

発光性倍脚類タカクワカグヤヤスデ *Paraspirobohus lucifugus* の宮古島からの新産地記録

大場裕一^{1,2)}・鈴木義基¹⁾・金郁彦¹⁾

¹⁾名古屋大学大学院生命農学研究科, 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

²⁾中部大学応用生物学部環境生物科学科, 〒487-8501 春日井市松本町1200

A new locality of the luminous millipede *Paraspirobohus lucifugus* in Miyako Island, Okinawa Pref., Japan.

Yuichi OBA^{1,2)}, Yoshiki SUZUKI¹⁾, Ikuhiko KIN¹⁾

¹⁾Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

²⁾Department of Environmental Biology, Chubu University, Kasugai 487-8501, Japan

Abstract: Bioluminescence in millipedes (Diplopoda) has been reported from 3 genera and 11 species in the world. In Japan, of which single species *Paraspirobohus lucifugus* (Takakuwa-Kaguya-Yasude, in Japanese) was reported to be distributed in the mainland of Okinawa. Here we report the new distribution record of this species in Miyako Island, where 290 km far from the mainland of Okinawa. DNA barcoding analysis revealed that these two populations are not genetically diverged.

キーワード: タカクワカグヤヤスデ, 新産地記録, 宮古島, 生物発光

Key words: *Paraspirobohus lucifugus*, New locality, Miyako Island, Bioluminescence

はじめに

倍脚綱 (Diplopoda) は世界に約 12,000 種があるとされるが、そのうち明らかに発光することがわかっているものは、北米産の *Moxyia* 属 (ババヤスデ科 *Xystodesmidae*) の 9 種を除くと、コスモポリタン種のタカクワカグヤヤスデ *Paraspirobohus lucifugus* (カグヤヤスデ科 *Spirobolellidae*) とニューカレドニアで見つかった *Dinematocricus* sp. (フトヤスデ科 *Rhinocricidae*) の 2 種のみである (Haneda, 1967; Oba *et al.*, 2017)。このうち、日本に分布するのはタカクワカグヤヤスデ 1 種だけであり、その分布が報告されているのは沖縄本島のみであった。今回、タカクワカグヤヤスデ 1 頭を宮古島から採取したので報告する。

タカクワカグヤヤスデの和名 (篠原 & 比嘉, 1997) をもつ種は、もともと台湾 (台北) 産の個体から *Spirobolellus takakawai* として記載された (Wang, 1961; 論文中の *Spirobolellus takakawai* の綴り表記は誤り)。なお、この原記載論文中には、本種がマイクロネシアのトラック島で羽根田弥太博士により発見された近縁種カグヤヤスデ *Spirobolellus phosphoreus* (Takakuwa, 1941) と異なり発光しないことが記されているが (Wang, 1961)、のちに篠原と比嘉によって沖縄本島にも産すること、また刺激により発光することが報告された (篠原 & 比嘉, 1997) 現在は、*S. phosphoreus* も含めて世界中に分布するコスモポリタン種 *P. lucifugus* のシノニムとされている (Jeekel, 2001)。

分布は主に熱帯性であると考えられるが、パリ (フランス)、ハンブルク (ドイツ) アムステルダム (オランダ)、コペンハーゲン (デンマーク)、最近ではイギリス・コーンウォール州の有名なエデン・プロジ

エクトのバイオーム内など、ヨーロッパ各地の温室などからも報告がある (Read, 2008; Stoev *et al.*, 2010). 日本では、篠原と比嘉によって沖縄本島東風平 (こちんだ) 町 (現在の八重瀬町) 志多伯から 12 個体が採取されたあと (篠原&比嘉, 1997), 1996 年 11 月にも東風平町のサトウキビ畑 (Kuwahara *et al.*, 2002) の周縁部 (桑原, 1999) で 5 個体が採取されている. 著者のひとり (大場) は, 比嘉ヨシ子氏より 2010 年 9 月 15 日に沖縄本島八重瀬町字富盛 (ともしり) の雑木林で採集された数十個体を譲り受けている. 比嘉氏によると, これらの個体は堆積した落葉層 (5 ~ 10 cm) およびその下の土中 (1 cm) のところに生息していたという (比嘉ヨシ子氏, 私信). 発光する様子の撮影および *COI* 遺伝子の解析はこのときの試料を用いて行われた (Oba *et al.*, 2011). また, 著者のひとり (大場) は 2016 年 11 月 19 日にも富盛の住宅地の空き地 (比嘉氏の採集された場所の付近) で落葉層の下から 62 個体 (体長 12 ~ 20 mm) を採集している.

