

23. 生殖の方法

孢子について

生殖細胞の分類と孢子

生殖細胞 { 配偶子: 有性(性の区別がある)生殖細胞で, 合体によって新個体をつくる。
孢子: 無性(性の区別がない)生殖細胞で, 単独で新個体をつくる。

孢子の孢子形成による分類(問題集解説の訂正)

孢子 { 真正孢子: 孢子母細胞($2n$)が減数分裂してできる核相 n の孢子
 シダ, コケ, アカパンカビなどの孢子は真正孢子である。
分生子: 親個体の一部が体細胞分裂してできる孢子で, 栄養孢子ともいう。
 体細胞によりできるから, 核相は親個体の核相と同じである。
 アオカビやコウジカビなどの孢子は分生子である。

孢子生殖の定義について

広義

孢子から次の個体を生じる生殖方法

したがって, 真正孢子による生殖も分生子による生殖も孢子生殖である。

狭義

個体の一部が体細胞分裂して孢子(分生子)ができ, これが発芽して新個体となる生殖方法

したがって, 分生子による生殖のみ孢子生殖である。

遊走子

コンブの孢子は鞭毛をもち泳げるが, このように運動性がある孢子を**遊走子**という。

オニユリのむかごについて

オニユリのむかご(側芽が多肉化したもの)の核相は $3n$ で奇数の倍数体なので,

むかごからの新個体は減数分裂がうまくいかないため, 種子をつくるができない。

24. 有性生殖の方法

アオミドロの雄性配偶子と雌性配偶子について

原形質が移動する側の原形質を運動性のある配偶子、
原形質を受け入れる側を運動性のない配偶子とみなすと、
配偶子の定義により、前者は雄性配偶子、後者は雌性配偶子となる。
アオミドロ 1 個体には、雄性配偶子になるものもあれば雌性配偶子になるものもある。

問 4

ネギの根端

体細胞分裂

ムラサキツユクサのおしべの毛

原形質流動, 体細胞分裂

27. 細胞の DNA 量変化

問 3

(2)

染色体 1 本あたりの DNA 量が半減するのは、
縦列した 2 本の染色体 (染色分体) が分離する時期だから、減数第 2 分裂後期である。

二価染色体の定義

減数分裂の第一分裂前期で、相同染色体が接着した 2 本の染色体をいい、
この接着した状態のとき、すでに相同染色体は縦列し 2 本の染色分体になっている。
したがって、二価染色体の染色体数は 2、染色分体数は 4 である。

減数第一分裂前期の染色体の形態変化

相同染色体の対合

染色体が凝縮し、光学顕微鏡で観察できる頃には相同染色体はすでに対合している。

↓

染色体が縦列し、接着、交叉と乗り換えが起こる(二価染色体ができる)。

染色体数の定義

細胞に相同染色体が 1 対存在していれば、その存在状態にかかわらず、染色体数は $2n$ である。
たとえば、相同染色体が互いに接着し、2 価染色体となっても染色体数は $2n$ である。

分化

受精卵が卵割を重ねて多細胞系となり, さらに発生を続けることにより, **個々の細胞がそれまでの均質な状態から形態的・機能的に特殊化した細胞(たとえば筋細胞, 神経細胞など)になっていく過程**をいう。

分化全能性

細胞が, その個体のすべてのタイプの細胞に分化できる能力をもっていること。

たとえば, 個体もつすべてのタイプの細胞は受精卵から生ずる。

したがって, 受精卵は分化全能性をもっている。

分化多能性

細胞が複数のタイプの細胞に分化できる能力をもっていること。

分化単能性

細胞が異なるタイプの細胞に分化できる能力をもっていないこと。

分化能

胚細胞が将来なるべき発生運命を超えて, ある条件下では他の細胞に分化できる能力をもつ時, その分化可能な範囲を分化能という。

29. 植物の生殖と DNA 量変化

細胞分裂が観察されるのは分裂期だから,

「細胞分裂はどの段階で観察されるか」については分裂期の範囲を選べばよい。

30. 植物の種子形成

胚乳の形成

胚乳核が核分裂を繰り返し多核化し,

それがある程度進むと, いっきに細胞質分裂が起き, 多細胞の胚乳となる。

32. 動物の配偶子形成

始生殖細胞(ヒトの場合)

受精から 3 週間ぐらいに体細胞から分化し、卵黄嚢部分に出現後、体細胞分裂により増殖する。

↓

体細胞の生殖巣の分化に伴ないアメーバ運動で移動し、
発生中の生殖巣(生殖巣原基)内へ移住する。

↓

生殖原基内で卵原細胞や精原細胞になる。
(生殖原基は卵巢や精巣になる)

