

体細胞と生殖細胞の新たな連絡様式を多足類の卵巣から発見

ムカデの仲間のゲジ（ゲジゲジ）など多足類の卵巣を電子顕微鏡で詳細に観察し、体細胞が、一般的に細胞間の接触を妨げるはずの基底膜を貫通して卵母細胞と直接接触していることを発見しました。動物で、通説では考えられなかった様式により体細胞と生殖細胞が相互作用していること示唆する成果です。

動物の体や器官を覆う上皮細胞は、自由に他の細胞と接触したり物質を取り入れたりする頂端側と、その反対側にあって、基底膜と呼ばれる「壁」に裏打ちされて他の細胞との接触が妨げられる基底側という方向性（極性）をもつのが一般的です。例えば、多くの動物の卵巣において、その表面に密に並ぶ濾胞（ろほう）濾胞細胞（上皮細胞の一種）は頂端側で卵のもととなる卵母細胞と直接に接触し卵の形成に関与する一方で、基底側では基底膜により他の細胞との接触が妨げられています。

動物学におけるこの常識に対して、本研究ではゲジとナミコムカデという 2 種の多足類において卵巣濾胞細胞は他の動物とは異なり基底側で卵母細胞に面すること、そして基底膜を突き破って細胞質突起を伸ばし卵母細胞と物理的に接触することを発見しました。さらに、濾胞細胞-卵母細胞間の連絡は卵形成過程で基底膜が形成される以前に確立されていたことを示す証拠を得ました。

本研究成果は、基底膜が必ずしも体細胞と生殖細胞を隔てる壁とはならず、また上皮細胞自身が基底膜を貫通して他の細胞と直接連絡するという、動物学並びに細胞生物学の定説とは異なる新たな現象の存在を示唆しています。

研究代表者

静岡大学理学部（研究当時：筑波大学大学院生命環境科学研究科生物科学専攻博士前期課程）

千頭 康彦 日本学術振興会特別研究員

筑波大学生命環境系

八畑 謙介 講師

研究の背景

動物の器官は上皮と呼ばれる細胞の層に覆われます。一般的に、上皮を構成する細胞 (= 上皮細胞) には頂端側とその反対側にある基底側という二つの領域があります。教科書では、上皮細胞は頂端側で他の細胞と接触したり、物質のやりとりを行ったりするとされます。一方で、上皮細胞の基底側はコラーゲンなどからなる基底膜^{注1)}に裏打ちされ、他の細胞との接触を妨げられています。一部の例外もありますが、頂端側は他の細胞や周辺環境との相互作用を担い、基底側は基底膜を足場として上皮の構造的支持を担っています。

「頂端部-基底部」という上皮細胞の方向性とその役割分担は動物の多くの器官に認められます。代表的な例は卵を形成する場である卵巣です。卵巣では、卵のもととなる卵母細胞が周辺の細胞と相互作用しながら成長していきます。この相互作用は、卵母細胞を取り巻く濾胞細胞 (ろほうさいぼう) などと呼ばれる細胞がその頂端側で卵母細胞と接することで生じ、卵形成に必須の役割を果たします (図 1)。

「濾胞細胞が頂端側で卵母細胞に面する」という特徴は動物において普遍的であると考えられてきました。しかしながら、ムカデやヤスデなどの多足類^{注2)}では、例外的に「濾胞細胞は基底側で卵母細胞に面している」ことが明らかにされてきました (図 1)。すなわち、多足類では濾胞細胞と卵母細胞の間には基底膜という「壁」が存在しているのです。この壁の存在を考えれば、濾胞細胞は卵母細胞と接触することは難しいと思われます。実際、多足類を用いたこれまでの研究は、濾胞細胞と卵母細胞との接触を否定的に捉えてきました。ただし、これまで扱われてきた種は、進化的に派生的と考えられるグループの種にとどまっており、進化の過程で早くに登場したグループで濾胞細胞と卵母細胞が接触するかは不明でした (図 1)。そこで、本研究ではムカデの仲間でもっと早くに分かれたグループであるゲジ目に属するゲジ *Thereuonema tuberculata* と多足類の中で最初に分かれたグループとされることもあるコムカデ綱に属するナミコムカデ *Hanseniella caldaria* という 2 種の多足類を対象とし、電子顕微鏡による超微細構造の観察を通じて、濾胞細胞と卵母細胞の接触を検討しました。

