

前書き

このシケプリは配布自由です。サークル・他クラスのアプロダに上げていただいて全く構いません。私自身が生物選択者ではないのでクオリティに自信はありませんし、このシケプリを利用した結果生じた如何なる損害に対しても一切の責任は負いかねます・・・が、それでも利用したいとおっしゃる方がいればどうぞお使いください。尚、ミスタイプ・誤りなどあれば何かしらの手段でご指摘いただければ幸いです。また、6 章はこのクラスの試験範囲には無いので割愛しました。試験範囲の異なる方はご注意ください。授業ノートが一応まとめた部分はノートをベースにしましたが、大体の部分はあまり良くなかったもので、教科書を主体にまとめました。必ずしも授業で扱っている内容だけではないかもしれませんが適当に自分で取捨選択して下さい。逆に、教科書に無い内容でノートがあまりにもカオスだったものは割愛しました。あと、教科書のコラムの内容で板書に無いものは割愛しました。自分で読んで下さい。図の出典は教科書です。

<改訂箇所>… 2 章で意味なくつながっていたヌクレオチド云々の表を分割。

4 章の負の調節機構について誤りがあったので訂正。

1 章 生物の多様性と一様性…後ろの章で詳しく述べられている事は割愛しました。

多様性：生物の多様性は遺伝子組成と発現様式で決まる。



一様性：それぞれの種としての一様性は明白

○生物の定義

- ・リン脂質二重層からなる膜で囲まれた「細胞」と呼ばれる単位からできている。
- ・遺伝物質 DNA によって、自己を複製する。
- ・環境からの刺激に応答する。
- ・環境からエネルギー物質 ATP を合成し、そのエネルギーを用いて生活・成長する。

○生物の系統 (DNA の塩基の違いによる)

- ・原核生物 (真正細菌 + 古細菌) …明確な核が無く、細胞内小器官も無い。

⇔真核生物

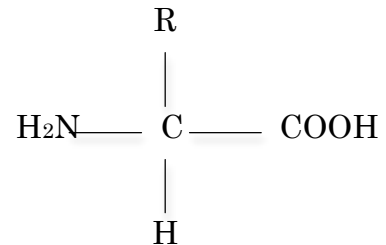
○生体を構成する物質

水・タンパク質・核酸（DNA）・脂質・糖・少量の無機塩

・タンパク質

i) α-アミノ酸から構成。ほぼ全てのアミノ酸はL体。

大半のタンパク質は20種類のアミノ酸で構成される。



α-アミノ酸

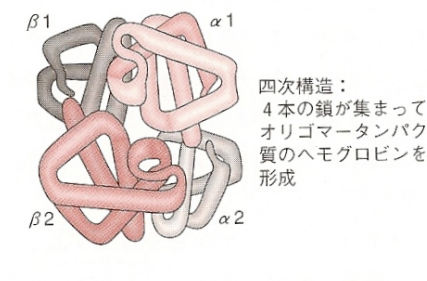
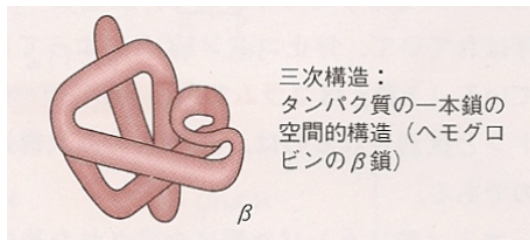
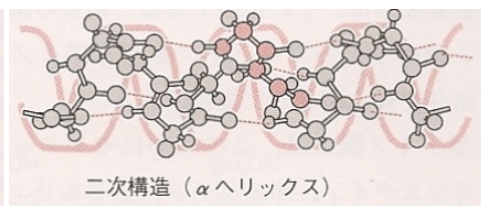
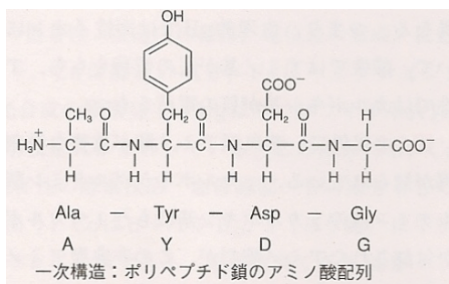
ii) 階層構造

一次構造：アミノ酸の配列順序（N端より記載）

二次構造：主鎖の $\text{C}=\text{O}$ や $-\text{NH}$ 基間の水素結合で形成される主体構造。
（α-ヘリックス、β-シート）

三次構造：立体構造

四次構造：複数のタンパク質（サブユニット）の会合体



B)

$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH} \\ \\ \text{C}=\text{NH}_2^+ \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$
リシン Lys K	アルギニン Arg R	アスパラギン酸 Asp D	グルタミン酸 Glu E
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
アスパラギン Asn N	グルタミン Gln Q	セリン Ser S	スレオニン Thr T
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{CH} \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N} \\ \\ \text{H} \end{array}$
ヒスチジン His H	フェニルアラニン Phe F	チロシン Tyr Y	トリプトファン Trp W
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
アラニン Ala A	バリン Val V	ロイシン Leu L	イソロイシン Ile I
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{H}_2\text{C} \\ \\ \text{CH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
グリシン Gly G	プロリン Pro P	システイン Cys C	メチオニン Met M