問 4 について

構成とは要素の組み合わせのことだから、

染色体の構成とは、精子由来の染色体と卵由来の染色体の組み合わせということになる。

減数第 1 分裂で相同染色体が 2 つの細胞に分配されるから、それら細胞の染色体構成は異なる。

減数第 2 分裂は体細胞分裂と同じ仕組みだから、染色体構成は変わらない。

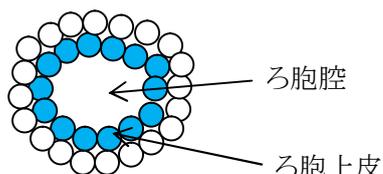
34. 卵形成のしくみ

ろ胞

動物の組織で、多数の細胞からなる完全に閉じた袋状の構造をいい、特に分泌腺に多い。

ろ胞表面をろ胞上皮、内部の空所をろ胞腔という。

卵巢にあるグラーフろ胞(卵胞)が最も知られていて、単にろ胞といえば、グラーフろ胞を指す。



グラーフろ胞(卵胞)

哺乳類の卵巢の中にある卵とそれを囲むろ胞細胞の集まり。

ヒトでは、直径数 mm になる球状体である。

オランダのグラーフが発見(1672)し、卵であると考えたが、

ドイツのベーアにより卵およびそれを囲む細胞の集まりであることがわかった(1872)。

卵はろ胞の辺縁部に存在し、ろ胞の中央には大きな空所があり、ろ胞液が満たしている。

若いろ胞は卵巢内部にあり、成長するにつれ卵巢表面に向かって移動する。

排卵直前になると、卵はろ胞液内に遊離する。

排卵の際にろ胞は壊れ、卵は卵巢を離れ、体腔内へ放出され、輸卵管に入る。

35. 多精拒否機構

問題文そのものが知識の宝庫である。したがって、問題文からも学習することを心がけよう。

分極について

分極の生理学的定義

細胞の膜のイオンに対する選択的透過性により、膜の外側が正、内側が負に帯電していること(膜の外側が内側より高電位であること)をいう。たとえば、神経細胞(ニューロン)が静止電位の状態にあれば、その細胞膜は分極の状態にある。

過分極の生理学的定義

細胞の膜の分極の程度が通常の場合より大きくなることをいう。

脱分極の生理学的定義

分極の状態でなくなること。つまり、細胞の膜の外側と内側の電位が等しいとか、膜の外側が負、内側が正に帯電している(膜の内側が外側より高電位である)ことをいう。

したがって、神経細胞(ニューロン)に活動電位が発生したとき、細胞膜は脱分極の状態になる。

再分極の生理学的定義

分極の状態から脱分極の状態を経て再び分極の状態になることをいう。

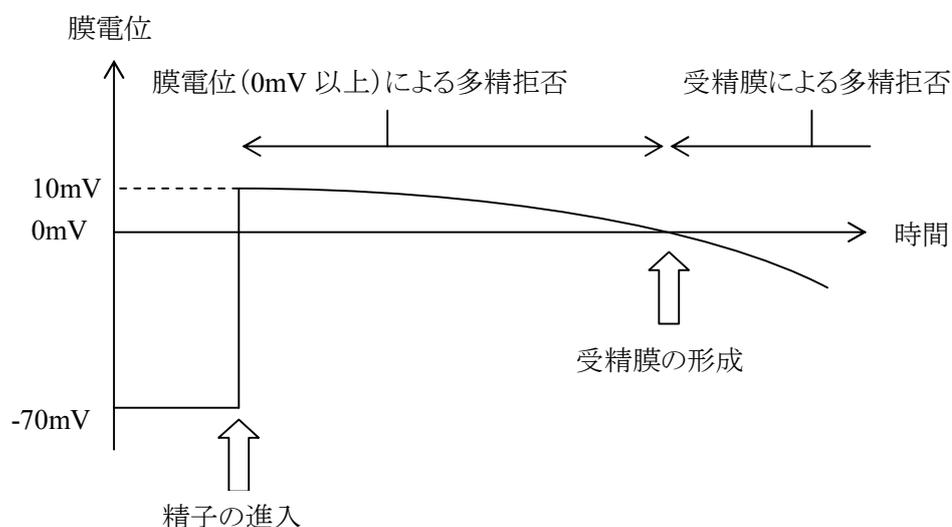
神経細胞を例に説明すると、静止電位(分極)⇒活動電位(脱分極)⇒静止電位(再分極)ということになる。