本種の発光形質については, 過去の記録では「頭と触角と脚以外の全身が弱く青白色に光り, その発光は刺激により強まった」(Haneda, 1967), 「刺激によって変化しなかったが全身が弱く発光」「光は細胞内発光であって, ムカデのように発光液を分泌はしなかった」(羽根田, 1985), 「興奮させると頭部が光る」(桑原, 1999) などさまざまであるが, 著者らの高感度撮影による観察では, 物理的的刺激 (ピンセットによる圧迫) および化学的的刺激 (クロロホルム) などにより体節と体節の間が青緑色に発光するのが見られた (Oba *et al.*, 2011). 発光液の分泌はいずれの刺激方法においても観察されなかった. なお, 本種の発光するようすの写真で公開されているものは, 著者 (大場) の撮影したもの以外には今のところ見当たらない (Oba *et al.*, 2011; 大場, 2013; Oba and Schultz, 2014; 大場, 2015; 大場・総監修, 2015).

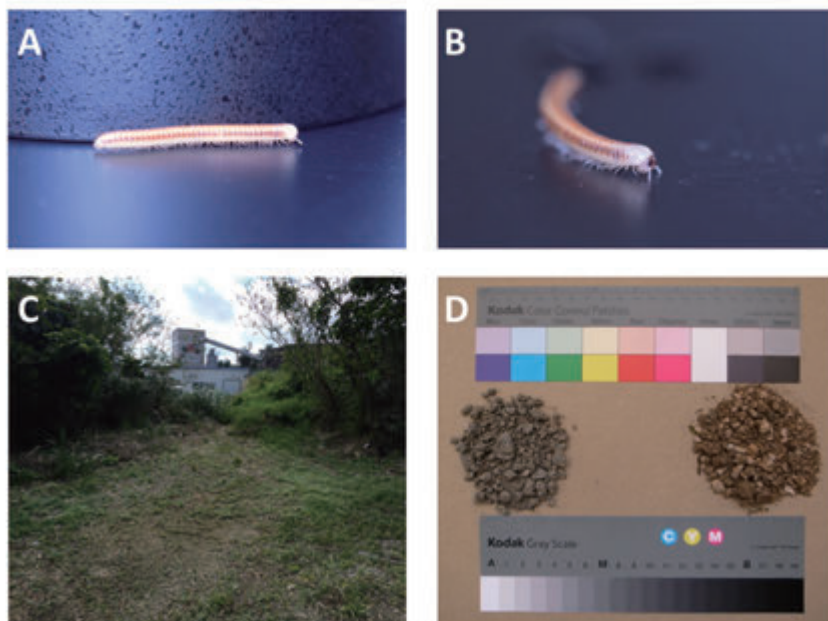


図 1. (A & B) 宮古島産タカワカゲヤヤスデの生体 (撮影: 別所学). (C) 採集地の全景 (写真は採集日に撮影: 撮影: 鈴木義基). (D) 2016 年に沖縄本島 (富盛) で採取された場所の土 (左) と宮古島 (平良下里) で採取された場所の土 (右). 土はどちらも乾燥後に撮影した.

Figure 1. (A & B) Living specimen of *Paraspirobolus lucifugus* collected at Miyako Isl. (Photo by Manabu Bessho). (C) Collection localities photographed at the same day as collection date (Photo by Yoshiki Suzuki). (D) The soils from the collection location of Tomori in Okinawa Main Island (left) and Hirara-Shimozato in Miyako Island (right). Soils were dried before taking photography.