2章 遺伝情報の複製

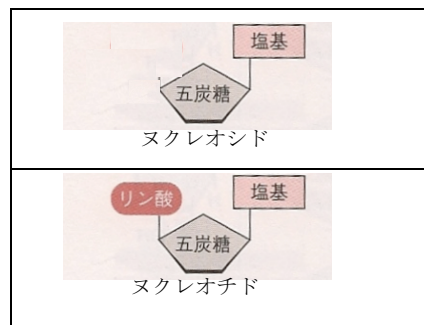
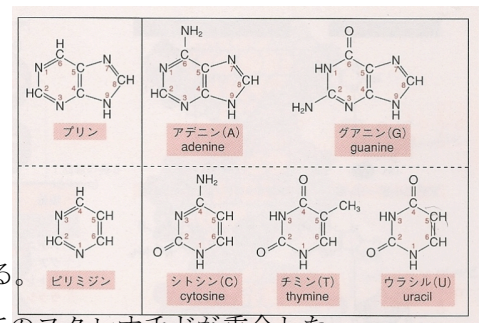
○DNA と RNA

ヌクレオシド：五炭糖＋塩基

ヌクレオチド：ヌクレオシド＋リン酸

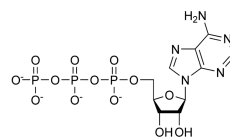
塩基：窒素を含む芳香族化合物。プリンとピリミジンに大別される。

核酸：塩基・五炭糖・リン酸からなる高分子化合物で、単位としてのヌクレオチドが重合したもの。

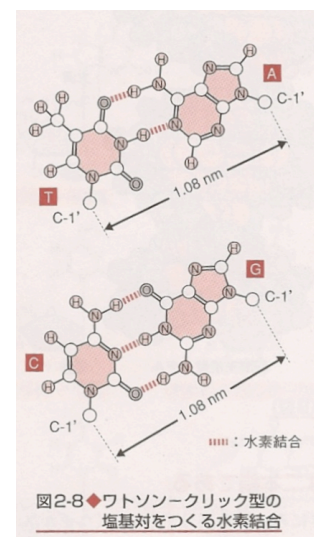


	五炭糖	塩基 (プリン)	塩基 (ピリミジン)
RNA		アデニン (A) グアニン (G)	シトシン (C) ウラシル (U)
DNA		アデニン (A) グアニン (G)	シトシン (C) チミン (T)

※ATP もヌクレオチドの一種→

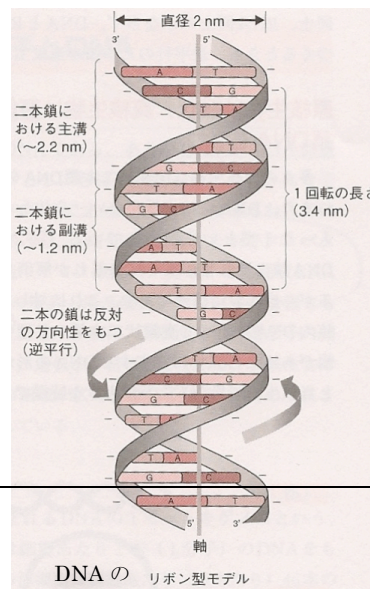
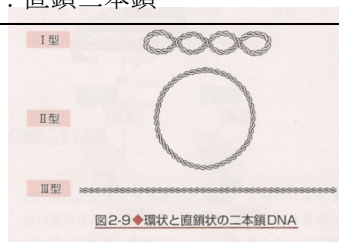


○ワトソン-クリック型の塩基対を作る水素結合→A-T,G-C



○核酸の構造

DNA	RNA
<ul style="list-style-type: none"> ・一方が決まれば他方も決まる（相補鎖）2本鎖で、2本の鎖は逆平行 ・すべての核酸塩基は A-T または G-C ペアを作る ・各塩基対は van der waals 相互作用（スタッキング） ・（偏った）右巻き螺旋→主溝・副溝がある ・長さの単位：塩基対の数 bp(base pairs) ・通常は B 型を取る ・原核生物：環状二本鎖（主に I 型、II 型は稀） 真核生物：直鎖二本鎖 	<ul style="list-style-type: none"> ・1本鎖（ただし分子内で二本鎖構造などを取る（=A型）場合も多い）



○遺伝子としての DNA

ゲノム：細胞に含まれる DNA の 1 セット

遺伝子：高分子 DNA の中でタンパク質の一次構造（アミノ酸配列）あるいは非翻訳 RNA の構造の構造（塩基配列）を決定する情報をもった領域

二倍体：両親のそれぞれに由来する遺伝子を持つ、すなわち遺伝子を 2 セット持つ細胞

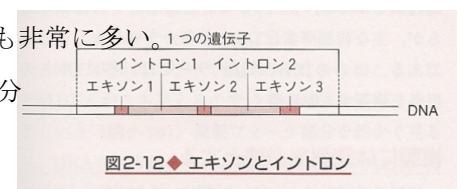
一倍体：遺伝子を 1 セットしか持たない細胞

○エクソンとイントロン

真核生物の DNA は遺伝子以外の領域が圧倒的に多く、反復配列も非常に多い。1つの遺伝子

→・エクソン：タンパク質合成の際のアミノ酸配列情報を持つ部分

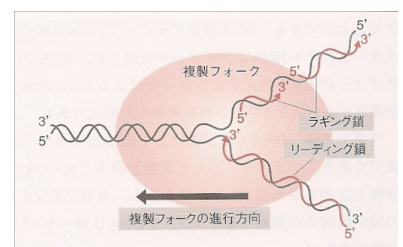
・イントロン：アミノ酸配列の情報を持っていない部分



○DNA の複製

・DNA ポリメラーゼ（DNA 合成酵素）がデオキシリボヌクレオチドを重合して高分子 DNA にする。反応は 5 ‘から 3 ‘へ進む。

・元からある二本鎖をほどいて鋳型にしながら複製する。鋳型となった元の鎖を親鎖、新しい



鎖を娘鎖という。(半保存的複製)