補足

物理化学的定義に従えば、活動電位が発生したときの細胞膜も分極していることになる。

このように、同じ用語であってもその定義が学問分野によって異なることがよくある。

特に生命科学では、1つの研究テーマを専門が異なる研究者が共同で進めることが多いので、用語の定義を厳密にする必要がある。入試では記述問題を通して、生物用語を正確に理解しているかが試されるので、生物用語を辞典などで調べる習慣をつけよう。



41. モザイク卵と調節卵

補足

将来くし板となる部分が受精卵の段階ですでにモザイク的にはめ込まれていると考えられ、このような卵をモザイク卵ということになった。

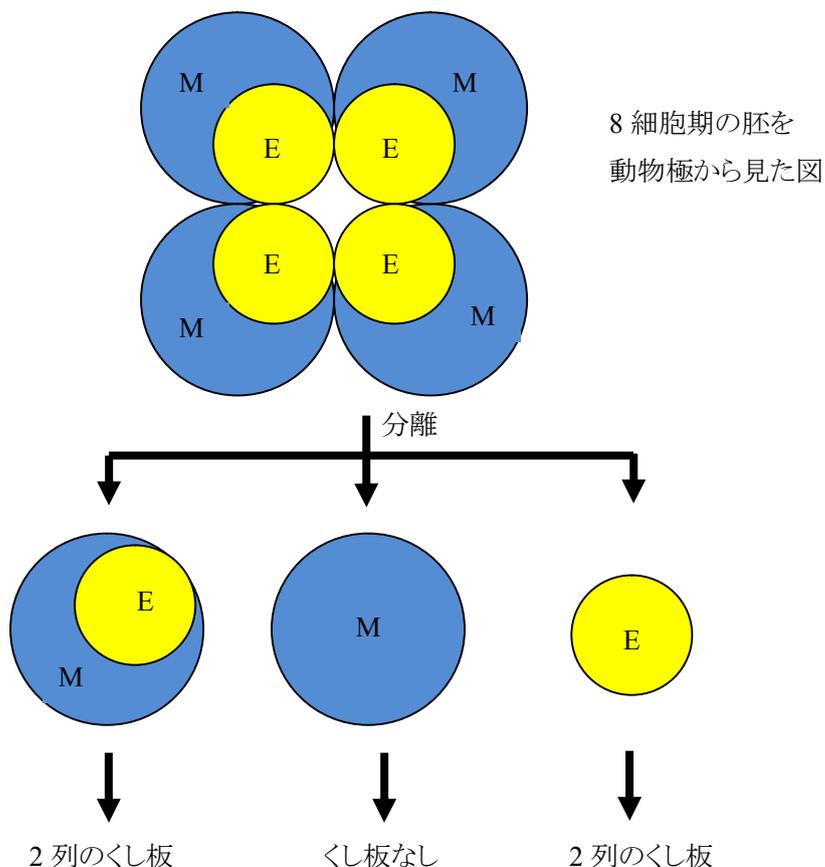
しかし、実際は、第 1 卵割開始時の受精卵を赤道面に垂直に二分したところ、両方ともくし板が 8 列の完全胚になったことから、くし板の予定運命決定は、受精卵～2 細胞期にかけて起こることが明らかになった。

一方、調節卵も発生の進行に伴ない胚の各部のもつ予定運命調節能力が失われていく。したがって、当初は、モザイク卵は前成説の有力な証拠として、調節卵は後成説の有力な証拠として考えられていたが、両者のちがいは本質的なものではなく、

予定運命調節能力が早く失われるのがモザイク卵、遅くまで残っているのが調節卵ということになる。

8 細胞期の割球分離実験

くし板は 8 細胞期の動物極の E 細胞に由来していることがわかる。



一卵性双生児には、
 2 細胞期に割球が分離したためできたもの(胎盤が 2 つできる)、
 胚盤胞の内部細胞塊が分離したためできたもの(胎盤を共有する)、
 胚盤胞の内部細胞塊がやや分離したためできたもの(胎盤と羊水を共用する)
 の 3 つがある。

43. 予定運命の決定, 誘導

問 2

(ア)

原口あつての原口背唇部(イ), 原口ができた瞬間に原腸胚期となる。

補足(問題 49, 50 とも関連)

原口背唇部と灰色三日月環

多くの両生類の卵では, 受精後約 1 時間ほどすると, 受精卵の表層が原形質流動により, 約 30° 回転(表層回転)し, 精子進入点(将来の腹側)と反対側(将来の背側)に灰色三日月形の模様が現れる。これを灰色三日月環といい, 将来の原口背唇部の位置と一致する。