研究内容と成果

本研究では、ゲジとナミコムカデの卵巣濾胞細胞を電子顕微鏡で観察しました。その結果、両種とも濾胞細胞は基底側で卵母細胞に面し、その境界には基底膜が存在していました。さらに、濾胞細胞と卵母細胞の間を詳細に観察したところ、両種とも濾胞細胞が卵母細胞側に足のように突起を伸ばしていることが明らかになりました。また、この突起は予想外にも基底膜を貫通して卵母細胞の表面に達していました。濾胞細胞の突起と卵母細胞表面との間は密接しており、細胞間の物理的な連絡であるギャップ結合を示唆する構造的特徴を有していました (図 2)。これらの観察結果は、両種において濾胞細胞は基底膜を突破して卵母細胞と物理的に接触し連絡していることを示しています。

では、どのようにして濾胞細胞は基底膜を突破したのでしょうか。これを明らかにするために、ゲジにおいて卵形成のごく初期での濾胞構造の微細構造を観察しました。その結果、まだ基底膜が形成される以前に、体細胞が生殖細胞と接触していることが明らかになりました。この観察結果は、濾胞細胞と卵母細胞との接触が先に成立し、その後に基底膜が生じることで結果的に基底膜が突破されることを示唆しています。まるで、配管工事の際に先に水道管を繋ぎ周りをコンクリートで埋めるかのように、ゲジの濾胞細胞と卵母細胞との接触は形成される可能性が高いと考えられます。

以上より、本研究では多足類における濾胞細胞と卵母細胞が接触する証拠を初めて得ることができました。さらに、本研究で明らかにされた「濾胞細胞自身が基底側に突起を伸ばし基底膜を貫通して卵母細胞と連絡する」ことは、「濾胞細胞は頂端側で卵母細胞と連絡する」という通説からは考えられない特徴で、卵巣における新たな体細胞-生殖細胞の連絡様式だと考えられます。

卵巣以外の器官においては、これまでも、上皮細胞が基底側で他の細胞と接触するという例は少ないながらも報告されてきました。ただし、これらの報告では、上皮細胞自身が基底膜を貫通するというのではなく、周辺の細胞が基底膜を壊して上皮細胞と接触するとされていました。これに対し、本研究では上皮細胞（濾胞細胞）自身が突起を伸ばして基底膜を貫通していました。さらに、出来上がった基底膜を壊すのではなく、配管工事のような仕組みでもってして基底膜を突破している可能性が示唆されました。これらの点において、本研究で明らかにされた多足類における基底膜を貫通した濾胞細胞-卵母細胞の連絡は上皮細胞と他の細胞との新たな連絡様式の一つかもしれません。

今後の展開

本成果は、動物の卵巣における体細胞-生殖細胞間連絡に新たな様式を提案する発見です。今後、他の多足類や節足動物での観察より、この連絡様式の進化的変遷並びに未だ混沌とする部分も残る節足動物内部の類縁関係について、体細胞-生殖細胞間連絡という細胞学的視点から根拠を与えられると期待されます。

