

皇居吹上御苑のケカビ類 II

出川 洋介^{1*}・保坂健太郎²

¹筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所 〒386-2204 長野県上田市菅平高原1278-294

*E-mail: degawa@sugadaira.tsukuba.ac.jp

²国立科学博物館植物研究部 〒305-0005 茨城県つくば市天久保4-1-1

Mucoromycota Fungi Collected at the Imperial Palace, Tokyo II

Yousuke Degawa^{1*} and Kentaro Hosaka²

¹Sugadaira Research Station, Mountain Science Center, University of Tsukuba,
1278-294 Sugadaira-kogen, Ueda, Nagano 386-2204, Japan

*E-mail: degawa@sugadaira.tsukuba.ac.jp

²Department of Botany, National Museum of Nature and Science,
4-1-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-0005, Japan

Abstract. A survey was conducted at the Imperial Palace, Tokyo on fungi commonly referred to as zygomycetes, which are currently classified into two phyla, Mucoromycota and Zoopagomycota. In a previous survey, a total of 12 zygomycetous species belonging to 2 phyla, 3 subphyla, 3 orders, and 7 families had been recorded by 2014. In the present survey, 12 species belonging to the family Mortierellaceae (order Mortierellales, subphylum Mortierellomycotina) were newly confirmed. In particular, two *Mortierella* species abundantly found in dry soil within stone wall crevices are new records for Japan and may represent relatively rare species, as only a limited number of reports exist worldwide.

Keywords: dry soil, *Mortierella*, new to Japan, stone wall crevices, zygomycetes.

はじめに

著者らは2014年に、皇居吹上御苑のケカビ類について調査し12種を報告した(出川ら, 2014)。当時、“接合菌類”は側系統群であることから、門を認めずに4亜門に分割すべきという体系が適用されていたが、Spatafora *et al.* (2016)の192の蛋白質の遺伝子に基づくファイロゲノミクスにより接合菌門はケカビ門とトリモチカビ門の2門に分けるのが妥当という結論に達し、現在に至っている。今期の皇居の生物相調査の一環として菌類調査に参加する機会を得て、日本新産の接合菌類を検出したことから、ここに報告する。出川ら(2014)では、ケカビ門ケカビ目の5科8種、クサレケカビ目の1科2種、トリモチカビ門アセラリア目の1科

2種を報告した。クサレケカビ目はケカビ門のクサレケカビ亜門に位置づけられるが、今回の調査までに計12種が確認された。本邦では城郭の石垣間隙の砂質の土壌や蘚苔類、地衣類コロニーのような特殊基質から分離された*Mortierella*属菌の2種について報告する。

調査方法

2024年1月29日、2025年6月26日、2025年9月8日の3回、皇居吹上御苑内および隣接する外苑の和田倉門において、土壌および糞、リターなどのサンプリングを行った。また、これらの現地調査日程以外に、管理部庭園課職員からのサンプルの提供も頂いた。野外で直接、接合菌類の発生して

いるサンプルは、出川ら(2014)と同様、乾燥サクラエビをバイトとした温室釣菌法、および、コーンミール寒天培地(島津ダイアグノスティクス)、パブルム寒天培地(Pabulum 0.5 g, Agar 2.0 g/1L DW)上への直接接種法により粗培養をし、実体顕微鏡ならびに光学顕微鏡で観察した。孢子嚢や厚壁孢子を火焰滅菌した針で分離し、純粋培養菌株を確立して、光学顕微鏡で観察し、同定を行った。分離菌株は、NBRCに寄託した。

結果と考察

今回、多様なケカビ類を検出するべく、幾つかの特定基質の検討を行った。ケカビ亜門のケカビ目コウガイケカビ科の検出を意図して、6月、8月にムクゲをはじめ多様な落花、樹上の枯死花の採集と温室培養を行ったが、残念ながら同科の菌類は検出できず、既報(出川ら, 2014)のケカビ目クモノスカビ科の*Rhizopus stolonifera*、ならびに子嚢菌門ユーロチウム目コウジカビ科のコウジカビ属の複数種が多発した。また、同ケカビ目ミズタマカビ科の検出のために、管理部車馬課主馬班のご協力により飼育されているウマの糞、ならびに皇居内に生息するタヌキ、ハクビシンなどの糞を培養したがこれらの菌は出現しなかった。トリモチカビ門ハエカビ亜門の*Basidiobolus*属の検出を意図して、庭園課職員の協力で、駆除された外来種のウシガエル個体を提供して頂き、腸管内容物を摘出して培養したが同属菌は出現せず、子嚢菌門の無性生殖ステージ*Acremonium* sp.のみが検出された。本報告では、今回の調査で明らかになったケカビ門クサレケカビ亜門クサレケカビ目の1科2種を報告する。

