかった．本病の病原菌*S. lycopersici*の分生子は疎水性の乾性胞子（dry airborne spores）である．したがって，本病は，

Table 7　Pathogenicity of *Stemphylium lycopersici* causing leaf spot of kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*) to other several *Kalanchoe* species.

Kalanchoe species examined	Cultivar / Horti. name	Unwounded-inoculation[1)]	Wounded-inoculation[2)]
K. blossfeldiana	Singapore	+	+
	Suisse Pink	+	+
	Hokan	+	+
K. longiflora	Myogi	+	+
K. pinnata	Seiron Benkei	+	+
K. tomentosa	Tsukitoji	+	+
K. rosei	Raui	+	+
K. daigremontiana	Shikoro Benkei	+	+
K. daigremontiana × *K. tubiflora*	Fushicho	+	+
K. manginii	Beni Chochin	—	—
K. pumila	Shirogane-no-mai	—	—
K. laxiflora	Kocho-no-mainishiki	—	—
K. tubiflora	Kincho	—	—

+: Virulent.　—: Virulence was not detected.
1) Dropping conidial suspension [3 ～ 4×10^5 conidia/ml (0.1% Tween 20)] onto intact leaves.
2) Dropping conidial suspension [3 ～ 4×10^5 conidia/ml (0.1% Tween 20)] onto leaves picked with a sterilized needle.

Plate 5



Explanation of Plate 5

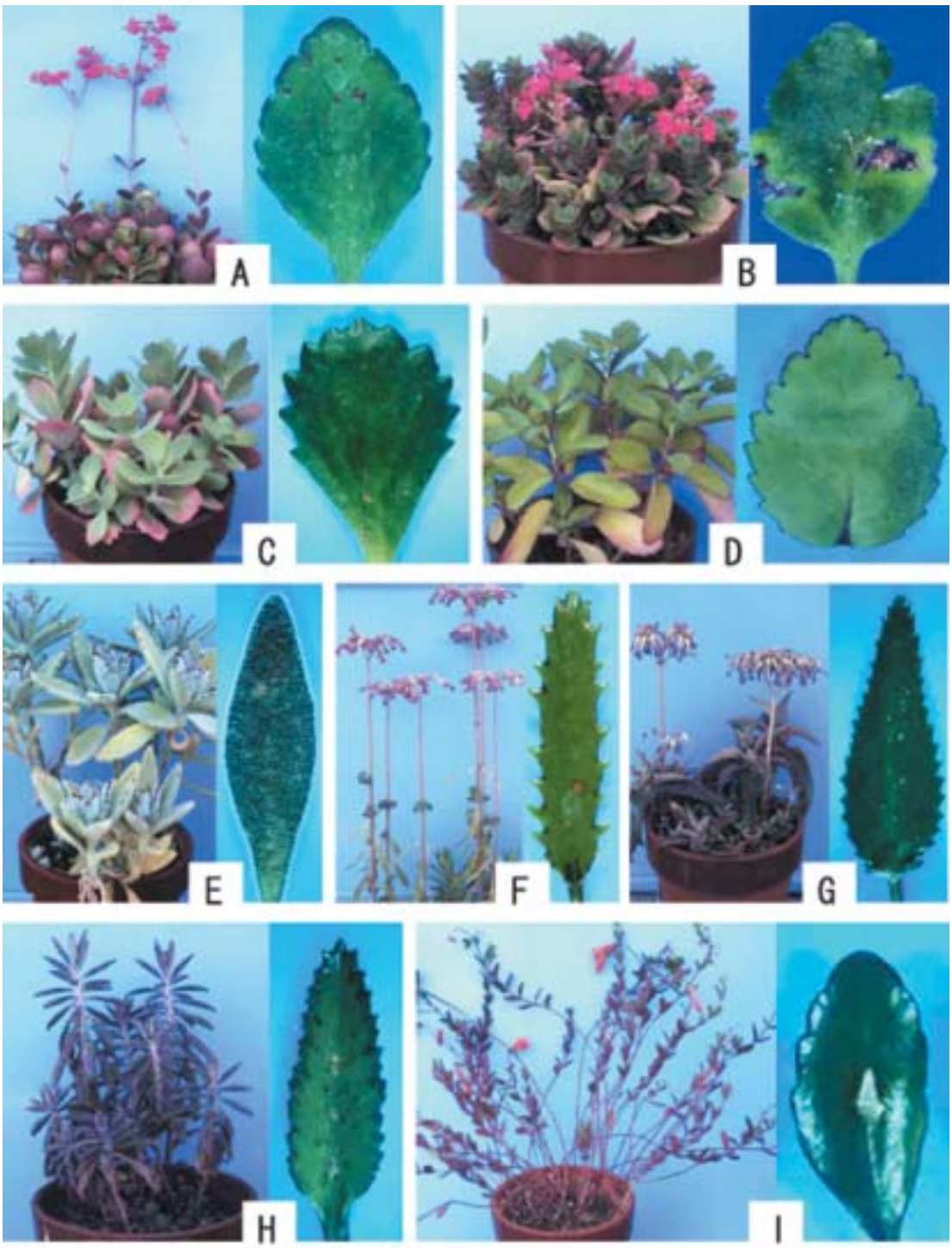
A-C. Natural symptoms of kalanchoe leaf spot caused by *Stemphylium lycopersici*.
- A. Necrotic spots on leaves.
- B. Magnified lesions at leaf margins.
- C. Foliar blight.

D-G. Morphological characters of the pathogen of kalanchoe leaf spot, *S. lycopersici*.
- D. Two young conidia on conidiophores detached from a lesion. An arrow indicates a secondary growing point on the conidiophore (percurrent proliferation) (bar : 10 µm).
- E. Mature conidia from diseased plants (bar : 10 µm).
- F. Verruculose surface of a conidium from a diseased plant (bar : 5 µm).
- G. Colonies of S. lycopersici isolate KS3 grown on PDA at 26℃ under black light for a week (upper : surface view, lower : reverse view).

H. Symptoms reproduced 2 months after inoculation of kalanchoe with *S. lycopersici* isolate KS2.

I. Tomato leaf spot caused 1 week after inoculation with *S. lycopersici* isolate KS4 from kalanchoe.

Plate 6



Explanation of Plate 6

A-I. Symptoms appeared 2-3 weeks after inoculation of several *Kalanchoe* species with *Stemphylium lycopersici* (isolate KS3) causing leaf spot of kalanchoe (*K. blossfeldiana*) [left : healthy plant, right : foliar lesions (A-H : symptoms by unwounded-inoculation, I : symptoms by wounded-inoculation)].

A. *K. blossfeldiana* (cv. Suisse Pink).
B. *K. blossfeldiana* (cv. Hokan).
C. *K. longiflora*.
D. *K. pinnata*.
E. *K. tomentosa*.
F. *K. rosei*.
G. *K. daigremontiana*.
H. *K. daigremontiana*×*K. tubiflora*.
I. *K. manginii*.

主に分生子が風媒伝染し，罹病性植物において分生子の発芽を通じて感染が成立し広がるものと考える．そして，これらの罹病性植物はカランコエおよびトマトなどの斑点病の伝染源にもなることから，それらを栽培生産する際には本病の発生に留意する必要がある．また，本研究においては，*K. tubiflora*は本病の罹病が認められなかったが，*K. daigremontiana*は罹病性を示し，両種の交雑種である*K. tubiflora*×*K. daigremontiana*は*K. daigremontiana*と同様に罹病性を示した．したがって，本研究において確認された7種の罹病性植物はもとより，それらを素材として育成した交雑種を栽培生産する際も本病の発生に留意する必要があろう．ベンケイソウ科植物にはカランコエ属のほかにも観賞用花卉として有望な素材が多くあり，異系交配による新たな品種や系統の育成が今後一層活発になるものと思われる[167, 172, 173]．既にカランコエさび病については，その病原菌*P. benkei*の菌株を用いて，カランコエ属以外のベンケイソウ科植物についても本病に対する罹病性調査が進められている[166, 167]．カランコエ斑点病についても，本研究において分離した病原*S. lycopersici*の菌株を中心に用いて，今後，同様の調査が望まれる．なお，その調査を実施する際は本病病原菌の分生子を接種源にする方法の適用が有効と考える．

4）*Alternaria tagetica*によるマリーゴールドの斑点病

1998年10月，宮城県一迫町の露地花壇において栽培中のキク科・マリーゴールド（マンジュギク）属アフリカンマリーゴールド（マンジュギク，センジュギク）［African marigold, Aztec marigold, big marigold, *Tagetes erecta* Linnaeus，品種系統不明］およびフレンチマリーゴールド（コウオウソウ，クジャクソウ）［French marigold, *Tagetes patula* Linnaeus，品種系統不明］に斑点・葉枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，不完全糸状菌綱・デマチウム科の*Alternaria tagetica* Shome & Mustafeeと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを日本新産菌による病害として斑点病（leaf spot）と名付けた[135, 152]．以下に，本病原菌の宿主範囲に関して得られた知見を含め，その詳細を述べる．

⑴ 病徴および病原同定

本病の最も顕著な病徴は葉に生じる褐色病斑である（Plate 7-A～D）．アフリカンマリーゴールドおよびフレンチマリーゴールドにおける症状はよく似ていた．初め，退緑色ないし褐色の直径1～3 mmの病斑が現れた．それらの病斑は次第に拡大するとともに周縁が紫色を帯びた暗褐色となり，やがて乾燥してしばしば中央から穴が空いた．隣接する病斑は互いに融合してさらに大きな病斑に発達し，罹病葉は早期に枯死した．同様の病斑は罹病植物の茎，葉柄，萼および花弁にも現れ，多くの病斑が発生した植物は早期枯死に至った（Plate 7-B, C, D）．多湿条件に置いたアフリカンマリーゴールドおよびフレンチマリーゴールドの罹病組織の病斑には，同一菌種の病原の分生子柄および分生子が暗灰色ないし暗褐色ビロード状に表生した（Plate 7-E）．

病斑上の分生子柄は分枝せずに単生，真直あるいは関節状に屈曲して1～8横隔壁を有し，褐色，表面平滑，長さは36～144 μm，幅は6～10 μm，基部はやや膨らみ幅8～12 μmで，頂部には分生子離脱痕があった（Plate 7-F）．分生子は分生子柄の先端において内出芽で単生するトレト型（ポロ型）で，希に2個連鎖し，頂部に1本の長いくちばし状突起（beak）を有する倒棍棒形の褐色多細胞，表面は平滑ないし小じわ状の粗面を呈し，乾性（dry airborne spores），長さは170～294 μmであった（Plate 7-F, G, H）．分生子のくちばし状突起を含まない本体部分（body）は基部に分生子離脱痕があり，8～11横隔壁および6～15縦隔壁ないし斜隔壁を有する石垣状で，4～10主横隔壁部でやや縊れ，大きさは82～130×20～28 μmであった．分生子のくちばし状突起（beak）は分枝せずに真直あるいはやや湾曲し，2～7横隔壁を有し，長さは80～164 μm，基部幅は5～8 μmで，先端に向かって細まり，希に先端に分生子離脱痕を有した．室温下においてWAあるいはPDA等に置床した分生子は不特定の複数細胞から発芽し菌糸を伸長させ，暗灰褐色の菌叢を形成するとともに黄褐色の色素を培地中に産生した（Plate 7-I）．

アフリカンマリーゴールドにおける病斑から単胞

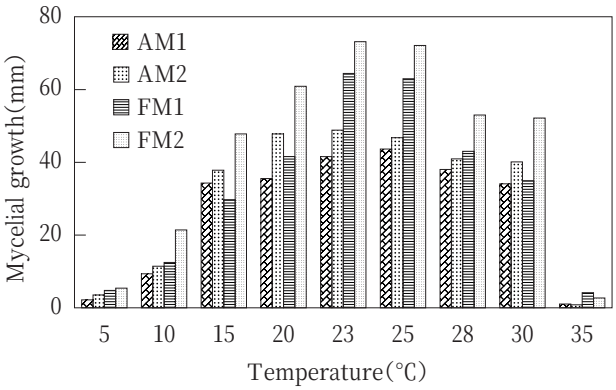


Fig. 4　Influence of temperature on mycelial growth of *Alternaria tagetica* isolated from diseased marigold. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (AM1, AM2, FM1 and FM2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 2 weeks was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 10 days, colony diameters were measured.

子分離法よって得た病原菌株AM1およびAM2，ならびにフレンチマリーゴールドにおける病斑から同法よって得た病原菌株FM1およびFM2を供試し，各菌株をPDA，25℃，暗黒下において2週間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，23～25℃を適温として5～35℃で生育し（Fig. 4），暗灰褐色の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径3.0mm/dayであった．黄褐色の色素産生は20～30℃において認められ，23～25℃において顕著であった（Plate 7-I）．分生子柄および分生子の形成は認められなかった．各菌株をPDAあるいはV-8A，25℃，BLB下において培養した結果，分生子柄の形成のみが認められ，このBLB下における培養を少なくとも4日間行った後に暗黒下に移して培養することにより，分生子の形成が認められた．その分生子柄は病斑上に形成されたものよりもやや長く，また，分生子は病斑上に形成されたものよりもやや小さい傾向があった．上記の培地上で形成された分生子柄および分生子の形態特性は，その他の点については病斑上におけるものと同様であった．なお，上記3菌株の形態・培養特性は，以下の「(2)　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，以下の「(2)　病原性立証および病名」および「(3)　宿主範囲に関する知見」で述べる調査を含めて，本研究においては病原の完全世代は認められなかった．

上記4菌株は，その分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Alternaria*属菌と判定した[57, 96, 113]．マリーゴールド属植物に斑点性あるいは葉枯性の病害（leaf spot, leaf blight）を引き起こす病原として，*Alternaria tagetica* Shome & Mustafeeが既にインドにおいて確認されて以来，アメリカ合衆国，メキシコおよび韓国においても記録されている[12, 35, 95, 96, 111, 112, 171]．本研究において分離した菌株AM1，AM2，FM1およびFM2は，いずれもその形態・培養特性がそれら既報の記録とよく一致したことから，菌種は*A. tagetica*と同定した（Table 8）．マリーゴールド属植物に斑点性あるいは葉枯性の病害を引き起こす病原としてもう1種，同じキク科植物のジニア（ヒャクニチソウ）［zinnia, *Zinnia elegans* Jacquin］およびベニバナ［safflower, *Carthamus tinctorius* Linnaeus］に対しても病原性を有する*Alternaria zinniae* Pape ex M. B. Ellisが記録されている[20, 71, 89, 95, 96, 112]．しかし，本菌種は分生子の表面に細い疣が密生し，本研究において分離した上記4菌株のいずれとも分生子の表面構造が異なり，別種と判断した（Table 8）．なお，*Alternaria*属菌は，分生子柄上に形成される分生子の連鎖数（catenulation）に基づいて，一般に以下の①～③のグループに類別される[96]．①*Longicatenatae*（分生子長連鎖グループ）：分生子が10個以上連鎖する．②*Brevicatenatae*（分生子短連鎖グループ）：分生子が3～5個連鎖する．③*Noncatenatae*（分生子無連鎖グループ）：分生子は通常連鎖しない．*Alternaria tagetica*および*A. zinniae*はいずれも③の*Noncatenatae*（分生子無連鎖グループ）に属する．本グループのうち，これらの2菌種と同様に分生子に長いくちばし状突起（beak）を有し，かつ，キク科植物に対する病原性が確認されている菌種としてさらにもう1種，*Alternaria carthami* Chowdhuryがある[11, 19, 95, 96]．本菌種は*A. zinniae*と同様にベニバナに対する病原性が記録されている．しかし，*A. carthami*は分生子の大きさが本研究において分離した上記4菌株のものと比較して明らかに小型であり，別種と判断し

Table 8 Comparison of some characters of the present pathogen causing marigold leaf spot with those of *Alternaria tagetica*, *A. zinniae* and *A. carthami* described previously.

Pathogen / Reference	Surface structure	Conidium				Pathogenicity to		
		Total length (μm)	Body		Beak length (μm)			
			Length (μm)	Width (μm)		Marigold	Zinnia	Safflower
The present pathogen causing marigold leaf spot (Isolates AM1, AM2, FM1 and FM2)	smooth-rugulose without verrucae	170-294	82-130	20-28	80-164	+	−	−
A. tagetica								
Shome and Mustafee (1966) [Rao (1969)]		43-384		8-34	291	+		
Simmons (1982)	smooth-indistinctly roughened		100-110	30-35	200-400	+	−	
Cotty et al. (1983)						+	−	
Hotchkiss and Baxter (1983)		157		30		+	−	
Yu and Lee (1989) [Rotem (1994)]			18-130	7-33	15-294	+	−	
A. zinniae								
Pape (1942)		75-253		14-27			+	
Morita and Kawai (1959)*		129.7-205.3	38.7-75.5	9.8-24.6	53-169.4		+	
Rao (1969)		117.6-243		10.5-25.2		+	+	+
Ellis (1976)	smooth-minutely verruculose		55-105	19-28	108	+	+	
Simmons (1982)	smooth-densely minutely verruculose		85	30	125	+	+	
A. carthami								
Chowdhury (1944)		36-99		12-28	15-84			+
Rao (1969)		42-105		10-17				+
Ellis (1971)	smooth		60-110	15-26	25-160			+

[ ] : Literatures citing data described in upper one. * : In Japanese. +: Virulent. −: Virulence was not detected.
Blank column: Not described.

た（Table 8）.

⑵ 病原性立証および病名命名

菌株AM1，AM2，FM1およびFM2のマリーゴールドに対する病原性調査は，アフリカンマリーゴールド品種イエローアイシスおよびフレンチマリーゴールド品種マーチオレンジを用いて2回実施した．両調査ともに，分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃において，暗黒下4日間，BLB下6日間，次いで再び暗黒下において4日間培養して得た各菌株の分生子を2～5×105個/mlの密度で0.1% Tween 20滅菌溶液に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき各品種10個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に0.1% Tween 20滅菌溶液を噴霧した別の各品種10個体の健全植物を対照実験区とした．菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，23～28℃に設定したガラス室内において，初めの3日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の2～3日後，4菌株を接種したすべての植物の葉，葉柄，茎，萼および花弁において，退緑色ないし褐色の病斑が現れた．接種処理の5～7日後には，それらの罹病組織は病斑の拡大と融合によって枯れはじめ，接種処理の2～3週間後には，罹病した植物体全体が焼けたように完全に枯死し，原病徴が再現された（Plate 7-J, K）．一

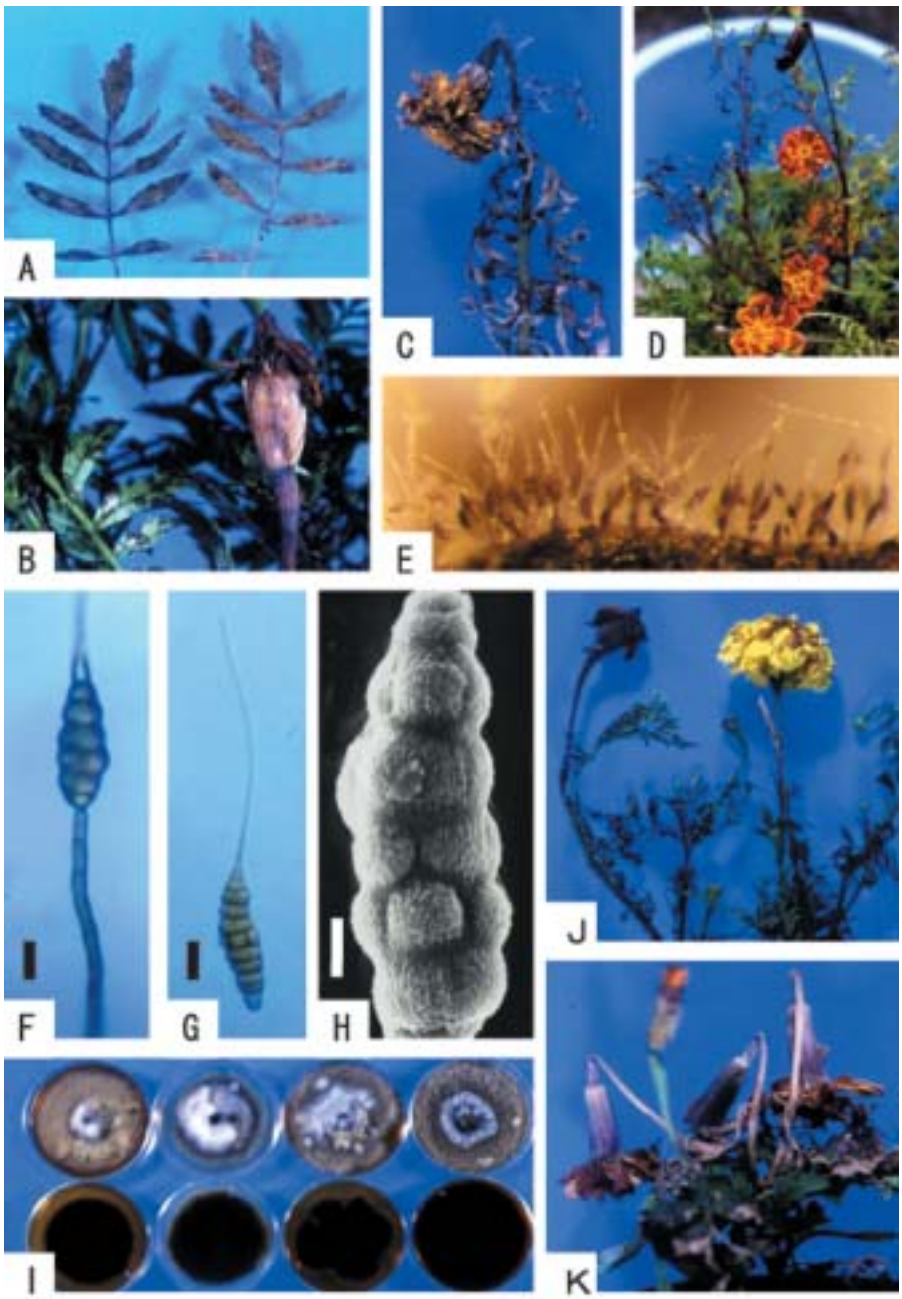
方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず健全であった．菌株接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*A. tagetica*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*A. tagetica*が本病の病原であることが立証された．

先にも述べたように，本病はその初発生がインドにおいて既に確認されて以来，アメリカ合衆国，メキシコおよび韓国においても認められている．また，*A. zinniae*による斑点性あるいは葉枯性の病害（leaf spot, leaf blight）のほか，コッホの原則を満たして病原性の立証されたマリーゴールド属植物における既往の菌類病として，*Septoria tageticola* Changsri & G.F. Weberによる斑点性の病害（leaf spot），*B. cinerea*による灰色かび病（gray mold），*Rhizoctonia solani* Kühnによる株腐病（stem and foliage blight）および*Verticillium dahliae* Klebahnによる萎凋性の病害（wilt）が記録されている[23, 38]．これらの既報病害の内，*B. cinerea*による灰色かび病および*R. solani*による株腐病の2病害が我が国において発生が確認されている．本研究において認めた*A. tagetica*によるマリーゴールドの病害はこれまで我が国においては記録されていない．また，本菌種の我が国における分布についてもこれまでに記録がない．したがって，本研究において確認したマリーゴールドの病害は日本新産菌による病害と判断し，その正式和名を斑点病とした[135, 152]．

⑶　宿主範囲に関する知見

先にも述べたように，*Alternaria*属菌の*Noncatenatae*（分生子無連鎖グループ）のうち，分生子に長いくちばし状突起（beak）を有し，かつ，キク科植物に病原性を有する菌種として*A. tagetica*，*A. zinniae*および*A. carthami*の3菌種が記録されている．*Alternaria tagetica*の宿主はマリーゴールド属植物のほかには認められていない．*Alternaria zinniae*はマリーゴールド属植物のほかにジニアに対しても病原性を有するが，*A. tagetica*は一方のジニアに対しては病原性を示さなかったと報告されている[12, 35, 96, 112, 171]．また，*A. zinniae*は，*A. carthami*と同様にベニバナに対しても病原性を有することが記録されているが，*A. tagetica*が本種植物に対して病原性を有するか否か不明である[11, 19, 95, 96]．そこで，本研究において分離したマリーゴールド斑点病菌株AM1，AM2，FM1およびFM2の宿主範囲を把握する一環として，これらの菌株のジニアおよびベニバナに対する病原性を調査した．調査は，被接種植物としてジニア品種サンボーホワイトおよびベニバナ品種モガミベニバナをはじめ，アフリカンマリーゴールド品種イエローアイシスおよびフレンチマリーゴールド品種マーチオレンジを供試し，以下の①～④の接種法を順番に適用して実施した．すなわち，①分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：上記の「2）病原性立証および病名」で述べた各菌株のマリーゴールドに対する病原性立証のために適用した方法に準じ実施した．②分生子懸濁液滴下接種法（有傷接種）：①の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた4個体の健全植物の葉に滴下した．対照実験区では3個体の健全植物を供試し，0.1% Tween 20滅菌溶液を滴下した．③菌叢貼付接種法（無傷接種あるいは有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において14日間培養して得た各菌株の菌叢片（分生子形成なし）を，各菌株につき3～5個体の健全植物の無傷の葉あるいは滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた3～5個体の健全植物の葉に貼り付けた．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，各菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．④菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において14日間培養して各菌株の菌糸体（分生子形成なし）を着生させた楊子を，各菌株につき4個体の健全植物の茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では4個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．①～④の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，23～28℃に設定したガラス室内において，初めの5～7日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

Plate 7



Explanation of Plate 7

A-D. Natural symptoms of marigold leaf spot caused by *Alternaria* tagetica.
- A. Lesions on leaves of African marigold.
- B. Lesions on leaves, stems and flowers of French marigold.
- C. A blighted African marigold plant in a late stage of the disease.
- D. A blighted French marigold plant in a late stage of the disease.

E-I. Morphological and cultural characters of the pathogen of marigold leaf spot, *A. tagetica*.
- E. Conidiophores bearing conidia on a lesion.
- F. A conidium on apex of a conidiophore (bar : 20 µm).
- G. A mature conidium (bar : 40 µm).
- H. Scanning electron micrograph of a mature conidium (bar : 10 µm).
- I. Colonies of isolates AM1, AM2, FM1 and FM2 (left to right) grown on PDA at 25℃ in the dark for 2 weeks (upper : surface view, lower : reverse view).

J-K. Symptoms reproduced by inoculation of marigold with *A. tagetica* isolates.
- J. African marigold 2 weeks after inoculation with isolate AM1.
- K. French marigold 3 weeks after inoculation with isolate FM1.

その結果，既報と同様，本研究において分離したマリーゴールド斑点病菌の4菌株についても，ジニアに対する病原性は認められなかった．また，それら4菌株のベニバナに対する病原性も認められなかった．すなわち，①～④のいずれの接種法によっても，菌株AM1，AM2，FM1およびFM2のマリーゴールド2品種に対する病原性は再確認されたが，それら4菌株を接種したジニア品種サンボーホワイトおよびベニバナ品種モガミベニバナにおいては，接種後2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった．以上の結果は，本研究において分離したマリーゴールド斑点病菌の4菌株が，*A. zinniae*や*A. carthami*ではなく，*A. tagetica*であることを支持するものである（Table 8）．

前節において述べたカランコエ斑点病菌*S. lycopersici*の宿主に対する病原性は，供試菌株の分生子を接種源にすることによって確認することができたが，分生子が含まれていない寒天培地菌叢片や菌糸着生楊子を有傷条件で接種しても確認することはできなかった．それに対し，マリーゴールド斑点病菌*A. tagetica*の宿主に対する病原性は，供試菌株の分生子が含まれていない寒天培地菌叢片を無傷条件で接種しても確認することができた．*Alternaria*属菌には毒素（toxin）を産生する菌種が多くあり，*A. tagetica*についてもzinniol（1,2-benzene-dimethanolタイプの物質：$C_{15}H_{22}O_4$）という毒素の産生が確認されている[12]．一方，*Stemphylium*属菌の毒素産生に関する情報はない．いずれの病原菌も，分生子が疎水性の乾性胞子（dry airborne spores）であることから，主に分生子が風媒伝染し，宿主において分生子の発芽を通じて感染が成立し広がるものと考えられるが，マリーゴールド斑点病菌*A. tagetica*の宿主への感染は本毒素が強く関与し，分生子の発芽を介さなくても高率に成立するものと考えられる．しかし，本毒素は宿主非特異的毒素（non-selective toxin, non-specific toxin）である[12]．本毒素の産生は，*A. tagetica*と同様，長いくちばし状突起（beak）を持つ大型の分生子を形成する*A. zinniae*，*Alternaria* dauci (Kühn) Groves & Skolkoおよび*Alternaria* solani Sorauerにおいても確認されており，そういった形態に特徴づけられる菌群の近縁性を示すもうひとつの特徴であることが示唆されているが，本毒素はA. *zinniae*の宿主であるマリーゴールドおよびジニア，ならびに*Alternaria* dauciの宿主であるニンジンに対して交差的に毒性を示すことが明らかとなっている[7, 12, 117, 118]．*Alternaria tagetica*は，エゾギク［china aster, *Callistephus chinensis* (Linnaeus) Nees］，キンセンカ［pot marigold, *Calendula officinalis* Linnaeus］，コスモス［cosmos, *Cosmos bipinnatus* Cavanilles］，ガザニア（クンショウギク）［gazania, *Gazania longiscapa* de Candolle］，シャスタデージー［Shasta daisy, *Chrysanthemum maximum* Ramond］といった他のキク科植物に対しても病原性を示さなかったと報告されており[35]，現在もマリーゴールド属植物のほかには宿主が認められていない特異的な菌種である．この特異的な病原性は宿主非特異的毒素zinniolが本属植物の植物体上に限って産生されることによって現れる可能性が考えられた．また，*A. tagetica*は，本毒素のほかに，宿主特異的毒素（host-selective toxin, host-specific toxin）も産生する可能性も否定できない．その産生は未だ確認されていないものの，宿主非特異的毒素のzinniolを含め，病原性の重要な要因である毒素生理機構に本菌種の宿主特異性を解明する糸口のある可能性が高いと思われる．したがって，本研究において分離した日本新産菌として位置づけられる*A. tagetica*の菌株も供試し，今後，この観点から調査が望まれる．

5）*Phytophthora capsici*によるチェリーペパーの疫病

1998年10月，香川県善通寺市の露地において鉢植栽培中のチェリーペパー（ゴシキトウガラシ）［cherry pepper, *Capsicum annuum* Linnaeus var. *cerasiforme* Bailey］の品種エノミに萎凋・立枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，卵菌綱・フハイカビ科のヘテロタリック*Phytophthora capsici* Leonianと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として疫病（Phytophthora blight）と名付けた[101, 127]．以下にその詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

初め主茎の地際部に暗褐色の腐敗病斑が生じ，次第にその病斑が上方に向かって拡大するとともに植物体全体の葉が萎凋した（Plate 8-A）．病勢が進むにつれて，萎凋した葉の脱落が目立ちはじめ，やがて植物体全体が立枯症状を呈して枯死した．罹病した植物の地下部は，地際の主根を中心として褐変・腐敗していた（Plate 8-B）．aPDA，23～28℃，自然散光下においてインキュベートした罹病茎の病斑外縁部組織片には病原の菌糸が現れた．

病斑から単菌糸分離法によって得た病原菌株CP3およびCP4を供試し，各菌株をPDA，23～28℃，自然散光下において培養した結果，いずれの菌株も，綿毛状の気中菌糸に富んだほぼ円形で表裏とも白色を呈する菌叢を形成した（Plate 8-C）．菌糸は隔壁を欠き，遊走子嚢を豊富に形成した．遊走子嚢は単条あるいは不規則に分枝した遊走子嚢柄に頂生または数個連鎖（間生）し，顕著な乳頭突起を1個有する楕円形，長楕円形ないし倒卵形，大きさは44～60×28～52 μm，平均l/b比は1.57であった（Plate 8-D, E）．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において5日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，23℃を適温として5～35℃で生育し（Fig. 5），先に述べた自然散光下における菌叢と同様の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径5.3mm/dayであった．遊走子嚢の形成は認められなかったことから，その形成には光条件が必要であることがわかった．PDA，WA，PCA，HSAあるいはシバ葉WA，23～28℃，自然散光下あるいはBLB下において培養して得た各菌株の菌叢を，0.22 μm 2メッシュフィルターを通した水道水あるいは池水のほか，滅菌蒸留水あるいはペトリ液に浸漬した結果，遊走子嚢が長さ60～200 μmの遊走子嚢柄を付けた状態で脱落・浮遊した（Plate 8-F）．遊走子の分化は認められなかった．それら浸漬処理の前に各菌叢を5 ℃, 10℃あるいは15℃において1～24時間インキュベートした場合も同様の結果が得られ，遊走子の分化は認められなかった．したがって，各菌株に認めた遊走子嚢は，厳密には，用語上は適切ではない．しかしながら，その形態的特性から，遊走子の分化能がない遊走子嚢と判断した．なお，上記2菌株の形態・培養特性は，以下の「⑵　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，その調査を含めて，本研究においては病原の遊走子のほか，卵胞子も認められなかった．

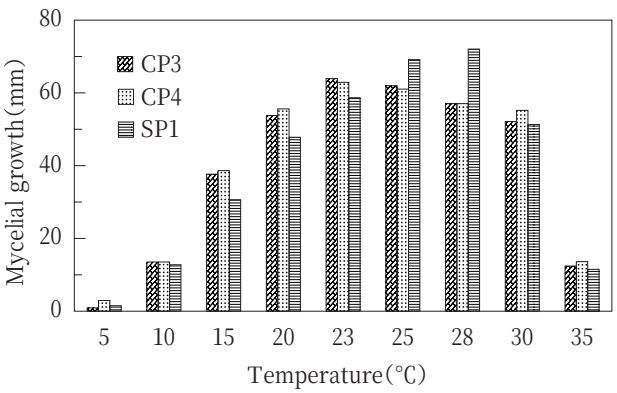


Fig. 5　Influence of temperature on mycelial growth of *Phytophthora capsici* isolated from diseased cherry pepper and sweet pepper. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (CP3 and CP4 from cherry pepper, and SP1 from sweet pepper) grown on PDA at 25℃ in the dark for 5 days was transferred to each of two PDA plates (90 mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 6 days, colony diameters were measured.