- 不連続複製

→リーディング鎖：合成方向が複製フォークの進行方向と同じである娘鎖

ラギング鎖：合成方向が複製フォークの進行方向と逆である娘鎖

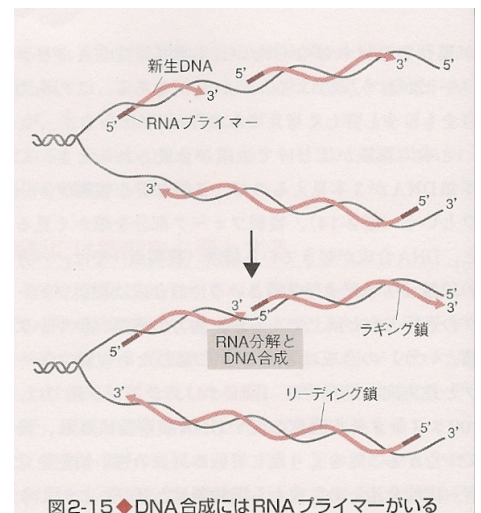
ラギング鎖では100ヌクレオチド程度の短いDNA鎖（岡崎断片）が合成され、後でつながる事を繰り返している。＝不連続複製

- RNAプライマーとDNAリガーゼ

RNAポリメラーゼがRNAプライマーを合成する→RNAプライマーの先にDNAポリメラーゼによるDNA合成が進行する→機能し終えたプライマーを分解しながら更に合成する→DNAの短い鎖同士のギャップをDNAリガーゼが結合する

- レプリコン：複製開始から複製終了に至る1つの単位

→真核生物はマルチレプリコンである



3章 遺伝子の発現

○セントラルドグマ



※逆転写酵素もある

○遺伝暗号

遺伝暗号：mRNA の塩基配列として定義され、特定の3つの塩基の配列（コドン）が一つのアミノ酸に対応する。全64種類のコドンが20種類のアミノ酸を決める。

開始コドン：AUG(=メチオニンの暗号)

終止コドン：UAA,UAG,UGA 終止コドンに達すると合成は終了する。

翻訳領域（コード領域）：開始コドン～終止コドン

○遺伝子の発現→遺伝子の情報を元に mRNA が合成され、タンパク質が作られる事。

○遺伝子の転写

- ・センス鎖：RNA 合成の鋳型になる鎖に対する相補鎖の事。センス鎖の DNA 配列にある T を U に換えると mRNA の塩基配列になる。

<RNA の種類>

- ・ tRNA(transfer RNA)：アミノ酸を結合してタンパク質合成の場であるリボソームへ運ぶ。それぞれ結合するアミノ酸が決まっている。
- ・ rRNA(ribosomal RNA)：沢山のタンパク質と共にリボソームという複合体を形成し、タンパク質合成の場として働く。
- ・ mRNA(messenger RNA)：タンパク質一次構造の遺伝情報を DNA から転写して合成系へ運ぶ。
- ・ 非翻訳 RNA(non-coding RNA)：mRNA 以外の RNA の総称

※RNA ポリメラーゼ（RNA 合成酵素）→原核生物…1種類

真核生物…Ⅰ：rRNA,Ⅱ：mRNA,Ⅲ：tRNA を合成

<転写>

- ・ 遺伝子上流：RNA が作り始められるより手前←→下流
- ・ プロモーターの RNA ポリメラーゼが結合する事で開始し、プロモーター～ターミネーター間が転写される。
- ・ コード領域の前後も含めて転写される。

○転写後の修飾

- ・ tRNA,rRNA は前駆体 RNA として転写された後、切断されることで生成する。

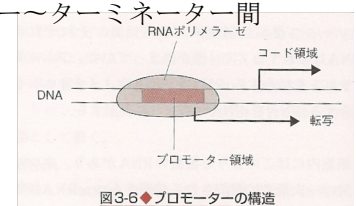
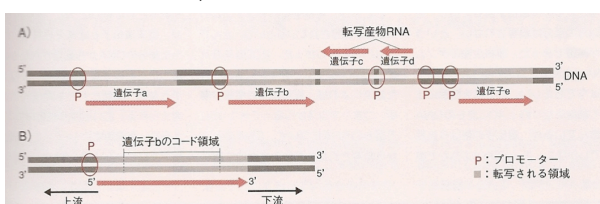


図3-6 ◆プロモーターの構造



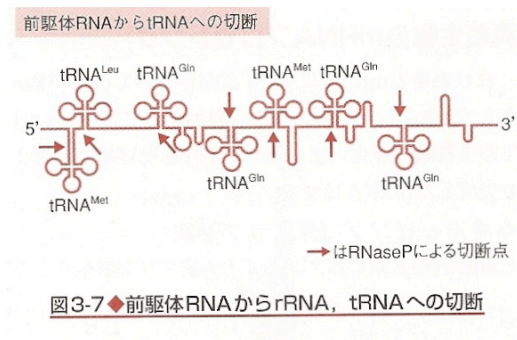
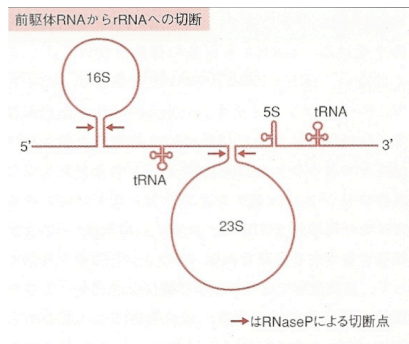
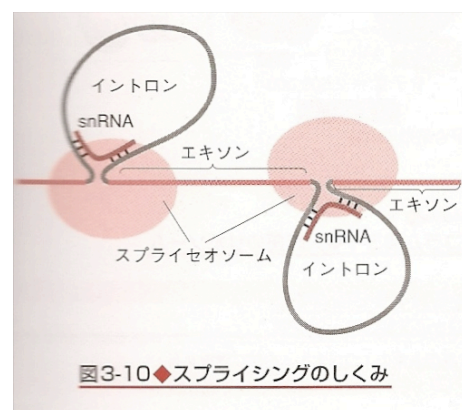
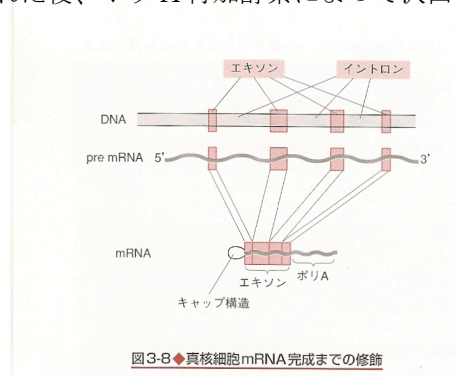


