

「無翅昆虫類」の脱皮期における生殖生物学 ーデカトゲトビムシ *Tomocerus cuspidatus* Börner を用いた試みー (六脚類・トビムシ目・トゲトビムシ科)

福井 眞生子・富塚 茂和・藤田 麻里・町田 龍一郎

Makiko FUKUI¹⁾, Shigekazu TOMIZUKA²⁾, Mari FUJITA³⁾ and Ryuichiro MACHIDA³⁾: Reproductive biology of “Apterygota” in the molting stage: Preliminary study on *Tomocerus cuspidatus* Börner (Hexapoda: Collembola, Tomoceridae)*

¹⁾ Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, Bunkyo-cho 2-5, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

²⁾ Echigo Matsunoyama Museum of Natural Science “Kyororo”, Matsugichi 1712-2, Matsunoyama, Tokamachi, Niigata 942-1411, Japan

³⁾ Sugadaira Research Station, Mountain Science Center, University of Tsukuba, Sugadaira Kogen 1278-294, Ueda, Nagano 386-2204, Japan

Corresponding author: FM (fukui.makiko.me@ehime-u.ac.jp)

https://doi.org/10.60372/paesj.57.0_19

六脚類は、その初期進化において生活環のすべてを水域から陸上へと移行させた。これにともない受精や胚発生においても何らかの新たな適応戦略が不可欠であった。初期の六脚類において、卵保護構造として獲得されたと考えられているのが卵殻である。卵殻は卵巣内の濾胞細胞により分泌される二次卵膜であるが、卵の保護には大いに貢献する一方、精子の卵内への侵入においては大きな障壁となる。この問題に対して獲得された卵殻構造が有翅昆虫類の卵門である。有翅昆虫類の受精においては、卵巣から排出された卵が生殖室内に移動、精子と接触し、精子は卵殻を貫通する孔である卵門を通して卵内に進入して受精が完了する。このように、有翅昆虫類では、外環境に精子がさらされることなく受精が完了するシステムが確立している。一方で、より初期に派生した「無翅昆虫類」においては卵門が確認されておらず、精子の卵内への進入プロセスは不明のままであった。近年になって、イシノミ目では硬化前の卵殻を精子が通過する可能性、シミ目では卵表の一部に形成された卵殻の複雑な褶曲構造が精子の進入経路となっているとの可能性が報告され（増本・町田 2019; Mashimo and Machida in prep.）、「外顎無翅昆虫類」においては受精メカニズムが理解されつつある。一方、より初期に派生したカマアシムシ目、トビムシ目、コムシ目のいわゆる「内顎無翅昆虫類」の受精様式についての理解は未だである。まず、他の節足動物同様、トビムシ目の卵殻の起源について

でも諸説があり、卵細胞由来の一次卵膜 (Krzysztofowicz and Kisiel 1987, 1989)、濾胞細胞由来の二次卵膜 (Bilinski 1994)、さらには輸卵管内で付加される三次卵膜 (Matsuzaki 1973) と見解が分かれている。さらに、受精に関しても、Jura and Krzysztofowicz (1992) がミズトビムシ亜目シロトビムシ科の *Tetrodontophora bielanensis* (Waga) では「卵殻形成以前の卵巣内で受精が起こる」と推論しているものの、それを裏付ける明確な根拠は示されていない。以上のように、六脚類の受精様式の初原状態や、外顎類に至る進化的変遷を理解するためには、トビムシ目をはじめとした「内顎無翅昆虫類」の卵殻形成や受精プロセスの詳細な経時的検討が望まれる。

ここにおいて、経時観察の時間的ランドマークとして脱皮が目される。成熟後も脱皮を繰り返す「無翅昆虫類」では、雌の脱皮時に受精嚢内のクチクラも更新されるため、受精嚢に蓄えられていた精子は排出されてしまう。このため、繁殖サイクルは雌の脱皮によりリセットされる。実際にトビムシ目では脱皮をきっかけに次の繁殖および産卵行動が開始するとの報告がある (Dallai et al. 2008)。したがって、少なくともトビムシ目の卵殻形成および受精様式の検討を行う上で、雌の脱皮タイミングを起点とした経時的な形態学的検討が有効と考えられるのである。

以上の背景から、トビムシ目における卵殻の起源と受

* Abstract of paper read at the 61st Annual Meeting of the Arthropodan Embryological Society of Japan, June 6–7, 2025, Nasu Kogen, Tochigi, Japan.