有性世代が認められなかった上記2菌株は，その遊走子嚢の形成様式および形態に基づいて，いずれも卵菌に属するヘテロタリックの*Phytophthora*属菌と判定するとともに，その他の形態・培養特性にも基づいて，菌種は*Phytophthora capsici* Leonianと同定した[22, 53, 57, 82, 181]．特に，各菌株は，遊走子嚢が長い遊走子嚢柄を付けて脱落する特性について，*P. capsici*以外の*Phytophthora*属菌とは異なった．我が国ではチェリーペパーと同じナス科植物に寄生して病害を引き起こす*Phytophthora*属菌として，*P. capsici*を含め，*Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary，*Phytophthora nicotianae* van Breda de Haan，*Phytophthora cryptogea* Pethybridge & Lafferty，*Phytophthora boehmeriae* Sawadaおよび*Phytophthora erythroseptica* Pethybridgeの6菌種が知られている[53, 181]．これらのうち，遊走子嚢が長い遊走子嚢柄を付けて脱落することが確認されている菌種は，やはり*P. capsici*のみである．本研究において分離した菌株CP3お

Table 9　Comparison of some characters of the present pathogen causing cherry pepper Phytophthora blight with those of *Phytophthora capsici*, *P. infestans*, *P. nicotianae*, *P. cryptogea*, *P. boehmeriae* and *P. erythroseptica* described previously.

Pathogen / Reference	Zoosporangium			Pathogenicity to							
	Length (μm)	Width (μm)	Detaching with a long pedicel [length (μm) of the pedicel]	Cherry pepper	Sweet pepper	Red pepper	Eggplant	Tomato	Potato	Tobacco	Nipplefruit
The present pathogen causing cherry pepper Phytophthora blight (Isolates CP3 and CP4)	44-60	28-52	+ [60-200]	+	+		+	+			
P. capsici from sweet pepper (Isolate SP1)	48-80	28-48	+ [56-240]	+	+		+	+			
Erwin and Ribeiro (1996); Kishi (1998)*											
P. capsici	20-106	13-53	+ [30-200]		+	+	+	+			
P. infestans	22-32	16-24	−				+	+	+		
P. nicotianae	26-81	16-45	−				+	+		+	
P. cryptogea	24-77	16-45	−					+			+
P. boehmeriae	23-65	18-52	−				+				
P. erythroseptica	39-47	25-29	−						+		

*: In Japanese.　+: Present or virulent.　−: Absent.　Blank column : Not tested or not described.

よびCP4では，遊走子嚢が長い遊走子嚢柄を付けて脱落することが認められるとともに，比較として供試したピーマン疫病菌 *P. capsici* の菌株SP1の形態・培養特性とも良く一致したことから，それら他の5菌種とは異なるものと判断した（Table 9, Fig. 5）．なお，ピーマン疫病菌株SP1の遊走子分化誘導も菌株CP3およびCP4と同様に試みたが認められなかった．

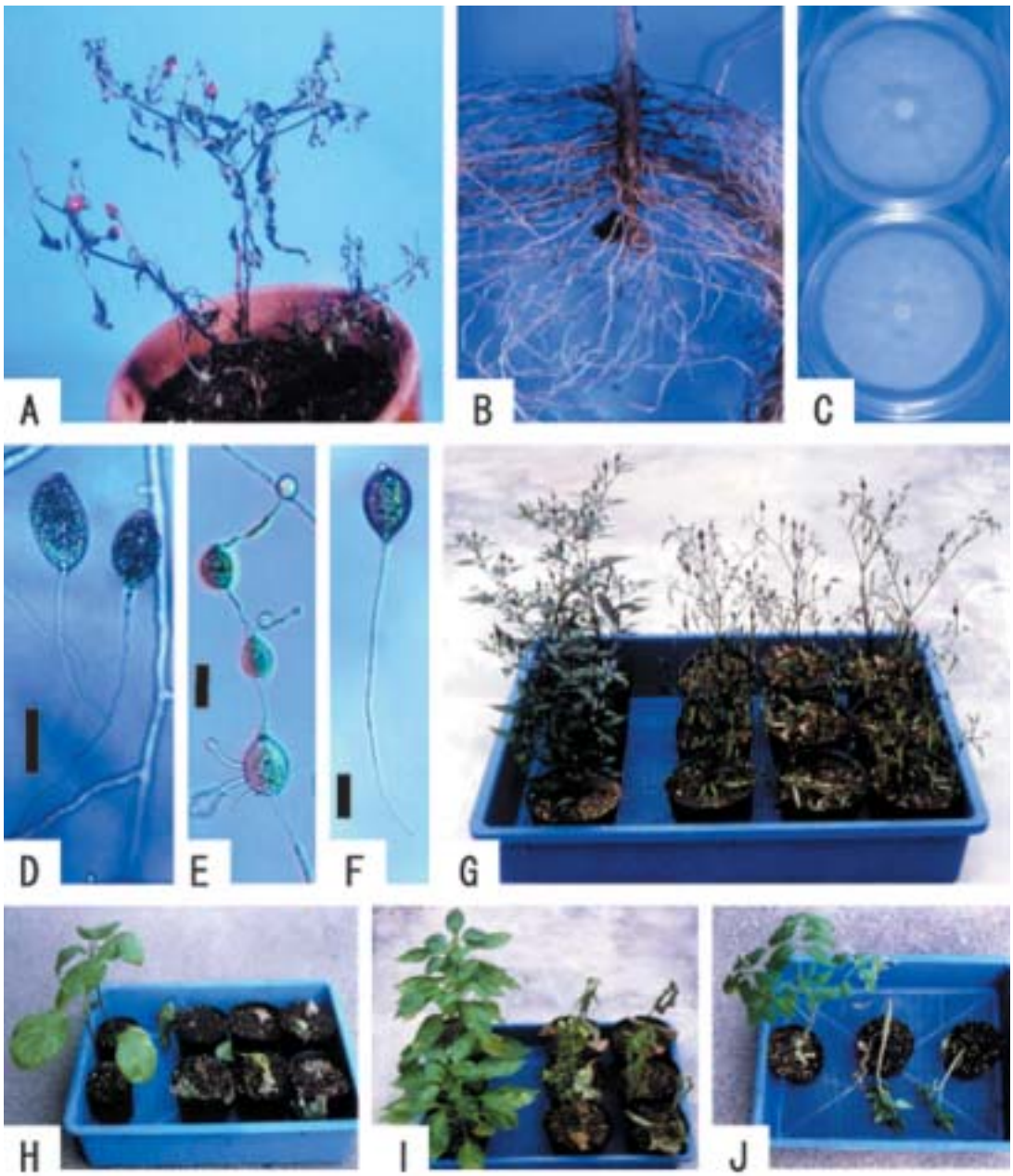
⑵　病原性立証および病名命名

菌株CP3およびCP4のチェリーペパーに対する病原性調査は，品種エノミを用いて実施した．調査にはピーマン疫病菌株SP1を加え，以下の①および②の接種法を適用した．すなわち，①菌叢貼付接種法（無傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において6日間培養して得た各菌株の菌叢片を，各菌株につき3～4個体の健全な植物の無傷の地際茎に貼り付けた．対照実験区では，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．②浸根接種法（有傷接種）：直径90mmプラスチックシャーレ各1枚に①の接種法と同様の条件で培養して得た各菌株の菌叢片を入れた800mlのペトリ液に，各菌株につき，水道水で培土を洗い流した3個体の健全植物の根部をビーカー内で24時間浸漬したのち，その植物体をポリビニルポットに入れた培土に植え戻した．対照実験区では，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を入れたペトリ液で浸根処理した．①および②の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，25℃に設定したガラス室内において，初めの3日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，①および②のいずれの接種法によっても，接種処理の6日後，3菌株を接種したすべての植物体において地際部が褐変した．そして接種処理の12日後には，それら罹病した植物体全体が葉の萎凋とともに立枯症状を呈し，原病徴が再現された（Plate 8-G）．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは *P. capsici* は分離されなかった．以上の結果から，菌株CP3およびCP4，すなわち，*P. capsici* が本病の病原であることが立証されるとともに，ピーマン疫病菌株SP1もチェリーペパーに対して病原性を有することが明らかとなった．

Phytophthora capsici は，チェリーペパーと同じナス科植物の同種トウガラシおよびピーマンのほか，ナスおよびトマトに対しても病原性を有し，トウガラシおよびピーマンには疫病（Phytophthora blight），ナスには褐色腐敗病（brown rot），そしてトマトには灰色疫病（gray rot, Phytophthora root rot）といった，いずれも腐敗性の病害を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 83., 181)]．そこで次に，菌株CP3およびCP4のほか，ピーマ

Plate 8



Explanation of Plate 8

A, B. Natural symptoms of cherry pepper Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici*.
- A. Stem blight and foliar wilt.
- B. Root rot.

C-F. Morphological and cultural characters of the pathogen of cherry pepper Phytophthora blight, *P. capsici*.
- C. Colonies of isolate CP3 (upper) and CP4 (lower) grown on PDA at 23-28°C in the natural light for 6 days.
- D. Solitary zoosporangia formed at the terminal of long pedicels (bar : 20 µm).
- E. Zoosporangia in chain (bar : 20 µm).
- F. A zoosporangium detached with a long pedicel (bar : 20 µm).

G-J. Symptoms (re)produced by inoculation of cherry pepper, eggplant, sweet pepper and tomato with *P. capsici* isolates CP3 and CP4 from cherry pepper, and isolate SP1 from sweet pepper.
- G. Cherry pepper Phytophthora blight 20 days after inoculation (left to right : control, isolate CP3, CP4 and SP1).
- H. Eggplant brown rot 7 days after inoculation (left to right : control, isolate CP3, CP4 and SP1).
- I. Sweet pepper Phytophthora blight 13 days after inoculation (left to right : control, isolate CP3 and SP1).
- J. Tomato gray rot 6 days after inoculation (left to right : control, isolate CP3 and SP1).

ン疫病菌株SP1も加え，これらの菌株の宿主範囲を把握する一環として，ピーマン品種ケンタッキーワンダー，ナス品種センリョウ2号およびトマト品種オドリコに対する病原性を，上記のチェリーペパーに対する病原性調査において適用した方法に準じ調査した．

その結果，菌株CP3およびCP4は，菌株SP1と同様に，菌叢貼付接種法（無傷接種）および浸根接種法（有傷接種）のいずれの接種法によってもピーマン疫病およびナス褐色腐敗病を引き起こし，また，浸根接種法（有傷接種）によってトマト灰色疫病を引き起こした（Table 9, Plate 8-H〜J）．すなわち，罹病した植物体は，接種処理の6日後に地際部の褐変と植物体全体の萎凋が認められはじめ，特に罹病したナスは地際部の腐敗・軟化が著しくすべての植物体が倒伏した．そして接種処理後12日目には，罹病した植物体はすべて枯死した．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，菌株の接種により罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*P. capsici*は分離されなかった．菌叢貼付接種法（無傷接種）によって各菌株を接種したトマトにおいては，接種処理後2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかったが，以上の結果は，各菌株が*P. capsici*であることを支持するものである．

チェリーペパーはトウガラシおよびピーマンとともにトウガラシ属の同一種として*Capsicum annuum*に含められているが，それらは変種レベルで互いに明確に区別されており，また，用途も互いに異なり，チェリーペパーは専ら観賞用花卉として，トウガラシおよびピーマンは食用果菜として利用される[32, 41]．これまでにも触れたように，トウガラシおよびピーマンにおいては既に*P. capsici*による疫病（fruit and root rot, Phytophthora blight）のほか，種名不明の*Phytophthora* sp.による茎腐病（stem blight）が記録されているが[23, 83]，チェリーペパーにおける病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．本研究において立証した*P. capsici*によるチェリーペパーの病害は，本変種植物において初めて確認した病害である．先にも述べたように，*P. capsici*は，トウガラシおよびピーマンのほかに，同じナス科植物のナスおよびトマトをはじめ，ウリ科のスイカ，シロウリ，マクワウリ，メロン，キュウリ，カボチャおよびユウガオ，ならびにパパイア科のパパイアに対しても病原性を有し，それらのいずれの植物にも腐敗性の病害（brown rot, fruit rot）を引き起こすほか，ヤマモガシ科のマカダミアに対して葉枯性あるいは茎枯性の病害（leaf and shoot blight）を引き起こす菌種であることが記録されている[23, 83]．チェリーペパーは本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証した本植物の病害は新病害と判断した．この新病害の病原菌株は，本研究において供試したピーマン疫病菌株SP1と同様に，ピーマン疫病，ナス褐色腐敗病およびトマト灰色疫病も引き起こすことが明らかとなった．したがって，特にピーマン疫病にならい，この新病害を疫病（Phytophthora blight）と名付けた[101, 127]．

6）*Pythium myriotylum*によるベルゲランツスの腐敗病

1999年8月，香川県善通寺市のガラス温室で鉢植栽培中のベルゲランツス［bergeranthus, *Bergeranthus jamesii* Linnaeus Bolus，園芸名セナミ］の1系統に腐敗性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，卵菌綱・フハイカビ科のホモタリック*Pythium myriotylum* Drechslerと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として腐敗病（Pythium rot）と名付けた[129]．以下にその詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

初め地際部の茎葉に水浸状の不整形病斑が生じた．その病斑は次第に上方に向かって拡大するとともに罹病組織が黒ずみ，やがて植物体全体が軟化・腐敗症状を呈して枯死した（Plate 9-A, B）．aPDA，23〜28℃，自然散光下においてインキュベートした罹病茎の病斑外縁部組織片には病原の菌糸が現れた．

病斑から単菌糸分離法によって得た病原菌株BP1およびBP2を供試し，各菌株をPCA，25℃，暗黒下において培養した結果，いずれの菌株も，綿毛状

の気中菌糸に富んだほぼ円形で表裏とも白色を呈する菌叢を形成した（Plate 9-C）．同条件で3日間培養して得た各菌株の菌叢を5℃，暗黒下に移して12時間保った結果，隔壁のない菌糸から蔵卵器および蔵精器が生じ，それらの接合によって蔵卵器内に卵胞子が形成された（Plate 9-D, E）．蔵卵器は菌糸の先端において単生し，類球形，表面平滑，直径は28～32 μm（平均31 μm）であった．蔵精器は雌雄異菌糸性で，蔵卵器を生じた菌糸とは異なる菌糸の先端において単生し，幅6～10 μmの鉤状であった．蔵精器は蔵卵器にからみつくように接合する場合があった（Plate 9-E）．各蔵卵器には1～3個の蔵精器が接合し，内部に非充満性の直径24～26 μm（平均25 μm）の卵胞子が1個形成された．本菌叢を23～28℃，自然散光下においてペトリ液に浸漬した結果，菌糸が不規則に肥大して膨状遊走子嚢が生じた（Plate 9-F）．膨状遊走子嚢からは逸出管が伸長し，その先端に膨状遊走子嚢の内容物が移動して類球形の球嚢が生じた（Plate 9-G）．球嚢は表面平滑で直径は18～26（～35）μmであった．次いで亜球形ないし広楕円形の遊走子が球嚢内で複数分化し，球嚢外壁を破って放出された（Plate 9-H）．運動を停止した直後の遊走子は被のう化し，直径は8～10 μmであった．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，33℃を適温として15～40℃で生育し（Fig. 6），先に述べたPCA，暗黒下における場合と同様の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径39.2mm/dayであった．なお，上記2菌株の形態・培養特性は，以下の「(2) 病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．

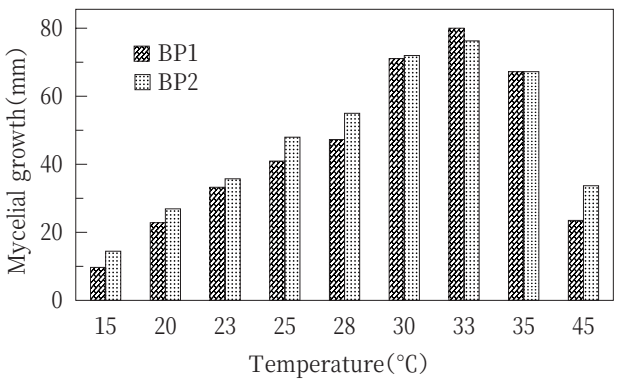


Fig. 6　Influence of temperature on mycelial growth of *Pythiu mmyriotylum* isolated from diseased bergeranthus. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (BP1 and BP2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 3 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for a day, colony diameters were measured.

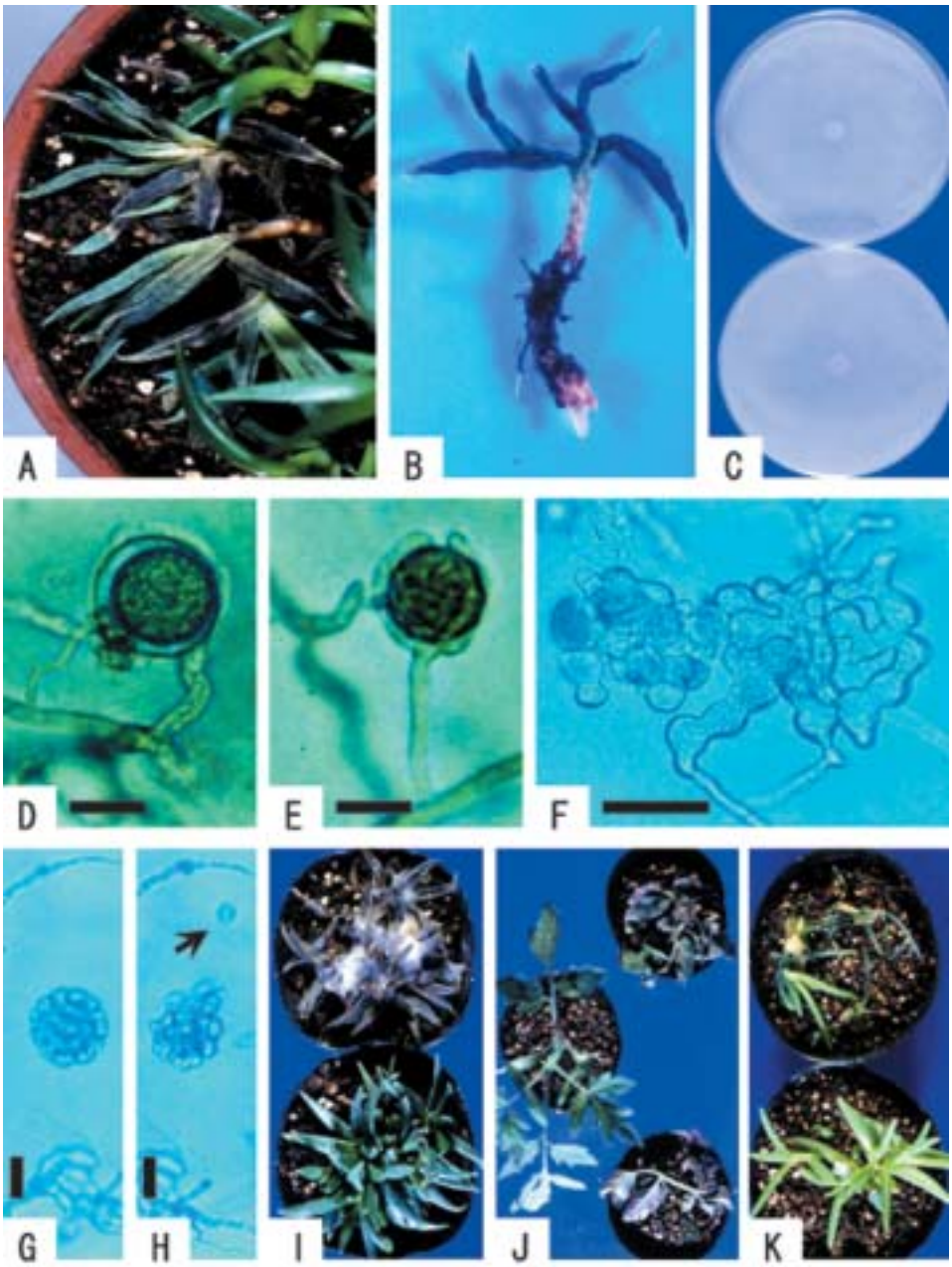
単独培養で有性世代を形成した上記2菌株は，その卵胞子の形成様式および形態に基づいて，いずれも卵菌に属するホモタリックの*Pythium*属菌と判定するとともに，その他の形態・培養特性にも基づいて，菌種は*Pythium myriotylum* Drechslerと同定した[53, 57, 92, 180, 181]．特に，各菌株は，以下の①～④の特性を合わせ持つことから，*P. myriotylum*以外の*Pythium*属菌と識別できた．①ホモタリック．②膨状遊走子嚢を形成．③側着性（非底着性）・通常頂生（非間生）の蔵精器が各蔵卵器（平均直径30 μm以上）に10個まで付着し非充満性の卵胞子を形成．④菌叢生育の最高温度は40℃以上．他の*Pythium*属菌のなかでも，*P. myriotylum*と形態特性がよく似ており，少なくとも①～③までの特性が一致する菌種として，*Pythium aristosporum* Vanterpoolおよび*Pythium volutum* Vanterpool & Truscottがある．しかし，これら2菌種は菌叢生育の最高温度が30～31℃であり，*P. myriotylum*の生育最高温度に比べておよそ10℃も低いことから，本研究において分離した菌株BP1およびBP2とは別種と判断した（Table 10）．また，以下の「(2) 病原性立証および病名」において述べるように，菌株BP1およびBP2はトマトに対しても病原性を有していた．我が国ではトマトに寄生して病害を引き起こす*Pythium*属菌として，*P. myriotylum*を含め，*Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrick, *Pythium dissotocum* Drechslerおよび*Pythium vexans* de Baryの4菌種が知られている[53, 83]．これらのうち，菌株BP1およびBP2の形態・培養特性と最も良く一致したのは，やはり*P. myriotylum*であった．各菌株は，その他の3菌種とは，遊走子嚢，蔵卵器あるいは卵胞子の形態が主に異なり，別種と判断した（Table 10）．

Table 10 Comparison of some characters of the present pathogen causing bergeranthus Pythium rot with those of *Pythium myriotylum*, *P. aristosporum*, *P. volutum*, *P. aphanidermatum*, *P. dissotocum* and *P. vexans* described previously.

Pathogen / Reference	Mode of sexual reproduction	Zoosporangial shape	Antheridial character	Oogonial diameter	Oosporic condition in oogonia	Maximum temperature for mycelial growth	Pathogenicity to		
							Bergeranthus	Fig-marigold	Tomato
The present pathogen causing bergeranthus Pythium rot (Isolates BP1 and BP2)	homothallic	inflated	not hypogynous but paragynous, not intercalary but terminal. Up to 3 antheridia attach to an oogonium.	28-32 μm [ave. 31 μm]	aplerotic	40℃	+	+	+
Plaats-Niterink (1981)									
P. myriotylum	homothallic	filamentous to inflated	not hypogynous but paragynous, usually not intercalary but terminal. Up to 10 antheridia attach to an oogonium.	(20-) 26-32 (-35) μm [ave. about 30 μm or more]	aplerotic	above 40℃			+
P. aristosporum	homothallic	filamentous to inflated	not hypogynous but paragynous, usually not intercalary but terminal. Up to 10 antheridia attach to an oogonium.	(27-) 28-35 (-45) μm [ave. about 30 μm or more]	aplerotic	30℃			
P. volutum	homothallic	filamentous to inflated	not hypogynous but paragynous, usually not intercalary but terminal. Up to 10 antheridia attach to an oogonium.	[ave. about 30 μm or more]	aplerotic	31℃			+
P. aphanidermatum	homothallic	filamentous to inflated	not hypogynous but paragynous, mostly intercalary, sometimes terminal. Up to 2 antheridia attach to an oogonium.	(20-) 22-24 (-25) μm [ave. 23 μm]	aplerotic	above 40℃			+
P. dissotocum	homothallic	filamentous to slightly inflated	not hypogynous but paragynous, usually not intercalary but terminal. Up to 5 antheridia attach to an oogonium.	(19-) 21-24 (-26) μm [ave. 22.5 μm]	aplerotic or nearly plerotic	about 35℃			+
P. vexans	homothallic	(sub) globose, ovoid to pyriform	not hypogynous but paragynous, usually not intercalary but terminal. Up to 2 antheridia attach to an oogonium.	(16-) 18-23 (-24) μm [ave. 20 μm]	aplerotic	35℃			+

+: Virulent. Blank column : Not described.

Plate 9



Explanation of Plate 9

A, B. Natural symptoms of bergeranthus Pythium rot caused by *Pythium myriotylum*.
- A. Stem and foliage rot.
- B. A magnified diseased-plant.

C-H. Morphological and cultural characters of the pathogen of bergeranthus Pythium rot, *P. myriotylum*.
- C. Colonies of isolate BP1 grown on PCA at 25°C in the dark for 3 days (upper : surface view, lower : reverse view).
- D, E. Some antheridia attached to an oogonium (bar : 20 µm).
- F. Zoosporangia (bar : 40 µm).
- G. Differentiation of zoospores in a vesicle developed from a zoosporangium (bar : 20 µm).
- H. Release of zoospores from a vesicle (arrow : zoospore, bar : 20 µm).

I. Symptoms reproduced 5 days after inoculation of bergeranthus with *P. myriotylum* isolate BP2 (lower : control).

J, K. Symptoms produced 5 days after inoculation of tomato and fig-marigold with *P. myriotylum* isolates from bergeranthus.
- J. Stem and foliage rot of tomato caused by isolates BP1 and BP2 (right upper : isolate BP1, right lower : isolate BP2, left : control).
- K. Stem and foliage rot of fig-marigold caused by isolate BP2 (lower : control).

(2) 病原性立証および病名命名

菌株BP1およびBP2のベルゲランツスに対する病原性調査は,本種植物の1系統を用いて実施した．調査には，菌叢貼付接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た各菌株の菌叢片を，各菌株につき4株の健全な植物の無傷の地際部に貼り付けた．対照実験区では，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，25℃に設定したガラス室内において，初めの1～2日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の翌日，2菌株を接種したすべての植物体の茎葉において水浸状の不整形病斑が現れ，接種処理の5～7日後には，それら罹病植物全体が腐敗症状を呈して枯死し，原病徴が再現された（Plate 9-I）．一方，対照実験区の植物体は1カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*P. myriotylum*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*P. myriotylum*が本病の病原であることが立証された．

*Pythium myriotylum*は，ナス科植物のトマトに対して病原性を有し，根腐病（root rot）を引き起こすことが記録されている[65]．そこで次に，菌株BP1およびBP2の宿主範囲を把握する一環として，これらの菌株のトマト品種モモタロウに対する病原性を，上記のベルゲランツスに対する病原性調査において適用した方法に準じ調査した．調査には，被接種用植物として，ベルゲランツスと同じくツルナ科植物で，観賞用花卉として広く普及しているマツバギク［fig-marigold, *Lampranthus* sp.］の1系統も加えた．

その結果，菌株BP1およびBP2は，トマトおよびマツバギクのいずれに対しても病原性を有することが確認された．すなわち，トマトにおいては，接種処理の翌日に，各菌株のPDA菌叢片を貼り付けたすべての植物体の地際部に水浸状の病斑が現れた．それらの罹病植物体は接種処理の4日目には倒伏し（Plate 9-J），接種処理の1週間以内にすべて腐敗症状を呈して枯死した．また，マツバギクにおいては，接種処理の翌日に，各菌株を接種したすべての植物体の茎葉において水浸状の不整形病斑が現れ，接種処理の5～7日後には，それら罹病植物全体が腐敗症状を呈して枯死した（Plate 9-K）．一方，トマトおよびマツバギクの対照実験区の植物体は1カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，各菌株を接種して罹病した両植物の病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*P. myriotylum*は分離されなかった．供試菌株のトマトに対する病原性は，それらの菌株が*P. myriotylum*であることを支持するものである．

ベルゲランツス属植物における病害に関する記録は，菌類病はもとより，他の細菌病やウイルス病に関しても全くなかった．本研究において立証した*P. myriotylum*によるベルゲランツスの病害は，本属植物において初めて確認した病害である．先にも述べたように，*P. myriotylum*は，ナス科植物のトマトのほか，ウリ科のキュウリ，アカザ科のホウレンソウ，サトイモ科のサトイモ，オモダカ科のクワイ，ゴマノハグサ科のキンギョソウ，モクセイ科のトウネズミモチ，ならびにマメ科のインゲンマメ，ラッカセイおよびタマザキフジに対して根腐性,茎腐性,莢腐性，立枯性あるいは萎凋性の病害（root rot, stem rot, petiole rot, pod rot, damping-off, seedling blight, wilt, Pythium rot, Pythium blight, Pythium wilt）を引き起こし，また，バラ科のイチゴにおけるすくみ症状（stunt）を助長する菌種であることが記録されている[23, 83]．本菌種の宿主にツルナ科植物（Aizoaceae）は記録されていない．本科植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したベルゲランツスの病害は新病害と判断した．この病害の特徴的な症状は罹病した植物体全体，特に地上部茎葉の急激な腐敗であり，その病原*P. myriotylum*の菌株はベルゲランツスと同じツルナ科植物のマツバギクにも感染し同様の症状を招くことが本研究において見出された．この新病害の病原菌株はトマトにも病原性を有し同様の症状を招くこ

とが明らかとなったが，本菌種によるトマトの病害は根腐病（root rot）と呼称されている[65]．このように，先に述べた本菌種による既往の植物病害に付けられている正式和名の中で，ベルゲランツスの新病害にも適用しその症状を端的に表せるものは見当たらない．しかし，*Pythium*属菌による多くの植物病害の中に，既にダイコンの腐敗病（Pythium rot）[26, 124]およびブロッコリーのピシウム腐敗病（Pythium rot）[61]が正式和名として認められている．両病害の病原はいずれも *Pythium ultimum* Trow var. *ultimum*であるが，これらの病名はベルゲランツスの新病害の病徴を端的に表しており，好適である．したがって，特にダイコン腐敗病にならい，本研究において認めた*P. myriotylum*によるベルゲランツスの新病害を腐敗病（Pythium rot）と名付けた[129]．

2　野菜の菌類病

1）*Fusicoccum aesculi*および*Phomopsis phomoides*によるピーマンの果実腐敗病

1999年9月，香川県善通寺市のビニルハウスにおいて収穫されたピーマン［sweet pepper, *Capsicum annuum* Linnaeus var. *grossum* Sendtner，カラーピーマン（超大型果実）品種イーグルオレンジ］の完熟果実に腐敗性の2菌類病を認めた．同じ罹病部から高頻度に分離された2種の菌類は，一方は分生子果不完全菌綱・スファエリオイド科の*Fusicoccum aesculi* Corda，もう一方は同科の*Phomopsis phomoides* (Saccardo) Arxと同定し，いずれも単独で病原性を有することを立証するとともに，両病害ともに新病害として果実腐敗病（fruit rot）と名付けた[131]．以下にその詳細を述べる．

(1)　病徴および病原同定

初め，果皮に直径2～3 mmのやや窪んだ水浸状の病斑が現れた．病斑は次第に拡大し，やがて罹病組織が軟化・変形し果実全体が腐敗した（Plate 10-A, B）．多湿条件に置いた罹病果実の病斑上には，病原である2菌種の分生子殻が高頻度で現れ，それらの分生子殻からは分生子粘塊が溢出した（Plate 10-C, D）．それらのうち一方の菌種の分生子殻は病斑上に現れた気中菌糸の間に形成され灰褐色を呈し，分生子粘塊は成熟した分生子殻が裂開することにより溢出し白色を呈した（Plate 10-C）．他方の菌種の分生子殻は罹病組織の果皮下に埋生し，暗褐色ないし黒色を呈し，分生子粘塊は成熟した分生子殻の頂部中央にある孔口から溢出し黄白色を呈した（Plate 10-D）．両菌種が混在していた罹病組織においては，前者よりも後者の菌種の分生子殻が多く形成される傾向があり，これによって罹病組織は腐敗とともに炭状となる場合があった（Plate 10-B）．

病斑上の分生子粘塊から単胞子分離法によって得た前者の菌種の病原菌株PF1およびPF2，ならびに後者の菌種の病原菌株PP1およびPP2を供試し，各菌株をPDA，25℃，BLB下において培養した結果，菌株PF1およびPF2は表裏ともに灰色の菌叢を（Plate 10-E），菌株PP1およびPP2は表面が灰白色，裏面が淡い黄褐色の菌叢を形成し（Plate 10-F），両菌種のいずれの菌株も病斑上と同様の分生子殻および分生子を生じた．菌株PF1およびPF2の分生子殻は高さが480～800 μm，幅が320～480 μmの類球形ないし楕円形で灰褐色を呈した．分生子殻の内壁には，無色，表面平滑，長さ10～40 μm，幅2～4 μmの分生子柄が多数観察された．分生子は分生子柄先端から初めに全出芽で形成された後，内出芽フィアロ型で形成され（Plate 10-G），内部が顆粒状の無色単細胞，基端が截切状あるいは丸い紡錘形，表面平滑，大きさは19～28×4～5 μm，l/b比は4.8～6.8（平均5.4）であった（Plate 10-H）．菌株PP1およびPP2の分生子殻は高さが480～520 μm，幅が640～1440 μmの扁球形，円盤形ないしレンズ形で暗褐色ないし黒色を呈した．分生子殻の内壁には，無色，表面平滑，長さ15～28 μm，幅1～1.5 μmの分生子柄が多数観察された．分生子は分生子柄先端から内出芽フィアロ型で形成され（Plate 10-I），無色単細胞，表面平滑で2型が認められた（Plate 10-J）．その一方は両端がやや尖るか丸く楕円形ないし紡錘形で，内部に2個の油滴を含み，大きさは5～9×1.5～3 μm，l/b比は1.7～4.5（平均2.8），そしてもう一方は長さが12～22 μm，幅が0.5～1 μmの鞭形ないし釣針形であった．

菌株PF1およびPF2をPDA，25℃，暗黒下において6日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下にお

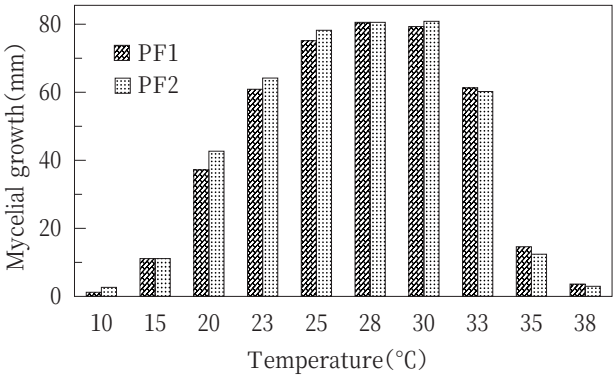


Fig. 7　Influence of temperature on mycelial growth of *Fusicoccum aesculi* isolated from diseased sweet pepper fruits. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (PF1 and PF2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 6 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 3 days, colony diameters were measured.