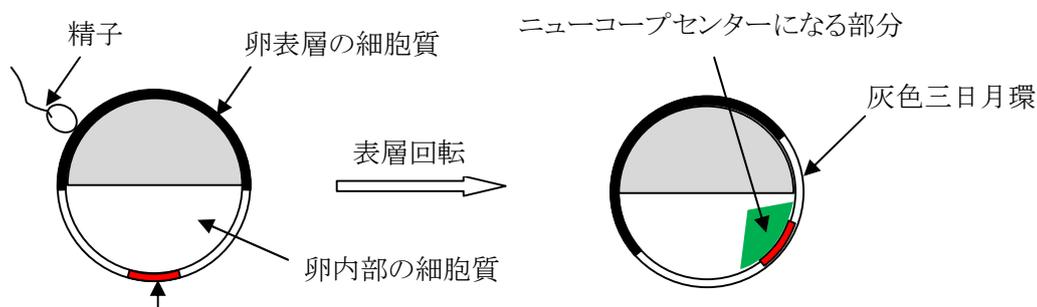
さらに, 灰色三日月環の細胞質を他の卵に移植すれば, その部分に二次胚ができること, 灰色三日月環部分の細胞質を卵割前か発生初期に除くと形成体ができず, 発生が途中でとまってしまうことから, 灰色三日月環部分の細胞質は, 卵割によりそこにできた細胞の細胞質となり, それが核にはたらきかけて原口背唇部(形成体)に分化させるはたらきをされると考えられた。

中胚葉誘導(桑実胚期～胞胚期後期)についての現在の考え

1. 表層回転

卵の植物極端の表層にディシベルドというタンパク質が入った表層顆粒が存在し, これが受精後の皮層の原形質流動による表層回転で灰色三日月環に移動する。

精子は動物極側から進入し, 進入点が将来の腹側, その反対側が将来の背側となる。
 また, 動物極端が頭部, 植物極端が尾部になる。(頭尾軸と背腹軸の決定)



ディシベルドタンパク質(GSK-3 阻害因子)が入った顆粒

表層回転後の動物極内部の細胞質の色だけが見えるようになった領域が灰色三日月環である。
 灰色三日月環の位置は原腸胚期の原口背唇部と一致する。

2. ディシェベルドタンパク質のはたらきと β -カテニン

β -カテニンは背側決定や形成体誘導に関与する遺伝子の発現に関係する核内転写因子であり、受精直後は胚全体で合成されており、その分布も胚全体におよぶ。

β -カテニンは、発生の進行に伴い、GSK-3 という酵素により加水分解され、減少していくが、ディシェベルドタンパク質は、GSK-3 の加水分解作用を阻害するはたらきがあるため、胞胚期になると、ディシェベルドタンパク質が集中する背側にだけ β -カテニンがたくさん残り、背側から腹側にかけて β -カテニンの濃度勾配ができる。

3. VegT タンパク質と β -カテニンとノーダル(中胚葉誘導物質)の濃度勾配

VegT タンパク質

VegT タンパク質は植物半球に存在する核内転写因子で、内胚葉決定因子としてはたらく。つまり、VegT タンパク質がないと内胚葉ができないし、また、VegT の mRNA を動物極側にたくさん注入すると外胚葉になるはずの部分が内胚葉や中胚葉になる。

尚、VegT の mRNA は、卵成熟(卵形成)中に卵の VegT 遺伝子から合成され、卵成熟時には、植物極側の皮層に蓄えられている。

それが、発生の過程で VegT タンパク質に翻訳され、内胚葉決定因子としてはたらく。

母性 RNA について

VegT の mRNA のように、成熟中の卵の遺伝子から合成される RNA をまとめて母性 RNA といい、とくに mRNA の場合、ほとんどの母性 mRNA は卵成熟時に植物極側の皮層に集まっている。受精後から胞胚中期までの胚は RNA 合成を行わないので、母性 RNA はその間の発生に必要なタンパク質や胞胚中期以降の細胞分化を起こすための転写因子を合成するための材料となる。

尚、転写因子など細胞分化に関与する母性 mRNA の受精卵中での分布は不均等なので、発生により生じた各割球がもつ母性 mRNA の分布も不均等である。その結果、胞胚中期になると、それまでの均質な細胞集団に多様な形態的、機能的変化が生まれる。すなわち分化が起こる。

ノーダルのはたらきと胚における濃度勾配

分化誘導因子は一般に細胞外から細胞にはたらきかけ、その細胞を特定の細胞に分化させる。

ノーダルは、細胞が細胞間に分泌する中胚葉誘導因子で、その細胞間濃度が高い領域の細胞は背側中胚葉(形成体)に、低い領域の細胞は腹側中胚葉に分化する。

このノーダル遺伝子の発現量を調節しているのが VegT タンパク質と β -カテニンで、 β -カテニンの濃度が高いほどその発現量が多い。

その結果、 β -カテニンの濃度勾配に対応するようにノーダルの濃度勾配ができ、ノーダルの少ない内胚葉の部分は腹側中胚葉に、多い部分は背側中胚葉(形成体)になる。したがって、背側中胚葉を誘導する領域であるニューコープセンターは、 β -カテニンと VegT タンパク質の両方が含まれている領域に相当する。