方法と結果

種名：タカワカグヤスデ *Paraspirobolus lucifugus* (Gervais, 1836)

採集個体：1 個体（歩行時の体長 26 mm）(Figure 1A, B)

採集日時：2016 年 2 月 28 日午前 11 時頃

採集地：沖縄県宮古島市平良下里（ひららしもごと）

採集者：鈴木義基

採集場所は、下地自動車板金塗装に隣接した低木の繁茂した空き地で (Figure 1C)、著者のひとり (鈴木) が石を返したところ、1 頭が見つかった。種同定は、形態および DNA バーコード領域 (COI 部分配列) の遺伝子解析により行った。刺激により発光の確認を試みたが、発光が認められる前に死亡したため、そのまま 99.5% エタノールに浸し、4°C で保存した。

遺伝子解析には、エタノール標本から脚 3 本を切除し用いた。残った個体はそのままエタノール中 4°C に戻し、中部大学の標本冷蔵庫に保存している。

DNA は、QIAamp DNA mini kit (キアゲン社) を用いてプロトコル通りの方法で抽出した。PCR による COI バーコード領域 (658 塩基) の増幅は、DNA バーコード標準プロトコルが推奨する条件 (Ivanova *et al.*, 2006) に従って行った。プライマーは、LCO1490 と HCO2198 (Folmer *et al.*, 1994) を用いた。DNA ポリメラーゼは、SpeedSTAR HS (タカラバイオ社) を用いた。得られた PCR 産物は、BigDye Terminator kit v 3.1 (GE ヘルスケア社) と ABI Prism 3130 (GE ヘルスケア社) を用いたダイレクトシークエンス法により、両側から解析した。得られた 658 塩基の配列データは、GenBank に登録した (GenBank accession number LC194208)。

遺伝子解析の結果、これまでにデータのある沖縄本島産の個体 (GenBank accession number AB608779: Oba *et al.*, 2011) と 658 塩基が完全に一致していた。

考察

宮古島から、形態や色彩などからタカワカグヤスデと思われる 1 個体をサンプリングした。この個体を DNA バーコーディング解析した結果、沖縄本島産のタカワカグヤスデの DNA バーコードと 658 塩基が 100% 一致していたことから、タカワカグヤスデ *P. lucifugus* であると判断された。ただし、文献によると本種は体長 12-20 mm (Wang, 1961) あるいは大きなもので 19 mm まで (Stoev *et al.*, 2010) とされている。今回宮古島から採取された個体のサイズは歩行時の状態で 26 mm あったことから、かなり大型であったと考えられる。

沖縄本島南部と宮古島は、島尻マージと呼ばれるアルカリ性で褐色をした土壤が発達していることで共通しているが、八重瀬町富盛で採集した地点の土は灰色の粘土質であった (Figure 1D 左)。同様に、宮古島で今回見つかった個体があった地点の土も他の場所とは異なり褐色ではなかったが (Figure 1D 右)、富盛の土と比べてみるとやや赤みを帯びていた。宮古島では、褐色の土壤をした場所でも同様に調査を行ったが、それらの場所では本種を見つけることはできなかった。沖縄本島と宮古島は海洋で 290 km 隔てられているが、遺伝子解析の結果その両者の遺伝子配列が完全に一致したことから、遺伝的分化はほとんどないことがわかった。宮古島における本種は、人為的に土などと一緒に運ばれて分布を広げた可能性がある。

日本国内で見ついている発光ヤスデは本種が唯一であり、またこれまでは沖縄本島南部の限られた場所ではしか発見されたことがなかった。しかし、今回の発見により、宮古島以外にも本種が日本各地に分布している可能性が示唆された。もともと熱帯性の種であることから、その野外分布は琉球列島に限られる