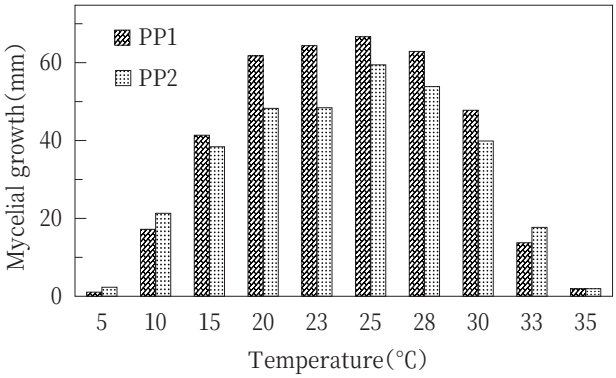


Fig. 8　Influence of temperature on mycelial growth of *Phomopsis phomoides* isolated from diseased sweet pepper fruits. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (PP1 and PP2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 3 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 6 days, colony diameters were measured.

いて，28～30℃を適温として10～38℃で生育し，表面が気中菌糸に富んだ灰色で，裏面が暗灰色から長期培養で黒色となる菌叢を形成した（Fig. 7, Plate 10-E）．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径13.3mm/dayであった．また，菌株PP1およびPP2をPDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，25℃を適温として5～35℃で生育し，表面が灰白色，裏面がやや淡褐色を帯びる灰白色の菌叢を形成した（Fig. 8, Plate 10-F）．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径5.3mm/dayであった．以上の生育調査において，供試した4菌株のいずれにも分生子殻および分生子の形成は認められなかったことから，それらの形成はBLB下で促進されることが明らかとなった．なお，上記4菌株の形態・培養特性は，以下の「(2)　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，その調査を含めて，本研究においては病原の完全世代は認められなかった．

菌株PF1およびPF2は，その子実体の特徴，分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Fusicoccum*属に所属するものと判定するとともに[120]，その他の形態・培養特性にも基づいて，*Fusicoccum aesculi* Cordaと同定した[13, 48, 49, 50, 70, 91, 169, 170]．特に，各菌株は，分生子の形態特性について，*F. aesculi*以外の*Fusicoccum*属菌とは異なった．他の*Fusicoccum*属菌のなかでも，*Fusicoccum luteum* Pennycook & Samuelsおよび*Fusicoccum parvum* Pennycook & Samuelsの2菌種が*F. aesculi*と分生子の形態特性がよく似ている[91]．しかし，本研究において分離した菌株PF1およびPF2は，いずれもそれら2菌種よりも分生子が大きく，35℃においても菌叢の生育が認められたことから，それら2菌種とは別種と判断した（Table 11）．

他方，菌株PP1およびPP2は，その子実体の特徴，分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Phomopsis*属菌と判定し，両菌株が形成した楕円形ないし紡錘形の分生子および鞭形ないし釣針形の分生子はそれぞれ本属菌に特異的な　型分生子および　型分生子と判断した[57, 159]．そして，それらの分生子の形態特性およびその他の形態・培養特性に基づいて，各菌株は*Phomopsis phomoides* (Saccardo) Arxと同定した[3, 4, 159]．なお，以下の「2）病原性立証および病名」において述べるように，各菌株はピーマンと同じナス科植物の重要果菜であるトマトに対しても病原性を有していた．トマトに寄生して病害を引き起こす*Phomopsis*属菌として，*P. phomoides*を含め，*Phomopsis fusiformis* Mandal & Dasguptaおよび*Phomopsis phaseoli* (Desmazières) Saccardo［完全世代*Diaporthe*

Table 11　Comparison of some characters of the present pathogen causing sweet pepper fruit rot with those of *Fusicoccum aesculi*, *F. luteum* and *F. parvum* described previously.

Pathogen / Reference	Conidium		Mycelial growth on PDA at 35℃	Pathogenicity to	
	Shape	Size (μ m)		Sweet pepper	Tomato
The present pathogen causing sweet pepper fruit rot (Isolates PF1 and PF2)	fusiform, truncate or rounded at the base	19-28 × 4-5	+	V	V
F. aesculi					
Pennycook and Samuels (1985)	fusiform	ave. 23.1 × 5.4	+		
Crous and Palm (1999)	fusiform to narrowly ellipsoidal, base truncate	18-25 (-30) × 4?4.5 (-5)			
Yano et al. (1998, 2003)*	oblong to fusiform, base truncate	13.8-20.0 × 4.0-5.6	+		
Mikami and Sato (2000)*	oblong to fusiform, truncate or rounded at the base	19-30 × 5-6.5	+		
Kinugawa and Sato (2000, 2002, 2003)*	long-fusiform	15.3-24.5 × 6.5-9.1	+		
F. luteum					
Pennycook and Samuels (1985)	ellipsoidal to fusiform	ave. 21.7 × 6.7	−		
F. parvum					
Pennycook and Samuels (1985)	ellipsoidal	ave. 16.0 × 5.9	−		

* : in Japanese.　+: Growing.　−: Not grown.　V : Virulent.　Blank column : Not described.

Table 12　Comparison of some characters of the present pathogen causing sweet pepper fruit rot with those of *Phomopsis phomoides*, *P. fusiformis* and *P. phaseoli* described previously.

Pathogen / Reference	Length of conidiophores (μ m)	Number of guttules in an α conidium	Pathogenicity to	
			Sweet pepper	Tomato
The present pathogen causing sweet pepper fruit rot (Isolates PP1 and PP2)	15-28	2	+	+
P. phomoides Arx (1957, 1970)	18-26	2		+
Uecker (1988)	20-21			+
P. fusiformis Mandal and Gupta (1984) [Uecker (1988)]	17.5-25	1		+
P. phaseoli (Diaporthe phaseolorum) Parris (1959) [Farr et al. (1989)]				+
Hanlin (1963) [Farr et al. (1989)]				+
Punithalingam and Holliday (1972)	6-10	2		
Uecker (1988)	15			

[ ] : Literatures citing data described in upper one.　+: Virulent.　Blank column : Not described.

phaseolorum (Cooke & Ellis) Saccardo］の3菌種が記録されている[3, 4, 23, 27, 67, 90, 94, 159]．これらのうち，本研究において分離した菌株PP1およびPP2の形態・培養特性と最も良く一致したのは，やはり*P. phomoides*であった．各菌株は，その他の2菌種とは分生子柄の長さあるいは ¿型分生子中の油滴数が異なり，別種と判断した（Table 12）．

⑵　病原性立証および病名命名

菌株PF1，PF2，PP1およびPP2のピーマンに対する病原性調査は，カラーピーマン（超大型果実）品種イーグルオレンジを用い，以下の①果実に対する病原性調査および②茎葉に対する病原性調査により実施した．①果実に対する病原性調査：以下の（1a）および（1b）の接種法を順番に適用して実施した．（1a）分生子懸濁液滴下接種法（無傷接種および有傷接種）：PDA，25℃，BLB下において10日間培養して得た各菌株の分生子を3～6×105個/mlの密度で滅菌蒸留水に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき健全完熟果実2～3個および健全未熟果実2個の無傷の外果皮に滴下した．また，同一果実の別の箇所の外果皮に滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけ，同じ分生子懸濁液を滴下した．対照実験区では，別の健全完熟果実2個および健全未熟果実2個の無傷の外果皮，ならびにそれらの果実の別の箇所の外果皮に同様に穿孔傷をつけた部分に滅菌蒸留水を滴下した．（1b）分生子懸濁液注入接種法（有傷接種）：（1a）の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき健全未熟果実2個の内部にそれぞれ1ml注入した．対照実験区では，別の健全未熟果実2個の内部に滅菌蒸留水をそれぞれ1ml注入した．（1a）および（1b）の方法によって菌株を接種した果実および対照実験区の果実は，24～26℃に設定した実験室内において，湿室に保ったビーカー内で管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の果実に対する病原性を評価・判定した．②茎葉に対する病原性調査：以下の（2a）～（2c）の接種法を順番に適用して実施した．（2a）分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：①の調査と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき2～3個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に滅菌蒸留水を噴霧した別の2個体の健全植物を対照実験区とした．（2b）分生子懸濁液滴下接種法（有傷接種）：①の調査と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき2個体の健全植物の，滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた葉に滴下した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水を滴下した．（2c）菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において14日間培養して各菌株の菌糸体を着生させた楊子（分生子形成なし）を，各菌株につき3個体の健全植物の茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．（2a）～（2c）の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，23～30℃に設定したガラス室内において，初めの3～7日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，いずれの菌株も，①の果実に対する病原性調査において完熟果実の有傷果皮に接種した場合に限り，ピーマンに対する病原性が認められ，菌株の違いによらず同様の症状を引き起こすことが明らかとなった（Table 13）．すなわち，接種処理の2～3日後，4菌株を接種したすべての完熟果実の有傷接種部が水浸状病斑の出現とともに窪みはじめ，その後，徐々に病斑が拡大し，接種処理の5～7日後には罹病組織が顕著な腐敗症状を呈し原病徴が再現された（Plate 10-K）．罹病した果実の内壁においては，*P. phomoides*の菌株よりも*F. aesculi*の菌株を接種した場合の方が接種菌の気中菌糸が多く表生する傾向があったが（Plate 10-L），病原力は*P. phomoides*の菌株の方が強く，本菌種の菌株を接種した場合の方が病斑の進展が早かった．一方，対照実験区の果実は2週間を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した果実の病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の果実からは*F. aesculi*および*P. phomoides*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*F. aesculi*および*P. phomoides*のいずれもが

Table 13 Results of pathogenicity tests of the present isolates of *Fusicoccum aesculi*, *Phomopsis phomoides* and *Fusarium lateritium* to sweet pepper and tomato.

Tested plants / Inoculation methods				*F. aesculi* (Isolates PF1 and PF2)	*P. phomoides* (Isolates PP1 and PP2)	*F. lateritium* (Isolates SF1 and SF2)
Sweet pepper						
[cv. Eagle Orange]	Seedling	Unwounded	Spraying	−	−	
		Wounded	Dripping	−	−	
			Insertion	−	−	
	Unripe fruit	Unwounded	Dripping	−	−	
		Wounded	Dripping	−	−	
			Injection	−	−	
	Ripe fruit	Unwounded	Dripping	−	−	
		Wounded	Dripping	+	+	
[cv. High Green]	Seedling	Unwounded	Spraying			−
		Wounded	Dripping			−
			Insertion			−
	Unripe fruit	Unwounded	Dripping			−
		Wounded	Dripping			(+)
			Injection			+
[cv. Spirits]	Ripe fruit	Unwounded	Dripping			−
		Wounded	Dripping			(+)
			Injection			+
Tomato						
[cv. Momotaro]	Seedling	Unwounded	Spraying	−	−	−
		Wounded	Dripping	−	−	−
			Insertion	−	−	−
	Unripe fruit	Unwounded	Dripping	−	−	−
		Wounded	Dripping	−	−	−
	Ripe fruit	Unwounded	Dripping	−	−	−
		Wounded	Dripping	+	+	−

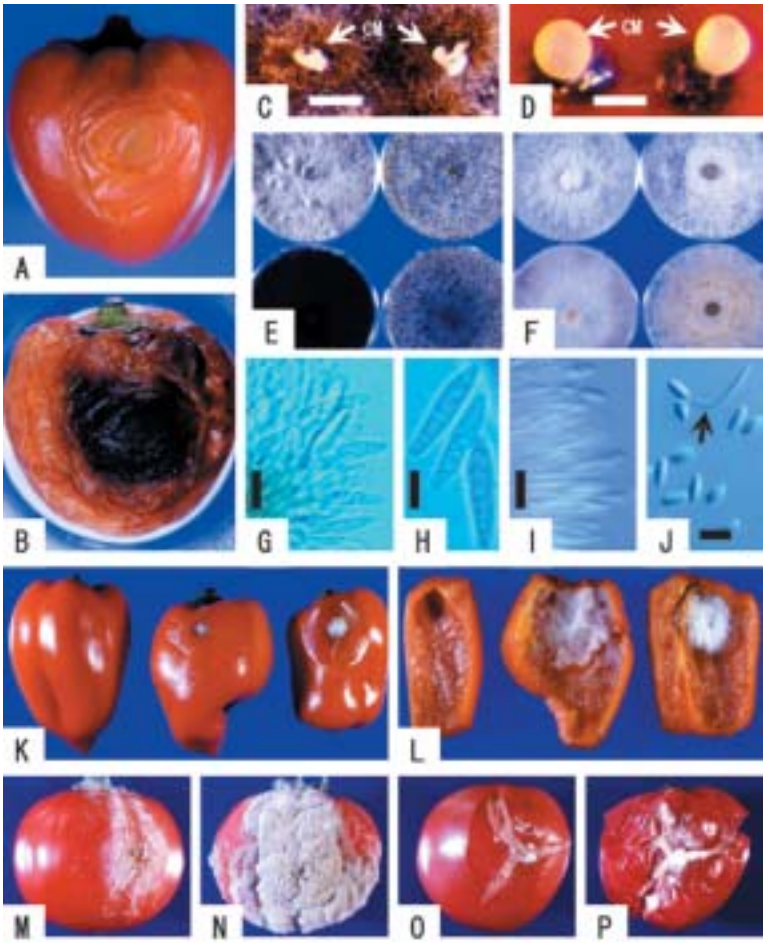
+: Virulent. (+) : Slightly virulent. −: Virulence was not detected. Blank column : Not tested.

本病の病原であることが立証された．なお，①の果実に対する病原性調査において菌株を接種したすべての未熟果実，および②の茎葉に対する病原性調査において菌株を接種したすべての植物は，接種後1～2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった（Table 13）．

*Phomopsis phomoides*はピーマンと同じナス科植物の重要果菜であるトマトに寄生し，果実腐敗性の病害を引き起こす菌種であることが報告されているが，その病原性に関してはコッホの原則を満たした立証がなされていない[3, 4, 159]．また，*F. aesculi*が本植物に対して病原性を有するか否かも不明であることから，次に，菌株PF1，PF2，PP1およびPP2の宿主範囲を把握する一環として，これらの菌株のトマト品種モモタロウに対する病原性を，上記のピーマンに対する病原性調査において適用した方法のうち，（1b）分生子懸濁液注入接種法（有傷接種）以外の方法に準じて調査した．

その結果，先のピーマンに対する病原性調査の結果と同様に，いずれの菌株も，トマトの完熟果実の有傷果皮に接種した場合に限り，本植物に対して病原性を有することが認められた（Table 13）．上記のように，ピーマンの果実においては，*F. aesculi*の2菌株よりも*P. phomoides*の2菌株の方に強い病原力を認めたものの，病斑の進展の早さ以外に供試菌株間に違いは認められなかった．それに対し，トマトの果実においては，供試菌株間に病原力の差は認められなかったが，*F. aesculi*の2菌株によって引き起こされる症状と*P. phomoides*の2菌株によって引き起こされる症状は顕著に異なることが明らかとなった．すなわち，接種処理の1～2日後，4菌株を接種したすべての完熟果実の有傷部に水浸状の病斑が現われはじめた．そして，徐々に病斑が拡大し，接種処理の4～9日後には，*F. aesculi*の菌株PF1およびPF2を接種した果実は，接種菌の気中菌糸の表生とともに罹病組織が顕著に隆起する腐敗症状を呈し（Plate 10-M, N），*P. phomoides*の

Plate 10



Explanation of Plate 10

A-D. Natural symptoms and signs of sweet pepper fruit rot caused by mixed-infection of *Fusicoccum aesculi* and *Phomopsis phomoides*.
- A. Fruit rot in an early stage.
- B. Fruit rot with numerous pycnidia of *P. phomoides* in a late stage.
- C. Pycnidia of *F. aesculi* and their conidial masses (CM : conidial masses, bar : 400 µm).
- D. Pycnidia of *P. phomoides* and their conidial masses (CM : conidial masses, bar : 400 µm).

E-J. Morphological and cultural characters of the pathogens of sweet pepper fruit rot, *F. aesculi* and *P. phomoides*.
- E. Colonies of *F. aesculi* isolate PF1 produced on PDA at 25°C for 10 days (left : in the dark; right : under black light; upper : surface view; lower : reverse view).
- F. Colonies of *P. phomoides* isolate PP1 produced on PDA at 25°C for 10 days (left : in the dark; right : under black light; upper : surface view; lower : reverse view).
- G. Conidiophores and conidia of *F. aesculi* isolate PF1 produced on PDA at 25°C under black light for 10 days (bar : 20 µm).
- H. Conidia of *F. aesculi* isolate PF1 produced on PDA at 25°C under black light for 10 days (bar : 10 µm).
- I. Conidiophores and conidia of *P. phomoides* isolate PP1 produced on PDA at 25°C under black light for 10 days (bar : 20 µm).
- J. Conidia of *P. phomoides* isolate PP1 produced on PDA at 25°C under black light for 10 days (arrow : a conidium) (bar : 10 µm).

K, L. Symptoms reproduced 8 days after inoculation of sweet pepper fruits with *F. aesculi* isolate PF1 and *P. phomoides* isolate PP1 (left to right : control, isolate PF1 and isolate PP1).
- K. Outside symptoms.
- L. Inside symptoms.

M-P. Symptoms appeared 6-9 days after inoculation of tomato fruits with *F. aesculi* isolate PF1 and *P. phomoides* isolate PP1.
- M. Symptoms appeared 6 days after inoculation with *F. aesculi* isolate PF1.
- N. Symptoms appeared 9 days after inoculation with *F. aesculi* isolate PF1.
- O. Symptoms appeared 6 days after inoculation with *P. phomoides* isolate PP1.
- P. Symptoms appeared 9 days after inoculation with *P. phomoides* isolate PP1.

菌株PP1およびPP2を接種した果実は，罹病組織が顕著に裂開する腐敗症状を呈した（Plate 10-O, P）．一方，対照実験区の果実は2週間を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した果実の病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の果実からは*F. aesculi*および*P. phomoides*は分離されなかった．なお，菌株を接種したすべての未熟果実，無傷条件で接種した完熟果実ならびに茎葉に対する病原性調査において菌株を接種したすべての植物体は，接種後1～2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった（Table 13）．

コッホの原則を満たして病原性の立証されたトウガラシ属植物における既往の菌類病として，果実腐敗症をはじめ，葉斑点性，葉枯性，根腐性，茎腐性，立枯性あるいは萎凋性の病害が多く記録されている[23, 83]．それらの病原は，*Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria* sp., *Botrytis cinerea* Persoon : Fries, *Cercospora capsici* Heald & Wolf, *Cladosporium herbarum* (Persoon : Fries) Link, *Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisby, *Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughes, *Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardo, *Colletotrichum nigrum* Ellis & Halsted, *Curvularia geniculata* (Tracy & Earle) Boedijn, *Erysiphe cichoracearum* de Candolle, *Fusarium oxysporum* Schlechtendahl: Fries, *Fusarium* sp., *Nectria haematococca* Berkeley & Broome [*Nectria haematococca* Complex, 不完全世代 *Fusarium solani* (Martius) Saccardo], *Oidiopsis sicula* Scalia, *Oidiopsis* sp., *Phoma exigua* Desmazières, *Phytophthora capsici* Leonian, *Phytophthora* sp., *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrick, *Rhizoctonia solani* Kühn, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenberg : Fries) Vuillemin, *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert) de Bary, *Sclerotium rolfsii* Saccardo, *Stemphylium botryosum* Wallroth, *Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamoto, *Stemphylium solani* G. F. Weber, *Stemphylium* sp.および *Verticillium dahliae* Klebahnである．また，*F. aesculi*［完全世代 *Botryosphaeria dothidea* (Mougeot : Fries) Cesati & de Notaris］は，ウリ科のメロンにおいて果実腐敗性の病害（黒渋腐敗病，Fusicoccum fruit rot）[70]を，マタタビ科のキウイにおいて果実腐敗性および枝枯性の病害（果実軟腐病，fruit rot, soft rot, dieback）[48, 49, 50, 91, 123, 168]を，ナス科のナスにおいて茎枯性の病害（茎枯病，stem blight）[169, 170]を引き起こすことが報告されている．*Phomopsis phomoides*の宿主は本研究において立証したトマト以外には記録がない．したがって，トウガラシ属植物は*F. aesculi*および*P. phomoides*のいずれの菌種にとっても新たな宿主であり，本研究において立証した各菌種によるピーマンの病害は新病害と判断した．特に，*P. phomoides*の我が国における分布についてはこれまでに記録がないことから，本菌種よる病害は日本新産菌による病害としても位置づけられるものである．これらの2新病害はいずれもピーマンの完熟果実のみに症状が現れる特徴が示された.先に述べた本植物における既往の菌類病のうち，果実腐敗を端的に示す病名として，*Fusarium* sp.による実腐病[85]および*R. stolonifer*によるへた腐病[63, 64]がある．特に前者の病名は本研究において認めた2新病害の病徴を端的に表しており,好適である．しかしながら，トウガラシ属植物における既往の菌類病は，*B. cinerea*によって引き起こされる灰色かび病，*P. capsici*による疫病，*S. botryosum*による黒かび病，*C. geniculata*によるにせ黒かび病など，他にも果実腐敗を招く病原が多くあり，病原菌の種あるいは属ごとに病名が付けられ区別されてきた経緯がある．このことは，重要果菜であるトウガラシおよびピーマンを擁する本属植物において確認されている多くの病害を特定する際，病名によって病原菌の種あるいは属も把握できるという利点から実用性がある．本研究おいて認めた2つの新病害の病原菌*F. aesculi*および*P. phomoides*は互いに属が異なるものであるが，元来はともに同一果実において混合感染していたものであり，それぞれが引き起こす病徴は互いに良く似ていた．したがって，これらの2新病害を，*Fusarium* sp.による実腐病とは同義ではあるが呼称として区別するため，ともに果実腐敗病（fruit rot）と名付けた[143]．

橘ら（1983），衣川・佐藤（2000，2002，2003）および矢野ら（1998，2003）によれば，キウイにおける果実腐敗性および枝枯性の病害，ならびにナス

における茎枯性の病害を引き起こす *F. aesculi* [*B. dothidea*] が分離された場合も，それぞれの宿主において同じ罹病器官組織から病原性を有する *Phomopsis* 属菌（*Phomopsis* sp.）が同時に分離されている．両属菌のこういった発生生態および寄生性に関する共通性は植物病原菌学的に非常に興味深い．それらキウイおよびナスから分離されている *Phomopsis* 属菌の菌種がそれぞれ何であるか，今後の調査結果が待たれるとともに，その共通性に何らかの理由があるか否か，本研究において分離した *F. aesculi* および *P. phomoides* の菌株も供試し，今後，詳細な研究を行うことが望まれる．また，キウイにおける果実腐敗性の病害では，*Phomopsis* sp. よりも *F. aesculi* [*B. dothidea*] の菌株に強い病原力が認められ[123]，枝枯性の病害では，逆に *F. aesculi* [*B. dothidea*] よりも *Phomopsis* sp. の菌株に強い病原力が認められたと報告されている[48, 49, 50]．本研究において分離したピーマン果実腐敗病の病原菌株については，ピーマンの果実では *P. phomoides* よりも *F. aesculi* の菌株に強い病原力が認められ，トマトの果実では両菌種菌株間に病原力の差は認められなかった．キウイおよびピーマン由来のこれら両属菌の菌株は，いずれも元来はそれら宿主の同一器官に混合感染していたものである．両属間に認められた上記の病原力の差が，分離源の異なる菌株であっても各宿主あるいはその感染部位によって決まってくるのか否かについても，両属菌の混合感染が宿主に及ぼす影響を把握する一環として，今後，詳細に調査することが望まれる．

2）*Fusarium lateritium* によるピーマンの実腐病

2001年5月，香川県善通寺市のビニルハウスにおいて収穫されたピーマン［未熟果実品種ハイグリーン］の未熟果実に腐敗性の菌類病を認めた．罹病部から高頻度に分離された菌類を，不完全糸状菌綱・ツベルクラリア科の *Fusarium lateritium* Nees : Fries emend. Snyder & Hansen と同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害と認め，既知の *Fusarium* sp. による病害にならって実腐病（fruit rot）と名付けた[142]．以下にその詳細を述べる．

(1) 病徴および病原同定

本病は，前節において述べた *F. aesculi* および *P. phomoides* による果実腐敗病とは病徴がやや異なった．初め，へた周辺の外果皮に暗色水浸状の不整形病斑が現れる頻度が高い傾向があった（Plate 11-A）．この時点で，ほとんどの罹病果実の内部種子は病原の菌糸に覆われていた（Plate 11-B）．病斑が次第に拡大するとともに，罹病した外果皮上にも病原の気中菌糸が高頻度で表生し，やがて *F. aesculi* および *P. phomoides* による果実腐敗病と同様に，罹病組織が軟化・変形し果実全体が腐敗した．

病斑上の気中菌糸から単菌糸分離法によって得た病原菌株SF1およびSF2を供試し，各菌株をPDA，23～28℃，自然散光下において培養した結果，いずれの菌株も，気中菌糸に富んだ黄褐色を帯びる菌叢を形成し（Plate 11-C），分生子柄および分生子を生じた．各菌株は，SNAあるいはカーネーション葉WA，25℃，暗黒下において培養した場合も，同様の分生子柄および分生子を形成した．分生子柄は無色，1～4隔壁で，長さは16～52 μmであった（Plate 11-D）．分生子は分生子柄先端のモノフィアライドから形成され，無連鎖，無色，脚胞のある鎌形，3～5横隔壁（4～6細胞）で，大きさは4細胞分生子が16～26×2～3 μm，5細胞分生子が20～32×2～3 μm，6細胞分生子が22～34×2～3 μm

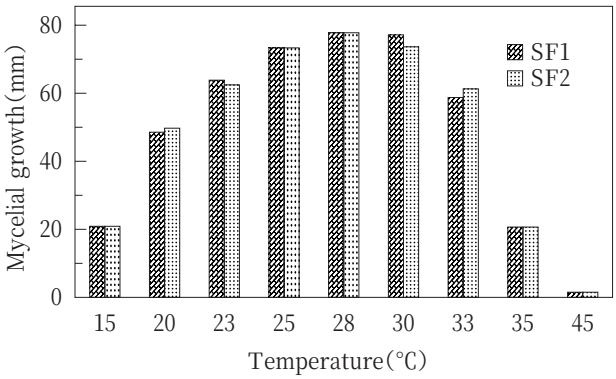


Fig. 9　Influence of temperature on mycelial growth of *Fusarium lateritium* isolated from diseased sweet pepper fruits. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (SF1 and SF2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 3 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 5 days, colony diameters were measured.

Table 14 Comparison of some characters of the present pathogen causing sweet pepper fruit rot with those of *Fusarium lateritium*, *F. sambucinum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum* and *F. solani* described previously.

Pathogen / Reference	Microconidium	Chlamydospore	Colony color	Pathogenicity to sweet pepper
The present pathogen causing sweet pepper fruit rot (Isolates SF1 and SF2)	—	—	not reddish	+
Domsch et al. (1980); Ichinoe (1990)*				
F. lateritium	—	—	not reddish	
F. sambucinum	—	—	reddish	
F. culmorum	—	+	reddish	
F. graminearum	—	+	reddish	
F. oxysporum	+	+	not reddish	+
F. solani	+	+	not reddish	+

* : In Japanese. +: Present or virulent. —: Usually absent. Blank column : Not described.