中期胞胚変移

胞胚中期になると、

- ・ 細胞の運動性が急激に高まる。
- ・ 細胞分裂の同調性が失われ、これまでのように全細胞が一斉に分裂しなくなる。
- ・ 胚での RNA (ゲノム RNA) 合成が一斉に開始する。
(胚由来の RNA をゲノム RNA, 未受精卵由来の RNA を母性 RNA という。)

こうして、細胞の分化・細胞の移動による胚の機能的・形態的变化が始まる。

この変移を中期胞胚変移という。

卵成熟過程で卵黄に蓄えられる物質

脂肪などの養分

中期胞胚変移までのエネルギー源

タンパク質

中期胞胚変移までの卵割を進めたり、分化のための転写因子としてはたらく。

主に母体の肝臓で合成され、卵細胞が飲作用で取り込む。

母性 RNA

卵の染色体(ランブブラシ構造)の DNA が転写された RNA

中期胞胚変移までの卵割や分化に必要なタンパク質合成の材料

45. 中胚葉誘導

問 1

B から中胚葉性組織が分化するわけだが、

桑実胚初期で B を A **かつ** C から分離すると中胚葉性組織に分化できない。

桑実胚後期に B を A **かつ** C から分離しても中胚葉組織に分化できる。

ということは、桑実胚初期から後期にかけての B の A **または** C との接触が B の中胚葉性組織への分化の必要条件であることがわかる。

問 2

注意

C からの**誘導物質**の作用で A が中胚葉性組織に分化したと短絡してはいけない。

この実験は、A が中胚葉性組織に分化するには C との接触が必要であることを確かめるための実験であって、誘導物質の存在を確かめるものではないからだ。

実際、この実験結果を受けて、A が中胚葉性組織に分化したのは C からの誘導物質の作用を A が受けたためか、C の細胞が A へ移動し A の中で中胚葉性組織に分化したためか、それとも両方なのかを確かめるために、A と C の間に物質は拡散できるが細胞は通れないフィルターをはさんだ実験によって、C の細胞の A への移動によるのではなく、C からの何らかの誘導物質が A に作用したためであることが明らかになった。

46. 原口背唇部の移植実験

問 1

形成体の誘導が行われるのは桑実胚から胞胚期後期にかけての中胚葉誘導期であり、実験で用いた初期原腸胚では、形成体の誘導は終わっている。

したがって、胚 B に移植された A からの移植片が形成体に誘導されることはない。

問 3

初期原腸胚の原口背唇部は、原腸陥入により、頭部の表皮を裏打ちし、

後期原腸胚の原口背唇部は、原腸陥入により、尾部の表皮を裏打ちすることになるから、

胚 A に形成される 2 次胚からは頭部が、胚 C から形成される 2 次胚からは尾部が形成される。

48. 細胞質の働き

ウニ胚の植物極化と動物極化

植物極化

胚に植物極的発生様式が広がる現象またはそれを引き起こす操作

植物極化の例

- ウニ卵に Li^+ を作用させると、植物極では原腸形成が過剰に起こり、しばしば原腸が裏返って原腸が外部へ突出した外原腸胚となる。一方、動物極では外胚葉形成が抑えられ、ときには全く起こらないこともある。
- 植物極側の割球を分離・発生させると、内胚葉が異常に発達した不完全胚になる。
- ウニ卵にバリンやロイシンなどのアミノ酸を作用させても植物極化が起こる。

動物極化

主として棘皮動物(ウニなど体表に棘をもつ下等動物)の発生初期において、

本来なら動物極側の胚域でのみ起こるべき形態形成過程(造形過程)や分化が他の胚域まで広がり、場合によっては胚全体が動物極的発生様式を示す現象またはそれを引き起こす操作

動物極化の例

- ウニ卵にチオシアン酸ナトリウム NaSCN を作用させると、原腸陥入、内胚葉細胞や中胚葉細胞の形成など植物極側の発生過程が全く起こらず、正常なら動物極端側の長い繊毛(頂毛)が胚表面全体に分布した永久胞胚になる。
- 動物極側の割球を分離・発生させると、胚表面全体が頂毛でおおわれた永久胞胚になる。

二重勾配説(重複勾配説)

ルンストレーム(スウェーデン 1888～1971)がウニの形態形成を説明するために提唱した仮説

実験事実①

未受精卵を動物半球と植物半球とに切断分離し、それぞれを受精させると、動物半球からは動物極化した胚(永久胞胚)、植物半球からは植物極化した胚がえられる。

補足

未受精卵は卵核を含む卵片と含まない卵片になるので、受精後、卵核を含む卵片の核相は $2n$ 、含まない卵片は精核しかないから核相 n の単為発生となるが、結果に影響はなかった。

実験事実②

受精後または卵割初期に動物半球と植物半球を分離しても実験事実①と同じ結果が得られた。

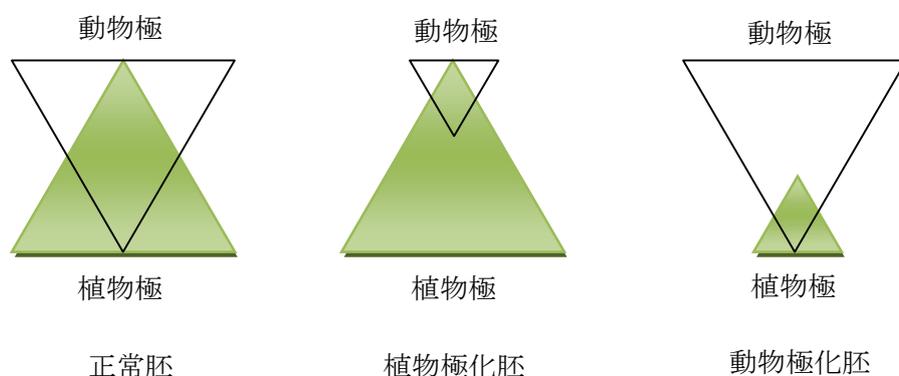
実験事実③

ウニ卵を LiCl で処理すると植物極化が、NaSCN で処理すると動物極化が起こった。

以上の実験事実を説明するために、ルンストレームは

「動物極から動物極化を誘導する活性の勾配が、植物極から植物極化を誘導する活性の勾配が、卵軸(両極を結ぶ軸)に沿って形成されており、それらの相互作用によって正常胚、植物極化胚、動物極化胚になる」

と考えた。



この仮説で、実験事実③を説明すると、

「LiCl は動物極化の活性を、NaSCN は植物極化の活性を抑制する」

ということになる。

この仮説の特徴は、

ウニの各器官の分化は、それぞれ異なる誘導物質が対応することによるのではなく、2つの質的に異なった誘導物質の活性の量的な組み合わせによるという点にある。

50. 軸の決定

問題訂正

図 1:2 列目最下部の動物極の方向の矢印の向きを逆にする。

問 1: 背側中胚葉構造 ⇒ 背側中軸構造

解説

問 2

受精後 10～15 分

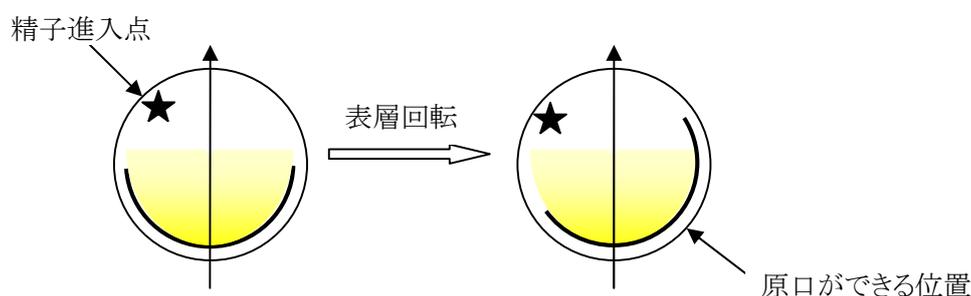
- ・ 受精膜が形成され卵が自由回転できるようになる。
すると、卵黄があるため比重が大きい植物極が下になる。
- ・ 卵内部の細胞質に流動性が生じ、重力の影響を受けて移動できるようになる。

受精後 10～15 分後から第 1 卵割開始(受精後 100 分)まで

- ・ 表層回転により、植物半球の表層の細胞質は精子進入点の反対方向に回転移動し、植物極付近の表層細胞質が移動した方向(位置)に原口が生じ、背側となる。

実験 1

A



表層回転により、植物極付近の表層細胞質が内部細胞質に対し移動した位置に原口ができる。すなわち、背側中軸構造が形成できる。

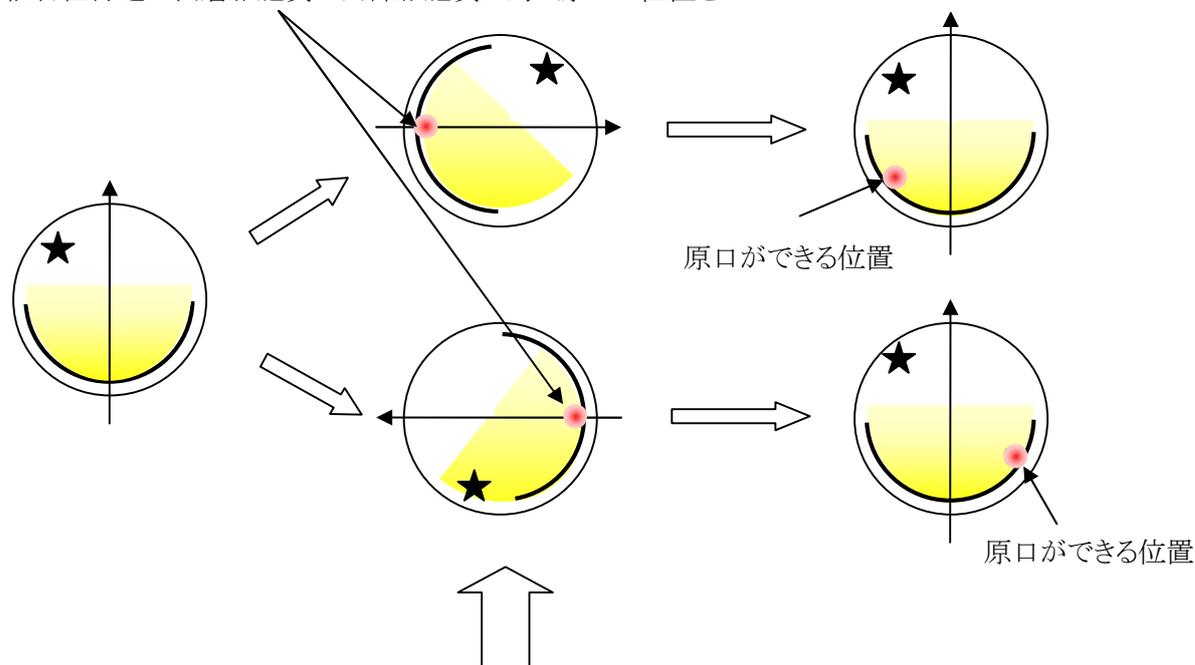
B

原口ができなかった本質的な原因として、
表層回転が起こらなかったため、
植物極付近の表層細胞質と内部細胞質とにずれが生じなかったため、
有害な紫外線が原口形成に必要な物質を破壊したため
のいずれかが考えられる。

表層回転を阻害しても、植物極付近の表層細胞質と内部細胞質とにずれを生じさせさえすれば原口が形成されるならば、本質的な原因は、
「植物極付近の表層細胞質と内部細胞質とにずれが生じなかったため」
ということになる。

C

植物極付近の表層細胞質が内部細胞質に対し原口の位置をマーキング



重力により、植物極の内部細胞質が下に移動するので、植物極付近の表層細胞質と内部細胞質の間にずれが生じる。

表層回転が起これなくとも、植物極付近の表層細胞質と内部細胞質にずれが生じれば原口が形成される。また、植物極付近の表層細胞質が内部細胞質に対して移動したときの内部細胞質側の位置(●)に原口ができることから、原口形成のしくみは表層回転の場合と同じと推測される。

以上より、

問 2 の答えは、

背側中軸構造を形成するのに必要な条件は、

受精後に植物極付近の表層細胞質と内部細胞質との間にずれが起こることであり、

これは、表層回転または受精後 65 分までに卵を傾けることによって起こすことができる。

またいずれの方法によっても、植物極付近の表層細胞質が内部細胞質に対し移動した側に背側中軸構造ができる。

実験 1 の結果を利用し、表層回転による背腹軸決定の時期について調べたのが実験 2 である。

問 3

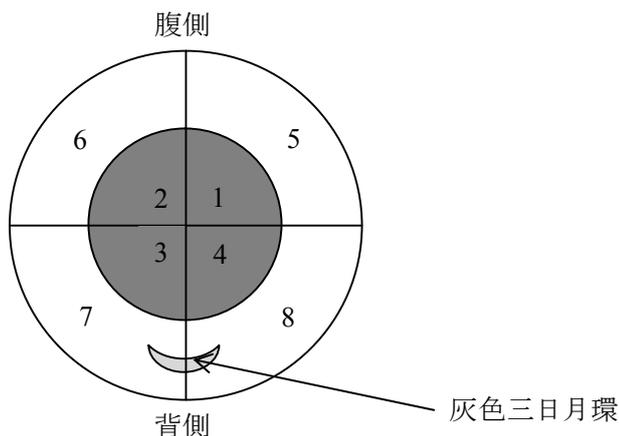
実験 1 より、表層回転による背腹軸決定と卵を傾ける操作による背腹軸決定は、尾芽胚の背腹軸の向きで区別でき、その向きから、受精後 65 分までは表層回転による背腹軸決定がまだ起こっていないが、受精後 80 分には表層回転による背腹軸の決定はすでに起こっており、受精後 100 分になると卵を傾けることによる背腹軸の決定が起こらなくなることがわかる。よって、表層回転による背腹軸決定は、受精後 65 分から 100 分にかけて徐々に行われる。

問 3

卵を傾ける操作を開始するときには、すでに表層回転による背腹軸決定が起こっているが、植物極付近の表層細胞質と内部細胞質のずれによる背腹軸決定能力がまだ残されているので、卵を傾けることにより、逆向きの背腹軸決定を起こすことができる。その結果、胚軸が 2 本生じた。

補足

脊椎動物の体軸は、頭尾軸、背腹軸、左右軸の 3 つである。カエルの場合、頭尾軸の予定運命は、卵の動物極が頭部、植物極が尾部となるので、卵の段階で決定している。また、背腹軸の予定運命は、受精後の卵の表層回転により決定される。つまり、頭尾軸と背腹軸の運命についてはモザイク卵的である。しかし、心臓が左にできるか右にできるかなどの左右軸の決定については、8 細胞期胚の割球除去実験から、調節卵的であることが示されている。



動物半球の割球 (1~4) のいずれか 2 個と植物半球の割球 (5~8) の背側の割球 1 個、腹側の割球 1 個の計 4 個があれば正常に発生し、左右の割球の組み合わせは正常発生に影響しない。

51. 発生と位置情報

形態形成因子(モルフォゲン)を分泌する細胞について

多細胞生物の発生は、基本的に細胞の分化・成長(体積の増加)・形態形成の 3 基本過程に分けて考えることができ、その 1 つの過程である形態形成とは、生物の発生において新しい形態がつくられている過程のことをいう。尚、単に「形態」といえば、「細胞集団がつくる形態」を指す。

形態形成は動物の胚の各部分での成長速度が異なるために起こるが、それとは別に、細胞集団の移動によっても起こり、形態形成のために起こる細胞群の運動を形態形成運動という。動物の初期発生において、細胞の集団の移動によって原腸形成や原基の発現が実現する。また、細胞性粘菌のアメーバ体の集団形成や子実体形成に際してこの運動は顕著である。形態形成を引き起こす情報因子が形態形成因子である。

形態形成因子は、モルフォゲン morphogen ともいう。

要するに、形の(morpho)素(gen)のことであり、発生生物学の最大のテーマでもある。

中胚葉誘導因子などの誘導因子も形態形成因子の 1 つである。

また、形態形成因子の多くはタンパク質であり、

特定の形態形成因子は特定の領域の細胞が合成・分泌し標的細胞に受容体を介して作用する。

このことについてもう少し詳しく説明すると、

成熟卵の細胞質中には、各形態形成因子の遺伝子発現に直接的にまたは間接的に関与する転写制御因子(またはその mRNA)が不均一に分布しているため、

発生過程で生じた各細胞質中への転写制御因子の分布も不均一となる。

たとえば、転写制御因子 A をもつ細胞は、胚の特定の領域の細胞に限られるのである。

したがって、発現に転写制御因子 A を必要とする形態形成因子は、その領域の細胞からのみ発現、分泌され、そこを基点として胚全体に渡って濃度勾配が形成されることになる。

本問では、ZPA がそれに当たる。

誘導因子や形態形成因子の作用を受ける側である標的細胞の応答能について

細胞外の形態形成因子の濃度および細胞質の成分構成は、近傍の細胞でほとんど同じだから、形態形成因子に対し同じ応答能を示す。

その結果、同じ機能をもった細胞が集団で行動することになり、形態形成が起こる。

次に、

細胞外の形態形成因子の濃度は同じだが、離れた位置関係にある 2 つの細胞集団で考えると、両集団は離れた位置関係にあるから、それぞれの集団の細胞質の成分構成が異なるので、形態形成因子に対する受容体の性質や量および受容体から遺伝子に至る細胞内情報伝達機構なども異なることがあり、そのような場合、発現する遺伝子群が異なる。

すなわち異なる応答能を示すことになり、2 つの細胞集団は異なる形態になることが考えられる。

本問は、形態形成因子の濃度勾配のみに依存する単純な形態形成モデルであり、形態形成因子(問題では「形原」)の濃度勾配の和のグラフを描いて考えればよい。