Mucoromycota ケカビ門
Mucoromycotina ケカビ亜門
Mucorales ケカビ目

Mortierellaceae クサレケカビ科

Vandepol *et al.* (2020) らは、クサレケカビ科について、低カバレッジゲノムシーケンシング(LCG)と多重標的アンプリコンシーケンシングの双方を並行して解析することにより、ゲノムベースで支持された科全体の系統樹を構築することに成功し、13の単系統群に対して、独立属(7新属を含む)を充てる分類体系を発表した。しかし、これ

らの13属は、表現型に基づく定義はなされておらず、個々の属には、多様な形態的特徴を有す種が寄せ集められた状況になっている。更にこの体系が提唱されて以後、分子系統解析の結果のみに基づく同定は容易となった反面、十分に形態が吟味されずに分子データに基づく複数の新種や新属が発表されており、本科の多様性は体系的に把握し辛い状況にある。本科には当初予想されているよりもはるかに未記載種が多く、属内の多様性の全貌が把握されているとは言い難い現段階で、属を分割するのは時期尚早と考えられることから、本稿では *Mortierella* 属内を孢子嚢柄の分枝様式や孢子嚢中の孢子数などの形態的特徴に基づき9節に区分する従来の分類体系(Gams, 1969)に従って同定し、学名も従来の学名(Gams, 1977)を適用し Vandepol *et al.* (2020) による新組み合わせの学名はその異名としてみなす立場を取った。

Sect. *Schmuckeri* Gams

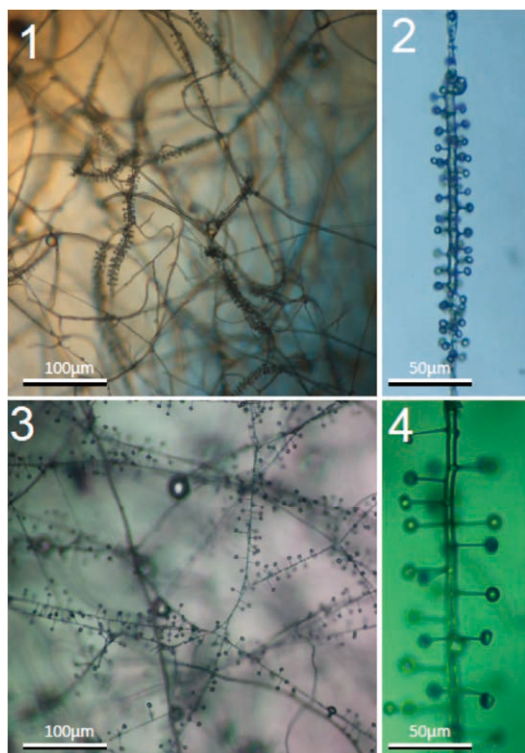
本節は、気中菌糸上に短い柄が並列に密集して生じ、単孢子性の小孢子嚢を生じるという形態的特徴により定義される。3種が知られるが、いずれも日本からは正式には報告されていなかった。

1. *Mortierella clausenii* Linnem., Arch. Mikrobiol. 30: 265 (1958)

(Figs. 1, 2)

2025年9月8日北堰通りおよび和田倉門石垣間隙の乾燥土壌、蘚苔類、地衣類コロニーより出現。NBRC 寄託予定。

本種は、Linneman (1958) により、当初、スイスの Ticino, Cavigliano, Centovalli 標高 300 m 地点のクリ樹下の pH4.7 の土壌より分離され、Marburg 大学の Peter Heinrich Claussen 教授に献名され新種記載された。以後、北米のテーダマツの切り株の樹皮、マイマイガの卵塊よりの分離例があるが稀な種である。直伸する気中菌糸にごく短い柄を密に生じ、亜球形の小孢子嚢胞を一個ずつ生じる。培養時、強いニンニク臭を生じる。石垣上に着生した蘚類のギボウシゴケ属および、地衣類のハナゴケ属のコロニー塊より発生が認められた。著者は1992年に本種を長野県上田市菅平高原の茅葺屋根上の蘚類・地衣類コロニーならびに茅片(スキの断片)より検出し、以後、山梨県、神奈川県ほか、全国の茅葺民家の屋根より繰り返し本種を見出してきた。また、茅葺屋根サンプルに比較す



Figs. 1, 2. *Mortierella clausenii* Linnem. 1. 栄養菌糸より立ち上がった気中菌糸状に短い柄を密生してその先端に生じた単胞子性小胞子囊; 2. 胞子形成部の拡大.

