

教科書の図が招いた誤った認識について

—高校「生物」における受精現象の事例—

日野 晶也

1. はじめに —教員免許更新講習にて—

神奈川大学では、教員免許更新講習が試行された2009年から「理科」の分野でも講習を行い、筆者はこれまで毎年講師として生物の分野を担当してきた。我々が担当している選択領域の講座は「物理・化学・生物の魅力を伝えるための実験・観察技術」として各科目の実験実習を行っている。また、実習内容を説明する講義とともに、最近ノーベル賞の解説などをとおして、科学研究の最前線の紹介も実施している。著者が担当している「生物」分野では、最近iPS細胞に関する研究について解説するために、胚性幹細胞および動物の受精と発生現象について改めて解説する機会があった。教育現場におられる先生方とやり取りをしていて、動物の受精現象に関して細かいことではあるが、多くの先生が完全に誤解している現象があることに気が付いた。具体的には、どの教科書でも取り上げられているウニの受精において、卵に入るのは精子の頭部（すなわち核）だけであってミトコンドリアを含む尾部は卵の外に残されるという誤解である。本稿では、なぜこの誤解が生じているか、歴史的な背景とともに考察を試みる。

2. 誤解の実態と背景

動物の受精では、ホヤのように、精子のミトコンドリアが卵を覆っている膜に付着して、

このミトコンドリアがアンカーの役目をして卵内に精子が送りこまれる場合が知られている。しかし、この場合も精子核のみが卵内に侵入するのではなく、鞭毛も卵内に取り込まれることが知られている。この様な一部の例外を除いて動物の受精では、精子は核だけでなく、ミトコンドリアを含む中片さらに鞭毛も含む精子全体が卵に取り込まれる。このことは大学レベルの和訳された教科書⁽¹⁾には記載があり、この分野の研究者では常識となっている。

しかし、先に述べたように教員免許更新講習に参加された30代から50代の現任教員は、受精の際に、核を含む精子頭部のみが卵内に侵入し、中片と鞭毛は卵外に取り残されていると理解されていた。また、筆者はかつて高校生物の教科書や参考書ばかりでなく岩波の生物学辞典の編集に参加された故村上悟先生（東京大学名誉教授、元神奈川大学理学部長）との会話を鮮明に記憶している。「ウニの受精では精子が卵に侵入していくイメージがあるが、実際には卵が精子を丸呑みにしていく、細胞学的には卵子の食作用によって精細胞全体が卵に取り込まれる」と私の発言に村上先生が驚かれ「精子は頭部しか卵に入らないと理解していた。昔の教科書には鞭毛が切り離なされて卵外に残っている図が採用されていた。」と明言された。

21世紀になってからの教科書では「動物の受精」の單元には以下の記述があった。例えば、第一学習者（2010年版）生物Iでは、『受精のときには、1個の卵に対して多数の精子が集ま

るが、卵内に入って受精する精子はふつう1個である。1個の精子が卵膜を貫通して細胞膜に達すると、卵膜は細胞膜から離れて精子を通さない受精膜を形成する。卵内に侵入した精子の頭部は、精核となって卵の核(卵核)と合体して受精が完了する。』と記述している。上記の文章には、『精子を通さない受精膜』とあるが、正確には、受精膜は卵内に入ったもの以外の精子の卵外に留める機能を持つもので、受精する精子は受精膜形成以前に卵の細胞膜と結合し、その直後から卵の細胞膜と精子(全体の)細胞膜が融合し一体化される。また、卵内に入った精子については先に引用したように、頭部の核だけの記載となっている。

2014年から教育課程が変わり、受精現象が『生物基礎』ではなく、『生物』で扱われるようになった。最新版の東京書籍の教科書には、本文に『ウニでは、未受精卵のまわりにあるゼリー層に精子が到達すると、精子の頭部にある先体の中身が放出される。これを先体反応と呼ぶ。ウニでは、精子の先端が糸状に伸び、ペん毛の動きが活発になって、精子はゼリー層を貫通する。さらに、精子はゼリー層の下にある卵黄膜を通過[#]して、卵細胞膜に接する。すると精子の膜と卵の細胞膜が融合する。そして、卵