図3-7 ◆前駆体RNAからrRNA, tRNAへの切断

<真核生物の mRNA プロセッシング>

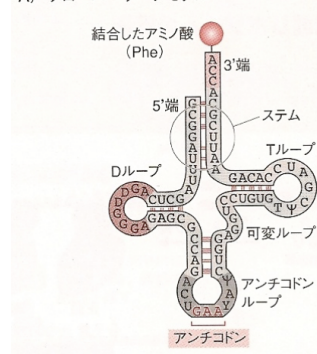
- ・スプライシング：イントロンを含んだ pre mRNA からイントロン部分のみを切り取って除去し、エキソン部分をつなげて mRNA にする。snRNA を含む複合体が切断点近傍と結合する事で、切断点を引き寄せて切断と結合を行う。
→選択的スプライシング：イントロンが除去されずに残ったりエキソンが除去される事で複数種類の mRNA ができる事。
- ・キャッピング：mRNA の 5 ‘端に 5 ‘と 5 ‘の間でリン酸を介した結合を持つ特殊構造（キャップ構造）が付加する事。
- ・ポリ A 付加：pre mRNA が 3 ‘端近傍にあるポリ A シグナル配列の 20 塩基ほど後ろで酵素的に切断された後、ポリ A 付加酵素によって沢山の A が付加する事。



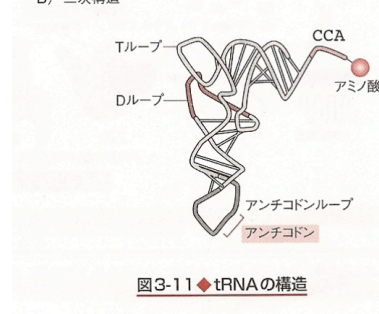
○遺伝子の翻訳

- ・tRNA… 3つのループと1つのステム（幹）があり、アンチコドンループには mRNA 上のコドンと対をなすアンチコドン配列がある。アミノアシル tRNA 合成酵素の働きにより、3'端の CCA-3 ‘配列にアミノ酸が結合（アミノアシル化）してアミノアシル tRNA になる。（このとき ATP の加水分解のエネルギーを用いる）

A) クローバーリーフモデル



B) 三次構造



- ・リボソーム…mRNA を結合し、アミノアシル tRNA とも相互作用しながら、両者を連動させ、

尚かつ、tRNA とペプチド鎖とのエステル結合の切断、ペプチドとアミノ酸との間でのペプチド結合の生成を進める。

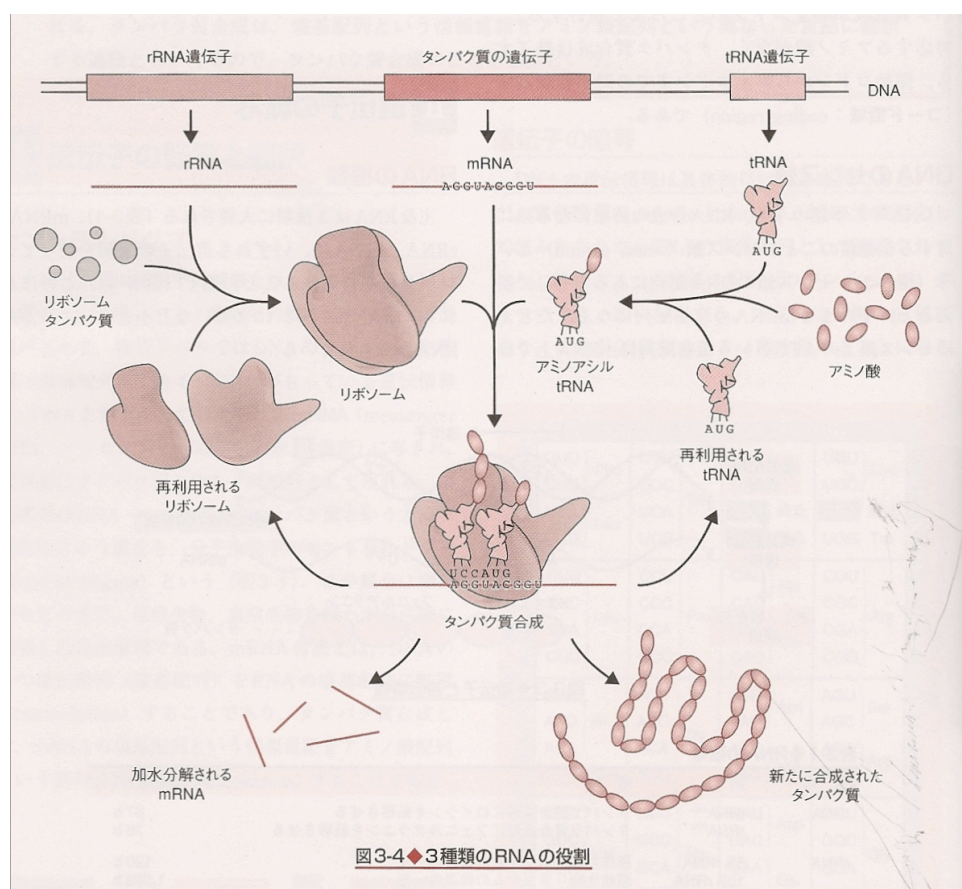
原核生物：30S+50S→70S、真核生物：40S+60S→80S

(S は大きさの単位だと思えば良い)