Figs. 3, 4. *Mortierella schmuckeri* Linnem. 3. 培地中に錯綜する直伸状の気中菌糸より小柄を生じ、その先端に生じた単胞子性小胞子囊; 4. 胞子形成部の拡大.
スケール, 1, 3 = 100 µm; 2, 4 = 50 µm.

ると頻度は低いものの、城郭の石垣間隙の土壤からも次の *M. schmuckeri* と混生して発生することがあった。なお、本種は Vandepol *et al.* (2020) の分類体系には採録されておらず系統的位は未定である。近年、Hou (2008) により、産業的に有用な脂質代謝能を有することが指摘されている。

2. *Mortierella schmuckeri* Linnem., Arch. Mikrobiol. 30: 263 (1958)

≡ *Linnemannia schmuckeri* (Linnem.) Vandepol & Bonito, in Vandepol, Liber, Desiró, Na, Kennedy, Barry, Grigoriev, Miller, O'Donnell, Stajich & Bonito, Fungal Diversity 104: 283 (2020)

(Figs. 3, 4)

2025年9月8日北堰通りおよび和田倉門石垣間隙の乾燥土壤より出現。NBRC 寄託予定。

本種はメキシコの Queretaro のウチワサボテン下の pH6.7 の土壤より分離された株に基づき、Linnemann (1959) により、ゲッティンゲン大学の Theodor Schmucker 教授に献名され新種記載された。Carreiro and Koske (1992) は本種の温度適性を調査し、低温嗜好性ではないかと推定している。また、Westerdijk 菌類研究所 (旧 CBS) には、インドの溪谷の土壤、北米ワイオミング州のショーション国有林 (標高 2500m) のベイマツ樹下の土壤よりの分離株が保管されている。著者はパキスタンの乾燥草原、ハワイ島コハラ半島のウチワサボテン樹下の土壤からも本種を高頻度に確認してきた。また、国内では長野県の上田城の城郭で検出して以後、小倉城から弘前城に至る日本各地の城郭の石垣の間隙の乾燥した砂質土壤より繰り返し確認されており、頻度は低いが茅葺屋根からも確認されることがある。気中菌糸から、直角に短い分枝を密に生じる糸状菌の *Verticillium* 属などに類似した特徴的な胞子囊柄の分枝様式は、*M. camargensis* と類似するが、後者は胞子が粗面であるのに対して本種は平滑である点で明瞭に区別できる。これら 2 種は Vandepol *et al.* (2020) や Telagathoti *et al.* (2022) による系統樹上でも近縁な関係にあった。しかし Gams (1969) の体系における *Hygrophila* 節の *M. zychae*, *M. hyalina*, *M. elongata*, *Spinosa* 節の *M. exigua*, *M. gamsii* などの種とともに単系統群をなし、これらに対して *Linnemannia* 属が提唱されたが、共通する表現型の特徴抽出は全くできておらず、分子系統解析無しでは、この属への帰属の判断は不可能な状況になっている。*Mortierella alpina* とともに脂質生産能が注目されており、近年、ゲノムが決定されその代謝経路に関する考察もなされている (Zhao *et al.* 2022)。

なお、3種が知られる *Schmuckeri* 節の *M. camargensis* は、日本からは未だ発見されていない。この種はフランス南部のカマルグ自然公園の湿原地帯の砂質土壤から分離された菌株に基づいて記載されたが (Gams and Moreau, 1959), 旧 International Mycological Institute の菌株コレクションに所蔵された同種の菌株の分離源がイギリスの葺き屋根と表記されていたことから、著者は 2002 年に、オランダの Soest の葺き屋根のリター片を培養したところ、同種が確認され、同菌株は現在も Weterdyke 研究所に CBS110638 として保存されている。2010 年に Walter Gams 博

士は、やはりオランダの Vierhouten の葦き屋根より本種を分離し保管しているが(CBS128005)、欧州の葦き屋根にはヨシ類(*Phragmites australis*)が用いられることが多く、同種はヨシ類のリターに嗜好性を持つ種である可能性があり、今後本邦での調査が望まれる。他方、同種は南米チリの乾燥環境下のマツ属植物リターからも高頻度に分離されている(Tokumasu, 1990)。同種は、本邦の茅葺屋根や城郭石垣間隙土壌からは全く出現が認められず、上述の2種とは生息地の要因が若干、異なっている可能性がある。

付 記

Mucoromycotina ケカビ亜門

Mucorales ケカビ目

Syzygitaceae フタマタケカビ科

Syzygites megalocarpus Ehrenb., Sylv. mycol. berol. (Berlin): 25 (1818)

和名：フタマタケカビ

(Fig. 5)

2025年10月14日吹上御所内で庭園課職員により採集されたオニフスベ(*Calvatia nipponica*)の子実体上に発生。TNS F-110981, NBRC 寄託予定。