で，全体的には16～34×2～3 μmであった（Plate 11-E, F）．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，25℃を適温として10～35℃で生育し（Fig. 9），先に述べた自然散光下における菌叢と同様の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径7.3mm/dayであった．

上記2菌株は，その分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の *Fusarium* 属菌と判定し，両菌株が形成した脚胞のある鎌形の分生子は本属菌に特異的な大分生子と判断した[17, 57]．そして，その分生子の形態特性およびその他の形態・培養特性に基づいて，各菌株は *Fusarium lateritium* Nees : Fries emend. Snyder & Hansen と同定した[17, 37, 69]．特に，各菌株は，以下の①～⑥の特性を合わせ持つことから，*F. lateritium* 以外の *Fusarium* 属菌と識別できた．①小分生子をふつう形成せず大分生子のみを形成する．②PDAでの4日目の発育は2.5㎝以上．③大分生子はモノフィアライド型の分生子形成細胞より生じる．④大分生子は形および大きさともに揃いがよく，湾曲が少ない直線状に近く，先端はくちばし状．⑤厚膜胞子は通常形成しない．⑥培養菌叢は非赤色で淡褐色ないし黄色．他の *Fusarium* 属菌のなかでも，*F. lateritium* と形態特性がよく似ており，少なくとも①～④までの特性が一致する菌種として，*Fusarium* sambucinum Fuckel，*Fusarium culmorum* (Smith) Saccardo および *Fusarium graminearum* (Fries) Saccardo がある．しかし，これら3菌種はいずれもPDA等において赤色系の菌叢を形成し，また，*F. culmorum* および *F. graminearum* は厚膜胞子をよく形成することから，本研究において分離した菌株SF1およびSF2とは別種と判断した（Table 14）．なお，前項の「(2) 病原性立証および病名」において述べたように，ピーマンと同じトウガラシ属植物に寄生して病害を引き起こす *Fusarium* 属菌のうち，菌種まで同定されているものとして，萎凋病を引き起こす *F. oxysporum*[75, 175, 176] および立枯病を引き起こす *F. solani* [完全世代N. haematococca][40] が記録されている．しかし，これら2菌種はいずれも小分生子を豊富に形成することなどから，これらについても本研究において分離した菌株SF1およびSF2とは別種と判断した（Table 14）．

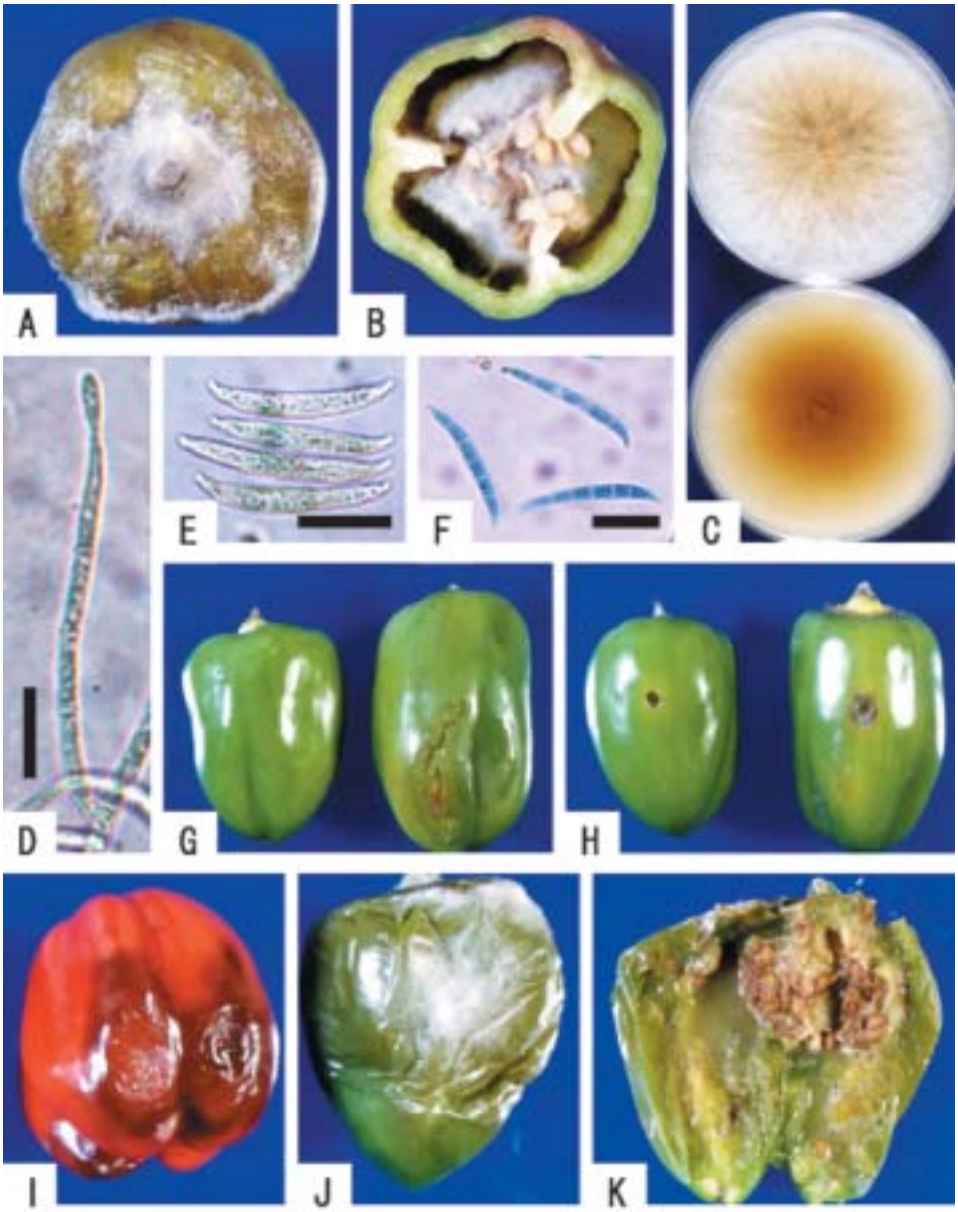
(2) 病原性立証および病名命名

菌株SF1およびSF2のピーマンに対する病原性調査は，以下の①果実に対する病原性調査および②茎葉に対する病原性調査により実施した．①果実に対する病原性調査：未熟果実品種ハイグリーンおよ

びカラーピーマン（超大型果実）品種スピリッツを用い，以下の（1a）および（1b）の接種法を順番に適用して実施した．（1a）分生子懸濁液滴下接種法（無傷接種および有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において10日間培養して得た各菌株の分生子を6～8×10^5個/mlの密度で滅菌蒸留水に懸濁し，この分生子懸濁液を，各菌株につき健全未熟果実（品種ハイグリーン）2個および健全完熟果実（品種スピリッツ）2個の無傷の外果皮に滴下した．また，同一果実の別の箇所の外果皮に滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけ，同じ分生子懸濁液を滴下した．対照実験区では，別の健全未熟果実（品種ハイグリーン）2個および健全完熟果実（品種スピリッツ）2個の無傷の外果皮，ならびにそれらの果実の別の箇所の外果皮に同様に穿孔傷をつけた部分に滅菌蒸留水を滴下した．（1b）分生子懸濁液注入接種法（有傷接種）：（1a）の接種法と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき健全未熟果実（品種ハイグリーン）2個および健全完熟果実（品種スピリッツ）2個の内部にそれぞれ1ml注入した．対照実験区では，別の健全未熟果実（品種ハイグリーン）2個および健全完熟果実（品種スピリッツ）2個の内部に滅菌蒸留水をそれぞれ1ml注入した．（1a）および（1b）の方法によって菌株を接種した果実および対照実験区の果実は，24～26℃に設定した実験室内において，高湿度に保ったビーカー内で管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の果実に対する病原性を評価・判定した．②茎葉に対する病原性調査：未熟果実品種ハイグリーンを用い，以下の（2a）～（2c）の接種法を順番に適用して実施した．（2a）分生子懸濁液噴霧接種法（無傷接種）：①の調査と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき3～4個体の健全な植物に噴霧接種した．同時に滅菌蒸留水を噴霧した別の3個体の健全植物を対照実験区とした．（2b）分生子懸濁液滴下接種法（有傷接種）：①の調査と同様に調製した各菌株の分生子懸濁液を，各菌株につき2個体の健全な植物の，滅菌柄付針を用いて人為的に穿孔傷をつけた葉に滴下した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，滅菌蒸留水を滴下した．（2c）菌体楊子挿入接種法（有傷接種）：PDA，25℃，暗黒下において10日間培養して各菌株の菌糸体を着生させた楊子（分生子形成なし）を，各菌株につき3個体の健全植物の茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では2個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．（2a）～（2c）の方法によって菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，23～30℃に設定したガラス室内において，初めの3～5日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，いずれの菌株も，①の果実に対する病原性調査において，未熟果実（品種ハイグリーン）および完熟果実（品種スピリッツ）の外果皮に有傷条件で滴下接種した場合，ならびにそれらの果実内部へ注入接種した場合，病原性が認められ，果実の熟度に関わらず，外果皮側よりも果実の内壁側に対して強い病原力を示した（Table 13）．すなわち，外果皮への有傷接種の場合は，明確には原病徴は再現されなかったが，接種処理の14日後，2菌株を接種したすべての果実において，有傷接種部がやや水浸状となった．果実の内部へ分生子懸濁液を注入接種した場合は，2菌株を接種したすべての果実において，接種処理の2日後，注入した菌株の分生子懸濁液が果実の内部において付着したと思われる場所から水浸状の病斑が現れはじめ，その後，徐々に病斑が拡大し（Plate 11-G, I），接種処理の5～7日後には，分生子懸濁液注入口周辺にも，果実の内壁から進展してきた水浸状の病斑が認められた（Plate 11-H）．そして，接種処理の14日後には，原病徴と同様に，罹病組織が顕著な腐敗症状を呈した（Plate 11-J, K）．罹病した未熟果実（品種ハイグリーン）および完熟果実（品種スピリッツ）における病斑の進展に違いは認められなかった．一方，対照実験区の果実は2週間を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した果実の病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の果実からは*F. lateritium*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち*F. lateritium*が本

Plate 11



Explanation of Plate 11

A, B. Natural symptoms and signs of sweet pepper fruit rot caused by *Fusarium lateritium*.
- A. Outside symptoms and signs (white mycelia on epicarp).
- B. Inside symptoms and signs (white mycelia around seeds).

C-F. Morphological and cultural characters of the pathogen of sweet pepper fruit rot, *F. lateritium* isolate SF1.
- C. Colonies produced on PDA at 23-28℃ in the shading natural light for 5 days. (upper : surface view; lower : reverse view).
- D. A conidiophore and a young conidium produced on SNA at 25℃ in the dark for 4 days (bar : 10 µm).
- E. Conidia produced on SNA at 25℃ in the dark for a week (bar : 10 µm).
- F. Cotton blue-stained conidia produced on SNA at 25℃ in the dark for a week (bar : 10 µm).

G-K. Symptoms reproduced 8-14 days after inoculation of sweet pepper fruits with *F. lateritium* isolate SF1 (G-I : 8 days after inoculation, J, K : 14 days after inoculation).
- G. Outside (unwounded side) symptoms of unripe fruits (cv. High Green) (left : control).
- H. Outside (wounded side) symptoms of unripe fruits (cv. High Green) (left : control).
- I. Outside (unwounded side) symptoms of a ripe fruit (cv. Spirits).
- J. Outside (unwounded side) symptoms and signs (white mycelia) of an unripe fruit (cv. High Green).
- K. Inside symptoms of an unripe fruit (cv. High Green).

病の病原であることが立証された．なお，①の果実に対する病原性調査において菌株を無傷条件で接種したすべての未熟果実（品種ハイグリーン）および完熟果実（品種スピリッツ），および②の茎葉に対する病原性調査において菌株を接種したすべての植物（品種ハイグリーン）は，接種後1～2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった（Table 13）．また，菌株SF1およびSF2の宿主範囲を把握する一環として，それらのトマト品種モモタロウに対する病原性を，本項において適用した方法のうち，（1b）分生子懸濁液注入接種法（有傷接種）以外の方法に準じて調査した．その結果，菌株を接種したいずれの植物体も，接種後1～2カ月を経ても対照実験区の植物体と同様に病徴は現れず，接種菌も再分離されなかった（Table 13）．

*Fusarium lateritium*は，ヒユ科のケイトウ，アオイ科のキンゴジカ，クワ科のコウゾおよびクワ，ならびにマメ科のニセアカシア，ネムノキおよびエンジュのほか，マツ科，スギ科およびカエデ科植物に対して立枯性，芽枯性，枝枯性あるいは癌腫性の病害（damping-off, twig blight, red stain, canker）を引き起こす菌種であることが記録されている[23,83]．本菌種の宿主にナス科植物（Solanaceae）は記録されていない．本科植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したピーマンの病害は新病害と判断した．本病は，前節において述べた*F. aesculi*および*P. phomoides*による果実腐敗病と同様に，ピーマンの果実のみに症状が現れる特徴が示された．ピーマンにおける既往の菌類病のうち，果実腐敗を端的に示す病名の病害あるいは*Fusarium*属菌による病害として，*F. aesculi*および*P. phomoides*による果実腐敗病のほかに，*R. stoloniferによる*へた腐病[63, 64]，*Fusarium* sp.による実腐病[85]，ならびに果実腐敗も引き起こす*F. oxysporum*による萎凋病[75, 175, 176]および*F. solani* [完全世代N. haematococca]による立枯病[40]が報告されている．本研究において認めた*F. lateritium*による病害の病名は，その原病徴を最も良く表す観点から，*R. stoloniferによる*へた腐病にならうのが好適ではあるが，前節においても述べたように，トウガラシ属植物における既往の菌類病は，病原菌の種あるいは属ごとに病名が付けられ区別されてきた経緯がある．したがって，本研究において立証した*F. lateritium*による新病害は，既知の*Fusarium* sp.による病害にならって実腐病（fruit rot）と名付けた[142]．

この既知の実腐病菌株は，その報告の中で，*F. lateritium*と同定されている．しかし，菌叢が赤色系であるなどの点で*Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo [*Fusarium roseum* Link : Fries emend. Snyder & Hansen] の可能性があり，同定根拠に明らかな誤りが認められる．本病の病原菌についてはその菌株が残されておらず，同定の検証もできないことから，日本植物病名目録[83]では*Fusarium* sp.と扱われている．また，その病原菌株が*F. lateritium*ではなく*F. avenaceum* [*F. roseum*]である可能性を病原性の観点からも支持する結果が本研究において得られた．すなわち，本研究において分離した*F. lateritium*の菌株SF1およびSF2は，ピーマンと同じナス科植物であるトマトに対する病原性が認められなかった．本菌種がトマトに対して病原性を有するか否かについてはこれまでに情報がない．一方，トマトに対して病原性を有する*Fusarium*属菌の1種に*F. avenaceum* [*F. roseum*]が記録されている[9, 68]．既知のピーマン実腐病菌*Fusarium* sp.の菌株は，トマトの葉および果実に対しても顕著な病原性を示すことが認められている[85]．したがって，その形態・培養特性のみならず，トマトに対する病原性から，西原（1967）が報告した病原菌株が*F. lateritium*ではなく*F. avenaceum* [*F. roseum*] である可能性は極めて高い．*Fusarium*属には，種内の分類級（taxonomic rank）として寄生性の差異に基づく分化型（forma specialis : f. sp.）の類別が適用される菌種がいくつかあり，*F. lateritium*もこれまでに延べ8分化型が提唱されてきた経緯がある[23, 69, 83, 181]．本研究において認めたピーマンに病原性を有する本菌種菌株SF1およびSF2が，いずれの分化型に属するか，あるいは新たな分化型として位置づけられるものなのか，今後，宿主範囲などについて詳細な調査が望まれる．なお，前節において述べた果実腐敗病菌*F. aesculi*および*P. phomoides*の菌株は熟度の高い果実であれば外果皮から有傷条件で顕著な病原性を示したのに対し，*F. lateritium*の菌株SF1およびSF2は，熟度の高い果

実に有傷条件であっても顕著な病原性を示さなかった（Table 13）．その反面，*F. lateritium*の同2菌株は，果実の熟度に関係なく，外果皮側よりも果実の内壁側に対して病原力が強い傾向が認められた．また，その原病徴も，初めにへた周辺の外果皮に病斑が現れた時点でほとんどの罹病果実の内部種子が本菌の菌糸に覆われているというものであった．これらの結果から，*F. lateritium*の感染経路が*F. aesculi*および*P. phomoides*の2菌種とは異なることが考えられる．すなわち，*F. lateritium*がピーマン果実に病徴を発現させるためには，なんらかの形で果実の内側に侵入することが必須条件であるのに対し，*F. aesculi*および*P. phomoides*の2菌種については，必ずしもその内側にまで侵入する必要はなく，それは十分条件と考えられる．既知の実腐病菌*Fusarium* sp.[85]および立枯病菌*F. solani* [完全世代*N. haematococca*][40]についても，それらによって侵されたピーマンの果実における腐敗が果実の先端（柱頭側）から始まり果柄部へ広がると報告されていることから，感染経路は*F. aesculi*および*P. phomoides*と同様で，*F. lateritium*の感染経路とは異なる可能性がある．他方，へた腐病菌*R. stolonifer*は，果柄切断部で宿主崩壊細胞汁液を利用して高頻度に発芽し，この切断部から侵入したのち，蔓，次いで果肉へと進展して腐敗が広がることを示す結果が得られている[63, 64]．さらに，実験的に，本病による被害は，汁液の除去を目的として果柄切断部を10秒間水洗することにより約70%も減少し，20分間の水洗により0%となったと報告されている[63, 64]．本研究において認めた*F. lateritium*の感染経路はこれに近いものと推察され，同様の水洗処理によって被害を軽減できる可能性が充分にある．よって，今後，へた腐病菌をひとつの比較対照とし，その感染経路を詳細に調査することが望まれる．

3）*Macrophomina phaseolina*によるヤーコンおよびオカの炭腐病

1995年および1996年の両年7～9月，香川県善通寺市の露地試験圃場で栽培中のヤーコン［yacon, *Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson，キク科・ヤーコン（スマランスス）属］およびオカ［oca, *Oxalis tuberosa* Molina，カタバミ科・カタバミ属］に茎枯・倒伏・株枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，分生子果不完全菌綱・スファエリオイド科の*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidánichと同定し，両病害の病原であることを立証するとともに，いずれも新病害として炭腐病（charcoal rot）と名付けた[104, 107]．以下にその詳細を述べる．

(1) 病徴および病原同定

ヤーコンにおいては，茎数が増えて鬱閉した株の地際茎が腐敗し，茎枯・倒伏・株枯が起きた（Plate 12-A）．本植物は約10aの露地試験栽培圃場に複数の系統が植栽されていたが，系統間で本病の発病に差異は認められず，本病はその約1割の株にパッチ状に発生した．発病の遅かった株のなかには秋期に回復したものも見られたが，ほとんどの発病株は夏期に倒伏・枯死し欠株となった．罹病した茎は，初め褐色，のちに暗褐色ないし黒色となる縦長の病斑を生じ（Plate 12-B），病斑が茎の全周を取り囲むと上部が枯死した．罹病した茎を縦割りにすると，内部も灰色ないし黒色に腐敗し（Plate 12-C），その病斑には病原の白色ないし灰褐色の気中菌糸が表生するとともに，黒色球形の小型の菌核が多数埋生していた（Plate 12-D）．他方，オカにおいては，地際茎および地下部が腐敗し，茎枯・倒伏・株枯が起きた（Plate 12-E, F）．本植物は約35㎡のコンクリート枠露地試験栽培圃場の半面余りに複数の系統が植栽されていたが，系統間で本病の発病に差異は認められず，発病株はすべて枯死した．罹病植物は，初め地際茎が淡褐色を帯びて軟化し，まもなく地際部をはじめ地下部も黒変・腐敗することにより倒伏し（Plate 12-E），やがて地際茎から乾燥し枯死に至った（Plate 12-F）．そして，罹病したヤーコンと同様に，病斑には病原の黒色球形の小型菌核が多数埋生していた．

病斑から単菌糸分離法よって得た罹病ヤーコン由来の病原菌株YS3およびYS4，ならびに罹病オカ由来の病原菌株OM0およびOM8を供試し，各菌株をPDA，35℃，暗黒下において6日間培養した結果，いずれの菌株も気中菌糸が白色ないし褐色で薄く，培地中に病斑上と同様の黒色の小型菌核が密生し表面が黒褐色ないし黒色，裏面が灰黒色の菌叢

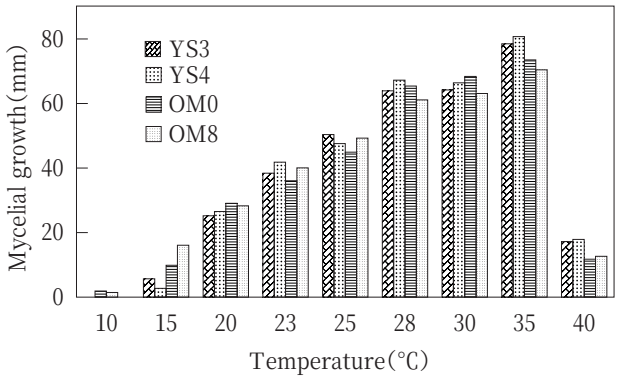


Fig. 10　Influence of temperature on mycelial growth of *Macrophomina phaseolina* isolated from diseased yacon and oca. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (YS3 and YS4 from yacon, and OM0 and OM8 from oca) grown on PDA at 35℃ in the dark for 6 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 2 days, colony diameters were measured.

を形成した（Plate 12-G）．本菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株もPDA，暗黒下において35℃を適温とし，罹病ヤーコン由来の2菌株は15～40℃で生育し，罹病オカ由来の2菌株は10～40℃で生育した（Fig. 10）．生育適温における菌叢の生育速度は，平均半径18.8mm/dayで，いずれの菌株も20～35℃において豊富に小型菌核を形成した．次に，Watanabe（1973）の方法に準じて各菌株をインゲン茎WA，昼温30～40℃（自然散光下）・夜温18℃の変温条件下において培養した結果，いずれの菌株も白色の分生子粘塊を溢出する分生子殻，ならびに病斑およびPDA上と同様の小型菌核をインゲン茎上およびその周辺の培地上に形成した．分生子殻は頂部の孔口部が突出する亜球形ないしフラスコ形，暗褐色ないし黒色を呈し，罹病ヤーコン由来の2菌株においては直径120～280（～560）μm，罹病オカ由来の2菌株においては直径200～400 μmであった（Table 15, Plate 12-H）．分生子殻の内壁には，無色，表面平滑，倒棍棒形ないし円筒形，長さ6～14 μm，幅3～5 μmの分生子柄が多数あった（Table 15, Plate 12-I）．分生子はそれら分生子柄先端のフィアライドから内出芽で単生し，無色単細胞，楕円形ないし倒卵形，表面平滑で，罹病ヤーコン由来の2菌株においては大きさ18～30×7～10 μm，罹病オカ由来の2菌株においては大きさ18～34×7～10 μmであった（Table 15, Plate 12-I, J）．菌核は球形ないし亜球形，堅固で黒色を呈し，罹病ヤーコン由来の2菌株においては直径50～140 μm，罹病オカ由来の2菌株においては60～130 μmであった（Table 15, Plate 12-H）．なお，上記4菌株の形態・培養特性は，以下の「(2) 病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，その調査を含めて，本研究においては病原の完全世代は認められなかった．

罹病ヤーコン由来菌株YS3およびYS4，ならびに罹病オカ由来菌株OM0およびOM8は，その子実体の特徴，分生子形成様式および分生子の形態に基づいて，いずれも不完全菌の*Macrophomina*属

Table 15　Comparison of some characters of the present pathogen causing charcoal rot of yacon and oca with those of *Macrophomina phaseolina* described previously.

Pathogen / Reference	Pycnidial diameter (μm)	Conidiophore		Conidial size (μm)	Sclerotial diameter (μm)	Pathogenicity to	
		Length (μm)	Width (μm)			Yacon	Oca
The present pathogen causing yacon charcoal rot (Isolates YS3 and YS4)	120-280 (-560)	6-14	3-5	18-30 ×~ 7-10	50-140	+	
The present pathogen causing oca charcoal rot (Isolates OM0 and OM8)	200-400	6-14	3-5	18-34 ×~ 7-10	60-130		+
M. phaseolina							
Holliday and Punithalingam (1970)	100-200	5-13	4-6	14-30 ×~ 5-10	100-1000		
Watanabe (1972)	115-250			14-35 ×~ 7-10			
Sutton (1980)	100-200	5-13	4-6	14-30 ×~ 5-10	50-300		

+: Virulent.　Blank column : Not described or not tested.

に所属するものと判定した[57, 120]．本属は現在 *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidánich の1種のみが知られている[33, 57, 120, 177]．各菌株の形態・培養特性は本菌種に関する既報の記載と矛盾点がなく，分生子殻，分生子柄，分生子および菌核の測定値も良く一致した（Table 15）．したがって，各菌株は *M. phaseolina* と同定した．

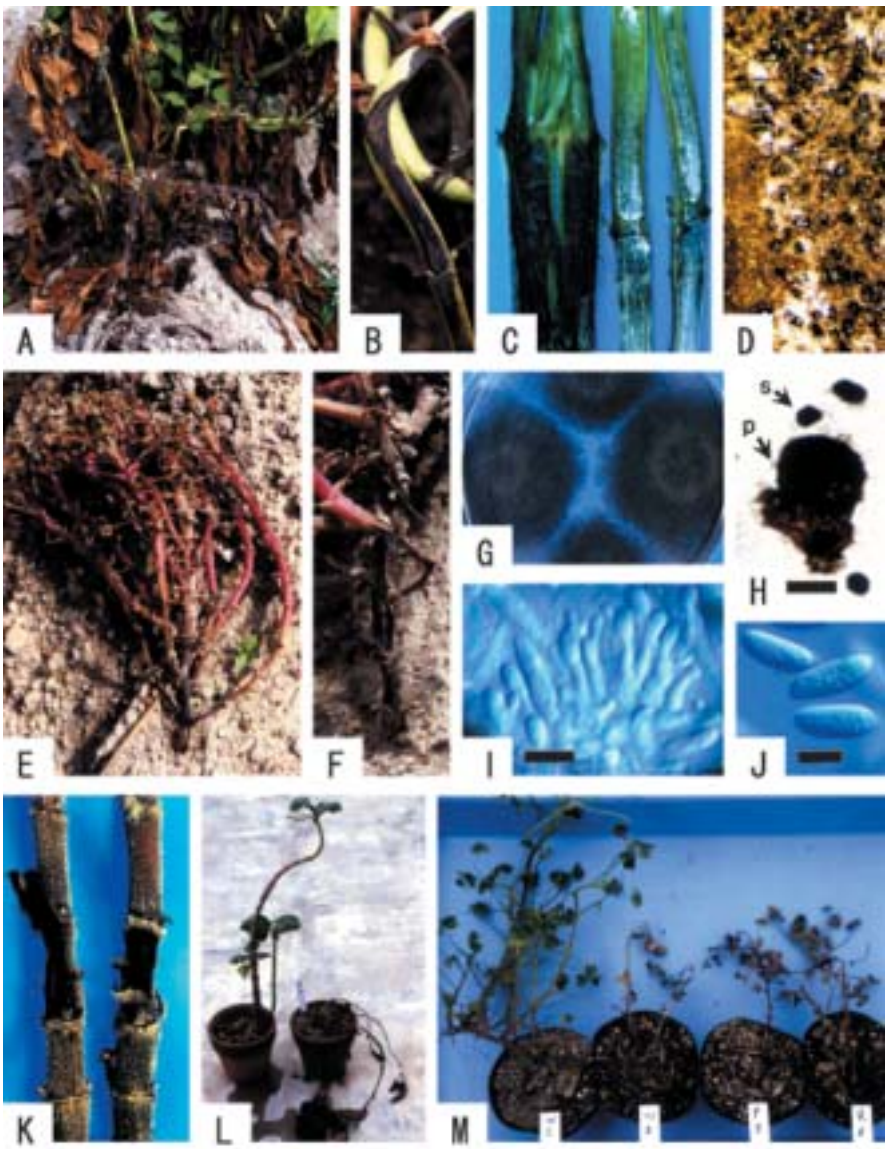
⑵ 病原性立証および病名命名

菌株YS3およびYS4のヤーコンに対する病原性調査は，ペルーから導入した1系統を用いて実施した．調査には，菌体楊子挿入接種法（有傷接種）を適用した．すなわち，PDA，35℃，暗黒下において5日間培養して各菌株の菌糸体（菌核形成あり，分生子形成なし）を着生させた楊子を，各菌株につき4個体の健全な植物の茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では4個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．他方，菌株OM0およびOM8のオカに対する病原性調査は，ボリビアから導入した3系統（白色系統，紫色系統および赤色系統）を用い，同様に菌体楊子挿入接種法（有傷接種）を適用し実施した．すなわち，PDA，35℃，暗黒下において7日間培養して各菌株の菌糸体（菌核形成あり，分生子形成なし）を着生させた楊子を，各菌株につき各系統3個体の健全な植物の茎に1本ずつ突き挿した．対照実験区では，白色系統4個体，紫色系統および赤色系統各1個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時に別の無菌のPDAにおいてインキュベートした楊子を1本ずつ突き挿した．菌株YS3およびYS4を接種したヤーコンの植物体およびその対照実験区の植物体は，28℃に設定したガラス室内において，初めの10日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．また，菌株OM0およびOM8を接種したオカの植物体およびその対照実験区の植物体は，30℃に設定したガラス室内において，初めの4日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，菌株YS3およびYS4を接種したヤーコン，ならびに菌株OM0およびOM8を接種したオカのいずれにおいても原病徴が再現された（Plate 12-K～M）．すなわち，ヤーコンにおいては，接種処理の7～10日後，菌株YS3およびYS4を接種したすべての植物体の有傷接種部の茎が腐敗・乾燥しはじめ（Plate 12-K），接種処理の1カ月後にはそれらの植物体全体が倒伏し枯死した（Plate 12-L）．オカにおいては，接種処理の4日後，菌株OM0およびOM8を接種した3系統のすべての植物体の有傷接種部の茎が腐敗・乾燥しはじめ，接種処理の10日後までにそれらの植物体全体が倒伏し枯死した（Plate 12-M）．一方，対照実験区のヤーコンおよびオカの植物体は，2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，菌株接種により罹病した両種植物体の病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の両種植物体からは *M. phaseolina* は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*M. phaseolina* がヤーコンおよびオカにおける2病害の病原であることが立証された．

コッホの原則を満たして病原性の立証されたヤーコン属植物における既往の菌類病として，*S. rolfsii* による白絹病（southern blight）が報告されており[102]，のちに次節で述べる *R. solani* による立枯病[140, 156]のほか，*B. cinerea* による灰色かび病[141]も記録されている．他方，カタバミ属植物における既往の病害としては，*Aecidium oxalidis* Thümenおよび *Puccinia oxalidis* Dietel & Ellisによるさび病が記録されている[83]．よって，本研究において立証した *M. phaseolina* によるヤーコンおよびオカの2病害は，ともに新病害と判断した．一般に *M. phaseolina* による草本植物における病害は炭腐病（charcoal rot），木本植物における病害は微粒菌核病（black root rot）と呼称される[33, 181]．ヤーコンおよびオカはともに多年生の草本植物であることから，本研究において認めた2新病害はともに炭腐病（charcoal rot）と名付けた[104, 107]．なお，*M. phaseolina* は少なくとも300種以上の植物に萎凋性，立枯性，葉枯性，腐敗性などの各種の病害を引き起こし，ヤーコン属以外にも多くのキク科植物が既に本菌種の

Plate 12



Explanation of Plate 12

A-D. Natural symptoms and signs of yacon charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina*.
- A. Blighted stems and leaves in the late stage.
- B. Stem lesions.
- C. Inside symptoms of diseased stems.
- D. Hyphae and sclerotia appeared on an inside lesion of a diseased stem.

E, F. Natural symptoms of oca charcoal rot caused by *M. phaseolina*.
- E. A fallen whole plant in the late stage.
- F. A stem base with blackish brown lesions.

G-J. Morphological and cultural characters of the pathogen of charcoal rot of yacon and oca, *M. phaseolina*.
- G. Colonies of isolate YS3 produced on PDA at 35℃ for 6 days.
- H. A pycnidium and sclerotia of isolate YS4 produced on the kidney bean stem-WA (p : pycnidium, s : sclerotium, bar : 100 μm).
- I. Conidiophores and conidia of isolate YS3 (bar : 10 μm).
- J. Mature conidia of isolate YS4 (bar : 10 μm).

K-M. Symptoms reproduced by inoculation of yacon and oca with *M. phaseolina* isolates YS3 and OS8, respectively.
- K. Symptoms appeared on stems of which husks partially pealed 7-10 days after inoculation of yacon with isolate YS3.
- L. Symptoms appeared 30 days after inoculation of yacon with isolate YS3 (left : control).
- M. Symptoms appeared 10 days after inoculation of oca with isolate OM8 (left to right : a white strain plant of a control, a white strain plant, a purple strain plant and a red strain plant inoculated).

宿主として記録されている[23, 33, 83]．しかし，宿主としてカタバミ科植物（Oxalidaceae）は記録されていない．したがって，本研究において認めたオカ炭腐病は，本科植物が*M. phaseolina*の宿主であることを示す最初の病害でもある．

4）*Rhizoctonia solani*によるヤーコンの立枯病

1996年および1999年の両年8～9月，愛媛県久万町の露地試験圃場で栽培中のヤーコンに茎枯・立枯・株枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，不完全糸状菌綱・無胞子不完全菌科の*Rhizoctonia solani* Kühnと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として立枯病（Rhizoctonia blight）と名付けた[140, 156]．以下にその詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

本病も，前節において述べた*M. phaseolina*による炭腐病と同様に，約10aの露地試験栽培圃場の約1割の株にパッチ状に発生した．ヤーコンの系統間で発病に差異は認められず，発病の遅かった株のなかには秋期に回復したものも見られたが，ほとんどの発病株は夏期に枯死し欠株となった（Plate 13-A）．その病徴は，炭腐病とはやや異なるものであった．初め，地際部の茎に長楕円形ないし不整形の水浸状病斑が現れた（Plate 13-B）．病斑は次第に上方に向かって拡大し，やがて罹病茎葉が褐変・腐敗した．病斑が多く発生した植物体は全体が萎凋・乾燥するとともに葉が脱落し，立枯症状を呈して早期枯死に至った（Plate 13-A）．中空の罹病茎の内部および多湿条件に置いた罹病茎葉の病斑上には，病原の淡褐色菌糸がクモの巣状に現れた（Plate 13-C）．

病斑から単菌糸分離法よって得た病原菌株YR1およびYR2を供試し，各菌株をWA，25℃，暗黒下において培養した結果，いずれの菌株においてもドリポア隔壁を有する菌糸が伸長した（Plate 13-D）．菌糸にはかすがい連結（clamp connection）はなく，主軸菌糸の幅は7.2～9.8 μm（平均8.0 μm）であった．主軸菌糸は先端細胞の隔壁直下でほぼ直角に分枝し，分枝基部はややくびれていた．塩酸ギムザ染色法により菌糸細胞内の核を染色・観察した結果，細胞あたり3～11核（平均6核）が認められた（Plate 13-E）．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，25～28℃を適温として10～35℃で生育し（Fig. 11），淡褐色ないし褐色の菌叢を形成した（Plate 13-F）．10～30℃においては短い菌糸が密生した不整形の褐色菌核が形成された．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径19mm/dayであった．なお，上記2菌株の形態・培養特性は，以下の「⑵　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．また，その調査を含めて，本研究においては病原の分生子，外皮および内層に分化した菌核，根状菌糸束ならびに有性器官ほか子実体は認められなかった．

上記2菌株は，以下の①～④の特性を合わせ持つことから，いずれも不完全菌の*Rhizoctonia*属に所属するものと判定し，さらに⑤および⑥の特性も有することから，菌種は*Rhizoctonia solani* Kühnと同定した[57, 62, 76, 87, 181]．①菌糸の分岐は若い栄養菌糸の先端細胞の隔壁近くで起こる．②菌糸の分岐点はくびれ，その近くに隔壁を形成する．③隔壁にドリポア構造を有する．④かすがい連結，分生子，外皮および内層に分化した菌核，ならびに根状菌糸束のいずれも形成しない．⑤1菌糸細胞中に平均4個以

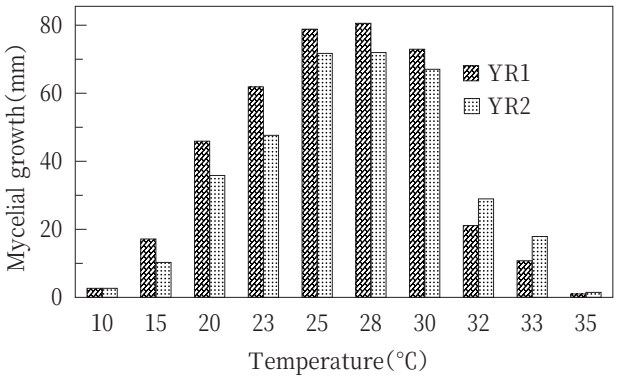


Fig. 11　Influence of temperature on mycelial growth of *Rhizoctonia solani* isolated from diseased yacon. An agar disk (6mm diameter) from each isolate (YR1 and YR2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 3 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for 2 days, colony diameters were measured.