1本の mRNA に複数のリボソームが付着して同時にタンパク質合成が起こる。

→ポリソーム：複数のリボソームが mRNA でつながったもの。

・原核生物では転写と翻訳が共役している。



4章 遺伝子発現の調節

- ・ハウスキーピング遺伝子：細胞が生存し、増殖するために必要（エネルギー代謝・糖・アミノ酸・核酸の生合成や代謝） \longleftrightarrow 調節的発現遺伝子
- ・構成的発現：遺伝子がいつも発現し続けている事 \longleftrightarrow 調節的発現

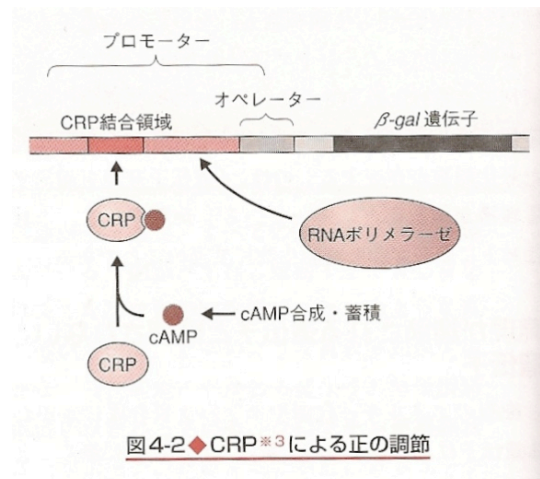
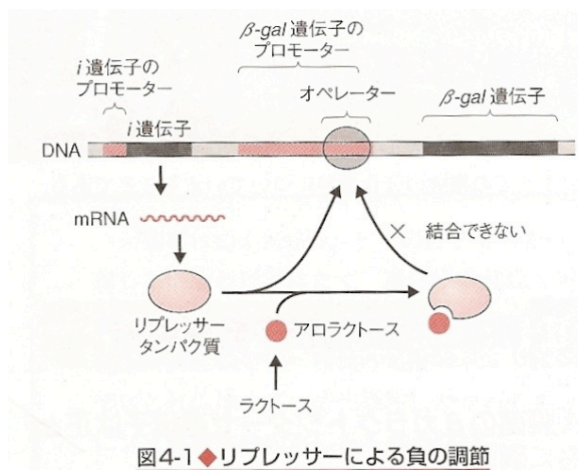
○原核生物の遺伝子発現調節（大腸菌の β ガラクトシダーゼ遺伝子）

グルコースが無くてラクトースがあるときだけ β -gal 酵素（ラクトースを加水分解してグルコースにする）を作る。

→負の調節：リプレッサーがオペレーターに結合して RNA ポリメラーゼの働きを阻害。

ラクトース存在下ではラクトースがリプレッサーに結合する事により、リプレッサー機能が失われる。

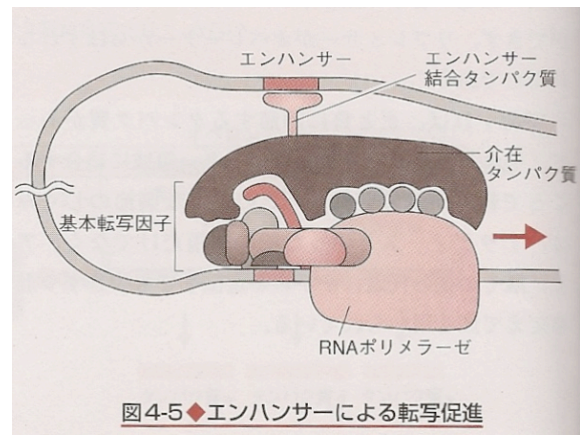
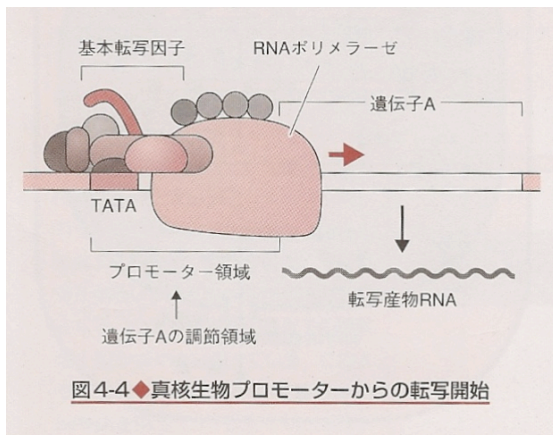
正の調節：グルコースが少ないときに cAMP をたくさん合成する。cAMP が CRP に結合して cAMP・CRP 複合体を作り、この複合体がプロモーターに結合して初めて RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合できる。



○真核生物の遺伝子発現調節…転写調節が中心

<転写調節機構>

- ・プロモーターに RNA ポリメラーゼが結合するという概略は原核生物と一緒にだが遥かに複雑。
- ・基本転写因子（特定の塩基を認識）が結合して RNA ポリメラーゼの結合を促進する。
- ・シスエレメント：転写調節に関わる DNA 上の特定の塩基配列の総称
- ・トランスファクター：シスエレメントに結合して発現を調節するタンパク質の総称
- ・エンハンサー：シスエレメントの一種。エンハンサー結合タンパク質が結合すると、プロモーターへの RNA ポリメラーゼの結合が高まる。
- ・サイレンサー：エンハンサーと逆の働きをして遺伝子の発現を抑制する。