本種に関しては2012年10月12日の調査時に、中島淳志氏が果樹園付近の草地に生じていた *Agaricus* sp. 上に発生した菌体を既に報告している(出川ら, 2014)。今回、オニフスベの子実体を室温で紙箱内で保管中に子実体上に顕著な本種の発生が認められた。おそらく、既にオニフスベの

実体内に感染していた本菌が孢子形成をしたものと思われる。オニフスベよりの本種の発生例は比較的珍しいものと思われるため、標本、菌株を保管して、ここに報告しておく。前報告でも述べた通り、本種の接合孢子は核融合や減数分裂を伴わずに単為的に形成されるものであり栄養菌糸が菌糸融合もしないことから、地域的な分化が進んでいる可能性もある。今後、各地からの複数菌株を集めて、種内での遺伝的分化状況を解析する必要がある。本種の孢子嚢は近縁のクモノスカビ属同様に乾生で、孢子嚢壁が早期に消失し、孢子嚢孢子が風により分散すると考えられるが、孢子嚢孢子の耐久性はクモノスカビ属に比較すると弱く、斜面培地上で1年ほど保存しただけでも死滅する。培養下では通常培地上で良好に腐生的に生育するが、野外では大型菌類の子実体からしか検出されず、受動的な風分散のみで孢子散布をしているのか疑問である。本種ならびに、同科に属す近縁の昆虫生菌 *Sporodiniella umbellata* や、落花等に生じる *Rhizopus* 属の一部の種では、基質上に旺盛に孢子嚢柄が生じている際、基質に小型のハエ類が訪れていることが多く、今後、動物付着分散の可能性についても検証していく必要がある。

謝 辞

宮内庁庭園課の職員各位にはサンプリング調査に際して大変お世話になりました。独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)バイオテクノロジーセンター(NBRC)の森谷千星氏、稲葉重樹氏には菌株の寄託に際して大変お世話になりました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

引 用 文 献

- Carreiro, M. M. and R. E. Koske, 1992. Room temperature isolations can bias against selection of low temperature microfungi in temperate forest soils. *Mycologia*, **84**(6): 886–900.
- Gams, W., 1969. Gliederungsprinzipien in der Gattung *Mortierella*. *Nova Hedwigia*, **18**: 30–43.
- Gams, W., 1977. A key to the species of *Mortierella*. *Persoonia*, **9**: 381–391.
- Gams, W. and R. Moreau, 1959. Le genre *Mortierella* Coemans. *Annales Scientifiques de l'Université de Besançon Botanique*, **3**: 95–105.



Fig. 5. オニフスベの子実体上に発生した *Syzygites megalocarpus* Ehrenb. の孢子嚢柄。

- Hou, C. T., 2008. Production of arachidonic acid and dihomo-gamma-linolenic acid from glycerol by oil-producing filamentous fungi, *Mortierella* in the ARS culture collection. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, **35**(6): 501–506.
- Spatafora, J. W., Y. Chang, G. L. Benny, K. Lazarus, M. E. Smith, M. L. Berbee, G. Bonito, N. Corradi, I. Grigoriev, A. Gryganskyi, T. Y. James, K. O'Donnell, R. W. Roberson, T. N. Taylor, J. Uehling, R. Vilgalys, M. M. White and J. E. Stajich, 2016. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, **108**(5): 1028–1046.
- Telagathoti, A., M. Probst, E. Mandolini and U. Peintner, 2022. *Mortierellaceae* from subalpine and alpine habitats: new species of *Entomortierella*, *Linnemannia*, *Mortierella*, *Podila* and *Tyroliaella* gen. nov. *Studies in Mycology*, **103**: 25–58.
- Tokumasu, S., 1990. Microfungi from coniferous leaf litter of Chile. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series B*, **16**: 135–145.
- Vandepol, N., J. Liber, A. Desirò, H. Na, M. Kennedy, K. Barry, I. V. Grigoriev, A. N. Miller, K. O'Donnell, J. E. Stajich and G. Bonito, 2020. Resolving the *Mortierellaceae* phylogeny through synthesis of multi-gene phylogenetics and phylogenomics. *Fungal Diversity*, **104**: 267–289.
- Zhao, H., Y. Nie, Y. Jian, S. Wang, T.-Y. Zhang and X.-Y. Liu, 2022. Comparative genomics of *Mortierellaceae* provides insights into lipid metabolism: two novel types of fatty acid synthase. *Journal of Fungi*, **8**(9): 891.
- 出川洋介・陶山 舞・瀬戸健介・中島淳志・森下奈津子・細矢 剛・保坂健太郎, 2014. 皇居吹上御苑のケカビ類. 国立科学博物館専報, No. **49**: 147–169.