参考図

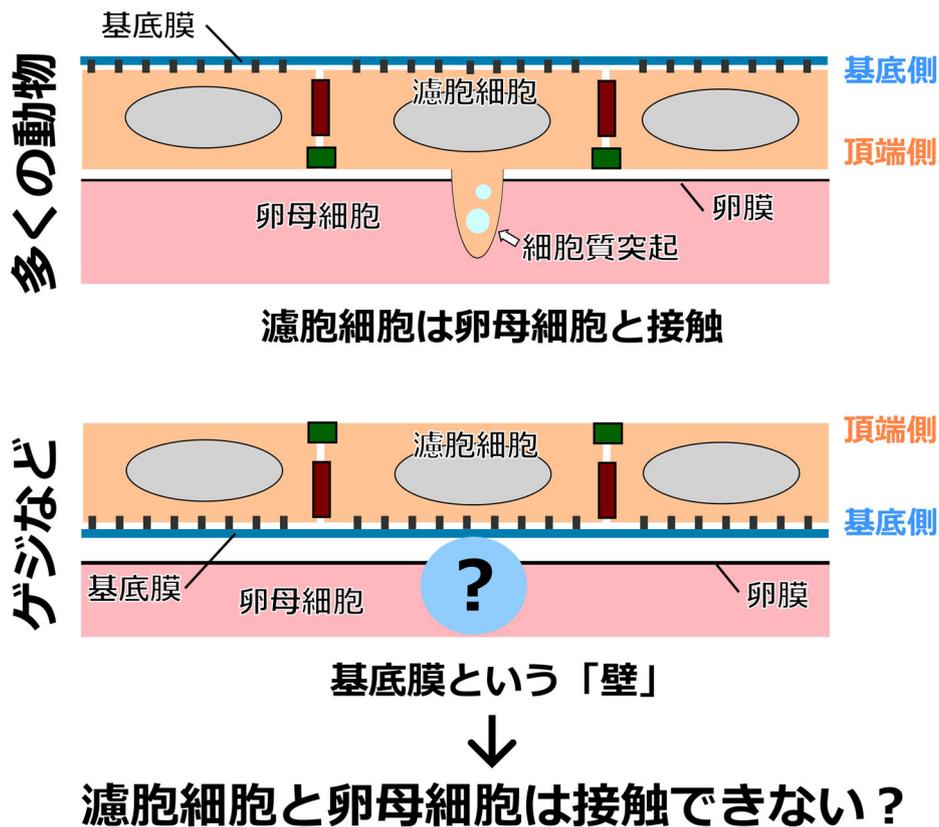
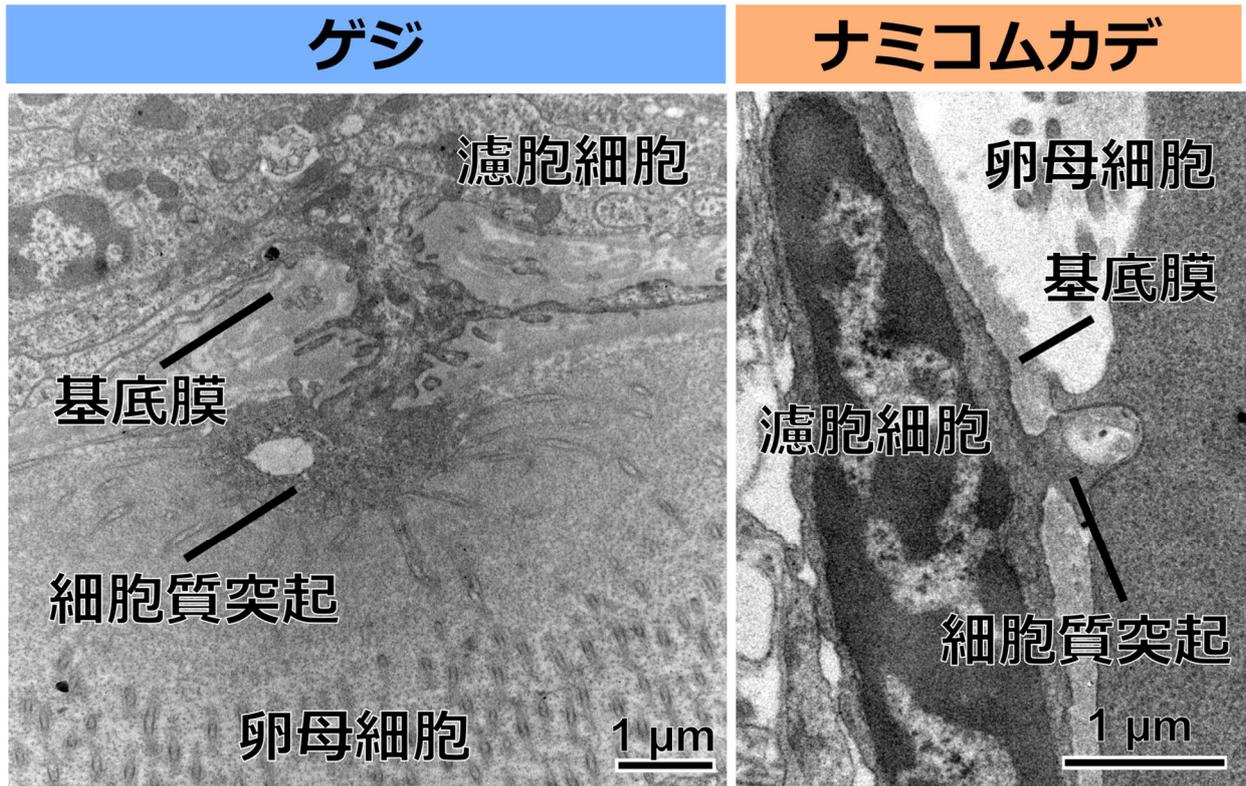


