

ヤコウチュウは祖先的渦鞭毛虫なのか？
遊走子の形態と分子系統解析から探る

福田 康弘（金沢大・院自然科学・生命科学専攻）

Ancestral or not? Phylogenetic position of *Noctiluca scintillans* within dinoflagellates inferred from morphological and molecular analyses

Yasuhiro FUKUDA (Div. of Life Sci., Grad. Sch. of Natural Sci. and Technol, Kanazawa Univ.)

SUMMARY

Noctilucid protozoans are among the dinoflagellates that cause red tides. In this study, we have succeeded in observing new details of the complete life cycle of *Noctiluca scintillans*. Gametes of *Noctiluca* with a semi-spindle body shape retain not only two flagella that differ in length and motion, but also longitudinal and transverse grooves, as is typical of dinoflagellates, indicating that dinoflagellate-like characteristics are conserved in the gametes, although they are not present in the specialized trophonts. Although gametes retain two slightly differentiated flagella, they do not have the transverse flagellum with a highly specialized wavy ribbon and other accessories. In addition, noctilucae do not possess thecal plates, as with the ancient *Oxyrrhis* that also lacks them, although lacking thecal plates is a synapomorphic character of the Gymnodiniales. The primitive nature of these characteristics in noctilucae can be regarded as the ancestral characters of dinoflagellates. This view is supported by our phylogenetic analyses of a few protein-coding genes (such as β -tubulin or Hsp90), in which *Noctiluca* is placed in the most ancestral position after *Oxyrrhis* branching out. Based on this information, we presently conclude that after *Oxyrrhis* and *Noctiluca* diverged from the main line of dinoflagellates, a common ancestor of the more recent species of dinoflagellates might acquire their typical dinokaryotic characteristics.

【目的】ヤコウチュウ (*Noctiluca scintillans*)は、赤潮の原因生物となる海産の従属栄養を営む渦鞭毛虫である。ヤコウチュウは通常、栄養体 (Trophont) として生活する。しかし、低頻度で遊走子を形成する。ヤコウチュウの有性生殖過程を観察するにおいて、遊走子のみが典型的渦鞭毛虫の形質を持つようにみえた。そこで遊走子の形態を詳細に観察し、かつ、分子系統解析を行うことにより、渦鞭毛虫類におけるヤコウチュウの系統的な位置を考察する。

【材料と方法】石川県能登島、金沢港、および兵庫県淡路島で採取し、単離、株化したヤコウチュウ (strain name JSO, JKS, JAJ) を用いた。遊走子形成細胞は、培養中に低頻度で出現し、その遊走子形成細胞、遊走子、および接合子を光学顕微鏡で観察、記録した。また、遊走子をグルタルアルデヒドで固定し、走査型電子顕微鏡を用いて形態観察を行った。一方で、出現した遊走子を集め、DNAを抽出

し、複数のタンパク質遺伝子を用いて分子系統解析を行った。

【結果】ヤコウチュウの遊走子は鎧板を持たず、半紡錘形をしていた。また、遊走子に典型的渦鞭毛虫の特徴である縦溝と横溝を確認した。遊走子の縦溝は、細胞の平らな腹側のやや前部より（細胞長の2/3ほどの前より）から細胞後端まで伸びていた。横溝は、縦溝の開始点から半時計回り（細胞を前から見て）に3/4周していた。加えて、遊走子には典型的渦鞭毛虫と同様に2本の鞭毛を確認した。遊走子の2本鞭毛は、典型的渦鞭毛虫と同様、縦溝と横溝の開始点から伸びていた。しかし、その形態は、明らかに、典型的渦鞭毛虫のそれと異なっていた。遊走子の長鞭毛（典型的渦鞭毛虫の縦鞭毛に相当）はキルメン状の扁平な形態（長径300 nm 短径150 nm 長さ100 μ m）をなし、細胞後方へ伸びていた。この扁平

な長鞭毛の内部には1本の典型的鞭毛構造物と1本のチューブ状構造物があった。つまり、遊走子のキシメン状の長鞭毛は、鞭毛と、特殊化した繊維状構造物が膜によって覆われるという特殊な構造を持っていた。ヤコウチュウ遊走子の短鞭毛（横鞭毛に相当）は、光学顕微鏡では観察できたが、電子顕微鏡観察では多くの細胞で観察結果が異なっていた。この短鞭毛は、典型的渦鞭毛虫の横鞭毛と同様に、縦鞭毛伸長点のやや細胞前よりから横溝に向かって生えていた。しかし、鞭毛基部より直角に曲がり、細胞後方へ伸びていた。また、電子顕微鏡観察下では、多くの遊走子には非常に短く太い（直径500 nm, 長さ1000 nm）短鞭毛しか確認できなかった。長い短鞭毛（長さ60 μm）には、典型的渦鞭毛虫に見られる小毛は無かった。

タンパク質遺伝子を用いた分子系統解析では、ヤコウチュウは渦鞭毛虫類の中でオキシリスに次いで古い位置に分岐してきた。これは、SSU rDNAを用いた分子系統解析の結果とも一致した。

[考察] ヤコウチュウの遊走子には、縦横2本の溝や2本鞭毛といった典型的渦鞭毛虫と同様の形質があった。しかし、ヤコウチュウの長鞭毛は、他の渦鞭毛

虫では見られない特殊化した構造を持っていた。一方、遊走子の短鞭毛には、典型的渦鞭毛虫の横鞭毛にある、小毛等の微細構造が無かった。さらに、複数の遺伝子を用いた分子系統解析では、ヤコウチュウがオキシリスに次いで渦鞭毛虫類の中で祖先的な位置に分岐してくることも合わせると、以下の進化の過程が考えられる。ヤコウチュウは最も祖先的な渦鞭毛虫の一種であり、進化の早い段階で他の渦鞭毛虫と袂を分かち、長鞭毛の特殊化や栄養体の発達など独自の進化を行ってきた。しかし、その一方で、遊走子の細胞形態や、短鞭毛の構造など、祖先的な渦鞭毛虫の形質を残している。おそらく、祖先的な渦鞭毛虫の形態は、ヤコウチュウの遊走子の形態に近いと考えられる。

[文献]

- 1) Saunders, G.W., Hill, D.R.A., Sexton, J.P., Andersen, R.A., 1997. *Plant Syst. Evol.* 11 (Suppl.), 237-259.
- 2) Hohfeld, I., Melkonian, M., 1995. *Phycologia* 34, 508-513.
- 3) Fukuda, Y., Endoh H. 2006. *Eur. J. protistol.* 42, 209-219.