細胞では、表層粒の中身が、卵の細胞膜と卵黄膜のあいだに放出される。(中略、卵の表層反応の説明の後)受精膜の形成は、余分な精子の進入を防ぐしくみの1つとなっている。(段落を変えて)卵に侵入した精子の核は、卵細胞の中に入るとふくらんで、ふつうの核に近い大きさの精核となる。精子から卵細胞に入った中心体は、星状体を形成し、精核と卵核とを近づける。2つの核が出会うと直ちに融合が始まって1つの核になる。』と受精の過程を述べている。特に上記の文中の#について脚注として『実際には、精子が卵細胞に入り込むのではなく、精子の細胞膜が卵の細胞膜と融合し、精子の中身が卵細胞に取り込まれるのである。』と説明を加えている。このように、受精過程については、精子の先体反応や卵の表層反応と両配偶子で起こる変化を詳細に説明しているが、脚注では『精子の中身が卵に取り込まれる』と記している。本文と照合すると、精子の中身とは核とともに鞭毛の基部に存在する中心体も含まれることは容易に想像されるが、実際に卵に取り込まれる精子の鞭毛は一般的には『精子の中身』では無いと理解されていると思われる。この様な誤解を招いている要因は文章だけでなく、ここに添えられた図の効果が大いだと考える。(図

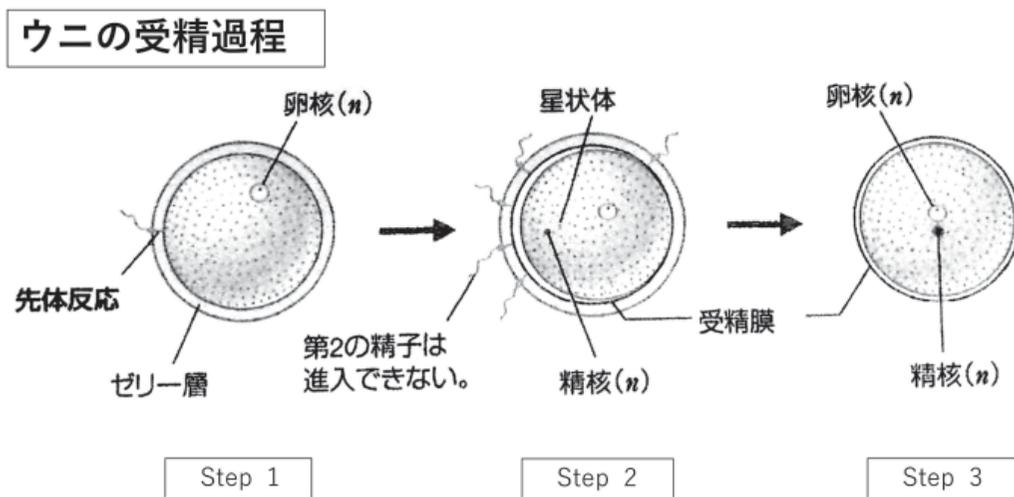


図1 高校教科書「生物」における動物の受精のイメージ図 (東京書籍 より一部改変)

1 参照)

鞭毛を含む精細胞全体では無く、精子頭部の核だけが卵内に侵入すると誤解を産んでいる原因は、上述した教科書の記述や図の説明だけではなく、別の要因もあると筆者は考えている。それは最近広く認識されるようになったミトコンドリアの母性遺伝が関係している。ミトコンドリアが独自の遺伝子を持ち、それが母親からのみ受け継がれていることが一般常識となっている。例えば、現在の世界各地のヒト（民族）から得たミトコンドリアの遺伝子解析により人類の祖先はアフリカに存在したとする、ミトコンドリアイブ説は有名である。この知識がある故に、受精の際に父親由来の細胞である精子のミトコンドリアは受精卵に入らないと誤解されている。実際にこのように説明しているWeb上のサイトが存在している⁽³⁾。

3. 図がもたらした誤解

これまでに述べたような背景や教科書での記述は有るものの、この受精現象に対して誤解を生んでいるのは、教科書の図が与えたイメージが主要な原因と考える。図2に筆者自身の記