かもしれないが、はじめに紹介したヨーロッパの例のように、温室であれば本州などでも今後見つかる可能性は十分にある。

日本国内で普通に見られる陸上発光生物というと、一般には誰しもホタルを想起すると思われるが、実際はホタルミミズ、イソミミズ、発光菌類、ザウテルアカイボトビムシなどは比較的どこにでも分布している (Oba *et al.*, 2011; 大場, 2015)。植物園の温室など一年中暖かく温度調節されている場所であれば、ヒラタヒゲジムカデなど熱帯性の発光生物が本州からも見つかるかもしれない。

謝 辞

宮古島の案内に関して、藤森憲臣氏 (中部大学応用生物学部) の協力を得た。宮古島での土壌のサンプリングについては、藤井直紀氏 (日本離島の螢探検隊) の協力を得た。八重瀬町富盛でのヤスデ採集については比嘉ヨシ子氏の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

引用文献

- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., Vrijenhoek, R. (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome *c* oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.*, **3**: 294-299.
- Haneda, Y. (1967) A fourth luminous millipede, *Dinematocrius* sp. from Noumea, New Caledonia. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, **13**: 1-4.
- Hebert P.D.N., Gywinska A., Ball S.L., deWaard J.R. (2003) Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond., B* **270**: 313-321.
- Ivanova, N.V., deWaard, J.R., Hajibabaei, M., Hebert, P.D.N. (2006) Protocols for High-Volume DNA Barcode Analysis. Barcode of Life website (www.barcodeoflife.org), 1-23.
- Jeekel, C. A. W. (2001) *Julus lucifugus* Gervais, 1836, a long overlooked name for a wide-spread synanthrope millipede (Diplopoda, Spirobolida, Spirobolellidae). *Myriapod Memoranda*, **3**: 39-43.
- Kuwahara, Y., Noguchi, S., Mori, N., Higa, Y. (2002) Identification of benzoquinones and hydroquinones as the secretory compounds from three species of Okinawan millipedes. *Jpn. J. Environ. Entomol.*, **13**: 117-124.
- Oba, Y., Branham, M. A., Fukatsu, T. (2011) The terrestrial bioluminescent animals of Japan. *Zool. Sci.*, **28**: 771-789.
- Oba, Y., Schultz, D. T. (2014) Eco-Evo Bioluminescence on Land and in the Sea. In: Thouand G. and Marks R. (Eds.). *Bioluminescence: Fundamentals and Applications in Biotechnology Vol. 1., Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 144. Springer, Heidelberg.
- Oba, Y., Stevani, C. V., Oliveira, A. G., Tsarkova, A. S., Chepumykh, T. V., Yampolsky, I. V. (2017) Selected least studied but not forgotten bioluminescent systems. *Photochem. Photobiol.* doi: 10.1111/php.12704.
- Read, H. J. (2008) Records of millipedes from Kew Gardens and the Eden Project, including descriptions of three species. *Bull. British Myriapod & Isopod Group*, **23**: 27-35.
- Stoev, P., Zapparoli, M., Golovatch, S., Enghoff, H., Akkari, N., Barber, A. (2010) Myriapods (Myriapoda), Chapter 7.2. *BioRisk*, **4**: 97-130.
- Takakuwa, Y. (1941) Eine neue leuchtende *Spirobolellus*-Art (Diplopoda) und eine neue *Lamyctes*-Art (Chilopoda). *Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa*, **31**: 84-87.
- Wang, Y.-H. M. (1961) Serica 1k. Millipedes of Taiwan-A new species of family Spirobolidae (Fig. 1). *Quart. J. Taiwan Mus.*, **14**: 141-142.

- 大場裕一 (2013) ホタルの光は、なぞだらけ. くもん出版.
- 大場裕一 (2015) 光るいきもの—陸のいきもの. くもん出版.
- 大場裕一 (総監修) (2015) 光る生き物 (DVD 付). 学研.
- 桑原保正 (1999) ヤスデの化学防衛. 環境昆虫学 (日高敏隆・松本義明, 監修) pp. 291-298.
- 篠原圭三郎・比嘉ヨシ子 (1997) 沖縄における発光ヤスデの初記録. *Edaphologia*, **59**: 61-62.
- 羽根田弥太 (1985) 発光生物. 恒星社厚生閣.