

勉強はしたくないけど単位は欲しい低燃費な方向けの

# 生命科学 II

文責 K. H

このシケプリは、諸々の事情から「**優はிரらないけど 2 時間で単位が来るシケプリを頼む**」とかいう要請を受けて実現したシケプリです。でも単位は保証できません。ピンポイントすぎて。図をもってくるのはめんどくさかったから教科書の対応ページ見ながらやってね☆

## ☆ 細胞を構成する膜

細胞を形成するには生体膜と呼ばれる膜構造が不可欠である。こうした膜は生体膜と呼ばれており、リン脂質とコレステロールを主成分とする脂質二重層からなる。この膜には、温度に依存して液相と結晶相の間で相転移が行われる、という流動性がある。これは、膜上のタンパク質がシグナル伝達等の為にある程度自由に動く必要があるためである。【教 p133】

## ☆ 細胞構造と細胞内小器官(オルガネラ)

### ● 原核生物と真核生物における細胞の違い

原核生物と真核生物とでは、その細胞にいくつかの違いがある。

- ・ 真核生物は後述の核というオルガネラを持つが、原核細胞では核膜に包まれていない核様体があるだけで、転写・翻訳の場所は区別されていない。
- ・ 原核細胞には細胞壁を持つものが多い
- ・ 原核細胞はグラム染色法で染まる「グラム陰性菌」とそうでないものに分けられる
- ・ 原核細胞は有糸分裂は行わない
- ・ 細胞内の膜区画や色素体(葉緑体)、ミトコンドリアなどは真核生物に特有

### ● 核

核は生体膜の1つ、核膜に包まれたクロマチン(DNA とヒストンの複合体)を基本とするオルガネラである。膜には核膜孔と呼ばれる孔がいくつも空いていて、物質輸送等に使われる。内部構造としては、転写活性の高いユークロマチンと、低いヘテロクロマチンの他、リボソームの前駆体やrRNAが蓄積されている核小体が挙げられる。【教 p137】

### ● 小胞体

小胞体はその膜表面にリボソームが分布している粗面小胞体と、そうでない滑面小胞体とに分けられる前者はタンパク質合成、後者はリン脂質合成やグリコーゲン代謝などいろいろな働きをもつ。【教 p137】

### ● ゴルジ体

ゴルジ体は扁平な滑面小胞体は何層にも重なったような構造をしており、シス側から送り込まれたタンパク質に糖鎖修飾を行ってトランス側から送り出している。【教 p137】

### ● リソソーム・ペルオキシソーム

どちらも分解に関わる小胞で、前者には多種の酸性加水分解酵素が含まれており、タンパク質や脂質などの分解のほか、アポトーシスにも関係する。後者にはカタラーゼやアミノ酸化酵素などが入り、脂肪酸のβ酸化や胆汁酸の合成、アミノ酸化などを行う。【教 p137】

### ● ミトコンドリア

細胞内に取り込まれた原核生物を起源とするため、独自の DNA を持っているオルガネラである。二重

の膜構造を取っており、内部構造をクリステ、内膜の内部空間はマトリックスと呼ばれている。働きは電子伝達系やアミノ酸回路による ATP の産生である。【教 p137】

### ● 色素体(葉緑体)

植物や藻類に見られるオルガネラ。ミトコンドリアと同様に独自の DNA を持つ。二重の生体膜からなり、ストロマと呼ばれる内部空間にチラコイドという扁平な小胞が積み重なってグラナを形成している。働きは光合成や脂肪酸酸化、アミノ酸合成や窒素と硫黄の同化など。【教 p137】

### ● 液胞

植物細胞の体積の大部分を占める膜構造。内部では様々な物質の貯蔵やリソソームのような分解、細胞空間の充填などが行われる。【教 p137】

## ☆ 細胞骨格

真核細胞の細胞質には細胞骨格という繊維構造が存在していて、細胞の形態の維持や細胞運動、物質輸送や細胞分裂の補助などを行っている。ここでは昨年度の問題を取り上げて解説する。【教 p140】

3. 細胞骨格について、以下の問いに答えよ。

(1)細胞骨格を構成する三種類の繊維の名称を挙げよ。

(2)上記3つについて、それぞれの違いを(a)繊維の太さ、(b)重合・脱重合の有無とそれにかかわるヌクレオチド、(c)繊維の極性の有無、に着目して5行以内で論ぜよ。

(3)細胞骨格が重要な役割を果たす生命現象について、具体的な例を1つ挙げて5行程度で説明せよ。

(1)アクチンフィラメント、微小管、中間径繊維

(2)アクチンフィラメントは最も細い(5~9nm)の細胞骨格で、G-アクチンというタンパク質により重合・脱重合が行われて形成される。ここで関わるヌクレオチドは ATP であり、重合には方向性があるため極性を持っている。微小管は最も太い(24~25nm)細胞骨格で、 $\alpha$ -チューブリンと $\beta$ -チューブリンという二種類のタンパク質が二量体を形成して、それが重合・脱重合を行って形成される。ここで関わるヌクレオチドは GTP であり、重合には方向性があるため極性をもつ。中間径繊維の太さはこれらの中間(10nm)で、重合・脱重合はあまり行われない。ヌクレオチドも関係せず、極性も持たない細胞骨格である。

(3)細胞骨格は、細胞分裂において重要な役割を果たしている。(細胞分裂はサイクリン-CDK 複合体という物質に制御されており、まず細胞増殖の進行を制御する G1 期から DNA 複製を行う S 期に移行する。複製が完了し、G2 期で正常に複製されたかのチェックが済むと、M 期へと移行して細胞分裂が行われる。) 細胞分裂はまず、染色体の凝縮が行われ、同時に核膜外で中心体が分離される。次に核膜が分散し、染色体が動原体によって紡錘体に接着される。中期には紡錘体極の中間にある紡錘体赤道面に染色体が整列する。そして後期に入ると、姉妹染色分体が分離して 2 組の娘染色体をつくり、紡錘体極に引っ張られて分離する。動物細胞ではこのあと細胞膜が収縮環によってくびれて分裂し、植物細胞では娘細胞の間に細胞壁ができて分裂する。アクチン繊維や中間径繊維はここでは立体構造の形成に関わっており、微小管は中心体から伸びる紡錘糸として、重要な役割を果たしている。

↑(カッコ)部分は細胞周期の説明なので多分いらぬ。てか入らぬ。

## ☆ 細胞接着

上皮細胞を例にとって細胞接着を解説する。上皮細胞同士の側面での接着は、

- ・密着結合タンパク質を介して、水溶性物質の漏れ出しを防ぐように密に結合させる⇒**密着結合**
- ・カドヘリンなどのタンパク質を介する、中間径フィラメントを利用した結合⇒**デスモソーム**
- ・水溶性の小さいイオンや分子を通過させる、連絡結合⇒**ギャップ結合**

がある。また細胞と細胞外基質との結合は、

- ・細胞と基底膜とをつなぎとめる中間径フィラメントやインテグリンを利用した結合⇒**ヘミデスモソーム**
- ・細胞外基質にくっついていることを認識し、細胞内へ情報を伝達するタンパク質⇒**インテグリン**
- ・くっついたり離れたりすることができる、カドヘリンを介し、アクチンフィラメントを利用した結合⇒**接着結合**

**【教 p144】**

## ☆ 細胞内輸送

細胞内輸送の中心は合成されたタンパク質の輸送である。真核生物では、小胞体膜上に結合した膜結合ポリソームと、遊離ポリソームとに分けられる。前者ではクラスリンなどのコートタンパク質からなる輸送小胞が必須でだが、後者では特に必要としない。

合成したタンパク質が分泌タンパク質や膜タンパク質なのか、それ以外なのかを見分ける標識は、N 末端付近に存在する小胞体シグナル配列で、これらのタンパク質を合成していると認識されたリボソームが小胞体膜上に結合されて膜結合ポリソームとなる。こうしたリボソームの運搬・結合を行うのが SRP と呼ばれるタンパク質複合体で、小胞体膜上にあるそれぞれの SRP と対応する SRP 受容体と特異的に結合することで膜結合ポリソームとなる。合成されたタンパク質はトランスロコンと呼ばれるチャンネルを通して小胞体膜を通過する。尚、膜タンパク質の場合はここで内部には入らずに膜貫通タンパク質となる。**【教 p150】**

合成されたタンパク質は、輸送小胞を用いてゴルジ体などの標的器官へ輸送される。輸送小胞は SNARE モデルと呼ばれるモデルで説明され、輸送小胞膜上の v-SNARE が、標的膜上の t-SNARE とが選択的に結合して輸送先に届けられる。**【教 p148-149】**

ゴルジ体での糖鎖修飾や、輸送過程での折りたたみなどを受けたタンパク質は、分泌小胞を経由する、**エキソサイトーシス**と呼ばれる方法で細胞膜外や細胞膜上に輸送される。こうした分泌には恒常的に行われる構成的分泌と、刺激に反応して分泌される調節的分泌とがある。

一方、遊離ポリソームで合成されるタンパク質は各種オルガネラに輸送されるものや、細胞内で利用される酵素などがある。核内外を行き来するものを例にとると、こうしたタンパク質は核膜孔よりも大きい物であっても核移行シグナル(NES)を認識することで、インポートやエクスポートの働きによって核内外へ移行することができる。**【教 p155】**

細胞は時として、LDL やマクロファージなどの大型分子を取り込む必要がある。こうした取り込みをエンドサイトーシスと呼び、エンドソームやファゴソームに酸性加水分解酵素が入ってリソソームを形成することで処理される。**【教 p158-】**

## ☆ 細胞周期

さっきの問題の解答見てください((´▽`))ケラケラ

## ～ガンの進行を防ぐには～

道上先生のテストでは授業でも触れていたような、ガンを治療する方法を問う問題が出る可能性が高いです。ガンを治療するといっても、ここで求められている回答は厳密にはガン細胞の増殖を防ぐための方法で、細胞周期について触れれば一定の得点は見込めるだろうと思います。

以下ではレジюмеで触れられている内容も含め、盛り込むべき要素をいくつか提示しておくので、各自で回答に困らないような文章を仕上げてください。

### ○ G タンパク質 "Ras"

Ras は次章以降で解説する G タンパク質の一種で、増殖因子のシグナル伝達経路上にあり、細胞周期の回転などにも影響を与えている。これが突然変異を起こすと GTP 加水分解酵素活性が損なわれ、変異型 Ras は活性化されたままの状態になり、細胞周期が止まることなく回転し続けるようになって細胞が無限に増殖してしまう。

### ○ CKI (cyclin-dependent kinase inhibitor)

これは細胞周期を負に調節するタンパク質群であり、増殖因子（正の調節を行う因子）が無い場合や、細胞同士が密着して増殖する余地がないときなどに転写・翻訳される。このタンパク質が CDK に結合すると、そのタンパク質リン酸化酵素活性を抑制し、細胞周期の進行が抑制される。これらは増殖可能な環境になると分解される。

### ○ Rb タンパク質

がん抑制遺伝子と総称される遺伝子群から作られるタンパク質の 1 つ。核内のある転写因子が活性化するのを抑えている。この転写因子は細胞が S 期に入るのに必要なタンパク質の発言に関わっているが、Rb に異常が生じるとこの因子が活性化された状態となり、誤ったタイミングで細胞分裂が行われることになる。

### ○ p53 タンパク質

上記の Rb タンパク質と同様に、がん抑制遺伝子と総称される遺伝子群から作られる。これに異常が生じて機能が失われると、細胞増殖の制御がきかなくなり、がん化に結び付く。

以上の要素を盛り込んだ上で、教科書 p192 にあるようなチロシンリン酸化阻害によるがん治療の例を踏まえて治療法としてまとめれば回答の完成といったところでしょうか。

具体的な話はまだ書けないのでざっくりした説明で十分だと思います。

## ☆ シグナル伝達の基礎

**※シグナル伝達は少々重いので、時間が無ければ EGF だけ理解して次に進んでください**

細胞間でのシグナル伝達で重要なメカニズムの内、最も重要な部類のリン酸化と、G タンパク質について解説する。尚、細胞間での伝達を介するのは一次メッセンジャー細胞内での伝達を介するのは二次メッセンジャーである。

### ● リン酸化・脱リン酸化(流用)

チロシン、セリン、スレオニン(教科書 p175 参照)などのアミノ酸が【プロテインキナーゼ】という酵素に

よって ATP からリン酸を受け取る反応が【a リン酸化(活性化)】であり、【ホスファターゼ】によってリン酸がはずれるのが【脱リン酸化(不活性化)】である。このシグナル伝達の好例として【b MAP キナーゼ】が挙げられる。この反応ではまず、受容体からのシグナルを受け取った Ras という G タンパク質(後述)が活性化され、【キナーゼ経路】を用いて b をリン酸化する。そして活性化された b が他の標的タンパク質をリン酸化する、というように【キナーゼカスケード】と呼ばれる下流への伝達が行われる。

### ● G タンパク質(流用2)

Ras は【G タンパク質】と呼ばれるタンパク質のひとつである。この種のタンパク質には、【a GTP】を加水分解して【b GDP】に変換する作用があり、a が結合した状態を活性型、b が結合した状態を不活性型と読んでいて、リン酸化・脱リン酸化と同様にシグナル伝達で重要な役割を果たしている。このタンパク質は【c 低分子量 G タンパク質】と【d 三量体 G タンパク質】とに分類され、Ras は前者に含まれる。c は教科書 p176 に示されているように、b を a に変換する【GEF(グアニンヌクレオチド交換因子)】という因子によって【活性化】され、役割を終えると a を b に再変換して【不活性化】される。d は  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の三つのサブユニットからなり、膜を7回貫通する特殊な G タンパク質共役型受容体(⇒15章)に結合している。普段は  $\alpha$  サブユニットに【e GDP】が結合した不活性型だが、受容体にリガンドが結合すると受容体自身が【GEF】のように作用し、e が【f GTP】と入れ替わって活性化される。役割を終えると f は加水分解され、不活性型に戻る。なお、GTP を GDP に加水分解する過程にもそれを促進するタンパク質があり、【GAP】と呼ばれている。

### ● 二次メッセンジャー

細胞内のシグナル伝達を行うのは【二次メッセンジャー】であるが、これにはタンパク質ではなく、【a cAMP(サイクリック AMP)】や【b  $Ca^{2+}$ 】といった低分子が用いられる。a は ATP が G タンパク質によって活性化された【アデニル酸シクラーゼ】という酵素によって変換されて生じる低分子で、A キナーゼなどのタンパク質を活性化している。詳細は教科書 p177。

b を二次メッセンジャーとするシグナルが伝わってくると、普段は【低い】細胞質中の b 濃度が直ちに【上昇】する。これは、細胞膜や小胞体にある【 $Ca^{2+}$ チャネル】が開いて、それまで維持されてきた高い濃度勾配が崩れるためである。【カルモジュリン】と呼ばれるタンパク質は b の結合によって立体構造が変化して活性型複合体となり、一部のプロテインキナーゼに結合してキナーゼとしての活性を示すようになる(スイッチが ON になる、みたいな感じ)。

### ☆ 細胞内シグナル伝達

受容体を介したシグナル伝達はホメオスタシスの維持において極めて重要である。受容体には酵素型受容体、G タンパク質共役型受容体、チャネル型受容体と転写因子型受容体の4種類があるが、テストに出そうなのは前二つだけなので、それぞれ EGF 受容体、アドレナリン受容体を例にとって解説する。

### ● EGF 受容体

酵素型受容体は多くは、細胞の内部にリン酸化酵素【キナーゼ】をもっており、シグナル分子の結合により【二量体】となってお互いに結合した相手の【チロシン】をリン酸化する。ここからは【上皮増殖因子(EGF)】を例にとって解説する。シグナル伝達の経路は以下の通り。

1. EGF 受容体に【リガンド】である EGF が結合すると、EGF 受容体が近接して【二量体化】する。
2. (正確には 1 と同時に) 細胞内ドメイン(教科書 p184 コラム)の立体構造が変化する。
3. 細胞内ドメインの【チロシンキナーゼ】が活性化して、二量体を形成している EGF 受容体同士

で【チロシン】を【リン酸化】する。

4. こうしてできた二量体に伝達の足場となるアダプタータンパク質などが結合し、受容体シグナル伝達複合体を形成する。
5. 活性化された複合体のあるものは Ras が関与する一連の【シグナルカスケード】を活性化する。
6. 14 章で解説したように、Ras によって活性化された【MAP キナーゼ】は二量体化して核内に入り込み、転写の促進を行う。

### ● アドレナリン受容体

ヒト遺伝子の中で最もたくさん数があるのは G タンパク質共役型受容体のグループである。これらは光や匂いなどの感知から血圧調節ホルモンの作用に至るまで活躍の幅は広い。この受容体は細胞膜を 7 回貫通したタンパク質で、細胞質側には【三量体 G タンパク質 (⇒14 章)】が結合している。ここでは血圧上昇や瞳孔散大、血糖値上昇に関係する【アドレナリン受容体】を例にとって解説する。シグナル伝達の経路は 2 つ存在し、まずは cAMP の産生を伴う経路について解説する。

1. アドレナリン受容体にアドレナリンが結合し、活性化される。
2. アドレナリン受容体とともに働く【三量体 G タンパク質】の【 $\alpha$ サブユニット (前章参照)】に結合していた【GDP】が【GTP】と置き換わる。
3. 【 $\alpha$ サブユニット】が遊離して、細胞膜に結合している【アデニル酸シクラーゼ】を活性化する。
4. 【アデニル酸シクラーゼ】が細胞質中に存在する【ATP】を【cAMP】に変換する。
5. 【cAMP】は教科書 p177 のように【A キナーゼ】を活性化する。
6. 【A キナーゼ】が標的タンパク質の 1 つであるホスホリラーゼキナーゼを活性化し、この酵素によってさらに活性化されたホスホリラーゼがグリコーゲンからグルコース-1-リン酸を産生することで血糖値が上昇する。

もうひとつの重要な経路は  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の上昇を伴う経路である。

1. 活性化されたアドレナリン受容体によって同様に三量体 G タンパク質が活性化される。
2. 【 $\alpha$ サブユニット】が【ホスホリパーゼ C】という酵素を活性化し、この酵素が細胞膜を構成するリン脂質のひとつである【ホスファチジルイノシトール 4,5 ニリン酸】を【イノシトール三リン酸】と【ジアシルグリセロール】に分解する。
3. 【イノシトール三リン酸】が細胞膜を離れて拡散し、小胞体にある【 $\text{Ca}^{2+}$ チャネル】に結合してチャネルを開く。そして小胞体から細胞質内に  $\text{Ca}^{2+}$ が拡散する。

### ☆ エネルギー生産と代謝経路

ATP(アデノシン 3 リン酸)は、生物におけるエネルギーのやりとりのカギとなる物質である。おおざっぱな流れは、糖類などを分解して得られたエネルギーを使って ADP(アデノシン 2 リン酸)にリン酸分子をくっつけて ATP を合成し、エネルギーを要する場面でリン酸を外してエネルギーを取り出す、というものである。ATP にリン酸を結合させる、または外す酵素はキナーゼと総称される。

- ATP 合成には 3 つのルートがある。1 つは解糖系と呼ばれ、全ての生物に備わっている最も重要な ATP 合成経路である。この反応はグルコースを出発点として、1 分子のグルコースから 2 分子のピルビン酸と、正味 2 分子の ATP を合成(2 分子を初めに利用して 4 分子を合成)する反応である。この反応では、NADH(酸化還元反応の補酵素【教 4 章参照】)の正味の出入りが無いいため、ATP を合成するのに酸素を必要としないことが最大の特徴である。ここで合成されたピルビン酸は、嫌気条件では乳酸やエタノール

に、好気条件では後述のクエン酸回路へと進行し、二酸化炭素と水に分解される。

- クエン酸回路では、解糖系で作られたピルビン酸の分解が行われる。この過程ではピルビン酸が二酸化炭素と水に完全に分解されるほか、一回の反応で NADH が 4 つ、FADH<sub>2</sub> が 1 つ、GTP が 1 つできるが、ATP はできないことに注意すること。ところで、クエン酸回路では酸素は使われていないように見えるが好気呼吸である。これは、NAD、FAD を供給するために NADH、FADH<sub>2</sub> を再酸化する必要があるためである。【教 p196】
- 電子伝達系では、クエン酸回路で作られた NADH、FADH<sub>2</sub> を使って ATP 合成が行われる。20 種類以上の電子伝達系を経由した反応がミトコンドリア内部でおこり、FADH<sub>2</sub> からは ATP が 4 分子、NADH10 分子から ATP が 30 分子作られる。

ここまでは異化(有機物分解)の代表例を説明してきたが、以下では同化(有機物合成)の代表例である光合成について解説する。…と思ったけどすっきりまとめられなかったので某神シケプリの夏学期のある問題と答えを掲載して代用とします。

生物は究極的には太陽からくる光エネルギーによって生きている。これを可能にするのが光合成である。光合成による光エネルギー利用の仕組みを、以下の言葉をすべて使い、簡単に説明せよ。

電子伝達、水素イオン、反応中心、クロロフィル、光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱ、NADPH、水の酸化、酸素、ATP 合成酵素、化学浸透説、酸化還元電位、チラコイド膜、葉緑体

【解答・解説】(from 東大の生命科学 5 力年)

化学浸透説は膜を隔てた H<sup>+</sup> の電気化学的勾配が高エネルギー状態であることを示しているため、光合成の電子伝達は葉緑体のチラコイド膜に存在している。光合成の明反応では、光エネルギーによって起きるクロロフィル a の光化学反応が高エネルギーの電子を生み出し、電子伝達を駆動する。この反応に共役して H<sup>+</sup> イオンを輸送し、H<sup>+</sup> の電気化学的勾配を形成し、F 型 ATP 合成酵素が ATP を合成する。光化学系 1 と光化学系 2 を直列につなぐことによって、明反応では幅広い酸化還元

電位の間(-1.4~+1.2V) を電子が移動して仕事をするため、水を酸化し、NADP<sup>+</sup>を還元する電子伝達系が完成している。光合成の暗反応では、カルビン回路がリブローズ 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼを用いて CO<sub>2</sub> 固定をし、同時に糖を生成する。

#### ☆ 細胞運動及び、神経伝達と筋収縮

動物細胞の繊毛運動や筋細胞の収縮運動は、細胞骨格(アクチンフィラメントと微小管が関与)とそれに結合するモータータンパク質の働きによるものである。この内、アクチンフィラメントと結合するものはミオシンで、筋収縮や細胞内の物質輸送などに関わっている。ミオシンには様々な種類が存在し、例えばタイプ II のものは筋収縮でサルコメアを形成したり、非筋細胞で輸送小胞を運搬したりしている。タイプ V ミオシンはアクチン繊維の上を歩くように動いて物質を輸送する。【教 p209】を見てもらった方がずっと早い。

一方で、微小管結合性のモータータンパク質は、キネシンとダイニンが挙げられる。これらも運動の基本的な仕組みはミオシンと同じで、ATP を加水分解をすることで得られたエネルギーを使って移動運動をし、繊毛運動や鞭毛運動を引き起こしている。細胞分裂の際の染色体分離や細胞移動などにもこれらのモータータンパク質が働いている。【教 p211】

スライドの第八・九回 13-20 はかの有名な THE CELL からで、教科書には書いてないから省きます。

次に神経伝達について解説する。イオンを通さない細胞膜につつまない細胞質内は各種のイオン濃度が一定に保たれており、細胞膜を隔てて静止膜電位と呼ばれる数十 mV の電位差が発生している(細胞内が負)。これに関わる重要なイオンは $K^+$ であり、膜電位はほとんどこのイオンの平衡電位を反映したものである。神経細胞の興奮は、膜電位の変化に依存して開閉する $Na^+$ チャネルと $K^+$ チャネルによるもので、刺激によって膜電位が閾値まで上昇すると、 $Na^+$ チャネルが一斉に開いて $Na^+$ が流入し、膜電位が急激に上昇する(脱分極)という変化が起こる。すると同時に $K^+$ チャネルが開いて細胞外に流出し、もとの電位に戻って $Na^+$ チャネルが閉じる。こうした一過性の膜電位は活動電位と呼ばれている。こうした活動電位が連鎖的に起こることで神経細胞内を刺激が伝達していく。また、シナプス(ここでは化学シナプス)においては、刺激により神経伝達物質(アセチルコリンなど)が分泌され、相手側の細胞膜の受容体と結びつくことで刺激を伝達する。

筋収縮の引き金となっているのは、細胞内の $Ca^{2+}$ 濃度の変化である。シナプスからの神経伝達により $Ca^{2+}$ チャネルが開いて $Ca^{2+}$ が流入すると、アクチン繊維とミオシン東部の結合が可能になり、筋収縮が引き起こされる。こうした $Ca^{2+}$ 濃度の変化による運動制御は一般の細胞にもみられるものである。

## ☆ 生殖

### ● 無性生殖と有性生殖

無性生殖は分裂などによって個体を生みだすため、個体同士で遺伝的な差は無い。一方有性生殖では配偶子が融合することで接合体を生み、そこから新たな個体が生まれるため遺伝的な多様性が生じる。こうした理由から、有性生殖の生物は環境変化に対する対応能力が種全体として高いため、種の保存という観点から有利だといえる。

減数分裂は有性生殖には不可欠な過程で、染色体を倍化したうえでそれを半分にし、さらにそれを半分にして配偶子を生み、それが雌雄接合することで倍化して元にもどる。この内一回目の分裂を第一減数分裂と呼び、ここでは染色体の交叉によって遺伝子の組み換えが起こる。この交叉を利用して遺伝子の染色体上の相対的な位置を知る方法に三点交雑法がある。具体的には、遺伝子 A,B,C の相対的な位置を知るためには、

$$(A-C \text{ の組み換え価}) = (A-B \text{ の組み換え価}) + (B-C \text{ の組み換え価})$$

と考えてよい。組み換え価とは、2 遺伝子の間で組み換えが起こる確率である。

しかし、減数分裂には先述の多様性というメリットだけでなく、デメリットも存在する。体細胞分裂よりも分裂回数が多いせいで、染色体の不分離が起こり、ダウン症候群などの原因となってしまう。

また、減数分裂によって配偶子が生じる過程は、通常の体細胞分裂とは異なっている。詳細は【教 p229】にある図を見てもらった方が早い。注意すべき点としては、精子は全ての細胞が等しく分裂するため、1 つの始原生殖細胞から 8 つの精子ができるのに対して、卵子については第一・第二減数分裂で卵母細胞・卵子と共に極体ができ、1 つの始原生殖細胞から 2 つの卵子しかできない点である。

受精では、多受精を防ぐとともに種特異的であるために、精密にコントロールされている。

## ☆ 発生の基本

動物の体を構成する3つの大きな要素として、(皮膚)、(消化管)、(筋組織や結合組織、神経組織)が挙げられるが、これらは発生の初期では外胚葉、内胚葉、中胚葉に分けられる。発生初期では生物ごとに異なる方法で卵割が行われて細胞数を増やす。【教 p236】 こうして数を増やした胚の中では、内部で母性因



子が不均等に分配されて起こる非対称な分裂と誘導による、細胞の特殊化によって性質の異なる細胞が作り出される。尚、中胚葉はこの誘導によって生じる部分で、通常胚の赤道面付近から生じるが、そこを切除しても中胚葉が作られるという実験からこの事実が確認できる。

脊椎動物の発生の大まかな流れは、体軸形成⇒三胚葉の誘導⇒形態形成運動⇒組織・器官の分化であり、形態形成運動とは誘導が完了した細胞を再配置すること、分化とは各細胞がそれぞれが対応する組織に適する機能をもった細胞へと変化することである。