図1 本研究の疑問



<発見>

- 両種とも濾胞細胞は基底膜を貫通する突起を伸ばす
- 基底膜という「壁」を突破して体細胞と生殖細胞が連絡

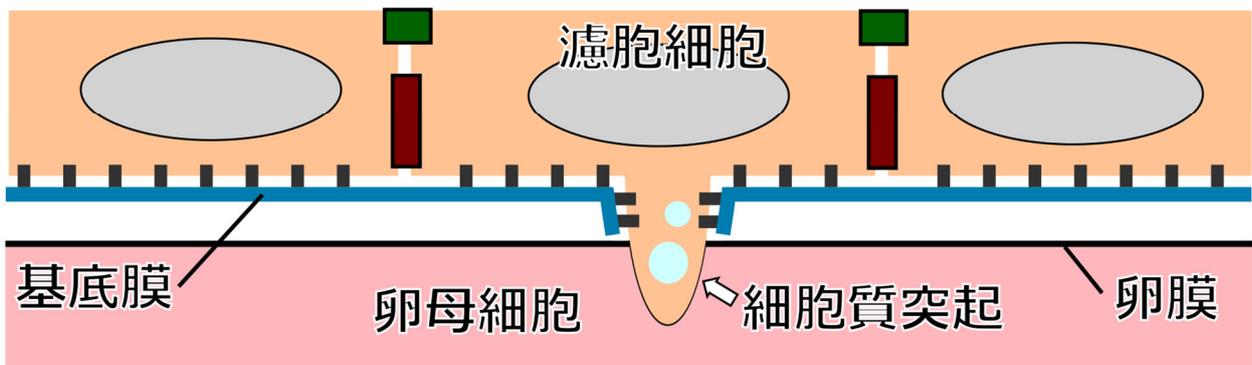


図2 本研究成果の概要

微細構造学的解析を中心にした形態学的検討により、ゲジ並びにナミコムカデの卵巢濾胞細胞が基底膜を貫通して卵母細胞と接することが明らかになった。

用語解説

注1) 基底膜

動物の器官を覆う上皮細胞はしばしば、頂端側と基底側に分かれる。頂端側では接着結合という特徴的な細胞間接着構造で上皮細胞間が結合し、また微絨毛や細胞質突起が伸びており、基底側はコラーゲンなどの繊維性タンパク質や多糖類からなる膜（基底膜）に覆われる。基底膜は、上皮を支える足場であり、さらに一般的に物質の移動や上皮細胞と他の細胞との接触を妨げるバリアとして働く。

注2) 多足類

いわゆるムカデやヤスデの類で、名の通り昆虫類などと比べてより多くの肢をもつ。ムカデ類、ヤスデ類、コムカデ類、エダヒゲムシ類という大きく 四つのグループに分けられるが、これら 4 群の類縁関係を巡っては、いまだに議論が続いている。特に、どの群が共通祖先から最初に分岐したのかという問題は解決したとは言い難い現状にあるものの、ムカデ類あるいはコムカデ類のいずれかが最初に分かれたとする仮説が、有力になっている。そこで、本研究では、多足類の進化の過程でより早くに分岐した可能性のある、ムカデ類に属するゲジとコムカデ類に属するナミコムカデを題材とした。

研究資金

この研究は運営交付金を元に行いました。

掲載論文

【題名】 Soma-germ contact across basement membrane in ovary
(基底膜を横断する卵巣での体細胞と生殖細胞の接触)

【著者名】 Y. Chikami, K. Yahata

【掲載誌】 *Biology Letters*

【掲載日】 2025 年 4 月 23 日

【DOI】 <https://doi.org/10.1098/rsbl.2025.0056>

問合わせ先

【研究に関すること】

八畑 謙介 (やはた けんすけ)

筑波大学生命環境系 講師

URL: <https://sites.google.com/site/yahatalab/home>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp