

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K07238

研究課題名(和文) 昆虫から植物へバツカクキン科菌類の進化過程解明と生物資源としての日本産菌株確立

研究課題名(英文) Elucidation of evolutionary process of clavicipitaceous fungi, and establishment of Japanese isolates as biological resources

研究代表者

田中 栄爾 (Tanaka, Eiji)

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：50433199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日本産の植物寄生性バツカクキン科菌類について新たに多数の標本と分離菌株を得た上で、分類学的検討や多遺伝子座系統解析をおこなった。分類学的には、ツユクサ科植物を宿主とするバツカクキン科菌類をはじめて明らかにして新属 *Commelinaceomyces* 属を記載し、1 新種記載を含む *Aciculosporium* 属菌の整理をおこなった。また、タイプ標本がほとんど失われていた日本産 *Claviceps* 属菌の既知種(13種7変種)のほぼ全てを再採集し分類学的整理を進めている。系統解析結果からは、バツカクキン科内の昆虫寄生性から植物寄生性へのホストジャンプによる進化が2回独立に起きたことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって日本産植物寄生性バツカクキン科菌類の分類学的に確実な標本と菌株が利用できる状態になった。このことから、今後の本菌群の分類学的基盤となるだけでなく、本菌類の二次代謝産物を用いた生理活性物質の研究が促進される。これらの二次代謝物は医薬品などに応用されることが期待される。一方、本研究ではバツカクキン科内における植物寄生性への進化過程を明らかにした。この進化には植物寄生能獲得に關与する遺伝子があることを示唆する。植物寄生能獲得に關与する遺伝子が明らかにされれば、植物病害防除に応用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we obtained many new specimens and isolates of plant-parasitic clavicipitaceous fungi from Japan, and conducted taxonomic studies and phylogenetic analyses based on multiple loci. Taxonomically, we described a new genus *Commelinaceomyces*, which is the first description of a clavicipitaceous fungi that parasite Commelinaceae, and organized *Aciculosporium* fungi, including description of one new species. We are also proceeding with the taxonomical revision of *Claviceps* species from Japan. Phylogenetic analyses suggested that the evolution from animal to plant parasitism within the Clavicipitaceae occurred twice independently.

研究分野：微生物生態学

キーワード：植物寄生性 生物資源 進化 植物病理 分類 バツカクキン科 分子系統解析 二次代謝物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バツカクキン科(Clavicipitaceae:子囊菌)の菌類は、イネ科を中心とした植物に寄生するもの(バツカクキンなど)と、昆虫を中心とする無脊椎動物に寄生するもの(冬虫夏草など)に大きく分かれる。申請者らの系統解析(12)によって、バツカクキン科の植物寄生菌は単系統群であり、*Metarhizium*のような昆虫寄生菌の中から植物へ宿主を大きく移行(ホストジャンプ)した菌群であると推定されている。しかし、この単系統性は十分に支持されていないことから、昆虫類から植物へのホストジャンプへの進化過程にはミッシングリンクとなっている種が存在していると考えられる。

バツカクキン科の植物寄生菌には、バツカクキン(*Claviceps purpurea*)、グラスエンドファイト類(*Epichloë* spp.)、稲こうじ病菌(*Villosiclava virens*)など既に薬理作用や昆虫毒性、抗癌剤などの生理活性物質を生産することが知られている種が多く、これらの菌は薬用資源や生物農薬として利用されている。しかし、生物資源として活用されているバツカクキン科菌類は作物や牧草に寄生する一部の種にすぎない。日本発の研究としては、稲こうじ病菌の産するウスチロキシン類の抗癌作用が解析され化学的にも全合成されている事例だけが目立つ。

生物資源として諸外国の菌類資源を自由に利用することが制限されている現在では、日本産の菌類資源を活用することが期待される。ところが、日本産のバツカクキン科植物寄生菌は、分類学的な記載のみをさただけで標本がないものや、標本があっても培養菌株がないものも多く、さらに未記載種も多い。このため、たとえ採集したとしても、外来の既知種なのか日本独自の種であるのか判断が難しい。すなわち日本産のバツカクキン科植物寄生菌を生物資源として活用するためには、分類学的に確実な標本と菌株を得たうえで、既知の種との系統的位置づけを明確にし、それらの情報を利用できる状態にする必要がある。

2. 研究の目的

バツカクキン科の菌類は生理活性物質を生産する生物資源として認知され広く利用されている。ところが、日本産のバツカクキン科植物寄生菌については、分類学的に知られている種だけでもほとんど活用されていない。そこで本研究では、日本産バツカクキン科植物寄生菌を整理し、分類学的に確実な標本や菌株を確立して生物資源として広く利用できる状態にすることを目的とする。さらに、これらの菌種のDNA解析にともなって系統的位置づけを明確にし、バツカクキン科内で昆虫から植物へのホストジャンプが起きた進化過程を解明する。

3. 研究の方法

日本産バツカクキン科植物寄生菌について、すでに採集した標本や新たに採集する標本を基に既往の文献や標本と比較し、新たな分類群の命名記載や分類学的に確実な標本の指定をおこなう。それらの菌株のDNA塩基配列データ解析や二次代謝物の解析をおこなうとともに、菌株保存機関に寄託する。さらに、バツカクキン科内で昆虫から植物へのホストジャンプが起きた進化過程を解明するために、複数遺伝子座を用いた分子系統解析をおこなう。

4. 研究成果

1. ツユクサ科に寄生するバツカクキン科菌類の新属記載

ツユクサ科のイボクサの花に寄生する *Ustilago aneilematis* とされていた種について、形態情報と系統解析からバツカクキン科に属する種であることを確認し、本菌をタイプ種として新属 *Commelinaceomyces* を提唱し、本属の下に4種を転属記載した(1)。

2. 日本産 *Claviceps* spp. の分類学的再検討

Claviceps 属菌(バツカクキン)は主にイネ科植物の小花に菌核を形成するバツカクキン科の菌であり、基準種の *C. purpurea* は古来から薬用資源として利用されている。これまで知られていた日本産のバツカクキンは13種7変種であり、そのうち8種7変種が日本産の標本がタイプとして指定されていた。ところがそのうち1種を除いてタイプ標本が失われていた。申請者はこれらの日本産の種の再採集を試み、ほぼ全てを採集し、分類学的検討をすすめている。

3. *Aciculosporium* 属菌の新種記載およびネオタイプ指定

日本で新属新種として1907年に記載された *Aciculosporium take* Miyake はタイプ指定されていないが有効名である。そこで本菌のネオタイプを指定し、リファレンス標本とリファレンス標本由来株を指定した。また、新種 *Aciculosporium oplismeni* を記載した(2)。

4. バツカクキン科植物寄生菌の二次代謝産物の分析

バツカクキン科植物寄生菌は麦角アルカロイド類、テルペン類、サイクリックペプチドなどの生理活性物質を二次代謝物として産生する。これまで日本産の *Claviceps* 属菌のアルカロイド分析

や *Aciculosporium take* の二次代謝物を分析した。そのうち、*A. take* はサイクリックジペプチドを産生することを報告した(2)。

5. ホストジャンプの進化過程の推定

バツカクキン科の植物寄生菌は単系統群であると推定されていた。すなわち、進化の過程で昆虫寄生菌から植物寄生菌へホストジャンプが1度起きて、その後、イネ科植物を中心とした植物を宿主として適応放散したと考えられていた。申請者は、多遺伝子座を用いた分子系統解析により、*Commelinaceomyces* 属や *Villosiclava* 属が単系統群を形成し、*Claviceps* 属や *Aciculosporium* 属が含まれる既知の単系統群に含まれないことを明らかにした。すなわち、バツカクキン科内で昆虫寄生菌から植物寄生菌へのホストジャンプによる進化は2回独立に行われたことを示唆する(1)。

< 引用文系 >

- (1) Tanaka et al. (2020) *Commelinaceomyces*, gen. nov., for four clavicipitaceous species misplaced in *Ustilago* that infect Commelinaceae. *Mycologia*. 112(3): 649–660.
- (2) Tanaka et al. (2021) Revision of the genus *Aciculosporium* (*Clavicipitaceae*) with a description of a new species on wavyleaf basketgrass, and proline-containing cyclic dipeptide production by *A. take*. *Mycoscience*. 62(3): 166-175.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Eiji Tanaka, Bhushan Shrestha, and Roger G. Shivas	4. 巻 -
2. 論文標題 Commelinaceomyces, gen. nov., for four clavicipitaceous species misplaced in Ustilago that infect Commelinaceae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mycologia	6. 最初と最後の頁 649 - 660
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00275514.2020.1745524	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Eiji Tanaka, Tomoo Hosoe, Yousuke Degawa, Miroslav Kolarik	4. 巻 62
2. 論文標題 Revision of the genus Aciculosporium (Clavicipitaceae) with a description of a new species on wavyleaf basketgrass, and proline-containing cyclic dipeptide production by A. take	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mycoscience	6. 最初と最後の頁 166 - 175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.47371/mycosci.2021.01.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Eiji Tanaka
2. 発表標題 Clavicipitaceous fungi on Commelinaceae, which have been recognized as smut fungi.
3. 学会等名 Asian Mycological Congress 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中栄爾
2. 発表標題 バツカクキン科内における植物寄生性菌群の進化過程
3. 学会等名 日本植物病理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中栄爾・出川洋介
2. 発表標題 チヂミザサを宿主とするAciculosporium属の未記載種
3. 学会等名 日本菌学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井悠路・若菜大悟・武田 尚・田中栄爾・細江智夫
2. 発表標題 再分類された国産麦角の麦角アルカロイド分析
3. 学会等名 日本マイコトキシン学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中栄爾
2. 発表標題 バツカクキン科内における植物寄生性菌群の進化過程
3. 学会等名 日本植物病理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiji Tanaka
2. 発表標題 Diversity of Japanese ergot fungi, <i>Claviceps</i> spp., inferred by phylogenetic analysis.
3. 学会等名 International Mycological congress 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中栄爾・棚田一仁
2. 発表標題 日本産バツカクキン <i>Claviceps purpurea sensu lato</i> の分類学的考察
3. 学会等名 日本植物病理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eiji Tanaka
2. 発表標題 Phylogenetic analysis of ergot fungi, <i>Claviceps</i> spp., in Japan to re-evaluate taxonomy
3. 学会等名 Asian Mycological Congress 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 棚田一仁・田中栄爾
2. 発表標題 日本産バツカクキン <i>Claviceps purpurea</i> の分類学的再検討
3. 学会等名 日本菌学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中栄爾・棚田一仁・月星隆雄・高井智之・原田幸雄
2. 発表標題 日本産ソルガム麦角病菌の系統解析と近縁種の分類学的考察
3. 学会等名 日本植物病理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中栄爾
2. 発表標題 岩手県と奄美大島で採集した3種のバツカクキン
3. 学会等名 日本菌学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井悠路・若菜大悟・武田尚・田中栄爾・細江智夫
2. 発表標題 国内バツカク菌の人工培養による麦角アルカロイド産生能に関する検討
3. 学会等名 日本薬学会関東支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中栄爾
2. 発表標題 北陸地域のバツカクキン (Claviceps spp.) について
3. 学会等名 北陸病害虫研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	細江 智夫	星薬科大学・薬学部・教授	
	(Hosoe Tomoo)		
	(10287849)	(32676)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オーストラリア	University of Southern Queensland			
韓国	International St. Mary ' s Hospital			
チェコ	Czech Academy of Sciences			