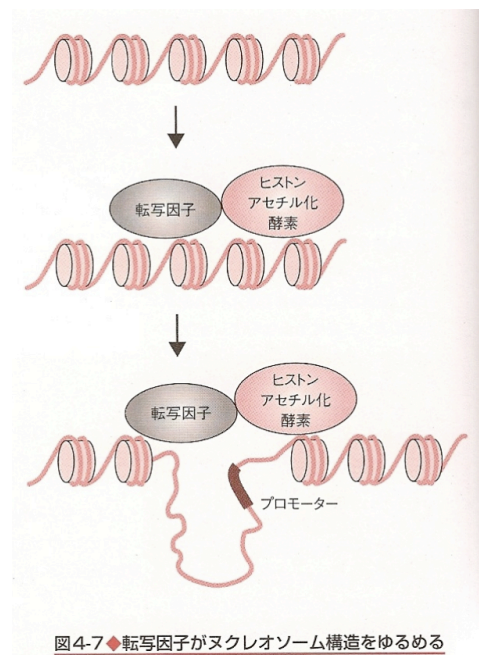
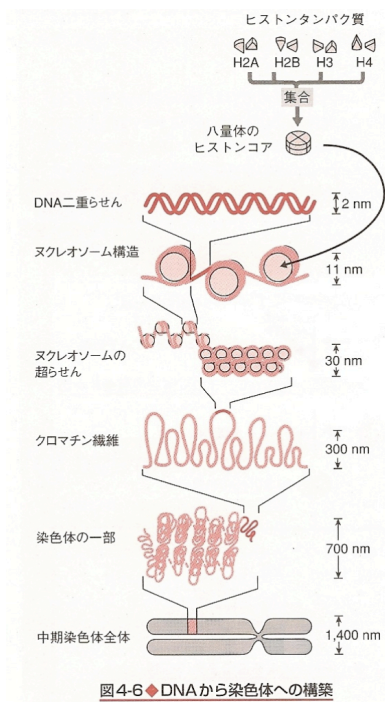
<クロマチンリモデリング>

・真核生物の DNA…ヒストン（塩基性タンパク質）に結合したヌクレオソーム構造として存在し、さらにクロマチン繊維を形成している。

・クロマチンリモデリング：エンハンサーがヒストンと DNA の結合を緩めて（場合によってはヌクレオソーム構造を破壊して）RNA ポリメラーゼによる RNA 合成を促進する事。

＝特定のエンハンサーに転写因子が結合→ヒストンアセチル化酵素が結合してヒストンのアミノ基をアセチル化→ヒストンの塩基性が低下→DNA との結合が弱くなる→周囲に向かってヒストンと DNA の解離が進行してプロモーターが露出し、RNA ポリメラーゼ複合体が結合しやすくなる

←→発現抑制：ヒストン脱アセチル化酵素が働いてアセチル基を外して構造を戻す



○エピジェネティックな遺伝子発現制御

<ヘテロクロマチンとユークロマチン>

・ヘテロクロマチン：塩基性染色剤で強く染色される。クロマチン繊維に更に別のタンパク質が働いてクロマチンを強く凝縮している。発現しない遺伝子が集まっている。

←→ユークロマチン：弱く染色される。クロマチンが緩く集合していて発現しうる遺伝子が集まっている。

・構成的ヘテロクロマチン：細胞の一生にわたってヘテロクロマチンを形成していて、遺伝子は発現抑制される。

・可逆的ヘテロクロマチン：ヘテロクロマチンとユークロマチンの間を行き来して遺伝子の発現状態が変化する。

※構成的ヘテロクロマチンの遺伝子発現抑制

発現が抑制されている遺伝子の DNA は C (シトシン) が高度にメチル化されている→メチル化 C を認識するタンパク質複合体が結合→複合体に含まれるヒストンメチル化酵素がヒストンをメチル化→更にタンパク質が結合してクロマチンを強く凝集

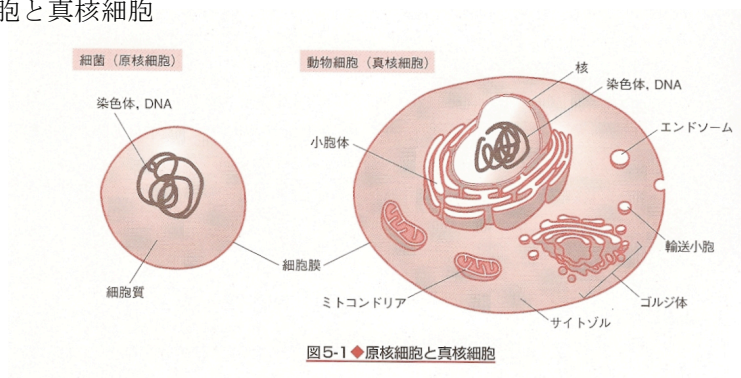
<エピジェネティックな制御>…DNA 塩基の修飾とヒストン修飾の両方が関わる

細胞が増殖する時、DNA の娘鎖の C は初めはメチル化されていないが、親鎖がメチル化されているならば娘鎖の同じ部分をメチル化する酵素があるので結局、親鎖・娘鎖両方がメチル化される。→あたかも DNA の塩基配列の変化が子孫の細胞に伝わるように伝達されるが、塩基配列の変化は無いのでエピジェネティックな変化という。