精様式を解明することを目的に、年一化性で早春に繁殖を行う (Hisamatsu and Matsunaga 1994; Tomizuka and Machida 2015) アヤトビムシ亜目トゲトビムシ科のデカトゲトビムシ *Tomocerus cuspidatus* Börner を材料に研究を開始した。2025年3月中旬に長野県上田市菅平高原で採集を行い、約200匹の越冬成虫を得た。これらの個体を5℃下、明暗周期12L:12Dで飼育したところ、4月上旬に多くの個体が脱皮、産卵に至った。今回、研究の第一歩として、脱皮直前の雌2個体を組織学的に検討したので、その結果を報告する。

観察した雌2個体は、クチクラ下に次齢のクチクラおよび鱗片が観察されたことから、いずれも脱皮直前の個体であることが示された。さらに一方の個体は、クチクラの剥離、脱落が見られたことから、脱皮開始期により近いものと考えられた。どちらの個体においても、卵巣内には直径200 µmほどの成熟した卵母細胞がみられた。その一方で、受精嚢内には精子がみられなかった。このことから、両個体とも繁殖期直前かつ精子を受け取っていない状態にあると考えられた。時期的に脱皮により近い一方の個体においては、卵殻形成が確認された。卵殻は好エオシン性で厚さ1 µmほどであった。形成中の卵殻に接する濾胞上皮は肥厚し、濾胞細胞内には卵殻と同様の好エオシン性の顆粒が無数に分布していた。一方のクチクラの剥離や脱落がない雌個体では、卵殻の形成および濾胞上皮の肥厚や濾胞細胞内の顆粒の蓄積は確認されなかった。

本研究により、デカトゲトビムシにおいては、卵殻形成と脱皮が同調的に進行する可能性が示された。さらに卵殻は濾胞細胞により分泌されている可能性が高く二次卵膜と結論づけられる。本研究で検討した2雌個体において卵黄膜は観察されなかったが、*T. bielensis* においては卵黄膜が卵産下後に形成されると報告されており (Krzysztofowicz and Kisiel 1987, 1989)、デカトゲトビムシも同様である可能性がある。また、年一化性のデカトゲトビムシにおいて受精嚢内に精子が見られない状態で卵殻形成が起きていた事実は、卵殻形成前に卵巣内で精子が卵母細胞に進入するとした Jura and Krzysztofowicz (1992) の見解には不都合にみえる。これまでトビムシ目では卵門が知られていないことから、イシノミ目と同様、産下時に精子がまだ硬化が進行していない卵殻を通過して卵内に進入するなどの可能性が考えられるのである。今後、脱皮を起点とした経時的な観

察を透過型電子顕微鏡を用いて行なうことで、トビムシ目の卵殻形成と受精様式を詳細に検討していく。

引用文献

- Bilinski S (1994) The ovary of Entognatha. In Büning J (ed.), *The Insect Ovary: Ultrastructure, Previtellogenic Growth and Evolution*, pp. 7–30. Chapman & Hall, London.
- Dallai R, ZV Zizzari, PP Fanciulli (2008) Fine structure of the spermatheca and of the accessory glands in *Orchesella villosa* (Collembola, Hexapoda). *Journal of Morphology*, **269**, 464–478.
- Hisamatsu M, M Matsunaga (1994) Life cycle of the collembolans *Tomocerus cuspidatus* Börner and *Entomobrya aino* Matsumura & Ishida. *Acta Zoologica Fennica*, **195**, 69–70.
- Jura Cz, A Krzysztofowicz (1992) Initiation of embryonic development in *Tetradontophora bielensis* (Waga) (Collembola: Family) eggs: Meiosis, polyspermy, union of gametes and first cleavage. *International Journal of Insect Morphology & Embryology*, **21**, 87–94.
- Krzysztofowicz A, E Kisiel (1987) Oogenesis of *Tetradontophora bielensis* (Waga) (Collembola). Preliminary ultrastructural studies of the first egg envelope formation. In H Ando, Cz Jura (eds), *Recent Advances in Insect Embryology in Japan and Poland*, pp. 37–49. Arthropodan Embryological Society of Japan, Nagano. (KK ISEBU, Tsukuba).
- Krzysztofowicz A, E Kisiel (1989) Further studies on the morphogenesis of the first and second egg envelopes of *Tetradontophora bielensis* (Waga) (Collembola). In R Dallai (ed.) *3rd International Seminar on Apterygota*, pp. 221–228. University of Siena, Siena.
- 増本三香・町田龍一郎 (2019) 原始的な無翅昆虫マダラシミ *Thermobia domestica* (Packard) の卵門 (昆虫綱: シミ目・シミ科). *Proceedings of the Arthropodan Embryological Society of Japan*, **52**, 37.
- Matsuzaki M (1973) Oogenesis in the springtail, *Tomocerus minutus* Tullberg (Collembola: Tomoceridae). *International Journal of Insect Morphology & Embryology*, **2**, 335–349.
- Tomizuka S, R Machida (2015) Embryonic development of a collembolan, *Tomocerus cuspidatus* Börner, 1909: With special reference to the development and developmental potential of serosa (Hexapoda: Collembola, Tomoceridae). *Arthropod Structure & Development*, **44**, 157–172.