

第7章 代謝

◎代謝の二面性

代謝とは、生体内の物質変換の生化学的過程で、エネルギー的代謝と物質代謝の2面がある。エネルギーは、生体内では ATP の形でやり取りされ、ATP が ADP になる際に放出される(1)をとりだしている。エネルギー以外にも生体は還元力も分子の形で保存している。その分子の例が(2,3)などである。

ここで(1)に関する式を考える。(1)を $\Delta G^{\circ'}$ と表すことにする。ここで、 \circ は濃度が 1M/L で温度が 25°Cの標準状態であること、'は(4)の条件下であることを意味する。

$$\Delta G^{\circ'} = (5)$$

であるが、生体内では濃度が 1M/L とは限らない。そこで、生体内での(1)は、

$$\Delta G' = \Delta G^{\circ'} + (6)$$

と表せる。また、この値が 0 のとき、(6)はこの反応の平衡定数 K_{eq} を用いて(7)となっている。

◎酵素

酵素とは生体内の反応の触媒であり、ほとんどタンパク質からできている。タンパク質以外の構成要素は(8)と呼ばれる。(8)の例として、ヘモグロビンなどに含まれるヘムや、NAD⁺などの(9)がある。(9)の多くは人体で合成できないため、(10)としてその前駆体を摂取する必要がある。また、触媒作用を示す RNA((11)とよばれる)も存在する。

酵素には、特定の基質にしか作用しない基質特異性と、特定の反応にしか作用しない反応特異性がある。この高い特異性は、特定の基質とよく結合するようになっている(12)によりもたらされる。たとえば、Aspや His、Ser といったアミノ酸からなるタンパク質の酵素(13)は、ペプチド結合のみを特異的に加水分解する。

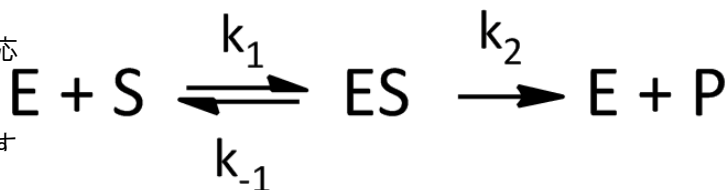
ここで、右の様に示される酵素 E に関する反応で、反応

速度 $v = d[P]/dt$ を決める式を(14)の式という。当然反応

物 S が多いほど v は早い、酵素量が一定なら v には限界

があり、この限界値を V とする。また、(15)定数を K_m とす

ると、 $v = (16)$ とおける。



ところで、酵素の基質特異性を逆手にとって、酵素反応を阻害することができる。つまり、その酵素が標的とする基質によく似た別の物質を作用すれば、結果的に真の標的の反応は阻害される。この時、阻害する類似物質のことを(17)という。

また、酵素の種類は国際規格である(18)番号で管理される。

◎代謝の流れ

代謝の基本となる反応を列挙する。

☆リン酸化反応

ATP の末端が基質のヒドロキシ基などに転移し、リン酸エステル結合を作る反応。この酵素は(19)という。

☆脱リン酸化反応

リン酸エステルの加水分解。酵素の総称を(20)という。

☆C-C 結合の生成、切断

カルボニル基の炭素は正に帯電し、隣の炭素原子から水素がかい離することに基づいて反応が起こる。酵素の代表例が(21)や(22)。

☆脱水素反応

化合物が生体内で自由エネルギーを失う過程。

これらの基本的反応を基に代謝が行われる。

☆代謝の概略

代謝の中心にあるのが糖の分解、つまり(23)である(逆の流れは(24))。多糖類が分解されて生成した単糖類のグルコースは、リン酸化されて(25)となり、酵素(26)によりC-C 結合が切られる。さらに NAD⁺によって酸化されて最終的に(27)となる。(28)呼吸を行う場合はさらに(29)を生じる。以上の過程でATP を生産する。

さらに(29)と、(27)から生じた(28)を縮合させると(30) を生じ、(30)回路が始まる。この回路では 2 つの脱炭素反応で二酸化炭素が生じ(これが呼気に含まれる二酸化炭素)、その後は(28)を再生する反応である。この回路で、グルコースの持っていた自由エネルギーがNAD⁺や(31)といった還元物質として保存される。

◎C や N の生物界への参入

無機化合物である二酸化炭素やアンモニアが、生体に使われるような有機化合物になる固定回路がある。二酸化炭素の方は、主に植物の光合成で行われる(32)回路、アンモニアは様々な生物の体内で行われる(33,34)回路である。

◎酵素活性の調節

酵素には、(35)とよばれる低分子が結合することでその活性が調節される。(35)が特に活性中心以外に結合するような酵素を(36)酵素といい、そのような制御を(36)制御という。

(36)酵素は、複数のサブユニットからなるオリゴマーを形成しているが、各サブユニットは二つの安定な状態がある。その二つは、基質との親和性が高い状態と低い状態で、それぞれ(37,38)型という。ただし、酵素は全体として複合体を作るため、二つの型の変異はサブユニットすべてで同時に起こる。例えば正の(35)なら、(37)型に結合してこの型を安定化させる。

その他の調節の例として、酵素のリン酸化がある。(27)脱水素酵素は(36)制御のほかはこの調節もうける。この酵素(PDH)の場合、リン酸化されると活性を失う。また、このリン酸化を行う酵素もまたリン酸化の調整を受けることもある。この何層もの調整の仕組みを(39)という。この仕組みをもったリン酸化調整の代表例がホルモンによるグルコース供給である。この仕組みでは、各段階を経るごとに入力が増幅する。すなわち、小さな変化を大きな効果に増幅する機構である。

なお、こうした代謝経路の根源にあるのは、ある経路を経て反応物ができたらその反応を抑制するというフィードバック機構である。

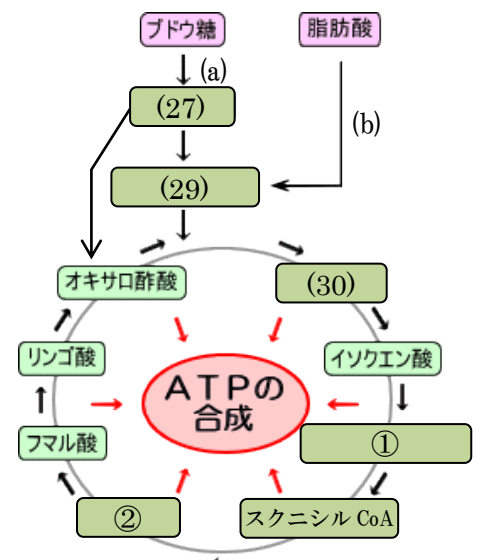
以上でみたような代謝経路は、細胞内の代謝物質をコンピューター制御で分析することで明らかになる。この技術を(40)という。

問

① 平衡状態で[ES]が一定であることをふまえて、式(15)を導出せよ。また、K_m も求めよ。

② 代謝経路(右図)について

- ①②に当てはまる物質名は？
- (a)の経路で登場するFBP、G3P の正式名称は？
- (b)この過程の名前は？
- タンパク質の代謝で生成したアミノ酸、Glu,Asp,Ala がアミノ基転移した物質を右図から選べ。



第8章 生体エネルギー

◎生体エネルギー

生体エネルギーは、ATP と、(1)の形で蓄えられる。呼吸鎖の電子伝達反応で放出されたエネルギーが(1)に蓄えられ、その高エネルギー状態を利用して ATP が合成されるというこの発想は、P.ミッチェルによって(2)説として提唱された。そしてこのような ATP 合成の仕組みを(3)という。また、呼吸ではなく光合成をもとに(1)を形成する仕組みを光リン酸化という。

◎呼吸鎖

ミトコンドリアの内膜で起こる反応である。NADH から取り出される電子は、(4,5)などの仲介物質を通じて移動し、最終的に酸素を還元して水が生成する。この間に発生するエネルギーは H⁺ 輸送に使われる。この輸送は、右図の(7)側から(8)側へ起こる。

また、この系において、(4)から(5)bc1 複合体へ 1 電子がわたるごとに 2つの H⁺ が輸送される仕組みを(9)という。

なお、実際に(1)を利用して ATP 合成を行うのは F 型 ATP 合成酵素である。これはミトコンドリアの内膜に存在する。F₁ 部を除くと電子伝達は起こるものの ATP は合成されないことから、この部分は(10)とよばれた。

ところで、この酵素の回転は日本の研究グループにより明らかにされた。この酵素の(11)と呼ばれる部分に色素を結合したアクチン繊維を結合することでその回転を明らかにしたのである。その結果、回転は常に 120 度ごとに起こることが分かった。

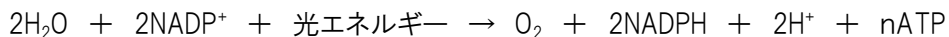
◎光合成

光合成には、光エネルギーから ATP と還元力を生産する(12)と、そうして得たエネルギーで二酸化炭素を有機物として固定する(13)に分かれる。(12)と(13)はそれぞれ葉緑体の(14)膜と(15)に局在する。

(12)で、光エネルギーは(16)によって吸収され、利用され、また還元力は水の酸化によって得られる。この際に酸素が生成する。また、(13)での二酸化炭素の固定反応を(17)という。

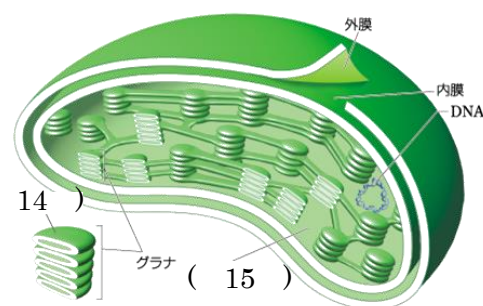
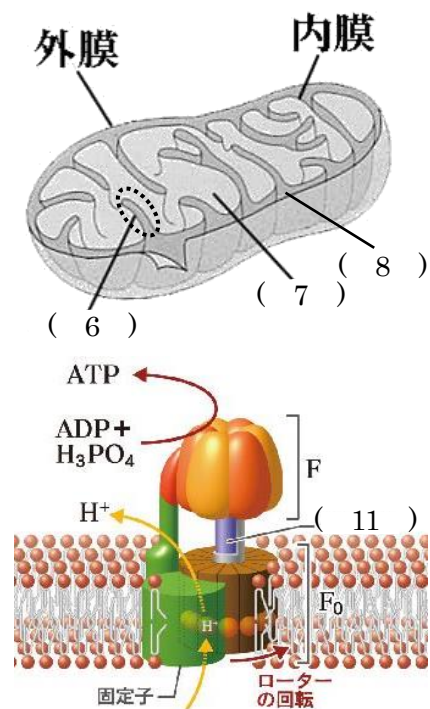
光エネルギーを吸収する(16)の一種クロロフィルは、実際には(14)膜にしか存在せず、他の器官は無色である。

光合成の仕組みも呼吸鎖とよく似ている。光合成でも、ユビキノンと同じ骨格を持った(18)や銅を含む(19)などを用いて電子を運び、また、(9)も形成する。この時のエネルギーで(15)側から内腔へ H⁺ を輸送する点も同じであり、(14)膜には F 型 ATP 合成酵素もある。まとめると、光合成では以下の反応が起こっている。



一方炭素固定反応では、反応が3つに分かれる。1つは、(20)が二酸化炭素を吸収して 2 分子の(21)を作る反応で、ここで(22)という酵素が働く(通称(23))。2つめが ATP や NADPH をともなう一連の反応、3つめが(20)の前駆体が再生する反応である。

ところで、炭素固定産物は上記のように炭素数3の(21)であるが、リンゴ酸やアスパラギン酸などの炭素数 4 の物質へ固定する植物もある。この二つを各(24,25)という。現在の二酸化炭素濃度がここまで低い一因は(25)の出現である。



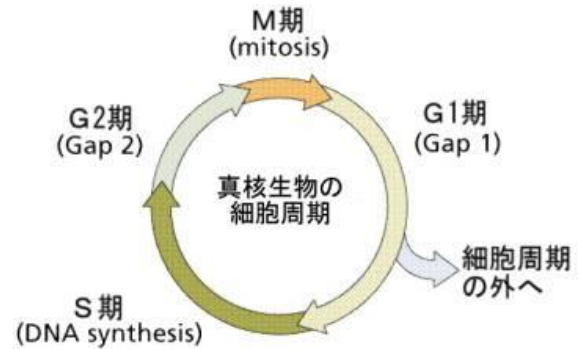
問

- ① (14)膜は、夜間は H^+ を(15)にわずかに漏らしてしまうので、ATP 合成酵素は夜間に逆回転してエネルギーを浪費してしまう。これを防ぐ仕組みを説明せよ。
- ② 酵素(23)のもつある性質のために、この酵素は(20)を無駄に浪費する。その性質とはなにか。
- ③ (24,25)で、エネルギー効率が悪いのはどちらか。また、その効率が悪い方の光合成のメリットは何か？
- ④ ミトコンドリアと葉緑体でトポロジ的に相同な部分はどこか？

第9章 細胞周期

◎細胞分裂

細胞は、右のような細胞周期をまわりながら分裂している。この図に関し、M 期は(1)、それ以外を(2)と呼ぶ。高等生物の体細胞の多くは、このサイクルからはずれ、G0 期になっているが、単細胞生物の多くは環境が許す限り際限なく増殖する。ただし、飢餓状態に陥ると増殖は当然ストップする。いずれにしても、細胞周期の状態はデリケートに調節されていることが分かる。そして、この周期とともに増減し、細胞周期の調節をしているタンパク質をまとめて(3)という。



(3)自身には酵素活性はないが、(4)と結合することで(4)の酵素活性を調節する。なお(4)の正式名称は(5)であり、その名の通り種々のタンパク質をリン酸化する。また、(3)と(4)の複合体の活性を阻害する(6)というたんぱく質も関与している。(3,4,6)による調節は以下の通り。

もともと細胞には(4)が存在し、そこに(3)が発現して複合体を作り、さらにその複合体のあるアミノ酸基がリン酸化されて初めて活性化する。しかしこの複合体にはこの部分以外にもリン酸化されうる部分があり、この部分がリン酸化されていると(6)が結合して働きは抑制される。

いわば、(3,4,6)は細胞周期のアクセル、エンジン、ブレーキである。

細胞周期で働くタンパク質は、用が済んだら分解しないと細胞周期がうまくまわらない。そのため、用済みタンパク質には(7)というタンパク質が目印として結合し、そのタンパク質は(8)というタンパク質の‘ごみ箱’に運ばれ分解される。

◎チェックポイント

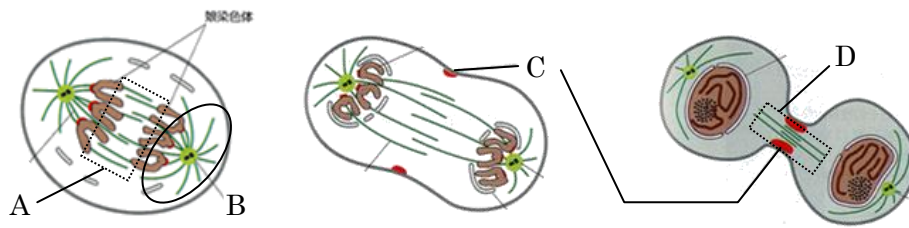
細胞周期の4つの各段階で、次のステップに進んでもよいかチェックする機構(チェックポイント)が細胞には備わっている。たとえば、G1 期チェックポイントでは、DNA 損傷がないか確認される。なお、ここで重要になるタンパク質が(9)である。このたんぱく質は、普段は生成するそばから分解されるために、細胞内の濃度は低い。ところが DNA に誤りがあると分解されにくくなり、活性も上昇する。すると(6)の一種(10)を活性化して S 期への進行を止めたり、DNA 修復を活性化させたりする。それでも間に合わない場合は(11)も誘発する。

(11)のような計画的な死ではなく、一般的な死を(12)という。この死がおこると、細胞内器官流出して近隣の細胞に悪影響を与える。(11)では(13)というタンパク質分解酵素が重要になる。本来(10)を迎えるべき細胞が生き続けると癌となることもある。なお、(11)をおこす経路は二つある。一つはミトコンドリアが損傷することで細胞内に放出された(14)が(13)前駆体を活性化するもの、もうひとつは細胞膜の(15)という受容体が活性化して(13)を活性化するものである。

細胞内にウイルスなどから別の DNA が持ち込まれ、それが暴走して増殖させつづけるとき、この遺伝子を(16)という。癌細胞は増殖がはやいとされるのは、細胞周期にかかる時間が短いからではなく、細胞で G0 期にある細胞が少ないからである。

問

① 細胞質分裂の際に現れる、図で示した構造の名称を答えよ。



第 10 章 シグナル伝達

◎シグナル伝達の様式

細胞の受容体が分泌物質をとらえる伝達様式として主なものを右に示す。上の3つの形式を左から(1,2,3)という。そしてこのような伝達を担う物質のうち、細胞膜の受容体に結合し、シグナル伝達の第一義となる物質を(4)、それに反応し細胞内で拡散し刺激を伝達する物質を(5)という。(5)の例が Ca^{2+} や cAMP である。

細胞内でおこる連鎖反応を前章でもふれたとおりカスケードと呼ぶ。

この一例が、外からの刺激に反応し細胞内の転写因子をリン酸化

する酵素(6)カスケードである。つまり(6)をリン酸化する(6)キナーゼ、これをリン酸化する(6)キナーゼキナーゼ・・・という個々の物質が順に反応することで情報を増大させるのである。

受容体と結合する生体内の物質を(7)といい、また(7)ではないが受容体と結合し(7)と同じ働きをする薬品を(8)とよぶ。そして、逆に受容体と結合して(7)の結合を阻害するものを(9)と呼ぶ。たとえばニコチン性(10)受容体としての(8)がニコチンである。

受容体が刺激を受けた後の伝達は主に 3 つある。

まず、タンパク質に含まれるチロシン、セリン、スレオニンのリン酸化である。リン酸基は構造を見れば明らかのように、強い負電荷をもつ上に大きい。したがってリン酸基はタンパク質の構造変化に便利なものである。

次に(11)を介した伝達である。このタンパク質は、(12)が結合した活性状態と(13)が結合した不活性状態があり、両状態を状況に応じて行き来する。また、(11)には 2 種類がある。(14)は、普段不活性状態だが、シグナル伝達により活性化され、用が済むとまた不活性状態に戻る。一方(15)は、膜を 7 回貫通する特殊な受容体と結合したもので、こちらも普段は $\text{G}\alpha$ サブユニットが(15)と結合した不活性状態である。受容体が刺激を受けるとこの(15)が遊離し(14)が結合する。すると次の標的に伝達が進む。

最後に、低分子の(5)による伝達である。一例が細胞内の Ca^{2+} 濃度の上昇である。受容体が活性化するとイノシトール三リン酸などを介して、小胞体のチャネルが開く。小胞体内の Ca^{2+} 濃度は周囲より高いので、 Ca^{2+} 濃度が上がる。

細胞内に伝わったシグナルの多くは遺伝子の転写因子を活性化し、特定の遺伝子を発現させる。一方ホルモン分泌などの応答では遺伝子がかかわらない。当然後者の方が応答にかかる時間は短く済む。

◎シグナル伝達の具体例

1. キナーゼ型受容体

右で示すように、不活性状態では二分子状態の受容体が(7)と結合すると二量体を形成し互いの(16)残基をリン酸化して活性化するもの。(17)という増殖因子が一例。

2. G タンパク質共役型

ヒトに最も多いタイプ。代表例が(18)によるシグナル伝達である。(18)が受容体と結合すると、 $\text{G}\alpha$ が前述のプロセスを経て活性化し、このサブユニットが(19)という酵素を活性化、そしてこの酵素が cAMP をつくり、阻害タンパク質のついた(20)を活性化し、その標的タンパク質をリン酸化するようになる。

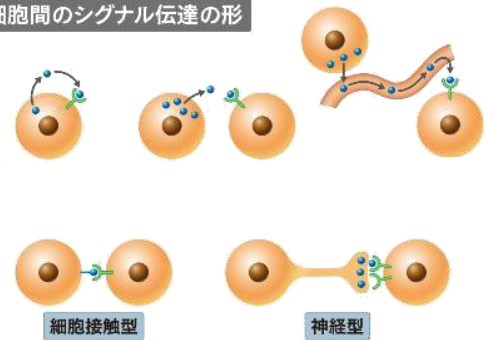
3. チャネル型受容体

シグナルを受けた時だけ開くようなチャネル。これによってもたらされる細胞内のイオン濃度変化が別の反応を起こす。

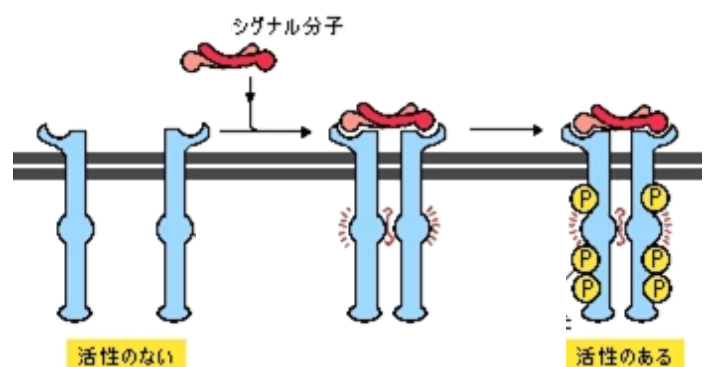
4. 転写因子型受容体

細胞膜を透過するタイプの伝達物質が、細胞内の受容体と結合するタイプ。

細胞間のシグナル伝達の形



© University of Tokyo



ところで、受容体の種類は2～3千種類ほどあるとされるが、そのなかでシグナル伝達物質が分かっているものはせいぜい500種類である。それ以外の、シグナル分子が不明な受容体を(21)という。(21)を解明することが新薬の発明につながる。

また上記以外にも、タンパク質の分解によるシグナル伝達も存在する。

◎細胞の接触による相互作用

細胞同士が直接触れてシグナルを伝える仕組みもある。たとえば、膜を貫通して存在するタンパク質(22)は、他の細胞の同種の(22)と結合してシグナルを伝える。また、(22)の細胞内側には(23)も結合している。

一方、他の細胞ではなく、コラーゲンなどに代表される(24)と結合する膜貫通タンパク質が(25)である。その際、(24)から様々な情報を受け取る。

問

① ホルモンとその受容体をそれぞれH、R、両者が結合した状態をHRとする。 $[HR]$ を、受容体の総濃度 R_{tot} 、かい離定数 K_d 、 $[H]$ を用いて表せ。

第 11 章 発生と分化

◎卵形成

卵には、養分などの母親由来の成分、(1)が含まれる。養分以外の(1)の例として胚の向きなどを決めるタンパク質や mRNA などがある。(1)の多くは卵形性の過程で(2)内に蓄えられるが、その分布には偏りがあることが多い。すると、卵の細胞分裂(=(3))の際に各杯細胞(=(4))に偏って分布するので、これが特定の細胞分化を起こす。たとえば、線虫の場合、生殖細胞になるために必要な(1)、(5)が常に一方の細胞のみに含まれるように分裂し、最後に(5)を持っていたものが生殖細胞になる。このように、卵から分裂していく細胞の運命をたどった図を(6)といい、線虫のものはすべて明らかになっている。線虫は発生のメカニズムを分子レベルで調べるのに適した素材である。なお、細胞の分化は、働き蜂の生殖器官の遺伝子抑制のような、エピゲノムを通じた作用にも影響される。

◎杯の方向性

まずショウジョウバエを例にとって考える。ショウジョウバエの杯では、頭部と尾部で転写因子が偏って存在する。この偏りにより(7)という一群の遺伝子が一定のパターンで発現する。この遺伝子で発現するものも転写因子で、(7)の発現パターンをもとに(8)という一群の遺伝子が発現する。同様に、次に(9)が発現し、ついに昆虫に見られる基本的な節構造ができる。この流れは転写因子の濃度勾配でできる。節に分かれたあと、最終的にどの器官になるか決定する重要な因子が(10)である。これら全9セットの遺伝子を(11)という。一方、哺乳類はこれに相当するセットを4つもっていて、これを(12)という。両者の発現パターンはよく似ている。

次にカエルの卵細胞に注目する。カエルの胚は、メラニン色素が多く黒い(13)と、白い下側の部分(14)に分かれている。この二つの向き以外は完全に対称である。そこへ精子がある特定の場所に受精することで、その反対側が背側へと分化する。背側の領域にはやがて(15)が形成され、周囲の細胞を強く誘導し、体の形を形成する。このながれは、はじめ杯の(14)側にあった背側の分化を起こすアクチビン/ノービルなどの因子によって成立する。

◎細胞分化

特定の組織に分化した細胞は不要な遺伝子が抑制されるが、未分化でまだどんな器官にもなりうる細胞を(16)といい、再生医療に(16)が注目されている。(16)を得る方法として、ヒトの胚から(17)を採取する方法と、分化済みの体細胞にある遺伝子を作用させて未分化の細胞(18)を得る方法がある。後者の方が倫理的問題が少なく、拒絶反応も起きない。(18)はもともと(19)の遺伝子を体細胞に作用させることで増殖機能を回復させることで作成していた。しかしこの方法ではしばしば細胞が腫瘍化する。それを改善し、腫瘍化しない方法も確立されている。これら二つの細胞と体性幹細胞が現在再生医療で用いられるものである。

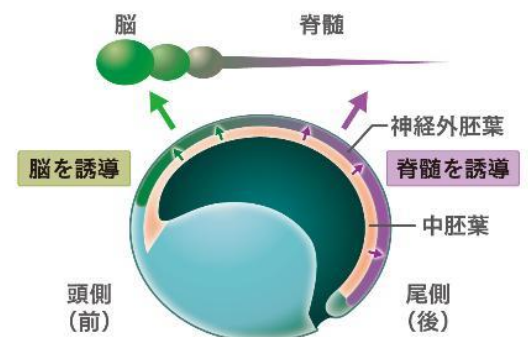
以下、胚の成長の様子をさらに細かく見る。カエルやヒトなど多くの動物の胚では、胚が3つの部分(内・中・外胚葉)に分かれた(20)である。このような異なる部分に分かれるのは、近接した細胞を分化させる誘導作用があるからである。誘導作用の例として、物質を分泌して周囲を分化させる、細胞接着により直接的に分化させる、(21)を作り分化させる、などがある。

このような仕組みで大まかな領域が決まると、大掛かりな細胞移動(=(22))がおこる。この頃の胚を(23)と呼ぶ。さらに進行すると、次にのちに脳や神経になる(24)ができる。これが神経胚である。これに先立って中胚葉の前方からは脳に、後方からは脊髄に分化させるような物質が分泌される。これが(25) (右図)である。

◎花器官の形成

最後に植物の細胞分化について考える。

一般に植物の花はがく、花弁、おしべ、めしべの4つからなるが、これらの分化は A,B,C3つの(10)によって引き起こされる。このようなモデルを(26)という。



問

- ① 初期の胚の細胞分裂は、分裂速度が非常に早い。これはなぜか、細胞周期の視点から答えよ。
- ② (3)の様式に関して、下の表をうめよ。

卵黄の分布形式	卵割の種類		主な生物
a	d	放射卵割	ウニ
		らせん卵割	ミミズ
		左右相称卵割	ホヤ
b	e	左右相称卵割	タコ・イカ
盤割		ニワトリ・トカゲ	
c		表割	ショウジョウバエ

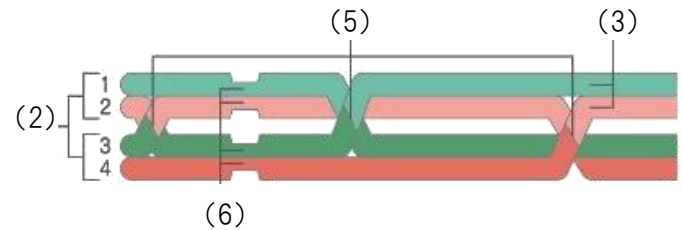
第 12 章 生殖と減数分裂

生殖には有性生殖と無性生殖の二つがあるが、以下では有性生殖に注目する。有性生殖においてはゲノム量が n の二つの一倍体(母方と父方由来)が融合して(1)が形成する。

◎減数分裂

$2n$ のゲノムをもつ細胞から生殖細胞を作るとき、体細胞分裂と異なり娘細胞のゲノム量が n になる分裂をする。これが減数分裂である。この特殊な分裂を詳しくみる。

体細胞は、父方と母方由来の染色体を対で持っている。この組を(2)という。この $2n$ のゲノムは倍加し、(3)を作る。体



細胞分裂では(2)が独立して赤道面に並び分かれるが、減数分裂ではペアを作る。このとき、染色体の一部が交わり、混合する(= (4))。この現象が遺伝的組換えである。そして、この染色体が(4)する場所を(5)という。こうして並んだ(3)は微小管と(6)で結合し引っ張られ、分離する。ここまでの第一減数分裂で、現時点でゲノム量はまだ $2n$ のままである。

この後、各(3)はDNAの複製をはさまずに分離し、最終的に4つの生殖細胞ができる。この分裂が第二減数分裂で、ここでゲノム量は n になる。

減数分裂では、(4)を無視したとしても、(3)の父方母方がどちらへ行くかというだけで染色体の多様性が生まれる。たとえばヒトなら、(2)のペアが23対あるので、組み合わせは 2^{23} 通りもある。また(4)という現象を利用して、遺伝子間の距離を推定できる。つまり、(7)が作れる。遺伝子AとBの距離が長いほど、AとBの間で(4)が起こる確率が高いことから、その確率を分析することで推定できるのだ。

遺伝子を分析する方法をもう一つ挙げる。それが、マウスに対し特定の遺伝子を破壊して標的の遺伝子と組み換えを起こさせる(8)である。この手法では、よく似た遺伝子配列同士では組換えが起きやすいことを利用し、あらかじめ(9)を作成しておき、(9)を細胞に組み込む。

◎遺伝的組換えについて

遺伝的組換えには2種類ある。(10)組換えは、相同なDNA配列の間で起こる組換えである。(4)もこの一例。もう一つが(11)で、短い特定の塩基配列で起こる組換えである。(12)という可動性遺伝子の移動がその例である。(12)では、(13)複合体が短い逆向きの反復配列を認識しその部分を切断、転移させ、別の染色体に組み込む。

◎さまざまな配偶子の形成

(A)被子植物の雌性配偶子

母細胞が二回の減数分裂を起こして生じた4つの細胞のうち、3つは消失してしまう。残ったひとつが(14)を3回し、8個の細胞で(15)という大配偶子を作る。

(B)被子植物の雄性配偶子

母細胞が二回の減数分裂を起こして生じた4つの細胞は(16)をつくり、それらがかい離して小孢子となる。小孢子的細胞はさらに分裂し(17)とそれを支える(18)に分かれる。(17)の方はさらに分裂しa 二つの精細胞が生じる。

(C)哺乳類の卵形成

哺乳類のような高等生物では二倍体の期間が極めて長い。たとえば卵形成でも個体がある程度成熟するまで第一減数分裂で停止している。個体が成熟し一次卵母細胞が成熟すると、表面に透明帯と表層顆粒が見えはじめ、第一分裂を起こす。このとき、(19)が放出される。次いで(20)を放出しながら第二分裂する。

(D)哺乳類の精子形成

精原細胞が(14)、第一第二減数分裂して生じた8個の細胞は、細胞質が一体となった(21)という多核体を作り、その一つ一つが精子になる。

◎配偶子の特殊化

雄性配偶子の目的は DNA の運搬であり、それ以外の細胞小器官はむしろ胚形成を妨害する。そのため核以外の部分は極力排除されている。精子の構造は、卵の膜をやぶるための加水分解酵素を含んだ(22)と核からなる頭部と、ミトコンドリアを含む(23)や鞭毛からなる尾部に分かれている。一方卵も特殊化している。前項(C)でふれた透明帯は特定の精子(同生物種の精子)しか通れない障壁になっている。

◎受精

(A)被子植物の受精

植物の精細胞は運動能力がないため、代わりに(24)を花柱に伸ばすことで受精する。(24)は花柱を出ると胎座、珠柄、珠孔へと順に伸びてゆき、(15)に達する。

(B)動物(哺乳類)の受精

卵子の周りの透明帯に含まれる Z3 というタンパク質が種特異的に精子と結合し、(25)がはじまる。ここで、(22)内の酵素が透明帯をやぶり精子が進入、そして卵と膜を融合させる。これをきっかけに卵内で局所的に Ca^{2+} 濃度が上昇し、このシグナルが卵全体に伝わる。すると表層顆粒から酵素が分泌され、透明帯を変質し他の精子をブロックする。このように、精子には卵を活性化させる役割もある。(精子のない状態で活性化し個体発生することを(26)という)

その後鞭毛の基部にあった中心小体が卵内で(27)形成の中心となる。この微小管をレールにして卵の核が運ばれて核が融合する。

そしてこのとき、DNA 情報だけでなくメチル化に関する情報などの(28)な情報も伝わる。なお、ここで母方、または父方の遺伝子片方だけがメチル化され発現が抑制されることがある。この現象を(29)という。

問

- ① 人の性染色体は XY と呼ばれるが、鳥類などでは ZW である。両者の違いを説明せよ。
- ② (15)を模式的に示し、部分の名称を示せ。
- ③ a. 二つの精細胞が生じる とあるが、それは②で示したどの細胞に受精するのか。
- ④ 植物を瘤化させる細菌、アグロバクテリウムの、生物学的研究的意義を述べよ。