・ヒストンコード：ヒストンのどのアミノ酸がどのような修飾を受けるかを表す。エピジェネティックな遺伝子発現調節に関わる暗号になっている。

5 章 細胞の膜構造と細胞内小器官

○原核細胞と真核細胞



○生体膜

<構成する物質>

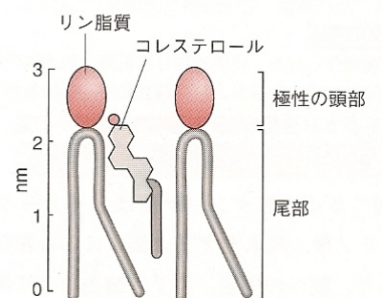
・脂質…リン脂質：脂肪酸（疎水性）＋リン酸（親水性）、二重層を形成

コレステロール：ステロイド骨格、膜の流動性に関連

・膜タンパク質：物質輸送、シグナル伝達関与

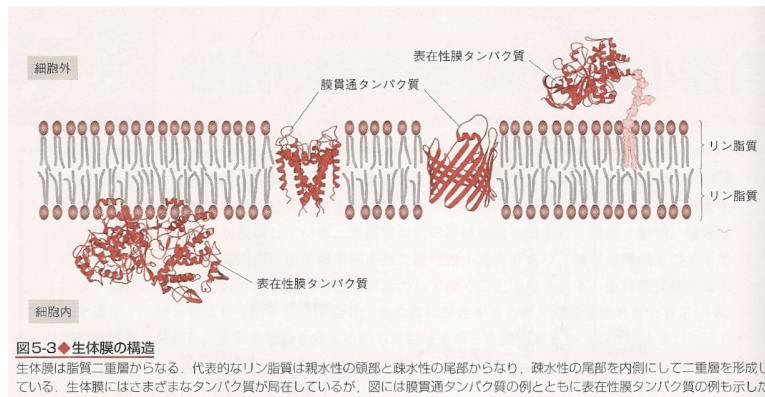
→細胞外領域：細胞外界との連絡、細胞外のリガンドとの結合

C) 生体膜中の脂質



膜貫通領域：多くの膜タンパク質は α -ヘリックス（20～25アミノ酸）による複数回膜貫通であり、膜への固定、分子の輸送などに働く

細胞質領域：細胞内細胞骨格との結合、細胞内へのシグナル伝達などに働く



<膜の機能>

- ・障壁機能：必要な物質だけを取り込む
- ・輸送機能：栄養の取り込み、物質の排出
- ・シグナル伝達機能：シグナル分子の受容と細胞内シグナル伝達
- ・接着、呼吸、光合成など

○膜輸送

- ・膜を通過できる分子：酸素、二酸化炭素などのガスや脂溶性の小分子
- ・その他の分子：輸送タンパク質による輸送

<輸送の形式>

- ・受動輸送：溶質の濃度勾配に従う輸送（チャネル、トランスポーター）
- ・能動輸送：溶質の濃度勾配に逆らう輸送（ATP 駆動ポンプ）

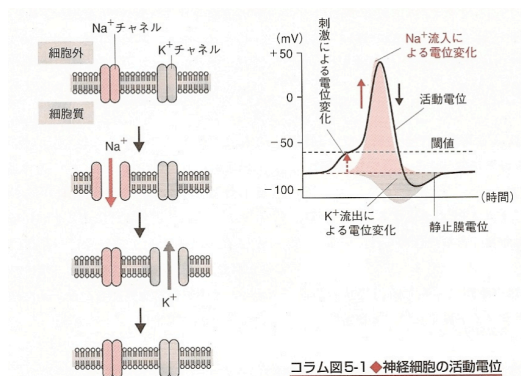
<チャネル（イオンチャネル）>

- ・生体膜は100種以上のイオンチャネルを持つ。
- ・イオン選択性＝特定イオンのみを通す
- ・ゲート機能＝刺激（リガンド、電位、温度、リン酸化…etc）に応答して開く
- ・神経細胞の興奮、筋肉の収縮、感覚受容に関与

※ K^+ チャネル…6回膜貫通のサブユニットの4量体。電位に依存して開いたり閉じたりする。

Na^+ チャネルと共同作業を行う＝電位低： Na^+ チャネルが開いて大量に Na^+ 流入

電位高： K^+ チャネルが開いて K^+ 流出→急激な膜電位の変化：活動電位（p71 コラム参照）



コラム図 5-1 ◆神経細胞の活動電位

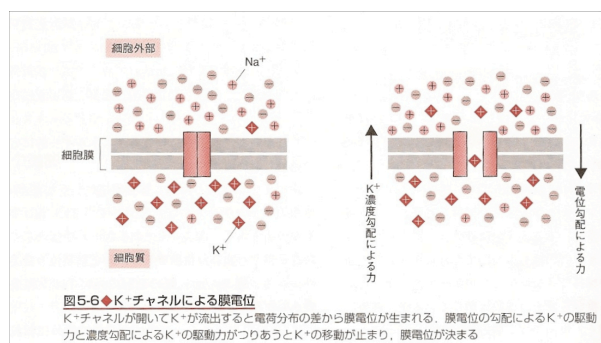


図5-6 ◆K⁺チャネルによる膜電位

K⁺チャネルが開いてK⁺が流出すると電荷分布の差から膜電位が生まれる。膜電位の勾配によるK⁺の駆動力と濃度勾配によるK⁺の駆動力が釣りあうとK⁺の移動が止まり、膜電位が決まる