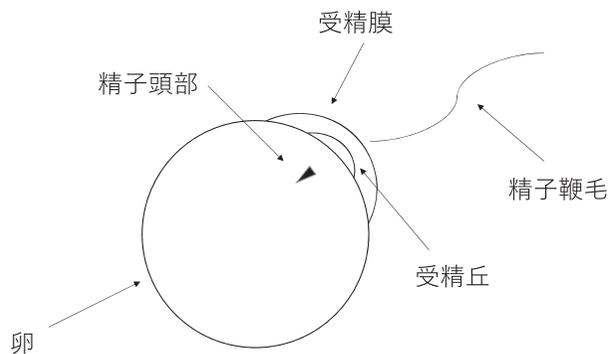
憶を基に再現を試みた当時の教科書に掲載されていたイメージを示す。前述したように、顕微鏡を用いた植物細胞生物学を専門とされていた故村上悟先生も、動物の受精について精子頭部だけが卵に侵入すると、イメージとして記憶されていた。これが新課程の「生物」を担当している現場の教員にも強いイメージとして残っていると思われる。

先に示した図1のような現行の教科書の図が間違っているのでは無い。敢えて指摘すると、受精の段階が飛ばされている。図1で示したStep1とStep2の間に図2のイメージを多くの教員が想像していただけであり、高校生が受精を理解するために致命的な間違いでは無い。筆者がここで指摘した誤解はむしろ教える側の辻褄合わせ、具体的にはミトコンドリアの母性遺伝の原因を短絡的に考えた結果がこのような誤解を産んでいる可能性が高い。

4. 今後の課題

—教科書と入試、科学する心—

筆者は依頼を受けて高校の出前授業をする機会が多い。専門分野の発生に関する授業もある



実際とは異なるイメージ図（受精のStep1.5）

図2 20世紀後半の教科書に採用されていたウニの受精を説明する図

注：受精丘とは精子が侵入した卵表に出現し受精膜が卵全体を覆うころ（受精5分後）には消失する構造。現在使用されている教科書には調べた限り受精丘の記述は無い。

が、広く理系の受験対策について問われることも多い。本学の **First Year Seminar** に当たる大学への導入教育としての依頼が増えている。このような場合、以下のようなアドバイスをしている。要約すれば以下の2点となる。

1. 高校の教科書の内容と先生の授業は正しいと思ってしっかり基礎を勉強してほしい。
2. 大学に入ったら教科書の記述と先生の講義内容に対して常に、真実で無い可能性もあると疑いを持って勉強し、自分で判断できるようにしてほしい。

1の主張は、センター入試を始めとして入試問題は教科書から出題されている。さらに教科書は文部省の教科書検定官によって、審査を受けたものであるから、と理由を説明している。

2については、英語などの教科書と異なり、大学での科学系の教科書は概ね3年ごとに改定され、内容が科学の進歩に合わせて更新されていることなどを強調している。

但し最後には必ず、自然現象について自分の目で確かめ、仮説に基づいた観察と実験を計画し、その結果を吟味して真理に迫って行く、その過程が大切である。その為に単なる好奇心だけでなく、科学的な物の考え方、さらに言えば観察眼を養う必要があることを強調している。

生物学に留まらず、科学の理解のためには、図を用いた説明は大変重要なツールであるが、その使い方や理解させる内容については、最新の科学の進歩を踏まえた上での十分な検証と配慮が必要と考える。

【参考文献】

- (1) 『細胞の分子生物学』第4版, Newton Press, 2005年, p 1155
- (2) 高校『生物』東京書籍, 2014年版, p 156

～ 157

- (3) ミトコンドリアの母性遺伝について誤った解説の実例 http://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question_detail/q1134985396

【附記】

- (1) 図2に示されたように受精の際に精子の頭部だけが卵内に侵入することは、チャイニーズーハムスターでは確認されている。このことも含め、ミトコンドリアの母性遺伝の仕組みについては、JT生命誌研究館の季刊誌「生命誌ジャーナル」<http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/085/research/2.html> に群馬大学生体調節研究所、佐藤美由紀氏による平易に説明された研究紹介がある。

- (2) ウニの精子の鞭毛までが卵に侵入する過程は、日本発生生物学会誌, *Development, Growth and differentiation* (1980) Vol 22, P461-473 のUsuiらの論文に電子顕微鏡による観察が示されている。

- (3) この原稿を提出した後、本年度後期に開講している「発生生物学I」を受講している学生に、動物の受精過程で卵に侵入した精子について尋ね、図を用いて説明を求めたところ、85名中83名までが卵外に残る図(本稿の図2)を描いた。

謝辞： 本稿を記すきっかけを作ってくださった吉田修久先生に感謝します。