上の核が存在する．⑥鮭肉色ないし赤褐色の菌核ではなく，褐色の菌核を形成する．

*Rhizoctonia solani*は，形態的，生理的，遺伝的および生態的な性質を異にする菌群から成る複合種と考えられており，現在，種内群として，菌糸融合群（anastomosis group：AG）を中心的な基準とした分類体系が詳細に整理されつつある[76, 87, 181]．そこで，現段階で多くの研究者によって受け入れられている類別基準に準じ，菌株YR1およびYR2の菌糸融合群および培養型（cultural type）を調査した．すなわち，AG-1ＩＡのイネ由来菌株C-418，AG-1ＩＢのレタス由来菌株C-527，AG-2-1Ⅱのエンドウ由来菌株PS-2，AG-2-2Ⅳのコウライシバ由来菌株C-623，AG-4ⅢAのラッカセイ由来菌株C-656，AG-3Ⅳのバレイショ由来菌株C-564，AG-5のバレイショ由来菌株C-672，AG-6の土壌由来菌株HAM-1-1，AG-7の土壌由来菌株1529およびAG-BIの土壌由来菌株AI-1-4を標準テスター菌株として供試し（Table 16），これらのそれぞれと，菌株YR1およびYR2の各菌株をWA，23～28℃，自然散光下において対峙培養し菌糸融合の有無を光学顕微鏡を用いて観察した．

その結果，菌株YR1およびYR2は，いずれもイネ由来菌株C-418およびレタス由来菌株C-527との菌糸融合が認められ，他の標準テスター菌株との菌糸融合は認められなかった（Table 16, Plate 13-G）．

Table 16 Results of the examination for *Rhizoctonia solani* anastomosis group of the present pathogen causing yacon Rhizoctonia blight.

Reference isolates used for the tester	Anastomosis group	Cultural type	Anastomosis with	
			Isolate YR1	Isolate YR2
C-418	AG-1	IA	+	+
C-527	AG-1	IB	+	+
PS-2	AG-2-1	II	−	−
C-623	AG-2-2	IV	−	−
C-656	AG-4	IIIA	−	−
C-564	AG-3	IV	−	−
C-672	AG-5		−	−
HAM-1-1	AG-6		−	−
1529	AG-7		−	−
AI-1-4	AG-BI		−	−

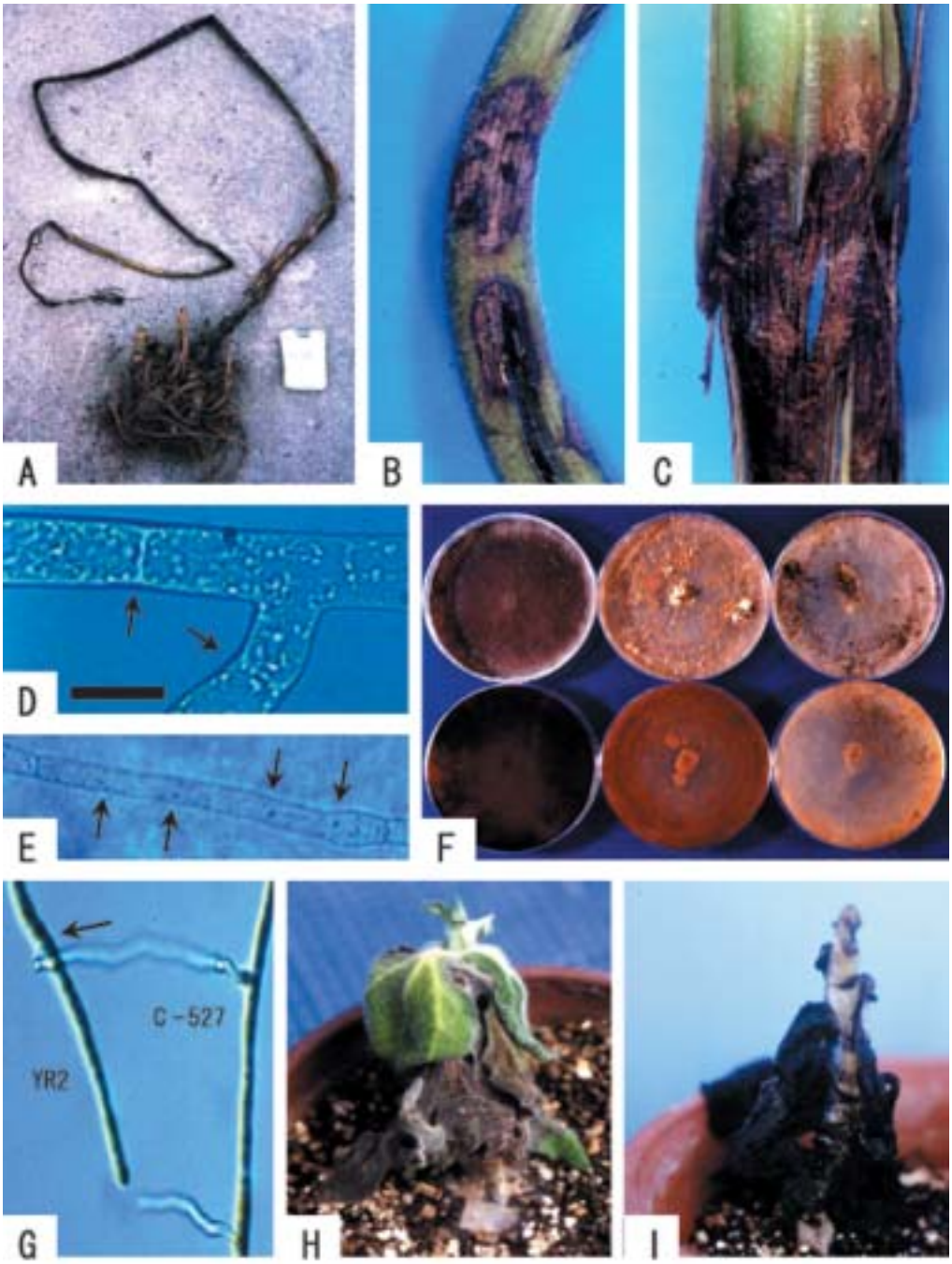
＋: Anastomosis was detected.
−: No anastomosis was detected.
Blank column : The cultural types for the subgroups are not determined.

このことから，菌株YR1およびYR2は，ともに*R. solani*であることが再確認されるとともに，それらの菌糸融合群がAG-1であることが明らかとなった．そして，両菌株は，先に述べた菌叢の生育条件および菌核の性状について，既報の培養型IBに関する記載と良く一致するとともに[114, 174]，イネ由来菌株C-418よりもレタス由来菌株C-527に類似していたことから，培養型IBと判定した（Table 17, Plate 13-F）．AG-1の培養型にはIAおよびIBのほかに，ICおよびIDもある[93, 114]．本研究においては培養型ICおよびIDに類別される標準テスター菌株

Table 17 Comparison of mycelial characters of the present pathogen causing yacon Rhizoctonia blight with those of *Rhizoctonia solani* AG-1 described previously.

Pathogen / Reference	Growth temperature	Sclerotium
The pathogen causing yacon Rhizoctonia blight (Isolates YR1 and YR2)	10-35℃ with an optimum at 25-28℃	formed as dense masses of short hypha, irregular-shaped
Watanabe and Matsuda (1966); Sneh et al. (1991)		
Cultural type IA	5-37℃, vigorous even at 35℃, more vigorous at 30℃ than 25℃	relatively spherical, 1-3 mm in diam., larger than sclerotia of IB
Cultural type IB	(5-) 10-30 (-35)℃ with an optimum at < 30℃	formed as dense masses of short hypha, irregular-shaped
Sneh et al. (1991); Priyatmojo et al. (2001)		
Cultural type IC	10-35℃ with an optimum at 30℃	round-shaped, 0.2-0.8 mm in diam.
Priyatmojo et al. (2001)		
Cultural type ID	10-35℃ with an optimum at 25℃	often aggregating into large clumps 3-8 mm in diam., coarse, subspheroid

Plate 13



Explanation of Plate 13

A-C. Natural symptoms and signs of yacon Rhizoctonia blight caused by *Rhizoctonia solani*.
- A. A blighted and defoliated stem.
- B. Stem lesions.
- C. Inside symptoms and pathogen mycelia on a diseased stem.

D-G. Morphological and cultural characters of the pathogen of yacon Rhizoctonia blight, *R. solani*.
- D. A hypha with a branch of isolate YR1 (bar : 10 µm; arrows : septa)
- E. Giemsa-stained nuclei (arrows) in a hyphal cell of isolate YR2.
- F. Colonies of isolate YR2 (right), the reference isolate of AG-1 IA, C-418 (left) and the reference isolate AG-1 IB, C-527 (center) produced on PDA at 25°C for 10 days. (upper : surface side, lower : reverse side)
- G. Anastomosis between isolates YR1 and C-527 (arrow : an anastomosis point).

H, I. Symptoms reproduced by inoculation of yacon with *R. solani* isolate YR1.
- H. Symptoms appeared 5 days after inoculation.
- I. Symptoms appeared 4 weeks after inoculation.

を供試しなかったが，菌株YR1およびYR2は，既報との比較によってそれらの培養型とは異なるものと判断した（Table 17）．なお，両菌株の菌糸融合群および培養型は，以下の「⑵　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．

⑵　病原性立証および病名命名

菌株YR1およびYR2のヤーコンに対する病原性調査は品種サラダオトメ由来の1系統を用いて実施した．調査には菌叢貼付接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た各菌株の菌叢片を，各菌株につき3～5株の健全な植物の無傷の地際茎に貼り付けた．対照実験区では3個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．各菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，24～28℃に設定したガラス室内において，初めの2～3日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の2～3日後，2菌株を接種したすべての植物体の地際茎において水浸状の不整形病斑が現れ，接種処理の5～7日後には，病斑が葉にも進展し，罹病茎葉が褐変しはじめた（Plate 13-H）．そして，接種処理の6週間後には，それらの植物体全体が立枯症状を呈して枯死に至り，原病徴が再現された（Plate 13-I）．一方，対照実験区の植物体は2カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは*R. solani*は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*R. solani*が本病の病原であることが立証された．

前節においても述べたように，コッホの原則を満たして病原性の立証されたヤーコン属植物における既往の菌類病としては，*S. rolfsii*による白絹病（southern blight）[102]および*M. phaseolina*による炭腐病（charcoal rot）[104, 107]が報告されており，のちに，*B. cinerea*による灰色かび病[141]も記録されている．また，*R. solani*は少なくとも200種以上の植物において萎凋性，立枯性，葉枯性，腐敗性などの各種の病害を引き起こすことが記録されている[23, 76, 83]．しかし，本菌種の宿主にヤーコン属植物は記録されていない．したがって，本属植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したヤーコンの病害は新病害と判断した．この新病害の特徴的な症状は立枯であった．したがって，本病を立枯病（Rhizoctonia blight）と名付けた[140, 156]．

5）*Pythium aphanidermatum*によるオユコの腰折病

1999年9月，香川県善通寺市の露地試験圃場で栽培中のオユコ［ulluco, *Ullucus tuberosus* Caldas, ツルムラサキ科・オユコ属］に茎枯・倒伏・株枯性の菌類病を認めた．罹病植物から高頻度に分離された菌類は，卵菌綱・フハイカビ科のホモタリック*Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrickと同定し，本病の病原であることを立証するとともに，これを新病害として腰折病（foot rot）と名付けた[139, 142]．以下にその詳細を述べる．

⑴　病徴および病原同定

本病は，約35㎡のコンクリート枠露地試験栽培圃場において植栽されたオユコの約2割の株にパッチ状に発生した．本植物の系統間で本病の発病に差異は認められず，発病株はすべて倒伏し枯死に至った（Plate 14-A）．初め，地際茎に水浸状の不整形病斑が現れた（Plate 14-B）．病斑は次第に上方に向かって拡大して葉にも進展し，罹病した茎葉が暗色に軟化し腐敗した．やがて罹病植物は地際茎の腐敗により倒伏し，全体が枯死に至った．多湿条件に置いた罹病茎葉の病斑上には，病原の白色気中菌糸が現れた．

病斑から単菌糸分離法によって得た病原菌株UP1およびUP2を供試し，各菌株をHSA，25℃，暗黒下において培養した結果，いずれの菌株も，綿毛状の気中菌糸に富んだほぼ円形で表裏とも白色を呈する菌叢を形成した（Plate 14-C）．同条件で3日間培養して得た各菌株の菌叢を5℃，暗黒下に移して12時間保った結果，隔壁のない菌糸から蔵卵器および蔵精器が生じ，それらの接合によって蔵卵器

内に卵胞子が形成された（Plate 14-D～F）．蔵卵器は菌糸の先端において単生し，類球形，表面平滑，直径は22～30 μm（平均25 μm）であった．蔵精器は雌雄異菌糸性あるいは雌雄同菌糸性で，菌糸の先端において単生する頂生のものと菌糸の中程に単生する間生のものがあり，いずれも幅6～12 μmであった．雌雄異菌糸性で間生の蔵精器は認められず，雌雄異菌糸性で頂生の蔵精器が82%，雌雄同菌糸性で頂生の蔵精器が12%，雌雄同菌糸性で間生の蔵精器が6%認められた．各蔵卵器には1個の蔵精器が側着し，内部に非充満性の直径18～24 μm（平均21 μm）の卵胞子が1個形成された．本菌叢を20～25℃，自然散光下においてペトリ液に浸漬した結果，菌糸が肥大して膨状遊走子嚢が生じた（Plate 14-G）．膨状遊走子嚢からは逸出管が伸長し，その先端に膨状遊走子嚢の内容物が移動して類球形の球嚢が生じた（Plate 14-H）．球嚢は表面平滑で直径は18～26（～32）μmであった．次いで亜球形ないし広楕円形の遊走子が球嚢内で複数分化し，球嚢外壁を破って放出された（Plate 14-I）．運動を停止した直後の遊走子は被のう化し，直径は8～10 μmであった．各菌株をPDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た菌叢を用いて生育調査を実施した結果，いずれの菌株も，PDA，暗黒下において，35℃を適温として10～41℃で生育し（Fig. 12），先に述べたHSA，暗黒下における場合と同様の菌叢を形成した．生育適温における菌叢の生育速度は平均半径37.3mm/dayで，菌叢は40℃下でも平均半径29mm/dayで比較的速く生育した．なお，上記2菌株の形態・培養特性は，以下の「(2)　病原性立証および病名」で述べる各菌株の病原性調査における再分離の際にも確認された．

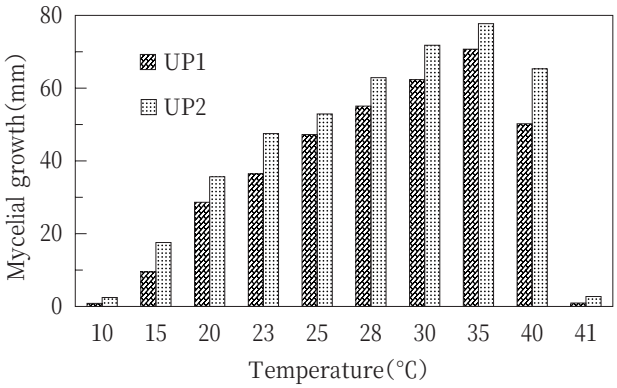


Fig. 12　Influence of temperature on mycelial growth of *Pythium aphanidermatum* isolated from diseased ulluco. An agar disk (6 mm diameter) from each isolate (UP1 and UP2) grown on PDA at 25℃ in the dark for 3 days was transferred to each of two PDA plates (90mm diameter) per experimental temperature. After incubation at various temperatures in the dark for a day, colony diameters were measured.

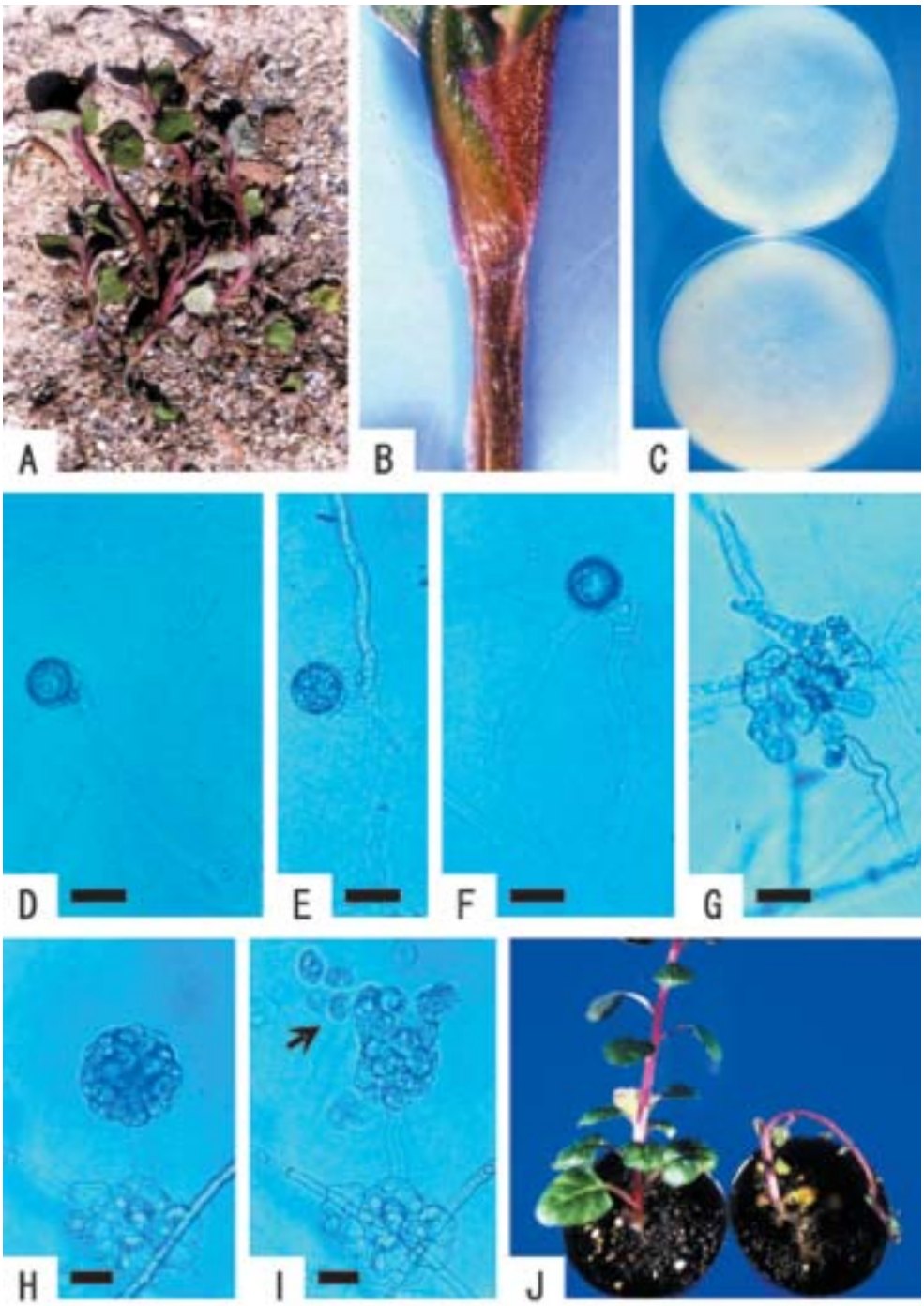
上記2菌株は，その卵胞子の形成様式および形態に基づいて，いずれも卵菌に属するホモタリックの*Pythium*属菌と判定するとともに，その他の形態・培養特性にも基づいて，菌種は*Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrickと同定した[57, 92, 179, 180, 181]．特に，各菌株は，以下の①～④の特性を合わせ持つことから，*P. aphanidermatum*以外の*Pythium*属菌と識別できた．①ホモタリック．②膨状遊走子嚢を形成．③蔵精器には間生するものもあ

Table 18　Comparison of some characters of the present pathogen causing ulluco foot rot with those of *Pythium aphanidermatum* and *P. deliense* described previously.

Pathogen / Reference	Mode of sexual reproduction	Zoosporangial shape	Antheridial character	Oogonial stalk	Optimum temperature for mycelial growth [Growth speed]	Maximum temperature for mycelial growth [Growth speed at 40℃]	Pathogenicity to ulluco
The present pathogen causing ulluco foot rot (Isolates UP1 and UP2)	homothallic	inflated	not hypogynous but paragynous, terminal (94%) and intercalary (6%). One antheridium attaches to an oogonium.	straight	35℃ [37.3 mm/day]	41℃ [29 mm/day]	+
Plaats-Niterink (1981); Watanabe (1983)			not hypogynous but paragynous, mostly intercalary, sometimes terminal. Up to 2 antheridia attach to an oogonium.	straight	35-40℃ [about 40 mm/day]	above 40℃ [over 30 mm/day]	
P. aphanidermatum	homothallic	filamentous to inflated					
P. deliense	homothallic	filamentous to inflated	not hypogynous but paragynous, terminal and intercalary. Up to 2 antheridia attach to an oogonium.	mostly curved towards the antheridia	30-35℃ [about 30 mm/day]	above 40℃ [< 20 mm/day]	

+: Virulent.　Blank column : Not described.

Plate 14



Explanation of Plate 14

A, B. Natural symptoms of ulluco foot rot caused by *Pythium aphanidermatum*.
- A. A fallen whole plant with rotten foot.
- B. Enlargement of a rotten part of a stem.

C-I. Morphological and cultural characters of the pathogen of ulluco foot rot, *P. aphanidermatum*.
- C. Colonies of isolate UP1 on HSA at 25℃ in the dark for 3 days (upper : surface side, lower : reverse side).
- D-F. Aplerotic oospore in an oogonium with a terminal-diclinous antheridium (D), with an intercalary-monoclinous antheridium (E), with a terminal-monoclinous antheridium (F) (bar : 20 μm).
- G. Lobate, inflated zoosporangium (bar : 40μm).
- H. Differentiation of zoospores in a vesicle developed from a zoosporangium (bar : 20μm).
- I. Release of zoospores from a vesicle (arrow : zoospore, bar : 20 μm).

J. Symptoms reproduced 4 days after inoculation of ulluco with *P. aphanidermatum* isolate UP1 (left : control).

り側着性（非底着性）．④蔵卵器柄は蔵精器に向かって屈曲せずほぼ直線状．他の *Pythium* 属菌のなかでも，*P. aphanidermatum* と形態特性がよく似ており，少なくとも①～③までの特性が一致する菌種として，*Pythium deliense* Meurs がある．しかし，本菌種は蔵卵器柄が蔵精器に向かって屈曲する特徴があるとともに，菌叢生育の適温および最高温度における生育速度が *P. aphanidermatum* に比べて遅いことから，本研究において分離した菌株UP1およびUP2とは別種と判断した（Table 18）．

⑵　病原性立証および病名命名

菌株UP1およびUP2のオユコに対する病原性調査は，ペルーから導入した1系統を用いて実施した．調査には，菌叢貼付接種法（無傷接種）を適用した．すなわち，PDA，25℃，暗黒下において3日間培養して得た各菌株の菌叢片を，各菌株につき4～8個体の健全な植物の無傷の地際部に貼り付けた．対照実験区では4個体の健全植物を供試し，菌株の培養と同時にインキュベートした別の無菌のPDA片を貼り付けた．各菌株を接種した植物体および対照実験区の植物体は，26～30℃に設定したガラス室内において，初めの2日間は透明ポリエチレン袋を被覆し地上部を多湿条件に保って管理し，その後，そのポリエチレン袋を除去して管理した．そして，病徴の発現を観察するとともに，接種菌の再分離を試みることにより，菌株の被接種植物に対する病原性を評価・判定した．

その結果，接種処理の翌日，2菌株を接種したすべての植物体の地際茎において水浸状の不整形病斑が現れ，接種処理の3日後には，それらの罹病植物はすべて倒伏した．そして，接種処理の7日後までにはすべての罹病植物が腐敗症状を呈して枯死に至り，原病徴が再現された（Plate 14-J）．一方，対照実験区の植物体は1カ月を経ても病徴は現れず，健全であった．また，罹病した植物体病斑部からは一貫して接種菌が再分離されたが，健全な対照実験区の植物体からは *P. aphanidermatum* は分離されなかった．以上の結果から，供試菌株，すなわち，*P. aphanidermatum* が本病の病原であることが立証された．

Pythium aphanidermatum は少なくとも80種以上の植物において萎凋性，立枯性，葉枯性，腐敗性などの各種の病害を引き起こすことが記録されている[23, 83, 181]．しかし，本菌種の宿主にツルムラサキ科植物（Basellaceae）は記録されていない．したがって，本科植物は本菌種の新たな宿主であり，本研究において立証したオユコの病害は新病害と判断した．本植物における既往の病害として，*P. aphanidermatum* と同属の *Pythium ultimum* Trow による腐敗性の病害（foot rot, tuber leak）が記録されている[2]．本病については，コッホの原則に基づいて，その病原とされる菌株の同定根拠と病原性立証が示されていないが，その英病名foot rotは *P. aphanidermatum* による新病害の症状を端的に表すものとしても好適である．したがって，この新病害は腰折病（foot rot）と名付けた[139, 155]．

V　新病害の診断

病害の的確な防除対策をたてるためには正しい診断，すなわち，罹病植物を検査して正しい病名を把握することが出発点として不可欠である．本章では，前章において述べた花卉および野菜で新たに認めた新病害および日本新産菌による病害を，生産・流通現場等において簡易・迅速・的確に診断できるよう，既知病害の病徴や病原特性とも照らして策定した診断法について詳述する．診断法の策定にあたっては，「肉眼観察によって把握すべき外観症状の特徴」および「病原の特徴的な形態・培養特性」に着目し，これらを診断ポイントとして簡潔に整理した項目を順にチェックすることで混乱なく簡易・迅速に正しい診断が導かれるよう整えた．第1節において，花卉に認めた新病害あるいは日本新産菌による病害である「1）オミナエシおよびネメシアの炭疽病」，「2）カランコエおよびマリーゴールドの斑点病」，「3）チェリーペパーの疫病およびベルゲランツスの腐敗病」の診断法について詳述し，第2節において，野菜に認めた新病害である「1）ピーマンの果実腐敗病および実腐病，「2）ヤーコンの炭腐病および立枯病」，「3）オカの炭腐病およびオユコの腰折病」の診断法について詳述する．

1　花卉の菌類病

1）オミナエシおよびネメシアの炭疽病

コッホの原則を満たして病原性の立証されたオミナエシにおける既往の菌類病として，本研究で立証した*Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughesによる炭疽病のほか，*Puccinia hemerocallidis* Thümenによるさび病および*Verticillium dahliae* Klebahnによる半身萎凋病が記録されている[83]．さび病は専ら斑点・葉枯性症状となり，株枯に至ることはほとんどない．また，半身萎凋病は斑点を生じず，萎凋症状が進行して葉枯・株枯症状を呈する．両病害とも斑点・葉枯・株枯性症状を呈する炭疽病とは厳密には異なる症状であるが，これら3病害は互いに同様の症状となる場合がある．さらに，診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察による外観症状の確認のみに基づいて診断すべきではない．さび病および半身萎凋病においては病斑上にどのような菌核も生じないが，炭疽病では特異的に数本の剛毛を有する病原の黒褐色菌核が多数表生する．*Colletotrichum*属の他の菌種にも同様の菌核を形成するものがあるが，その形成は希にしか認められない．この菌核の存在はオミナエシ炭疽病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の2つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①斑点・葉枯・株枯性症状を呈する，②剛毛を有する菌核が病斑に多数表生する（Fig. 13）．①が認められれば，微生物病害，特に既往3菌類病を疑い，次いで②が認められれば炭疽病と判断する．①が認められても②が確認されなければ，それは本病ではない．さび病であれば類球～楕円形で表面に疣状突起のある病原のさび胞子が標徴として病斑に現れ，半身萎凋病であれば褐変した維管束から分離される病原菌株の培養菌叢に分生子柄と分生子が分生子層なしで形成される．以上のいずれの既往菌類病の診断ポイントにもあてはまらないものは，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいはiii）生理障害と判断する．

他方，ネメシアにおいては，菌類病はもとより他の細菌病やウイルス病に関しても全く記録がなかったことから，本研究において立証した*Colletotrichum fuscum* Laubertによる炭疽病が現在のところ唯一の病害である．本病は斑点・萎凋・株枯性症状を呈することから，初見外観症状としてこの症状が認められれば炭疽病と推定できる．しかし，診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察によるこの症状の確認のみで炭疽病と判断すべきではない．本病においては病原の分生子層が病斑に多数現れる．数本の剛毛を有するこの分生子層はやや湾曲する無色紡錘形単細胞分生子を生じる．さらにその分離菌株は培養菌叢に特異的に褐色の厚膜胞子を高頻度に形成する．*Colletotrichum*属の他の菌種にも同様の分生子層を

Fig. 13　Diagnostic points of anthracnose of dahurian patrinia caused by *Colletotrichum coccodes*.

Fig. 14　Diagnostic points of anthracnose of nemesia caused by *Colletotrichum fuscum*.

形成するものがあるが，それらにはこの厚膜胞子の形成が希にしか認められない．分生子（層）および厚膜胞子の存在はネメシア炭疽病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の 3 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①斑点・萎凋・株枯性症状を呈する，②剛毛とやや湾曲する無色紡錘形単細胞分生子を生じる分生子層が病斑に表生する，③分離菌株が厚膜胞子を多数形成する（Fig. 14）．①が認められれば，微生物病害，特に炭疽病を疑い，次いで②および③が認められれば本病と判断する．以上の診断ポイントにあてはまらないものは，細菌病やウイルス病も含めた新病害あるいは生理障害と判断する．

2）カランコエおよびマリーゴールドの斑点病

コッホの原則を満たして病原性の立証されたカランコエにおける既往の菌類病として，本研究で立証した *Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamoto による斑点病のほか，*Stemphylium bolicki* Sobers & Seymour および *Cercospora* sp. の各菌による斑点性の病害，*Botrytis cinerea* Persoon : Fries による灰色かび病，*Erysiphe polygoni* de Candolle によるうどんこ病，*Phytophthora* sp. による疫病ならびに *Puccinia benkei* Kusano によるさび病が記録されている[23, 83]．斑点・葉枯性症状を呈する *S. lycopersici* による斑点病と症状が酷似するのは *S. bolicki* および *Cercospora* sp. の各菌による病害とさび病である．灰色かび病およびうどんこ病も斑点・葉枯性症状をもたらすが，その病斑の進展が非常に速い点が異なる．また，疫病は斑点を生じず，地際の腐敗症状が進行して萎凋・葉枯・株枯症状を呈する．ともあれ，これら 7 病害は少なくとも葉枯症状を呈する点で互いに同様の症状となる場合があり，さらに診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察による初見外観症状の確認のみに基づいて診断すべきではない．疫病およびさび病以外の 5 病害において病斑に病原の分生子が現れる．*Stemphylium lycopersici* による斑点病では，長さと幅の比（l/b 比）が 3 以上の褐色石垣状多細胞分生子が特異的に多数表生し，また，この分生子は *Stemphylium* 属菌の中でも *S. lycopersici* に特異的でもあることから本病の有効な診断指標と

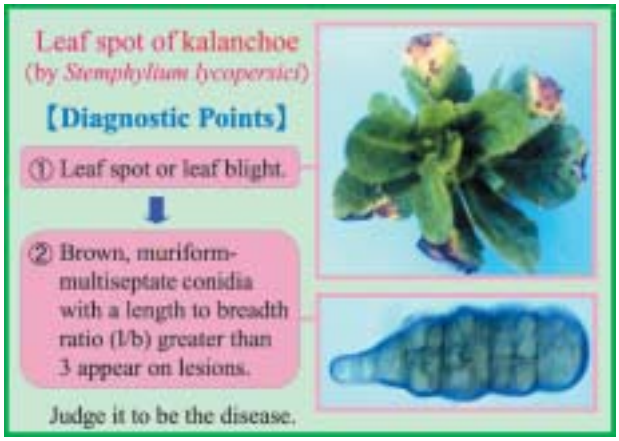


Fig. 15　Diagnostic points of leaf spot of kalanchoe caused by *Stemphylium lycopersici*.

なる．よって，本病は次の 2 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①斑点・葉枯性症状を呈する，②l/b 比が 3 以上の褐色石垣状多細胞分生子が病斑に表生する（Fig. 15）．①が認められれば，微生物病害，特に既往 7 菌類病を疑い，次いで②が認められれば *S. lycopersici* による斑点病と判断する．①が認められても②が確認されなければ，それは本病ではない．*Stemphylium bolicki* による病害であれば②の分生子の l/b 比が 3 よりも小さい．また，*Cercospora* sp. による病害であれば褐色針状多細胞分生子，灰色かび病であれば褐色単細胞分生子，うどんこ病であれば無色単細胞分生子，さび病であれば類球～楕円形で表面に疣状突起のあるさび胞子がそれぞれ病斑に表生し，疫病であれば高頻度に分離される病原菌株が綿毛状の菌叢を形成する．以上のいずれの既往菌類病の診断ポイントにもあてはまらないものは，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいは iii）生理障害と判断する．

他方，コッホの原則を満たして病原性の立証されたマリーゴールドにおける既往の菌類病として，本研究で日本でも確認した *Alternaria tagetica* Shome & Mustafee による斑点病のほか，*Alternaria zinniae* Pape ex M.B. Ellis および *Septoria tageticola* Changsri & G. F. Weber による斑点性あるいは葉枯性の病害，*B. cinerea* による灰色かび病，*Rhizoctonia solani* Kühn による株腐病および *V. dahliae* による萎凋性の病害が記録されている[23, 83]．斑点・葉枯性症状を呈する *A. tagetica* による斑点病と症状が酷似するのは *A. zinniae* および *S. tageticola* の各菌種

による病害である．灰色かび病も斑点・葉枯性症状をもたらすが，その病斑の進展が非常に速い点が異なる．また，株腐病および *V. dahliae* による病害は斑点を生じず，前者は地際の腐敗，後者は植物全体の萎凋症状が進行して葉枯・株枯症状を呈する．ともあれ，これら 6 病害は少なくとも葉枯症状を呈する点で互いに同様の症状となる場合があり，さらに診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察による初見外観症状の確認のみに基づいて診断すべきではない．株腐病および *V. dahliae* による病害以外の 4 病害においては病斑に病原の分生子（殻）が現れる．*Alternaria tagetica* による斑点病では，1 本の長いくちばし状突起を有する倒棍棒形・表面小じわ状の褐色多細胞分生子が病斑に特異的に多数表生し，また，この分生子は *Alternaria* 属菌の中でも *A. tagetica* に特異的でもあることから本病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の 2 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①斑点・葉枯性症状を呈する，②1 本のくちばし状突起を有する倒棍棒形・表面小じわ状の褐色多細胞分生子が病斑に表生する（Fig. 16）．①が認められれば，微生物病害，特に既往 6 菌類病を疑い，次いで②が認められれば *A. tagetica* による斑点病と判断する．①が認められても②が確認されなければ，それは本病ではない．*Alternaria zinniae* による病害であれば②の分生子の表面が小じわ状ではなく細疣状である．また，*S. tageticola* による病害であれば無色針状 0 ～数隔壁分生子を内生する分生子殻，灰色かび病であれば褐色単細胞分生子がそれぞれ病斑に表生し，*V. dahliae* による病害であれば褐変した維管束から分離される病原菌株の培養菌叢に分生子柄と分生子が形成される．株腐病であれば，ドリポア隔壁を有し，かすがい連結の無い褐色の多核菌糸が病斑にクモの巣状に表生する．以上のいずれの既往菌類病の診断ポイントにもあてはまらないものは，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいは iii）生理障害と判断する．

Fig. 16　Diagnostic points of leaf spot of marigold caused by *Alternaria tagetica*.

3）チェリーペパーの疫病およびベルゲランツスの腐敗病

チェリーペパーにおいては，菌類病はもとより他の細菌病やウイルス病に関しても全く記録がなかったことから，本研究において立証した *Phytophthora capsici* Leonian による疫病が現在のところ唯一の病害である．また，ベルゲランツスにおいても同様に既往病害に関する記録がなかったことから，本研究において立証した *Pythium myriotylum* Drechsler による腐敗病が現在のところ唯一の病害である．チェリーペパー疫病は萎凋・立枯性症状を，ベルゲランツス腐敗病は腐敗性症状を呈することから，初見外観症状としてこれらの症状が認められればそれぞれの病害と推定できる．しかし，診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察によるこれらの症状の確認のみで当該病害と判断すべきではない．チェリーペパー疫病においては，高頻度に分離される病原菌株がその綿毛状の培養菌叢に「遊走子嚢柄を付けて脱落する遊走子嚢」を多数形成する．*Phytophthora* 属の他の菌種にも同様の綿毛状菌叢を形成するものが多々あるが，この遊走子嚢（柄）の性状は *P. capsici* に特異的でもあることから本病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の 2 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①萎凋・立枯性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「遊走子嚢柄を付けて脱落する遊走子嚢」を形成する（Fig. 17）．①が認められれば，微生物病害，特に疫病を疑い，次いで②が認められれば本病と判断する．他方，ベルゲランツス腐敗病においては，高頻度に分離される病原菌株がその綿毛状の培養菌叢に特異的に「1 個の蔵卵器あたり 1 ～10個の蔵精器が

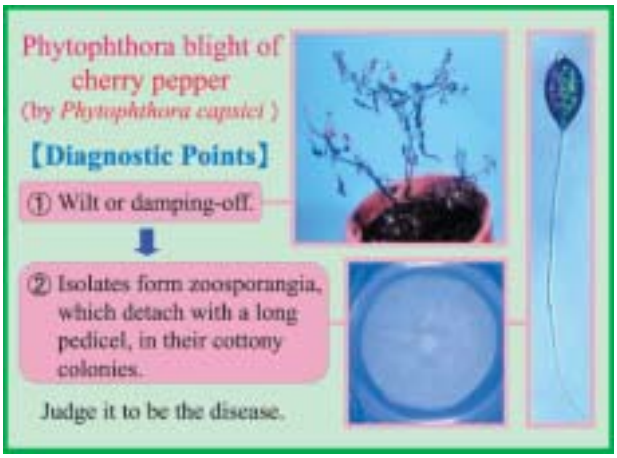


Fig. 17　Diagnostic points of Phytophthora blight of cherry pepper caused by *Phytophthora capsici*.

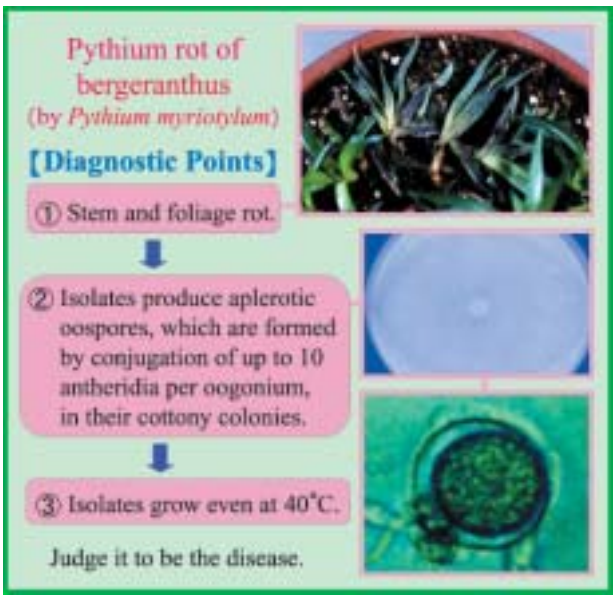


Fig. 18　Diagnostic points of Pythium rot of bergeranthus caused by *Pythium myriotylum*.

接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する．また，その菌株は40℃という高温下でも生育する．*Pythium* 属の他の菌種にも同様の綿毛状菌叢を形成するものが多々あるが，この卵胞子の形態形成と生育温度に関する性状を合わせ持つのは *P. myriotylum* のみでもあることから，これらの性状は本病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の 3 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①腐敗性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「1 個の蔵卵器あたり 1 ～10個の蔵精器が接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する，③分離菌株が40℃下でも生育する（Fig. 18）．①が認められれば，微生物病害，特に腐敗病を疑い，次いで②および③が認められれば本病と判断する．以上の各病害の診断ポイントにあてはまらないものは，細菌病やウイルス病も含めた新病害あるいは生理障害と判断する．

2　野菜の菌類病

1）ピーマンの果実腐敗病および実腐病

コッホの原則を満たして病原性の立証されたピーマンにおける既往の菌類病として，本研究で立証した *Fusicoccum aesculi* Corda および *Phomopsis phomoides* (Saccardo) Arx の各菌種による果実腐敗病ならびに *Fusarium lateritium* Nees : Fries emend. Snyder & Hansen による実腐病のほか，24 菌種による果実腐敗性，葉斑点性，葉枯性，根腐性，茎腐性，立枯性あるいは萎凋性の病害が記録されている[23, 83]．それら26菌種による病害には果実腐敗性症状をもたらすことが記録されていないものもいくつかあるが，これは単に記録がないだけでいずれの菌種も本症状を引き起こす可能性が否めない．さらに診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察による初見外観症状の確認のみに基づいて診断すべきではない．*Fusicoccum aesculi* による果実腐敗病においては長さ15 μm以上の紡錘形無色単細胞分生子を内生する病原の灰褐色分生子殻が，*P. phomoides* による果実腐敗病においては楕円～紡錘形と鞭～釣針形の 2 種類の分生子を内生する病原の暗褐～黒色分生子殻が病斑に特異的に多数表生する．また，*F. lateritium* による実腐病においては，高頻度に分離される病原菌株がその気中菌糸に富んだ黄褐色の培養菌叢に脚胞のある鎌形の無色 4 ～ 6 細胞の分生子を特異的に形成する．これら 3 病原の分生子（殻）はいずれも各菌種に特異的でもあることから各病害の有効な診断指標となる．よって，*F. aesculi* による果実腐敗病，*P. phomoides* による果実腐敗病および *F. lateritium* による実腐病はそれぞれ次の 2 つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．*Fusicoccum aesculi* による果実腐敗病：①果実腐敗性症状を呈する，②長さ15 μm以上の紡錘形無色単細胞分生子を内生する分生子殻が病斑に表生する（Fig. 19）．*Phomopsis phomoides* による果実腐敗

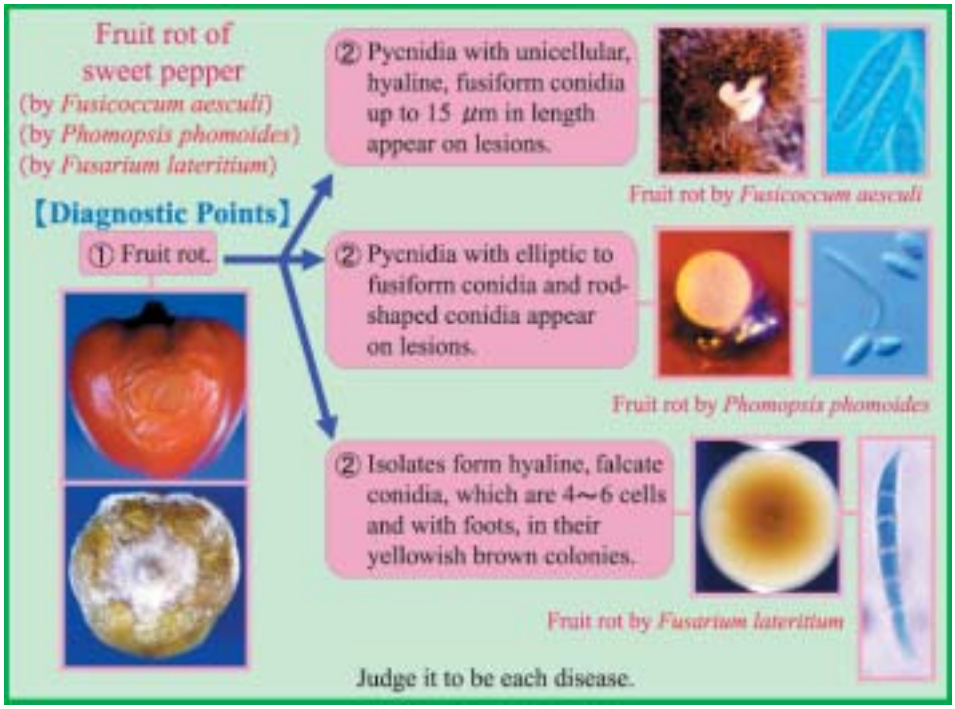


Fig. 19　Diagnostic points of fruit rot of sweet pepper caused by *Fusicoccum aesculi, Phomopsis phomoides* or *Fusarium lateritium*.

病：①果実腐敗性症状を呈する，②楕円～紡錘形と鞭～釣針形の 2 種類の無色単細胞分生子を内生する分生子殻が病斑に表生する（Fig. 19）．*Fusarium lateritium* による実腐病：①果実腐敗性症状を呈する，②分離菌株が黄褐色の菌叢に脚胞のある鎌形の無色 4 ～ 6 細胞分生子を形成する（Fig. 19）．①が認められれば，一律に微生物病害，特に既往27菌類病を疑い，次いで②が認められればそれぞれ *F. aesculi* による果実腐敗病，*P. phomoides* による果実腐敗病，*F. lateritium* による実腐病と判断する．①が認められてもいずれの②も確認されなければ，それはこれら 3 病害のいずれでもない．例えば，他の既往菌類病の中で，*F. aesculi* や *P. phomoides* と同様に分生子殻を形成する菌種によって引き起こされる病害として，*Phoma exigua* Desmazières による輪紋病がある．本病原菌種も無色単細胞分生子を形成するが，その長さは15 μmよりも小さく，*P. phomoides* に見られるような鞭～釣針形の分生子は生じない．また，*F. lateritium* と同属の *Fusarium oxysporum* Schlechtendahl：Fries による萎凋病あるいは *Fusarium solani* (Martius) Saccardo [完全世代 *Nectria haematococca* Berkeley & Broome (*Nectria haematococca* Complex)] による立枯病であれば，病斑に脚胞のある鎌形の分生子は形成されず，専ら楕円形の小型分生子が豊富に生じる．そして，萎凋病であれば，その分離菌株が紫色の菌叢を形成し，立枯病であれば，白色ないしやや緑色を帯びた白色の菌叢を形成する．このように，他の既往菌類病についても各病原に特徴的な形態・培養特性に着目することにより，2 ～ 4 の要点に基づいて簡易・迅速・的確に診断できる．いずれの既往菌類病の診断ポイントにもあてはまらないものは，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいはiii）生理障害と判断する．

2）ヤーコンの炭腐病および立枯病

コッホの原則を満たして病原性の立証されたヤーコンにおける既往の菌類病として，本研究で立証した *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidánich による炭腐病および *Rhizoctonia solani* Kühn による立枯病のほか，*Sclerotium rolfsii* Saccardo による白絹病および *B. cinerea* による灰色かび病が記録されている[83, 141]．立枯病と灰色かび病は，炭腐病や白絹病とはやや症状が異なり，倒伏せずに立枯症状を呈して株枯に至る傾向が強い．灰色かび病は幼苗時の発生が確認されているだけである．そのほか，い

くつかの点で厳密にはこれら 4 病害は症状が異なる．しかし，少なくとも茎枯・株枯症状を呈する点で互いに同様の症状となる場合があり，さらに診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察による初見外観症状の確認のみに基づいて診断すべきではない．炭腐病においては，病原の黒色亜球形小型菌核が罹病茎の中空内皮下に特異的に多数埋生し，さらにその分離菌株は35℃・2 日間の培養で直径70mm以上の菌叢を形成する．立枯病においては，ドリポア隔壁を有し，かすがい連結の無い病原の褐色の多核菌糸が罹病茎の中空にクモの巣状に特異的に密生する．これらの性状はそれぞれの病原菌種に特異的でもあることから各病害の有効な診断指標となる．よって，炭腐病および立枯病はそれぞれ次のポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．炭腐病：①茎枯・株枯性症状を呈する，②黒色亜球形の小型菌核が罹病茎の中空内皮下に埋生する，③分離菌株が35℃・2 日間培養で直径70mm以上の菌叢を形成する（Fig. 20）．立枯病：①茎枯・株枯性症状を呈する，②ドリポア隔壁を有し，かすがい連結の無い褐色多核菌糸が罹病茎中空に密生する（Fig. 20）．①が認められれば，一律に微生物病害，特に既往 4 菌類病を疑い，次いで②ないし③が認められればそれぞれ炭腐病および立枯病と判断する．①が認められても②ないし③が確認されなければ，それはこれら 2 病害のいずれでもない．白絹病であれば白～褐色の球形菌核とかすがい連結のある白色菌糸，灰色かび病であれば褐色単細胞分生子がそれぞれ病斑に表生する．以上のいずれの既往菌類病の診断ポイントにもあてはまらないものは，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいは iii）生理障害と判断する．

3）オカの炭腐病およびオユコの腰折病

オカにおいては，菌類病はもとより他の細菌病やウイルス病に関しても全く記録がなかったことから，本研究において立証した *M. phaseolina* による炭腐病が現在のところ唯一の病害である．また，オユコにおける既往の病害として，*Pythium ultimum* Trow による腐敗性の病害が記録されているが[2]，本病については，コッホの原則に基づいて，その病原とされる菌株の同定根拠と病原性立証が示されていないことから，本研究で立証した *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrick による腰折病が現在のところ本植物における唯一の病害である．オカ炭腐病は萎凋・立枯性症状を，オユコ腰折病は茎枯・倒伏・株枯性症状を呈することから，初見外観症状としてこれらの症状が認められればそれぞれの病害と推定できる．しかし，診断にあたっては未知の病害の可能性も念頭に入れる必要があることから，肉眼観察によるこれらの症状の確認のみで当該病害と判断すべきではない．オカ炭腐病においては，

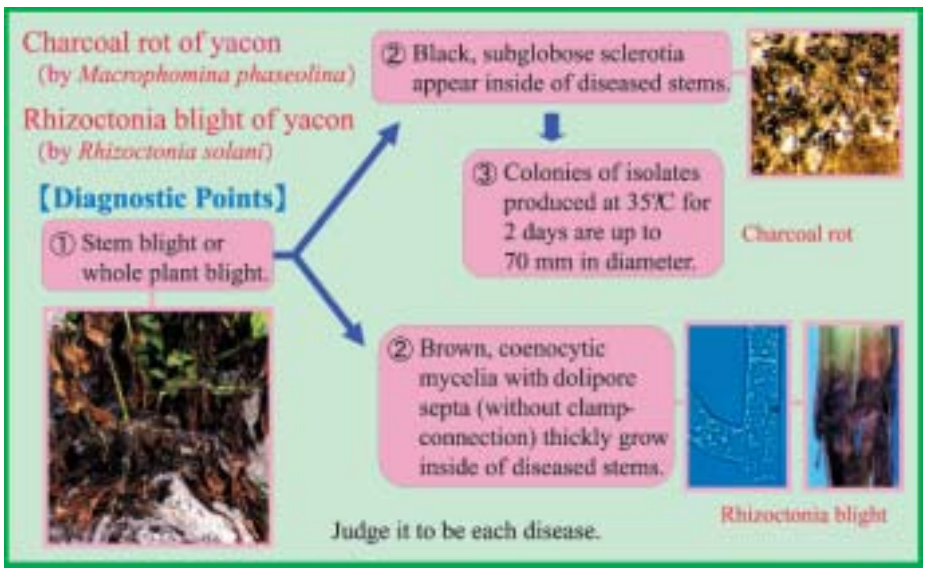


Fig. 20　Diagnostic points of charcoal rot and Rhizoctonia blight of yacon caused by *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani*, respectively.

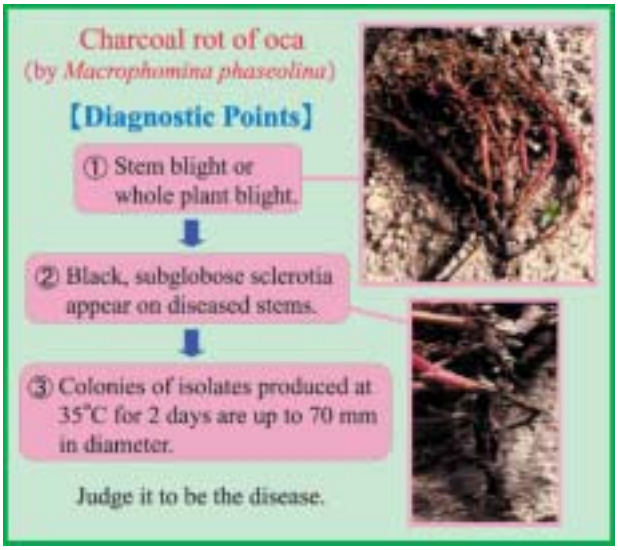


Fig. 21　Diagnostic points of charcoal rot of oca caused by *Macrophomina phaseolina*.

Fig. 22　Diagnostic points of foot rot of ulluco caused by *Pythium aphanidermatum*.

病原の黒色亜球形小型菌核が地際の罹病茎外皮下に多数埋生し，さらにその分離菌株は35℃・2日間の培養で直径70mm以上の菌叢を形成する．この性状は本病原菌種に特異的でもあることから本病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の3つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①茎枯・株枯性症状を呈する，②黒色亜球形の小型菌核が罹病茎の外皮下に埋生する，③分離菌株が35℃・2日間培養で直径70mm以上の菌叢を形成する（Fig. 21）．①が認められれば，微生物病害，特に炭腐病を疑い，次いで②が認められれば本病と判断する．他方，オユコ腰折病においては，高頻度に分離される病原菌株がその綿毛状の培養菌叢に「1個の蔵卵器あたり1個の蔵精器が接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する．また，その蔵卵器柄は蔵精器に向かって屈曲せずほぼ直線状である．*Pythium*属の他の菌種にも同様の綿毛状菌叢を形成するものが多々あるが，この卵胞子と蔵卵器柄の性状を合わせ持つのは*P. aphanidermatum*のみでもあることから，これらの性状は本病の有効な診断指標となる．よって，本病は次の3つのポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．①茎枯・倒伏・株枯性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「1個の蔵卵器あたり1個の蔵精器が接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する，③その蔵卵器柄は蔵精器に向かって屈曲せずほぼ直線状である（Fig. 22）．①が認められれば，微生物病害，特に腰折病を疑い，次いで②および③が認められれば本病と判断する．以上の各病害の診断ポイントにあてはまらないものは，細菌病やウイルス病も含めた新病害あるいは生理障害と判断する．

VI　総合考察

本研究では，我が国において広く普及しはじめ収益性も高まりつつある花卉・野菜に新たに発生し，生産・流通現場等において深刻な問題となった新病害および日本新産菌による病害を立証した．すなわち，花卉のオミナエシ，ネメシア，カランコエ，マリーゴールド，チェリーペパーおよびベルゲランツス，ならびに野菜のピーマン，ヤーコン，オカおよびオユコに発生した生育障害あるいは品質低下の原因を調査し，いずれも菌類によって引き起こされる病害であることを明らかにした（Table 19）．オミナエシ，ネメシア，カランコエ，チェリーペパー，ベルゲランツス，オカおよびオユコにおける病害は，病原がそれぞれ*Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughes，*Colletotrichum fuscum* Laubert，*Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamoto，*Phytophthora capsici* Leonian，*Pythium myriotylum* Drechsler，*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidánich および *Pythium*

Table 19　Diseases found in this study.

Host		Pathogen	Disease name (Japanese)	Note	Relevant chapter in this paper
Scientific name [family]	Common name				
Patrinia scabiosaefolia [Valerianaceae]	dahurian patrinia	*Colletotrichum coccodes*	anthracnose (tanso-byo)	Valerianaceae is the new host for *Colletotrichum.*	IV-1-1) V-1-1)
Nemesia strumosa [Scrophulariaceae]	nemesia	*Colletotrichum fuscum*	anthracnose (tanso-byo)	*Nemesia* is the new host for fungi.	IV-1-2) V-1-1)
Kalanchoe blossfeldiana [Crassulaceae]	kalanchoe	*Stemphylium lycopersici*	leaf spot (hanten-byo)	Crassulaceae is the new host for *S. lycopersici.*	IV-1-3) V-1-2)
Tagetes erecta and *T. patula* [Compositae]	marigold	*Alternaria tagetica*	leaf spot (hanten-byo)	*Alternaria tagetica* is new to Japan.	IV-1-4) V-1-2)
Capsicum annuum var. *cerasiforme* [Solanaceae]	cherry pepper	*Phytophthora capsici*	Phytophthora blight (eki-byo)	Cherry pepper is the new host for fungi. (Cherry pepper is the new host for Chromista.)	IV-1-5) V-1-3)
Bergeranthus jamesii [Aizoaceae]	bergeranthus	*Pythium myriotylum*	Pythium rot (fuhai-byo)	*Bergeranthus* is the new host for fungi. Aizoaceae is the new host for *P. myriotylum.* (*Bergeranthus* is the new host for Chromista.)	IV-1-6) V-1-3)
Capsicum annuum var. *grossum* [Solanaceae]	sweet pepper	*Fusicoccum aesculi*	fruit rot (kajitsu-fuhai-byo)	*Capsicum* is the new host for *Fusicoccum.*	IV-2-1) V-2-1)
		Phomopsis phomoides	fruit rot (kajitsu-fuhai-byo)	*Capsicum* is the new host for *Phomopsis.* *Phomopsis phomoides* is new to Japan.	IV-2-1) V-2-1)
		Fusarium lateritium	fruit rot (migusare-byo)	Solanaceae is the new host for *F. lateritium.*	IV-2-2) V-2-1)
Smallanthus sonchifolius [Compositae]	yacon	*Macrophomina phaseolina*	charcoal rot (sumigusare-byo)	*Smallanthus* is the new host for *Macrophomina.*	IV-2-3) V-2-2)
		Rhizoctonia solani	Rhizoctonia blight (tachigare-byo)	*Smallanthus* is the new host for *Rhizoctonia.*	IV-2-4) V-2-2)
Oxalis tuberosa [Oxalidaceae]	oca	*Macrophomina phaseolina*	charcoal rot (sumigusare-byo)	Oca is the new host for fungi. Oxalidaceae is the new host for *Macrophomina.*	IV-2-3) V-2-3)
Ullucus tuberosus [Basellaceae]	ulluco	*Pythium aphanidermatum*	foot rot (koshiore-byo)	*Ullucus* is the new host for fungi. Basellaceae is the new host for Oomycetes. (Basellaceae is the new host for Chromista.)	IV-2-5) V-2-3)

aphanidermatum (Edson) Fitzpatrickであることを明らかにし，いずれも新病害として，オミナエシ炭疽病（anthracnose），ネメシア炭疽病（anthracnose），カランコエ斑点病（leaf spot），チェリーペパー疫病（Phytophthora blight），ベルゲランツス腐敗病（Pythium rot），オカ炭腐病（charcoal rot）およびオユコ腰折病（foot rot）と名付けた．ピーマンにおける3病害は病原がそれぞれ*Fusicoccum aesculi* Corda，*Phomopsis phomoides* (Saccardo) Arxおよび*Fusarium lateritium* Nees : Fries emend. Snyder & Hansen，ヤーコンにおける2病害は病原がそれぞれ*M. phaseolina*および*Rhizoctonia solani* Kühnであることを明らかにし，これらも新病害として，ピーマンの前者2病害は果実腐敗病（fruit rot），後者1病害は実腐病（fruit rot），ヤーコンの2病害はそれぞれ炭腐病（charcoal rot）および立枯病（Rhizoctonia blight）と名付けた．また，マリーゴールドにおける病害は病原が*Alternaria* tagetica Shome & Mustafeeであることを明らかにし，日本新産菌による病害として斑点病（leaf spot）と名付けた．以上により，当該花卉・野菜において懸案であった病害の病原が解明されたことになる．

*Colletotrichum*属菌であるオミナエシおよびネメシアの炭疽病菌は，のちに，リボゾームDNA ITS領域の塩基配列による系統解析結果に基づき，*Colletotrichum destructivum* O'Garaや*Colletotrichum higginsianum* Saccardoなどいくつかの菌種に属する複数の菌株とともに単一のグループを形成することが報告され，それらを同一種として*C. destructivum*に統合することが提案されている[72, 73]．DNA情報に基づく菌株の類別は形態や病原性などによる従来からの類別よりも客観的であり，それらの菌株は形態的にも同一種と扱われることに矛盾がないことから，この提案は広く受け入れられるものと考えられる．ともあれ，*Colletotrichum*属菌によるオミナエシおよびネメシアの病害は著者らが報告するまでは記録がなかった．オミナエシ炭疽病はオミナエシ科植物が*Colletotrichum*属菌に罹病することを示す最初の病害である．ネメシア炭疽病は細菌病やウイルス病などを含めて病害に関する記録がなかったネメシア属植物において初めて認めた病害であり，本属植物が*Colletotrichum*属菌ひいては菌類に罹病することを示す最初の病害である．ナス科植物のホオズキに炭疽病を引き起こす*C. coccodes*[77]の菌株もオミナエシおよびネメシアの炭疽病菌とともに同一種として*C. destructivum*とすることが提案されているが[72, 73]，それら3種（あるいは系統）の炭疽病菌は互いに宿主範囲が異なるものであった．それら以外の*C. destructivum*菌株についても宿主範囲に差異のあることが確認されている[72]．したがって，リボゾームDNA ITS領域の塩基配列解析結果に基づいて再定義されるであろう*C. destructivum*においては，種内の菌株間で病原性が高度に分化していることが予想される．他方，オミナエシ，ネメシアおよびホオズキの炭疽病菌のほか，来歴の異なる*Colletotrichum acutatum* Simmonds ex Simmonds，*Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Penzig & Saccardo，*Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisbyおよび*Colletotrichum circinans* (Berkeley) Voglinoの菌株[73, 105, 106]も供試して，キンギョソウおよびヒメキンギョソウに接種を試みた結果，供試菌種すべてに病原性が認められた．この結果により，*Colletotrichum*属菌が一般的にそれら供試植物の属するゴマノハグサ科植物に対して病原性を有する可能性が示唆された．本科植物には広く普及している花卉が多く含まれることから，今後，Moriwaki et al.（2002）が報告したような分子系統解析に基づき本属菌の分類体系を整備することと並行して，*Colletotrichum*属菌とゴマノハグサ科植物間の親和性になんらかの傾向があるか否か調査することが望まれる．

カランコエ斑点病はベンケイソウ科植物が*S. lycopersici*に罹病することを示す最初の病害である．本病病原菌の宿主への感染を再現するには分生子を接種源にする必要があり，この接種法によって，カランコエ属植物間に本病原菌に対する罹病性の差異が見出せた．ベンケイソウ科植物には本属のほかにも広く普及している花卉が多くあり[167, 172, 173]，異系交配による新たな品種や系統が今後一層活発に育成されるものと思われる．既にカランコエさび病については，その病原菌*Puccinia benkei* Kusanoの菌株を用いて，カランコエ属以外のベンケイソウ科植物についても本病に対する罹病性調査が進められている[166, 167]．したがって，カランコエ斑点病につ

いても，今後，同様の調査が望まれる．他方，カランコエ斑点病菌 *S. lycopersici* と同じく不完全糸状菌綱・デマチウム科に属するマリーゴールド斑点病菌 *A. tagetica* の宿主への感染は分生子を含まない寒天培地菌叢片を接種源にすることで再現でき，分生子を接種源とする必要はなかった．*Alternaria tagetica* には宿主非特異的毒素 zinniol の産生が確認されているが[12]，*Stemphylium* 属菌については毒素産生の報告はない．カランコエおよびマリーゴールド斑点病菌はいずれも分生子が乾性胞子であることから，主に，風媒伝染した分生子の宿主上における発芽を通じて感染が成立するものと考えられたが，マリーゴールド斑点病菌の感染は本毒素が強く関与し，分生子の発芽を介さなくても高率に発病が成立するものと考えられた．しかし，マリーゴールド斑点病菌の宿主は，既報[12, 35]と同様に，本研究においてもマリーゴールド属植物のほかには認められなかった．この特異的な病原性は，宿主非特異的毒素 zinniol が本属植物の植物体上に限って産生されることによって現れる可能性が考えられた．また，*A. tagetica* は，本毒素のほかに宿主特異的毒素も産生する可能性も否定できない．その産生は未だ確認されていないものの，宿主非特異的毒素 zinniol を含め，病原性の重要な要因である毒素生理機構に本菌種の宿主特異性を解明する糸口のある可能性が高いと思われる．今後，日本新産菌の *A. tagetica* の菌株も供試し，この観点から調査が望まれる．

チェリーペパー疫病は細菌病やウイルス病などを含めて病害に関する記録がなかった本変種植物において初めて認めた病害であり，本変種植物が *Phytophthora* 属菌ひいては卵菌に罹病することを示す最初の病害である．また，ベルゲランツス腐敗病は病害に関する記録がなかった本属植物において初めて認めた病害であり，本属植物が *Pythium* 属菌ひいては卵菌に罹病すること，ならびにツルナ科植物が *P. myriotylum* に罹病することを示す最初の病害である．*Phytophthora* 属菌および *Pythium* 属菌はともに鞭毛菌亜門の卵菌綱・フハイカビ科に属する普遍的な多犯性の土壌伝染性菌類であるが，その中にあって *P. capsici* および *P. myriotylum* の宿主範囲は比較的狭い一方，両菌種はいずれもナス科およびウリ科植物を中心として重要野菜に甚大な被害をもたらすことが知られている[181]．チェリーペパー疫病菌およびベルゲランツス腐敗病菌は，それぞれの当該宿主はもとより，ナス科のピーマン，ナスあるいはトマトに対しても強い病原性を有することが確認された．したがって，両病害の発見ならびにそれらの病原菌のナス科重要野菜に対する病原性の確認は，*P. capsici* および *P. myriotylum* の分布，生態および寄生性に関する新たな知見として重要である．ベルゲランツス腐敗病については，その病原菌株がマツバギク属植物に対しても強い病原性を有することが確認された．ツルナ科植物はベルゲランツス属およびマツバギク属が所属するメセンブリアンテマ類を中心として広く普及している花卉を多く含むことから，今後，両属以外のツルナ科植物についても本病病原菌に対する罹病性調査が望まれる．なお，近年，葉緑体やミトコンドリアなどの細胞内器官の微細構造形態ならびにそれらオルガネラ DNA やリボゾーム DNA の分子生物学的手法による解析結果に基づいて，生物の系統進化を強く反映した生物 8 界説が提唱され，*Phytophthora* 属菌および *Pythium* 属菌が属する卵菌綱そのものを菌界から褐藻植物や異形鞭毛虫などが所属するクロミスタ界に移す意見が受け入れられつつある[1, 10, 15, 16, 22, 31, 44, 51]．この生物 8 界説によれば，チェリーペパー疫病は本変種植物がクロミスタに罹病することを示す最初の病害，ベルゲランツス腐敗病は本属植物がクロミスタに罹病することを示す最初の病害として位置づけられる．生物 8 界説においては，5 界説において菌界として位置づけられていた菌類は[23, 30, 183]，菌界，クロミスタ界および原生動物界の系統的に異なる 3 つの界に類別されることになる．この場合の菌界は動物界と共通の襟鞭毛虫類を起源とすることが示されており，植物よりもむしろ動物界に近縁であることになる．褐藻植物や異形鞭毛虫などと同じクロミスタ界の範疇となる卵菌はさらに動物的性質が強いと考えられることから，*P. capsici* および *P. myriotylum* はもとより，卵菌全般を通して，その分布，生態，寄生性等に関する研究においても，今後，その動物的な性質を一層に踏まえる必要があるものと考えられる．

ポストハーベスト病害である *F. aesculi* および *P. phomoides* によるピーマン果実腐敗病は，それぞ

れトウガラシ属植物が *Fusicoccum* 属菌および *Phomopsis* 属菌に罹病することを示す最初の病害である．*Phomopsis phomoides* による果実腐敗病は日本新産菌による病害としても位置づけられるものである．これら 2 種類の果実腐敗病は，初め両病原菌の混合感染によるものとして認めた．橘ら（1983），衣川・佐藤（2000，2002，2003）および矢野ら（1998，2003）によれば，キウイにおける果実腐敗性および枝枯性の病害，ならびにナスにおける茎枯性の病害を引き起こす *F. aesculi* [完全世代 *Botryosphaeria dothidea* (Mougeot : Fries) Cesati & de Notaris] が分離された場合も，それぞれの宿主において同じ罹病器官組織から病原性を有する *Phomopsis* 属菌（*Phomopsis* sp.）が同時に分離されている．両属菌のこういった分布，生態および寄生性に関する共通性は植物病原菌学的に興味深い．キウイおよびナスから分離されている *Phomopsis* 属菌の種同定が待たれるとともに，両属菌の混合感染が宿主に及ぼす影響を把握するためにも，その共通性に何らかの理由があるか否か，今後，詳細な研究が望まれる．他方，ピーマン実腐病はナス科植物が *F. lateritium* に罹病することを示す最初の病害である．ポストハーベスト病害として認めた本病も，*F. aesculi* および *P. phomoides* によるピーマン果実腐敗病と同様に果実のみを侵すものであったが，その原病徴は果実腐敗病とは異なるものであった．また，このことを含め，実腐病菌のピーマン果実への感染経路が果実腐敗病菌とは異なることを示唆する結果が得られた．すなわち，各種接種試験の結果から，実腐病菌が果実に病徴を引き起こすにはなんらかの形で果実の内側に侵入することが必須条件であるのに対し，果実腐敗病菌については必ずしもその内側にまで侵入する必要はなく，それは十分条件と考えられた．このように，実腐病菌がピーマン果実に感染する機構には特異的な要素があると思われる．なお，ピーマンへた腐病菌 *Rhizopus stolonifer* (Ehrenberg : Fries) Vuillemin は，果柄切断部で宿主崩壊細胞汁液を利用して高頻度に発芽し，この切断部から侵入したのち，蔓，次いで果肉へと進展して腐敗が広がることを示す結果が得られている[63,64]．実腐病菌 *F. lateritium* のピーマン果実への感染経路はこれに近いものと推察されることから，今後，へた腐病菌をひとつの比較対照とし，その感染経路を詳細に調査することが望まれる．また，*Fusarium* 属には種内の分類級として寄生性の差異に基づく分化型の類別が適用される菌種がいくつかあり，*F. lateritium* もこれまでに延べ 8 分化型が提唱されてきた経緯がある[23, 69, 83, 181]．今後，ピーマン実腐病菌の分化型に関する調査も望まれる．

ヤーコンの炭腐病および立枯病は，それぞれヤーコン属植物が *Macrophomina* 属菌および *Rhizoctonia* 属菌に罹病することを示す最初の病害である．オカ炭腐病は細菌病やウイルス病などを含めて病害に関する記録がなかった本種植物において初めて認めた病害であり，本種植物が菌類に罹病すること，ならびにカタバミ科植物が *Macrophomina* 属菌に罹病することを示す最初の病害である．また，オユコ腰折病はオユコ属植物において初めて認めた病害であり，本属植物が菌類に罹病すること，ならびにツルムラサキ科植物が卵菌に罹病することを示す最初の病害である．先に述べた生物 8 界説によれば，オユコ腰折病は本科植物がクロミスタに罹病することを示す最初の病害と位置づけられる．いずれの病害の病原も普遍的な多犯性の土壌伝染性病原であり，*M. phaseolina*，*R. solani* および *P. aphanidermatum* は，それぞれ300種以上，200種以上および80種以上の植物に対して病原性を有することが知られている[33, 76, 181]．1990年以降に海外から輸入された多年生根菜のヤーコン，オカおよびオユコの栄養体種苗は，植物防疫法に則り当初は無病・健全なものであったことから，いずれの病害も従来から我が国に生息していた病原が感染した結果発生したものと考えられた．これらの病原はいずれも好高温性であるのに対し，宿主の 3 根菜は南米アンデス高原原産で比較的冷涼な気候を好み，高温・乾燥に対する耐性が低いことが明らかにされている[78, 79]．このため，夏期に発生した各病害は，宿主が著しい高温ストレスを受けて衰弱していたこと，ならびに当該病原が好高温性であったことにより発病条件が整って発生したものと考えられた．ヤーコンにおいては同じく普遍的な多犯性菌類である *Sclerotium rolfsii* Saccardo による白絹病および *Botrytis cinerea* Persoon : Fries による灰色かび病のほか，多犯性のウイルスや 細菌による病害も認められて

いる[102, 141]．さらに，ヤーコン，オカおよびオユコと同様に新規遺伝資源として海外から我が国へ導入された南米アンデス高原原産の作物であるマメ科のアヒパ [ahipa, *Pachyrhizus ahipa* (Weddell) Parodi] およびマダラハウチワマメ [pearl lupine, tarwi, *Lupinus mutabilis* Sweet] にも，*M. phaseolina*，*S. rolfsii* あるいは *B. cinerea* による病害が認められている[108, 143]．これらはいずれも我が国において新病害として確認された．我が国における栽培法が研究途上にあるこれらの新規導入作物は，今後もその試験的栽培過程で普遍的な多犯性病原に侵される危険性が特に高いと考えられる．したがって，海外産農作物の我が国における普及にあたっては，これまでに明らかとなった病害の情報および病原菌株を基礎的な知見・材料として利用し，植物保護的観点から輪作体系や薬剤施用法等の開発にも取り組むことが重要である．

これまで，農作物における生育不良，収量減少，品質低下といった被害には，植物に対して病原性を有する菌類，放線菌，細菌，ファイトプラズマ，ウイルス，ウイロイドといった様々な微生物によって引き起こされる病害が非常に多い傾向があり，とりわけ菌類によって引き起こされる病害が圧倒的に多い[18, 28, 83]．近年，我が国では農産物に対する消費者のニーズが多様化するとともに，基幹産業としての農業の活性化が社会的，行政的ないし経済的な側面から強く推し進められていることに呼応して，生産される農作物の品目の増加はもとより，栽培の地域・規模・時期・様式，さらに流通販売形態までも大きく変化し急激に多様化している[5, 24, 46, 60]．特に収益性が高まりつつある花卉および野菜においてはその傾向が強く，その一方で過去に事例のない被害が菌類病を中心として認められるケースが今後も引き続き増加するものと思われることから留意する必要があろう．その被害は局所的であれ，菌類病に限らず病原微生物によるものであれば持続する危険性と他の農作物にも広がる危険性をはらんでいる．したがって，被害の防止策を整えるための初動課題であるその原因究明にあたっては，まずは植物病理学的な見地から早急に調査することが肝要である．そして，その調査の結果として被害が病原微生物に起因する病害であることが予想された場合，これをコッホの原則に則って証明し，その標本と生きた病原を証拠として恒久的に保存することが重要である．過去の新病害等に関する研究報告には，根拠となる標本や病原菌株の保存されていないものが多々ある．本論文において詳述した病害の調査に際しても，関連する既報病害のいくつかにそういったものがあった．著者はそのような既報病害が本来存在するか否かを菌類病を中心に別途調査しているが，標本と病原菌株が保存されていない病害の報告は，病原の同定と病原性に関して再現性が基本的に保証されておらず，厳密には検証できないことから，その調査は当該病害の再発を待って実施するほかない[133, 144, 148]．他方，近年，分子生物学などの先端的な研究分野がめざましく進歩し，各種微生物における分類学や系統進化学の研究に関しても様々な手法によって新たな情報が着々と集積されている[110]．例えば本論文において詳述したオミナエシおよびネメシアの炭疽病菌株は，既にDNA情報に基づいた *C. coccodes*，*C. fuscum* および *C. destructivum* の再同定あるいは再定義提案に用いられ，その知見は *Colletotrichum* 属菌の病原性分化に関する研究に利用されて別の新たな知見を見いだすことにも繋がった[72, 73]．また，生物8界説の提唱によって，卵菌を菌界からクロミスタ界に移す意見が出されるなど，動物や植物にも比肩する巨大生物群である菌類に関しては，現在，分子生物学的知見も取り入れた分類学や系統進化学の進歩によって種や属の基礎的な概念が総じて再編される可能性が特に高い動向にある．したがって，以前報告された菌種等を代表する菌株がその再同定や他の菌株の同定・分類に際して供試できるかどうかがこれまで以上に極めて重要になる．標本と生きた菌株が保存されていれば，それらは菌類の分類学的および系統進化学的な研究はもとより，著者が別途取り組んでいる菌類の変異解析等[130, 132, 134, 137, 145, 146, 150, 151]，ほかの様々な研究にも活用できる．最近，このような観点から，菌類に限らず，微生物の自然界における多様性を把握するとともに，あらゆる特性情報を付与した形での微生物の収集・整理・保存・配布といった，いわゆるインベントリーやカルチャーコレクションの国際的な整備・拡充が，農業分野にとどまらず，将来の基礎・応用科学と産業の発展を支える基盤的な課題として

推し進められているところである[97, 99, 119, 122, 125, 158]．本研究において得られた各種植物病原菌株は，それらの特性情報とともに農業生物資源研究所にMAFF番号を付されて登録・保存され，国内外へ広く公表されている（Table 1）．このことは，上記のカルチャーコレクションの充実に貢献するものである．

本研究では，花卉・野菜における懸案の病害の病原を解明したが，それらの病害を含め，生産・流通現場等において病害の的確な防除対策をたてるためには正しい診断，すなわち，罹病植物を検査して正しい病名を把握することが出発点として不可欠である．正しい診断が病気の進行・被害の見通し，防除の要否および適切な防除法を指示することに繋がる．診断を間違えれば，どんなに高価な薬剤を散布しても病気を防除することはできない．病気は感染―発病―病勢進展―終末の経路を辿る．その進行速度は植物の抵抗性や環境条件によって変わり，病徴も初期から終末への移り変わりが植物の抵抗性や環境条件によって異なる．しかし，その変化のパターンはその病気に特異的であることから，病徴変化のパターンと特徴を熟知していれば，それらの肉眼観察によって診断を誤ることは少ない．したがって，診断手法には，病原の顕微鏡観察，血清学・生化学・分子生物学的検出，生物検定などもあるが，生産・流通現場等では，コストもかからない外観症状の肉眼観察までで結論を出すことが重視されている．しかしながら，それは病徴変化のパターンと特徴を熟知していてこその話である．実際には，それらが詳細に記録されている既知病害であっても，診断者が見たことがない病害であった場合，肉眼観察のみでそれを照合し端的に結論を出すのは非常に難しい．既知病害については病徴変化のパターンと特徴が詳細となり情報が充実する一方，かえって複雑になって診断者が結論を出しにくくなっているきらいすらある．また，例えば褐変した罹病植物を１個体持ってきて診断を依頼されても，肉眼観察のみでは既知病害と照合するための情報が限定され，正しい診断が期待できない場合が多い．薬害，塩害，栄養欠乏などの生理障害でも植物は褐変する場合が多々ある．生産・流通現場等では被害が増加傾向にあり，病害の早期発見のためにもこういった病徴の一断面だけで診断しなければならない場面が多くなっている．そもそも被害が大きくなってからではいくら正しい診断をしてもなんの役にも立たない．診断は早いほど良く，また，専門家でなくても対処できる簡便な診断方法が強く望まれる．多少コストがかかっても，それは必要経費として認識し，診断の正確性はもとより，迅速性と簡便性も重視することが肝要である．そこで，外観症状の肉眼観察にだけ頼るのではなく，これに加えて病原の特性にも基づいて診断するのが良い．すなわち，実体顕微鏡，光学顕微鏡，走査型電子顕微鏡などを用いて罹病部に高頻度存在する微生物を観察し，必要に応じて当該微生物を分離して調査する．本来なら，コッホの原則に則って分離した微生物の病原性を確認してから結論を出すのが妥当であるが，そのために接種試験を行って結果を待っていたのでは時間がかかって早期診断には間に合わない．接種試験なしで結論を出すのが鍵である．細菌病やウイルス病では，走査型電子顕微鏡・透過型電子顕微鏡による観察のほか，血清学・分子生物学的手法による病原の検出が威力を発揮する．実際，こういった方法でなければ早期診断ができないのが細菌病やウイルス病である．一方，菌類病では病原の分離が比較的容易である上に実体顕微鏡・光学顕微鏡レベルの観察までででその正体をほぼ特定できる．以上の観点から，本研究では，解明した各菌類病が生産・流通現場等で簡易・迅速・的確に診断できるよう，病徴のみならず病原の特性についても要点を既知病害とも照らして簡潔に整理し，これに着目して診断する方法を提示した．すなわち，肉眼観察によって把握すべき外観症状の特徴を簡潔にし，その分，病原の特徴的な形態・培養特性に着目した端的な診断指標を補った形の診断方法である．菌類の形態・培養特性についても，近年，情報が詳細となって充実する一方，かえって複雑になって専門家以外には，一層，当該病原菌が一体何であるか結論を出すための決め手が理解しにくくなっていることが否めない．このため本論文では，診断者が見たことがない菌類であっても端的に把握できる当該病原菌特有の形態・培養特性を診断指標として抽出し，これを簡潔に整理した．診断は早いほどよいものの，早ければ早いほど正しい診断が難しくなる．しかし，本研究で提示した診断方法は，

「簡潔に整理した肉眼観察によって把握すべき外観症状の特徴」および「簡潔に整理した病原の特徴的な形態・培養特性」の順に病害の絞り込みを行うことで，迅速性を損なわずに混乱なくスムーズに正しい診断を導く．例えばオミナエシ炭疽病は，「①斑点・葉枯・株枯性症状を呈する」，「②剛毛を有する菌核が病斑に多数表生する」の2つのポイントさえ押さえることができれば他の既知病害と的確に識別できる．診断にあたっては新たな病害の可能性もあることから，押さえるべき外観症状については特筆すべき特異性がない限りはこの程度の必要最小限に留め詳細に触れなくとも良い．また，病原の特徴的な形態・培養特性についても，既知病害との比較の上で吟味し，極力少ないポイントに収めることを基本とすると良い．この方法は，病徴を経時的に観察するよりも早く客観的に結論を出せる可能性が高く，病徴変化のパターンと特徴ならびに菌類の詳細な形態・培養特性などの性状を熟知していない診断者が診断する場合や，病徴の一断面だけで診断しなければならない場面などにおいても有効である．したがって，品目ごとに，細菌病やウイルス病も含めた既知病害の診断ポイントを蓄積・整理しておくと良い．なお，菌類病の発生頻度が他の細菌病やウイルス病に比べて圧倒的に高く[18, 28, 83]，また，先にも述べたように，菌類病では他の細菌病やウイルス病に比べて病原の分離が比較的容易である上に実体顕微鏡・光学顕微鏡レベルの観察までででその正体をほぼ特定できることから，診断にあたってはまず初めに菌類病を疑って調査するのが結果的に効率的である可能性が高いと考えられ，既知の菌類病を優先して診断ポイントを整備していくことが望ましいと考える．既知のいずれの菌類病の診断ポイントにもあてはまらない場合は，i）菌類以外の微生物による病害，ii）新たな菌類病あるいはiii）生理障害，と即座に判断でき，そういった案件は引き続きしかるべき専門の試験研究機関等において別途調査するのが現実的であろう．ともあれ，新病害や日本新産菌による病害を含む我が国初発生病害のみならず，生理障害についても，随時，同様に診断ポイントを追加・整理し，これに合わせて既知病害の診断ポイントを新たな診断手法の適用も含めて適宜見直しアップデートしていくことが大切である．さらに，このアップデートには，今後想定される病害の診断ポイントも盛り込んでいくと良い．すなわち，本研究でも一部の病原菌について実施したように，生きた病原菌株が残されていれば，これを用いて事前に宿主範囲を実験室レベルで調査し，その結果を診断ポイントのアップデートに反映することにより，生産・流通現場等における実際の発生に際して，それが新病害等であっても既知病害と同様に簡易・迅速・的確に診断することができる．また，品目ごとにこういったアップデートを実施することにより，既知病害の再発と新病害等の検知・監視等が常に効率的に行えるものと考える．これを基本として，必要に応じ，圃場での発生状況・立地条件，品種，栽培様式，施肥状況，作付経歴，発病歴，気象，病害虫・雑草の防除暦などについて情報をカルテ式に付加していけば，その病気が発生した原因を知ることができるほか，病勢の今後の進展を推定することも可能であり，さらには被害の拡大前に予防措置を含めた防除策をすばやく取ることに繋がるものと考える．本方法は，様々な農作物の病害診断に適用でき，特に菌類病による被害発生が増加すると予測される多種多様な花卉・野菜の生産・流通現場等においては有効性が高いと考える．

我が国における花卉・野菜の生産は，農業上，以前にも増して重要度が増している．また，花卉・野菜として生産・利用される植物は多彩で，それらに病害を引き起こす菌類も多様であることから，今後益々，菌類による新たな病害の発生が増加するものと予測される．したがって，花卉・野菜における新たな菌類病の病原同定と診断に関する研究は，菌類の分類学や生態学をはじめとする様々な角度からの研究展開に基盤的に寄与するひとつの基礎課題であるとともに，安定した農業生産を支えるための重要課題として今後とも中断することなく継続して取り組まねばならない課題である．

Ⅶ 摘　　要

我が国では農産物に対する消費者のニーズが多様化するとともに，基幹産業としての農業の活性化が社会的，行政的ないし経済的な側面から強く推し進められ,生産される農作物の品目の増加はもとより，

栽培の地域・規模・時期・様式，さらに流通販売形態までも急激に多様化している．収益性が高まりつつある花卉・野菜においてはその傾向が強く，一方で過去に事例のない被害の増加が著しい．その被害は菌類によって引き起こされる病害（菌類病）が圧倒的に多い．生理障害等を含めて精力的に研究されているイネやムギなどの主要農作物に比べ，多種多様な花卉・野菜は今後菌類病を中心に新たな被害の増加が予測される．それらの防除策を構築する基礎として，第一に病害の病原同定をその都度行い，迅速かつ正確に診断しなければならない．特に，花卉・野菜では菌類病による被害の頻発を見据えた対処が肝要である．本研究では，近年，花卉・野菜に新たに発生し，原因解明が懸案であった新病害および日本新産菌による病害の病原同定を行うとともに，それらの病害が生産・流通現場等において簡易・迅速・的確に診断できるよう，病徴と病原特性の要点に着目した病害診断法を提示した．

1 1998年10月，宮城県一迫町の露地で鉢植栽培中のオミナエシ（*Patrinia scabiosaefolia*，オミナエシ科の花卉）に斑点・葉枯・株枯性の菌類病を認めた．病原は分生子果不完全菌綱・メランコニウム科の *Colletotrichum coccodes* と同定し，本病を新病害として炭疽病と名付けた．

2 1999年 2 月，香川県豊中町の温室で鉢植栽培中のネメシア（*Nemesia strumosa*，ゴマノハグサ科の花卉）に斑点・萎凋・株枯性の菌類病を認めた．病原は分生子果不完全菌綱・メランコニウム科の *Colletotrichum fuscum* と同定し，本病を新病害として炭疽病と名付けた．

3 1996年 4 月，香川県多度津町の温室で鉢植栽培中のカランコエ（*Kalanchoe blossfeldiana*，ベンケイソウ科の花卉）に斑点・葉枯性の菌類病を認めた．病原は不完全糸状菌綱・デマチウム科の *Stemphylium lycopersici* と同定し，本病を新病害として斑点病と名付けた．

4 1998年10月，宮城県一迫町の露地花壇で栽培中のマリーゴールド（*Tagetes erecta* および *Tagetes patula*，キク科の花卉）に斑点・葉枯性の菌類病を認めた．病原は不完全糸状菌綱・デマチウム科の *Alternaria tagetica* と同定した．本病は既に海外では病名“ leaf spot ”として記録があるが，我が国では病原菌の分布も確認されていない病害であった．よって，本病は日本新産菌による病害として和名を斑点病と名付けた．

5 1998年10月，香川県善通寺市の露地で鉢植栽培中のチェリーペパー（*Capsicum annuum* var. *cerasiforme*，ナス科の花卉）に萎凋・立枯性の菌類病を認めた．病原は卵菌綱・フハイカビ科のヘテロタリック種 *Phytophthora capsici* と同定し，本病を新病害として疫病と名付けた．

6 1999年 8 月，香川県善通寺市の温室で鉢植栽培中のベルゲランツス（*Bergeranthus jamesii*，ツルナ科の花卉）に腐敗性の菌類病を認めた．病原は卵菌綱・フハイカビ科のホモタリック種 *Pythium myriotylum* と同定し，本病を新病害として腐敗病と名付けた．

7 1999年9月，香川県善通寺市のビニルハウスで収穫されたピーマン（*Capsicum annuum* var. *grossum*，ナス科の果菜）の完熟果実に腐敗性の菌類病を認めた．病原は分生子果不完全菌綱・スファエリオイド科の *Fusicoccum aesculi* および *Phomopsis phomoides* と同定し，各菌種による病害をいずれも新病害として果実腐敗病と名付けた．

8 2001年 5 月，香川県善通寺市のビニルハウスで収穫されたピーマンの未熟果実に腐敗性の菌類病を認めた．病原は不完全糸状菌綱・ツベルクラリア科の *Fusarium lateritium* と同定し，本病を新病害として実腐病と名付けた．

9 1995年および1996年の 7 ～ 9 月，香川県善通寺市の露地で栽培中のヤーコン（*Smallanthus sonchifolius*，キク科の根菜）およびオカ（*Oxalis tuberosa*，カタバミ科の根菜）に茎枯・倒伏・株枯性の菌類病を認めた．病原は分生子果不完全菌綱・スファエリオイド科の *Macrophomina phaseolina* と同定し，いずれも新病害として炭腐病と名付けた．

10 1996年および1999年の 8 ～ 9 月，愛媛県久万町の露地で栽培中のヤーコンに茎枯・立枯・株枯性の菌類病を認めた．病原は不完全糸状菌綱・無胞子不完全菌科の *Rhizoctonia solani* と同定

し，本病を新病害として立枯病と名付けた．

11　1999年9月，香川県善通寺市の露地で栽培中のオユコ（*Ullucus tuberosus*，ツルムラサキ科の根菜）に茎枯・倒伏・株枯性の菌類病を認めた．病原は卵菌綱・フハイカビ科のホモタリック種*Pythium aphanidermatum*と同定し，本病を新病害として腰折病と名付けた．

12　上記の菌類病はそれぞれ次のポイントで簡易・迅速・的確に診断できる．*Colletotrichum coccodes*によるオミナエシ炭疽病：①斑点・葉枯・株枯性症状を呈する，②剛毛を有する菌核が病斑に多数表生する．*Colletotrichum fuscum*によるネメシア炭疽病：①斑点・萎凋・株枯性症状を呈する，②剛毛とやや湾曲する無色紡錘形単細胞分生子を生じる分生子層が病斑に表生する，③分離菌株が厚膜胞子を多数形成する．*Stemphylium lycopersici*によるカランコエ斑点病：①斑点・葉枯性症状を呈する，②l/b比が3以上の褐色石垣状多細胞分生子が病斑に表生する．*Alternaria tageticа*によるマリーゴールド斑点病：①斑点・葉枯性症状を呈する，②1本のくちばし状突起を有する倒棍棒形・表面小じわ状の褐色多細胞分生子が病斑に表生する．*Phytophthora capsici*によるチェリーペパー疫病：①萎凋・立枯性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「遊走子嚢柄を付けて脱落する遊走子嚢」を形成する．*Pythium myriotylum*によるベルゲランツス腐敗病：①腐敗性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「1個の蔵卵器あたり1～10個の蔵精器が接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する，③分離菌株が40℃下でも生育する．*Fusicoccum aesculi*によるピーマン果実腐敗病：①果実腐敗性症状を呈する，②長さ15μm以上の紡錘形無色単細胞分生子を内生する分生子殻が病斑に表生する．*Phomopsis phomoides*によるピーマン果実腐敗病：①果実腐敗性症状を呈する，②楕円～紡錘形と鞭～釣針形の2種類の無色単細胞分生子を内生する分生子殻が病斑に表生する．*Fusarium lateritium*によるピーマン実腐病：①果実腐敗性症状を呈する，②分離菌株が黄褐色の菌叢に脚胞のある鎌形の無色4～6細胞分生子を形成する．*Macrophomina phaseolina*によるヤーコン炭腐病：①茎枯・株枯性症状を呈する，②黒色亜球形の小型菌核が罹病茎の中空内皮下に埋生する，③分離菌株が35℃・2日間培養で直径70㎜以上の菌叢を形成する．*Rhizoctonia solani*によるヤーコン立枯病：①茎枯・株枯性症状を呈する，②ドリポア隔壁を有し，かすがい連結の無い褐色多核菌糸が罹病茎中空に密生する．*Macrophomina phaseolina*によるオカ炭腐病：①茎枯・株枯性症状を呈する，②黒色亜球形の小型菌核が罹病茎の外皮下に埋生する，③分離菌株が35℃・2日間培養で直径70㎜以上の菌叢を形成する．*Pythium aphanidermatum*によるオユコ腰折病：①茎枯・倒伏・株枯性症状を呈する，②分離菌株が綿毛状の菌叢に「1個の蔵卵器あたり1個の蔵精器が接合して形成される非充満性の卵胞子」を形成する，③その蔵卵器柄は蔵精器に向かって屈曲せずほぼ直線状である．

引用文献

1）Alexopoulos, C. J., Mims, C. W. and Blackwell, M. 1996. Introductory mycology. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 869 p.

2）Ames, T. de Lcochea 1997. Enfermedades fungosas y bacterianas de raíces y tubérculos andinos. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, 172 p.

3）Arx, J. A. von. 1957. Die arten der gattung *Colletotrichum* Cda. Phytopath. Z. 29 : 413－468.

4）Arx, J. A. von 1970. A revision of the fungi classified as *Gloeosporium*. Bibliotheca Mycologica band 24 : 156-157.

5）浅野次郎・大川　清・鶴島久男・長岡　求・柴田道夫　2000．わが国のフラワービジネスにおける技術開発と問題点．　Techno Innovation 36：8－20．

6）Bailey, J. A. and Jeger, M. J. 1992. *Colletotrichum* : biology, pathology and control. C. A. B.

International, Wallingford, 388 p.
7）Barash, I., Mor, H., Netzer, D. and Kashman, Y. 1981. Production of zinniol by *Alternaria dauci* and its phytotoxic effect on carrot. Physiol. Plant Pathol. 19 : 7－16.
8）Barksdale, T. H. 1972. Resistance in tomato to six anthracnose fungi. Phytopathology 62 : 660－663.
9）Butler, E. E. 1959. Fungi and rots in California canning tomatoes. Pl. Dis. Reporter 43 : 187－192.
10）Cavalier-Smith, T. 1986. The kingdom Chromista : origin and systematics. In : Progress in phycological research. vol. 4. (ed. by Round, I. and Chapman, D. J.), pp. 309－347, Biopress, Bristol.
11）Chowdhury, S. 1944. An *Alternaria* disease of safflower. J. Indian Bot. Soc. 23 : 59－69.
12）Cotty, P. J., Misagghi, I. J. and Hine, R. B. 1983. Production of zinniol by *Alternaria tagetica* and its phytotoxic effect on *Tagetes erecta*. Phytopathology 73 : 1326－1328.
13）Crous, P. W. and Palm, M. E. 1999. Reassessment of the anamorph genera *Botryodiplodia*, *Dothiorella* and *Fusicoccum*. Sydowia 51 : 167－175.
14）Denman, S., Crous, P. W., Taylor, J. E., Kang, J. C., Pascoe, I. and Wingfield, M. J. 2000. An overview of the taxonomic history of *Botryosphaeria*, and a re-evaluation of its anamorphs based on morphology and ITS rDNA phylogeny. Stud. Mycol. 45 : 129－140.
15）Dick, M. W. 1990. Phylum Oomycota. In : Handbook of Protocista. (ed. by Margulis, L., Corliss, J., Melkonian, O. and Chapman, D. J.), pp. 661－685, Jons & Bartlett Pub., Boston.
16）Dick, M. W. 1995. Sexual reproduction in the Peronosporomycetes (Chromistan fungi). Can. J. Bot. 73 (Suppl. 1) : S712－724.
17）Domsch, K. H., Gams, W. and Anderson, T. H. 1980. Compendium of soil fungi. Volume I, IHW-Verlag, Eching, 859 p.
18）江原淑夫　1990．ウイルスに対する植物の抵抗性．化学と生物28：615－624.
19）Ellis, M. B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, 608 p.
20）Ellis, M.B. 1976. More Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, 507 p.
21）円城寺定男　1931．トマト病害二種．病虫雑18：48－53.
22）Erwin, D. C. and Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St. Paul, 592 p.
23）Farr, D. F., Bills, G. F., Chamuris, G. P. and Rossman, A. Y. 1989. Fungi on plants and plant products in the United States. APS Press, St. Paul, 1252 p.
24）藤野雅丈　2001．わが国でのヤーコン栽培と今後の課題．農業および園芸76：25－31.
25）後藤和夫　1938．ヂギタリスの炭疽病．日植病報 8：1－8.
26）萩原　廣・田上俊太郎・竹内昭士郎　1980．*Pythium ultimum* Trowによるダイコンの新病害「腐敗病」について．野菜試報 A7：173－182.
27）Hanlin, R. T. 1963. A revision of the Ascomycetes of Georgia. Georgia Agric. Exp. Sta. Mimeo Ser. n. s. 175 : 1－65.
28）羽柴輝良　1992．菌類．新植物病理学（都丸敬一ら著），pp. 53－67，朝倉書店，東京.
29）Hawksworth, D. L. 2000. The magnitude of fungal diversity : The 1.5 million estimate revisited. Abstracts of Asian mycological congress 2000 (AMC2000) incorporating 2nd Asian-Pacific mycological conference on biodiversity and biotechnology : 16.
30）Hawksworth, D. L., Sutton, B. C. and Ainsworth, G. C. 1983. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 7th ed., pp. 154－155, Commonwealth Mycol. Inst., Kew.
31）Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C. and Pegler, D. N. 1995. Ainsworth & Bisby's

dictionary of the fungi. 8th ed., pp. 87－88, C. A. B International, Wallingford.
32）廣瀬忠彦　1994．トウガラシ．園芸植物大事典2（塚本洋太郎ら編），pp. 1574－1577，小学館，東京．
33）Holliday, P and Punithalingam, E. 1970. *Macrophomina phaseolina*. CMI descriptions of pathogenic fungi and bacteria No. 275.
34）Hosoya, T. and Otani, Y. 1997. Hyaloscyphaceae in Japan (1) : Non-glassy-haired members of the tribe Hyaloscypheaea. Mycoscience 38 : 171－186.
35）Hotchkiss, E. S. and Baxter, L. W. 1983. Pathogenicity of *Alternaria tagetica* on Tagetes. Plant Disease 67 : 1288－1290.
36）堀田　満・緒方　健・新田あや・星川清親・柳　宗民・山崎耕宇（編）1991．世界有用植物事典．平凡社，東京，1499 p.
37）一戸正勝　1990．*Fusarium*属．防菌防黴18：399－406.
38）池上八郎　1984a．植物糸状菌病の防除［17］．農業および園芸59：1059－1064.
39）池上八郎　1984b．植物糸状菌病の防除［18］．農業および園芸59：1199－1203.
40）今村幸久・川越洋二・三浦猛夫　2002．ピーマン立枯病菌による実腐症状の発生と同病の種子伝染性の解明．日植病報68：47.
41）井上頼数・小林　章・小杉　清・岡田正順・清水基夫・志佐　誠・杉山直儀・鈴木吉五郎・塚本洋太郎・吉村幸三郎（編）1983. 最新園芸大事典（第11巻）．pp. 143－149, 誠文堂新光社，東京.
42）Jacobe, K. A. and Rehner, S. A. 1998. Comparison of cultural and morphological characters and ITS sequences in anamorphs of *Botryosphaeria* and related taxa. Mycologia 90 : 601－610.
43）加辺章夫　1994．ベルゲランツス属．園芸植物大事典2.（塚本洋太郎ら編）．p. 2427，小学館，東京.
44）柿嶌　眞　2001．生物8界説にもとづく菌類の分類．植物防疫55：376－383.
45）Kanematsu, S., Yokoyama, Y., Kobayashi, T., Kudo, A. and Ohtsu, Y. 1999. Taxonomic reassessment of the causal fungus of peach Fusicoccum canker in Japan. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 65 : 531－536.
46）川口嘉久　2001．国際競争にも耐えうる国内産地を確立，機械化・情報で野菜の構造改革を推進．STAFF NEWSLETTER 12：5.
47）Keeling, B. L. 1982. A seedling test for resistance to soybean stem canker caused by *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora*. Phytopathology 72 : 807－809.
48）衣川　勝・佐藤豊三　2000．*Phomopsis* sp. および*Dothiorella* sp. によるキウイフルーツ枝枯病（新称）の発生．日植病報66：99.
49）衣川　勝・佐藤豊三　2002．キウイフルーツ枝枯病菌（*Dothiorella* sp., *Phomopsis* sp.）の完全世代．日植病報68：189－190.
50）衣川　勝・佐藤豊三　2003．キウイフルーツ果実軟腐病菌 *Diaporthe* sp. および*Botryosphaeria dothidea*による枝枯症状．日植病報69：373－383.
51）Kirk, P. M., Cannon, P. F., David, J. C. and Stalpers, J. A. 2001. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 9th ed., pp. 365－366, C. A. B International, Wallingford.
52）岸　國平（編）1988．作物病害事典．全農教，東京，943 p.
53）岸　國平 編　1998．日本植物病害大事典．全農教，東京，1276 p.
54）岸　國平・岩田　勉　1973．トマト，ナスおよびトウガラシの黒点根腐病（新称）について．日植病報39：202.
55）小林享夫　1988．*Botryosphaeria*属と*Guignardia*属－その完全世代と不完全世代－．今月の農業32：78－88.
56）小林享夫　1993．*Colletotrichum*属－植物炭そ病菌．防菌防黴21：215－224.
57）小林享夫・勝本　謙・我孫子和雄・阿部恭久・柿島　真（編）1992．植物病原菌類図説．全国農村教育協会，東京，685 p.
58）小金澤碩城・笹谷孝英・佐藤豊三・富岡啓

介・森　充隆　1997．高温と土壌水分過剰に起因するカーネーション萎縮叢生症について．日植病報63：194.
59）小金澤碩城・笹谷孝英・佐藤豊三・竹崎あかね・富岡啓介・森　充隆　1998．カーネーション萎縮叢生症状の高温と多灌水による誘発．四国農試報62：9－15.
60）古賀義昭・富岡啓介　1995．シオデ等山菜類の増殖技術と栽培．農業および園芸70：167－173.
61）窪田昌春・手塚信夫・我孫子和雄・石井正義　1994．*Pythium ultimum* Trow var. *ultimum* によるブロッコリーピシウム腐敗病（新称）．日植病報60：776－777.
62）国永史朗　2002．*Rhizoctonia* 属菌および *R. solani* 種複合体の分類学の現況．日植病報68：3－20.
63）倉田宗良　1979．ピーマンへた腐病．植物防疫33：257－258.
64）倉田宗良・古谷真二・山本　磐・斉藤　正　1975．*Rhizopus* 属菌によるピーマン収穫果の腐敗．日植病報41：269.
65）草刈眞一・田中　寛　1987．水耕栽培において発生した *Pythium* 属菌によるトマトの根腐病．関西病虫研報29：31－34.
66）Laubert, R. 1937. Ein neuer *Digitalis*-Schädling. Gartenwelt 31 : 674－675.
67）Mandal, N. C. and Dasgupta, M. K. 1984. Five new diseases of perishable fruits in storage. Indian Phytopath. 37 : 673－676.
68）Manning, W. J., Papia, P. M. and Cox, E. A. 1971. Fusaria associated with wilted tomato plants in Massachusetts. Pl. Dis. Reporter 55 : 687－691.
69）松尾卓見・駒田　旦・松田　明（編）1980．作物のフザリウム病．全国農村教育協会，東京，502 p.
70）三上哲壮・佐藤豊三　2000．*Fusicoccum aesculi* Corda によるメロン黒渋腐敗病（新称）．日植病報66：95.
71）森田　儔・河合一郎　1959．百日草の黒斑病（新称）．静岡農試研報 4：20－29.
72）森脇丈治・佐藤豊三・月星隆雄・中島敏彦　2003．*Colletotrichum destructivum* とその近縁種の再分類および病原性．日植病報69：259.
73）Moriwaki, J., Tsukiboshi, T. and Sato, T. 2002. Grouping of *Colletotrichum* species in Japan based on rDNA sequences. J. Gen. Plant Pathol. 68 : 307－320.
74）元木　悟　2000．カラーピーマン，フルーツパプリカの栽培技術．農耕と園藝55：104－127.
75）村田壽太郎　1916．蕃椒の病害と其防除法（其二）．日園雑28：7－9.
76）内藤繁男　2000．*Rhizoctonia solani* の菌糸融合群とその亜群の生理・生態・遺伝的特徴．土壌伝染病談話会レポート20：109－119.
77）中村宏子・稲田　稔・太田政隆・井手洋一・山口純一郎・脇部秀彦・松崎正文・佐藤豊三　1998．*Colletotrichum coccodes* (Wallr.) S. Hughes によるホオズキ炭疽病（新称）．日植病報64：432－433.
78）中西建夫　1997．ヤーコンの栽培―栽培研究と地域適応性―．農業および園芸72：1192－1198.
79）中西建夫　1998．アンデス原産作物の日本における利用性．熱帯農業42（別 2 ）：81－86.
80）中西建夫　2001．ヤーコンの栽培と新品種「サラダオトメ」．農業技術56：158－161.
81）南部信方　1916．金魚草の炭疽病．病虫雑3：419.
82）Newhook, F. J., Waterhouse, G. M. and Stamps, D. J. 1978. Tabular key to the species of *Phytophthora* de Bary. Mycol. Pap. 31 : 120.
83）日本植物病理学会（編）2000．日本植物病名目録（初版），日本植物防疫協会，東京，857 p.
84）Nirenberg, H. I. and Aoki, T. 1997. *Fusarium nisikadoi*, a new species from Japan. Mycoscience 38 : 329－333.
85）西原夏樹　1967．ピーマンの実腐病．植物防疫21 : 513－516.
86）生越　明　1992a．病気とその成立．新植物病

理学.（都丸敬一ら著），pp. 4－10，朝倉書店，東京.
87）生越 明 1992b. *Rhizoctonia*属. 防菌防黴 20：605－612.
88）大久保博人・島貫忠幸 1999. *Colletotrichum coccodes*によるイチビ（ボウマ）炭疽病（病原菌追加）. 日植病報65：407.
89）Pape, H. 1942. Die *Alternaria*-Krankheit der zinnie und ihre bekämpfung. Angew. Bot. 24 : 61－69.
90）Parris, G. K. 1959. A revised host index of Mississippi plant diseases. Mississippi State Univ., Botany Dept. Misc. Pub. 1 : 1－146.
91）Pennycook, S. R. and Samuels, G. J. 1985. *Botryosphaeria* and *Fusicoccum* species associated with ripe fruit rot of *Actinidia deliciosa* (kiwifruit) in New Zealand. Mycotaxon 114 : 445－458.
92）Plaats-Niterink, A. J. van der 1981. Monograph of the genus *Pythium*. Stud. Mycol. 21 : 1－242.
93）Priyatmojo, A., Escopalao, V. E. Tangonan, N. G., Pascual, C. B., Suga, H., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. 2001. Characterization of a new subgroup of *Rhizoctonia solani* anastomosis group 1 (AG-1-ID), causal agent of a necrotic leaf spot on coffee. Phytopathology 91 : 1054－1061.
94）Punithalingam, E. and Holliday, P. 1972. *Diaporthe phaseolorum*. CMI descriptions of pathogenic fungi and bacteria No. 336.
95）Rao, V. G. 1969. The genus *Alternaria* from India. Nova Hedwigia 17 : 219－258.
96）Rotem, J. 1994. The genus *Alternaria*-biology, epidemiology and pathogenicity. pp. 11－34, APS Press, St. Paul.
97）佐久間大輔 1999. シンポジウム「菌類のインベントリー」：日本の菌類インベントリーに向けて. 日菌報40：42－43.
98）佐藤昭二・後藤正夫・土居養二 1983. 植物病理学実験法. 講談社，東京，230 p.
99）佐藤豊三 1996. 炭疽病菌の分類の問題点と同定法. 植物防疫50：273－280.
100）佐藤豊三 1997. 四国で新たに発生した花の病害と防除法の開発. 四国農試ニュース73：4.
101）佐藤豊三・富岡啓介 1999. *Phytophthora capsici* Leonianによるチェリーペパー疫病（新称）. 四国植防34：57－62.
102）佐藤豊三・中西建夫・小金澤碩城 1995. *Sclerotium rolfsii* Saccardoによるヤーコン白絹病（新称）. 四国植防30：79－84.
103）佐藤豊三・富岡啓介・笹谷孝英・小金澤硯城 1996. *Stemphylium lycopersici*によるカランコエ斑点病（新称）. 日植病報62：631.
104）佐藤豊三・富岡啓介・中西建夫・小金澤碩城 1997. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. によるヤーコン，タルイおよびオカの炭腐病（新称）. 日植病報63：200.
105）佐藤豊三・植松清次・飯島章彦・小金澤碩城 1998. 日本産灰色系 *Colletotrichum acutatum* によるリンゴ炭疽病の発生と他植物由来の *C. acutatum* および *Glomerella cingulata* のリンゴに対する病原性. 日菌報39：35－44.
106）佐藤豊三・牟田辰朗・今村幸久・野島秀伸・矢口行雄 1999a. *Colletotrichum capsici* (Sydow) Butler & Bisbyによるダイコン炭疽病の発生. 日植病報65：406.
107）佐藤豊三・富岡啓介・中西建夫・小金澤碩城 1999b. 多犯性土壌病原菌 *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. によるヤーコン，オカおよびマダラハウチワマメの炭腐病（新称）. 四国農試報64：1－8.
108）佐藤豊三・富岡啓介・中西建夫・竹崎あかね 2000. *Sclerotium rolfsii*によるクズイモ・アヒパ種間雑種の株枯れ，マダラハウチワマメ白絹病（新称）および四国におけるトルコギキョウ白絹病の発生. 四国植防35：13－21.
109）Sato, T., Viedma, L. Q., Alvarez, E., Romero, M. I. and Morel W. P. 1993. First occurrence of soybean southern stem canker in Paraguay. JARQ 27 : 20－26.
110）Seifert, K. A., Gams, W., Crous, P. W. and Samuels, G. J. (ed.) 2000. Molecules, morphology

and classification : Towards monophyletic genera in the Ascomycetes. Studies in Mycology 45, 230 p.

111）Shome, S. and Mustafee, T. P. 1966. *Alternaria tagetica* sp. nov. causing blight of marigold (Tagetes sp.). Curr. Sci. 35 : 370－371.

112）Simmons, E. G. 1982. *Alternaria* themes and variations. Mycotaxon 14 : 17－43.

113）Simmons, E. G. 1992. *Alternaria* taxonomy : Current status, viewpoint, challenge. In : *Alternaria* biology, plant diseases and metabolites (ed. by Chelkowski, J. and Visconti, A.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp. 1－35.

114）Sneh, B., Burpee, L. and Ogoshi, A. 1991. Identification of *Rhizoctonia* species. APS Press, St. Paul. p. 69.

115）Sobers, E. K. and Seymour, C. P. 1963. *Stemphylium* leafspot of echeveria, kalanchoe and sedum. Phytopathology 53 : 1443－1446.

116）Spilsbury, J. F. 1952. Some fungus diseases of *Digitalis lanata*. Trans. Brit. Myc. Soc. 36 : 335－349.

117）Starratt, A. N. 1968. Zinniol : A major metabolite of *Alternaria zinniae*. Can. J. Chem. 46 : 767－770.

118）Stoessl, A., Unwin, C. H. and Stothers, J. B. 1979. Metabolites of *Alternaria solani* V : Biosynthesis of altersolanol A and incorporation of naltersolanol A-13Cx into altersolanol B and macrosporin. Tetrahedron Lett. 27 : 2481－2484.

119）杉山純多・岡田　元　2001．証拠（voucher）となる標本・培養株の役割と寄託の重要性．日菌報42：53－56.

120）Sutton, B. C. 1980. The Coelomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, 696 p.

121）Sutton, B. C. 1992. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In : *Colletotrichum* biology, pathology and control. (ed. by Bailey, J. A. and Jeger, M. J.). pp. 1－26, C. A. B. International, Wallingford.

122）鈴木健一朗　2001．アジア地域の微生物系統保存ネットワーク－豊かな自然環境に生息する微生物の種の多様性の保全とその有効利用のために－．土と微生物55：113－119.

123）橘　泰宣・佐川正典・大森尚典　1983．キウイフルーツ果実の軟腐症発生について　1）分離菌およびその病原性．日植病報49：403.

124）田上俊太郎・萩原　廣・竹内昭士郎　1980．*Pythium ultimum* Trow var. *ultimum*による大根腐敗病（仮称）．日植病報46：390.

125）高島昌子・鈴木健一朗　2000．第9回国際微生物株保存会議に参加して．日菌報41：210.

126）Tanaka, Y., Murata, N. and Kato, H. 1979. Behavior of nuclei and chromosomes during ascus development in the mating between either rice-strain or weeping lovegrass-strain and ragi-strain of *Pyricularia*. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 45 : 182－191.

127）富岡啓介・佐藤豊三　2000．チェリーペパー疫病とその病原菌 *Phytophthora capsici*. 今月の農業44：97－99.

128）富岡啓介・佐藤豊三　2001a．ベニベンケイ斑点病菌，*Stemphylium lycopersici* (Enjoji) Yamamotoの10種カランコエ属植物に対する病原性．日本菌学会第45回大会講演要旨集p. 35.

129）富岡啓介・佐藤豊三　2001b．*Pythium myriotylum Drechsler*によるベルゲランツス腐敗病（新称）．日植病報67：162.

130）富岡啓介・佐藤豊三　2002a．ゲノムスキャニング“ restriction landmark genomic scanning (RLGS) ”の菌類研究における利用．農業および園芸77：815－819.

131）富岡啓介・佐藤豊三　2002b．ピーマン果実腐敗病を引き起こす *Fusicoccum aesculi* と *Phomopsis phomoides*. 日本菌学会第46回大会講演要旨集p. 68.

132）富岡啓介・佐藤豊三・河瀬眞琴・石原次郎・笹谷孝英・小金澤碩城　1998．RLGSによる糸状菌のDNA多型検出．日植病報64：615.

133）富岡啓介・森　充隆・佐藤豊三　1999a．ラナンキュラス灰色かび病の植物病原菌学的根拠．

四国植防34：102.

134）富岡啓介・佐藤豊三・河瀬眞琴・小金澤碩城・石原次郎・笹谷孝英　1999b．*Rhizopus oryzae*, *Phytophthora nicotianae*および*Rhizoctonia solani*のRLGS．日本菌学会第43回大会講演要旨集 p. 20.

135）富岡啓介・佐藤豊三・小金澤碩城　1999c．*Alternaria tagetica* Shome & Mustafeeによるマリーゴールド斑点病（新称）．日植病報65：406.

136）富岡啓介・佐藤豊三・小金澤碩城　1999d．*Colletotrichum fuscum* Laub.によるネメシア炭疽病（新称）．日植病報65：678－679.

137）富岡啓介・佐藤豊三・小金澤碩城・石原次郎・笹谷孝英・河瀬眞琴　2000a．*Colletotrichum gloeosporioides*のnit1変異株と野生株間のRLGSによるDNA多型検出．日本菌学会第44回大会講演要旨集 p. 51.

138）富岡啓介・佐藤豊三・小金澤碩城・笹谷孝英　2000b．*Colletotrichum coccodes* (Wallroth) S. Hughesによるオミナエシ炭疽病（新称）．日植病報66：91.

139）富岡啓介・佐藤豊三・中西建夫　2000c．*Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzpatrickによるオユコ腰折病（新称）．日植病報66：301－302.

140）富岡啓介・竹内　純・佐藤豊三・中西建夫　2000d．*Rhizoctonia solani* Kühnによるヤーコン立枯病（新称）．四国植防35：53.

141）富岡啓介・佐藤豊三・中西建夫　2001．ヤーコンとヒマワリの灰色かび病．四国植防36：78－79.

142）富岡啓介・佐藤豊三・藤野雅丈　2002a．ピーマンにおける*Stemphylium lycopersici*による黒かび病および*Fusarium lateritium*による実腐病（病原追加）．四国植防37：71.

143）富岡啓介・佐藤豊三・中西建夫　2002b．*Botrytis cinerea*によるマダラハウチワマメ灰色かび病（新称）．日植病報68：79－80.

144）富岡啓介・竹崎あかね・佐藤豊三　2002c．*Fusarium solani* (Martius) Saccardoによるトルコギキョウ立枯病の確認．日植病報68：185.

145）Tomioka, K. and Sato, T. 2000. RLGS of *nit1* mutants produced in a fungus, *Colletotrichum acutatum*. Abstracts of the 23rd annual meeting of the molecular biology society of Japan p. 704.

146）Tomioka, K. and Sato, T. 2001. Restriction landmark genomic scanning (RLGS) in fungi. Mycoscience 42 : 295－299.

147）Tomioka, K., Sato, T., Sasaya, T. and Koganezawa, H. 1997. Leaf spot of kalanchoe caused by *Stemphylium lycopersici*. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 63 : 337－340.

148）Tomioka, K., Mori, M. and Sato, T. 1999. Identification and pathogenicity of causal agent of gray mold of buttercup (*Ranunculus asiaticus* L.). Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 65 : 620－623.

149）Tomioka, K., Nakamura, H. and Sato, T. 2000a. Pathogenicity of *Colletotrichum coccodes* and *C. fuscum* to snapdragon (*Antirrhinum majus*). Proceedings of 7th international symposium of the mycological society of Japan p. 63.

150）Tomioka, K., Sato, T., Kawase, M., Ishihara, J., Sasaya, T. and Koganezawa, H. 2000b. Application of RLGS (restriction landmark genomic scanning) to fungal studies. Abstracts of Asian mycological congress 2000 (AMC2000) incorporating 2nd Asian-Pacific mycological conference on biodiversity and biotechnology (supplementary), p. 6.

151）Tomioka, K., Sato, T., Kawase, M., Ishihara, J., Sasaya, T. and Koganezawa, H. 2000c. Difference of RLGS profiles between *nit1* mutants and their wild type of *Colletotrichum gloeosporioides*. Abstracts of 92nd annual meeting of American phytopathological society (APS2000) [Phytopathology 90 (supplement)] : S77.

152）Tomioka, K., Sato, T. and Koganezawa, H. 2000d. Marigold leaf spot of caused by

Alternaria tagetica new to Japan. J. Gen. Plant Pathol. 66 : 294－298.

153）Tomioka, K., Sato, T. and Koganezawa, H. 2000e. New anthracnose of nemesia. Proceedings of the first Asian conference on plant pathology (ACPP2000) : 48.

154）Tomioka, K., Sato, T. and Koganezawa, H. 2001. Anthracnose of *Nemesia strumosa* caused by *Colletotrichum fuscum*. J. Gen. Plant Pathol. 67 : 111－115.

155）Tomioka, K., Sato, T. and Nakanishi, T. 2002a. Foot rot of ulluco caused by Pythium *aphanidermatum*. J. Gen. Plant Pathol. 68 : 189－190.

156）Tomioka, K., Takeuchi, J., Sato, T. and Nakanishi, T. 2002b. Rhizoctonia blight of yacon caused by *Rhizoctonia solani* AG-1 (IB). J. Gen. Plant Pathol. 68 : 103－104.

157）椿　啓介・徳増征二・安藤勝彦・中桐　昭・岡田　元 1998．不完全菌類図説―その採集から同定まで―．アイピーシー，東京，173 p.

158）土屋健一　1995．微生物株の保存機関．植物病理学事典（日本植物病理学会編）．pp. 934－942，養賢堂，東京.

159）Uecker, F. A. 1988. A world list of *Phomopsis* names with notes on nomenclature, morphology and biology. Cramer Publishers, Berlin, 231 p.

160）宇井格生・荒木隆男・飯田　格・池上八郎・小倉寛典・加藤喜重郎・駒田　旦・杉本利哉・鈴井孝仁・竹内昭士郎・津山博之・能勢和夫・正子　朔・松尾卓見・松田　明・渡辺文吉郎 編　1984．新版土壌病害の手引き．日植防協会，東京，322 p.

161）宇田川俊一・椿　啓介・堀江義一・三浦宏一郎・箕浦久兵衛・山崎幹夫・横山竜夫・渡辺昌平　1993．菌類図鑑（上・下）．講談社，東京，1321 p.

162）矢口行雄・中村重正・陶山一雄・斎藤紀子・牛山欽司・小林正伸　1993．*Colletotrichum acutatum* によるコスモス花枯炭疽病．日植病報59：291.

163）山口英世　1999．特集・かびの世界と人のくらし―特集にあたって．遺伝53：12－13.

164）山本和太郎　1960．日本における *Alternaria* と *Stemphylium* に属する同種異名の種類．日菌報 2：88－93.

165）山本和太郎　1961．アルタナーリア菌とその類似菌の分類と種属の改変．植物防疫15：5－10.

166）山岡裕一・藤井ルミ子・飯田　一・柿嶌　眞・音田　堯　1997．カランコエさび病菌 *Puccinia benkei* のカランコエ亜科およびセダム亜科（ベンケイソウ科）植物に対する病原性．日植病報63：51－56.

167）Yamaoka, Y., Iida, H. and Kakishima, M. 1994. Rust of kalanchoe caused by *Puccinia benkei*. Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 60 : 563－568.

168）大和浩國　1997．キウイフルーツの軟腐症状に関与する *Botryodiplodia theobromae*．日植病報63：526.

169）矢野和孝・佐藤豊三・川田洋一 1998. *Dothiorella* sp. によるナス茎枯病（新称）．日植病報64：431.

170）矢野和孝・川田洋一・佐藤豊三 2003. *Fusicoccum aesculi* Corda によるナス茎枯病（新称）．日植病報69：132－135.

171）Yu, S. H. and Lee, S. K. 1989. Blight of marigold caused by *Alternaria tagetica* in Korea. Korean J. Plant Pathol. 5 : 354－358.

172）湯浅浩史　1978a．ベンケイソウ科の系統と分類．新花卉98：9－11.

173）湯浅浩史　1978b．セダム亜科－マンネングサ属，イワレンゲ属，ロスラリア属，シノクラッスラ属，レノフィルム属，ヴィラディア属．新花卉98：20－28.

174）渡辺文吉郎・松田　明　1966．畑作物に寄生する *Rhizoctonia solani* Kühn の類別に関する研究．指定試験（病害虫）7：1－130.

175）渡邊龍雄　1964．輸出トウガラシの新病害―萎凋病について．植物防疫18：58－62.

176）渡邊龍雄・横田克明　1960．トウガラシの萎凋病について．関東病虫研報 7：37.

177）Watanabe, T. 1972. Pycnidium formation by fifty different isolates of *Macrophomina phaseoli* originated from soil or kidney bean seed. Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 38 : 100－105.

178）Watanabe, T. 1973. Survivability of *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) Ashby in naturally-infested soils and longevity of the sclerotia formed *in vitro*. Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 39 : 333－337.

179）渡邊恒雄　1983．土壌病原菌 *Pythium aphanidermatum* とその生態の研究法．植物防疫37：215－222.

180）渡邊恒雄　1984．日本産 *Pythium* 属菌の分類と分類・同定上の諸問題．植物防疫．38：203－211.

181）渡邊恒雄　1998．植物土壌病害の事典．朝倉書店，東京，272 p.

182）Weitzman, I. and Silva-Hutner, M. 1967. Non-keratinous agar media as substrates for the ascigerous state in certain members of the Gymnoascaceae pathogenic for man and animals. Sabouraudia 5 : 335－340.

183）Whittaker, R. H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. Science 163 : 150－160.

Demonstration and Diagnosis of New Fungal Diseases on Flowers and Vegetables

Keisuke TOMIOKA*

Summary

In Japan, consumers' needs for farm products are varying, and reinvigoration of agriculture as a key industry is being positively promoted in social, governmental or economical aspects. Thereby, areas, scales, seasons and/or styles of cultivation and distribution of the crops are diversifying as well as kinds of the products are increasing. This tendency is remarkable in production of flowers and vegetables being rising in profitability. In parallel, unknown damages are increasing in their production. Most of the damages are fungal diseases. It is guessed that new fungal diseases mainly and continuously increase on a large variety of flowers and vegetables in comparison with major crops such as rice, wheat and so on, on which various damages including physiological disorder have been already studied vigorously. As the basis to develop prevention measures of new fungal diseases on flowers and vegetables, identification of pathogens and diagnosis of the diseases must be rapidly and correctly carried out every time before all else. The author investigated outstanding damages on flowers and vegetables cultivated in Japan, and clarified that all of them were fungal diseases. The causal agents of their diseases, which were placed as "new diseases" or "diseases caused by fungi new to Japan", were identified, and a diagnostic method aiming at brief points of distinctive features about symptoms and pathogens were proposed to make on-the-spot diagnosis easily, rapidly and correctly.

1 A fungal disease with leaf spot, leaf blight or whole plant dead was found on potted plants of dahurian patrinia (*Patrinia scabiosaefolia*, a valerianaceous flower) grown outdoors located in Ichihasama, Miyagi Prefecture, Japan, in October 1998. The pathogen was identified as *Colletotrichum coccodes* belonging to Coelomycetes / Melanconiaceae. The disease was named as anthracnose, "tanso-byo" in Japanese, as a new disease.

2 A fungal disease with leaf spot, whole plant wilt or whole plant dead was found on potted plants of nemesia (*Nemesia strumosa*, a scrophulariaceous flower) grown in green houses located in Toyonaka, Kagawa Prefecture, Japan, in February 1999. The pathogen was identified as *Colletotrichum fuscum* belonging to Coelomycetes / Melanconiaceae. The disease was named as anthracnose, "tanso-byo" in Japanese, as a new disease.

3 A fungal disease with leaf spot or leaf blight was found on potted plants of kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*, a crassulaceous flower) grown in green houses located in Tadotsu, Kagawa Prefecture, Japan, in April 1996. The pathogen was identified as *Stemphylium lycopersici* belonging to Hyphomycetes / Dematiaceae. The disease was named as leaf spot, "hanten-byo" in Japanese, as a new disease.

4 A fungal disease with leaf spot or leaf blight was found on marigold (*Tagetes erecta* and *Tagetes patula*,

Department of Regional Crops Science
*National Institute of Agrobiological Sciences

composite flowers) grown on flower beds located in Ichihasama, Miyagi Prefecture, Japan, in October 1998. The pathogen was identified as *Alternaria tagetica* belonging to Hyphomycetes / Dematiaceae. Distribution of this fungus in Japan had not been noted, though the disease had been already known as leaf spot in other countries. It was a disease caused by a fungus new to Japan, and named as "hanten-byo", which means leaf spot in Japanese, as the common name in Japan.

5 A fungal disease with foliar wilt or whole plant dead was found on potted plants of cherry pepper (*Capsicum annuum* var. *cerasiforme*, a solanaceous flower) grown outdoors located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in October 1998. The pathogen was identified as heterothallic *Phytophthora* capsici belonging to Oomycetes / Pythiaceae. The disease was named as Phytophthora blight, "eki-byo" in Japanese, as a new disease.

6 A fungal disease with leaf rot or whole plant rot was found on potted plants of bergeranthus (*Bergeranthus jamesii*, an aizoaceous flower) grown in green houses located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in August 1999. The pathogen was identified as homothallic *Pythium myriotylum* belonging to Oomycetes / Pythiaceae. The disease was named as Pythium rot, "fuhai-byo" in Japanese, as a new disease.

7 Two fungal diseases with fruit rot was found on ripe fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*, a solanaceous vegetable) harvested in plastic houses located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in September 1999. The pathogens were identified as *Fusicoccum aesculi* and *Phomopsis phomoides* belonging to Coelomycetes / Sphaerioidaceae. Both diseases were named as fruit rot, "kajitsu-fuhai-byo" in Japanese, as new diseases.

8 A fungal disease with fruit rot was found on unripe fruits of sweet pepper harvested in plastic houses located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in May 2001. The pathogen was identified as *Fusarium lateritium* belonging to Hyphomycetes / Tuberculariaceae. The disease was named as fruit rot, "migusare-byo" in Japanese, as a new disease.

9 Fungal diseases with stem blight, stem collapse or whole plant dead were found on yacon (*Smallanthus sonchifolius*, a composite root vegetable) and oca (*Oxalis tuberosa*, an oxalidaceous tuber vegetable) grown in trial fields located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in July to September 1995 and 1996. Each pathogen was identified as *Macrophomina phaseolina* belonging to Coelomycetes / Sphaerioidaceae. Both diseases were named as charcoal rot, "sumigusare-byo" in Japanese, as new diseases.

10 A fungal disease with stem blight or whole plant dead was found on yacon grown in trial fields located in Kuma, Ehime Prefecture, Japan, in August to September 1996 and 1999. The pathogen was identified as *Rhizoctonia solani* belonging to Hyphomycetes / Agonomycetaceae. The disease was named as Rhizoctonia blight, "tachigare-byo" in Japanese, as a new disease.

11 A fungal disease with stem blight, stem collapse or whole plant dead was found on ulluco (*Ullucus tuberosus*, a basellaceous tuber vegetable) grown in trial fields located in Zentsuji, Kagawa Prefecture, Japan, in September 1999. The pathogen was identified as homothallic *Pythium aphanidermatum* belonging to Oomycetes / Pythiaceae. The disease was named as foot rot, "koshiore-byo" in Japanese, as a new disease.

12 The above diseases can be easily, rapidly and correctly diagnosed by aiming at the following brief points of distinctive features about symptoms and pathogens. Anthracnose of dahurian patrinia by *Colletotrichum coccodes* : (1) Leaf spot, leaf blight or whole plant blight is assumed, (2) Many sclerotia with setae appear on lesions. Anthracnose of nemesia by *Colletotrichum fuscum* : (1) Leaf spot, wilt or whole plant blight is

assumed, (2) Acervuli with setae and unicellular, hyaline, curved-fusiform conidia appear on lesions, (3) Isolates form many chlamydospores. Leaf spot of kalanchoe by *Stemphylium lycopersici* : (1) Leaf spot or leaf blight is assumed, (2) Brown, muriform-multiseptate conidia, with a length to breadth ratio (l/b) greater than 3 appear on lesions. Leaf spot of marigold by *Alternaria tagetica* : (1) Leaf spot or leaf blight is assumed, (2) Brown, multiseptate, obclavate with a single beak, rugulose conidia appear on lesions. Phytophthora blight of cherry pepper by *Phytophthora capsici* : (1) Wilt or damping-off is assumed, (2) Isolates form zoosporangia, which detach with a long pedicel, in their cottony colonies. Pythium rot of bergeranthus by *Pythium myriotylum* : (1) Stem and foliage rot is assumed, (2) Isolates produce aplerotic oospores, which are formed by conjugation of up to 10 antheridia per oogonium, in their cottony colonies, (3) Isolates grow even at 40℃. Fruit rot of sweet pepper by *Fusicoccum aesculi* : (1) Fruit rot is assumed, (2) Pycnidia with unicellular, hyaline, fusiform conidia up to 15 _m in length appear on lesions. Fruit rot of sweet pepper by *Phomopsis phomoides* : (1) Fruit rot is assumed, (2) Pycnidia with elliptic to fusiform conidia and rod-shaped conidia appear on lesions. Fruit rot of sweet pepper by *Fusarium lateritium* : (1) Fruit rot is assumed, (2) Isolates form hyaline, falcate conidia, which are 4 to 6 cells and with foots, in their yellowish brown colonies. Charcoal rot of yacon by *Macrophomina phaseolina* : (1) Stem blight or whole plant blight is assumed, (2) Black, subglobose sclerotia appear inside of diseased stems, (3) Colonies of isolates produced at 35℃ for 2 days are up to 70 mm in diameter. Rhizoctonia blight of yacon by *Rhizoctonia solani* : (1) Stem blight or whole plant blight is assumed, (2) Brown, coenocytic mycelia with dolipore septa (without clamp-connection) thickly grow inside of diseased stems. Charcoal rot of oca by *Macrophomina phaseolina* : (1) Stem blight or whole plant blight is assumed, (2) Black, subglobose sclerotia appear on diseased stems, (3) Colonies of isolates produced at 35℃ for 2 days are up to 70 mm in diameter. Foot rot of ulluco by *Pythium aphanidermatum* : (1) Stem blight, collapse or whole plant blight is assumed, (2) Isolates produce aplerotic oospores, which are formed by conjugation of 1 antheridium per oogonium, in their cottony colonies, (3) Oogonial stalks are straight toward antheridia.