<トランスポーター>

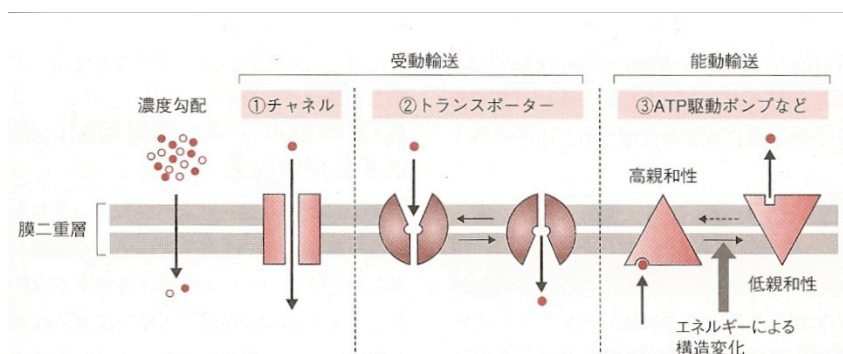
選択的に標的分子と結合して受動輸送を行う。2 状態移行。

<ATP 駆動ポンプ>

ATP 加水分解のエネルギーを利用して分子構造を変化させ、濃度勾配に逆らった輸送（能動輸送）

ATP ⇌ ADP + 無機リン酸

高親和性 低親和性



※Na⁺/K⁺ ATPアーゼ：細胞の中にK⁺を、細胞の外にNa⁺を運ぶ分子（動物細胞）
全ATPの30%以上を消費

○細胞内の膜構造

- 囲んでいる脂質二重層が2つのもの

核：DNAの保存

ミトコンドリア：ATP合成

葉緑体：光合成

- 囲んでいる脂質二重層が1つのもの

小胞体：タンパク質の合成、折りたたみ、糖類の付加などを行う

ゴルジ体：タンパク質の輸送、修飾、選別

輸送小胞：細胞内小器官間の輸送

エンドソーム：細胞外の物質のとりこみ

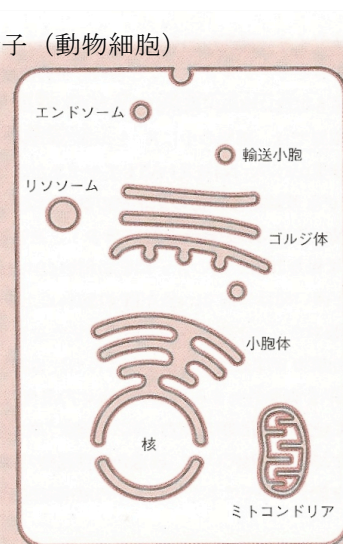
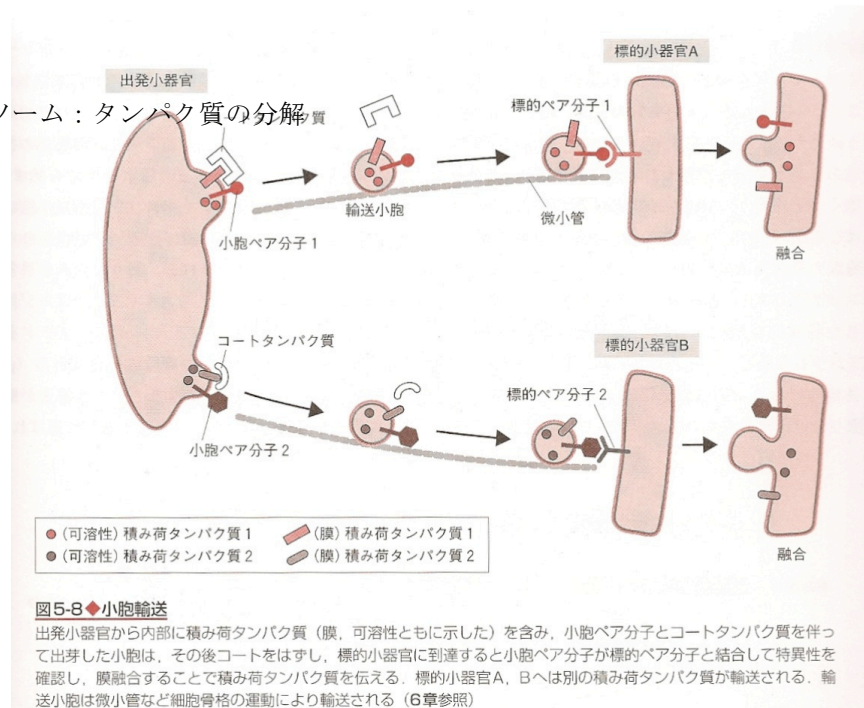


図5-7 ◆真核細胞の膜構造

細胞の膜構造を細胞質側と細胞外液側の向きを強調して模式的に示した。核膜とミトコンドリアは2つの二重層で囲まれている。核膜と小胞体膜は連続している

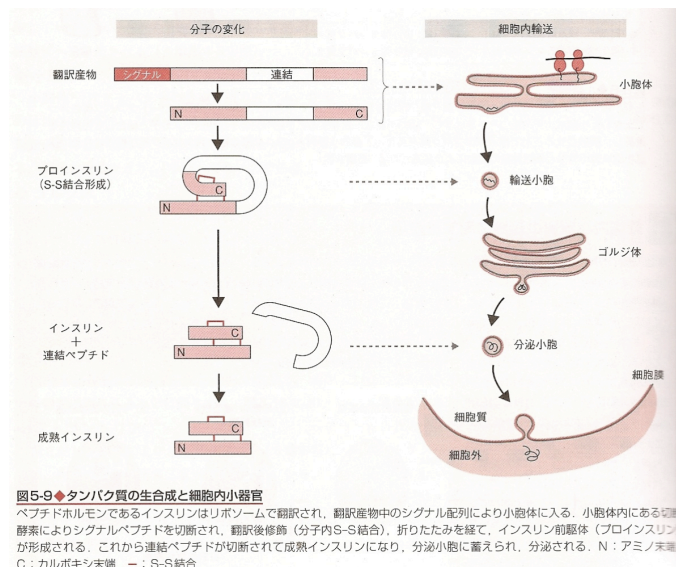
リソソーム：タンパク質の分解質
 <小胞輸送>



小胞ベア分子：行き先の目印

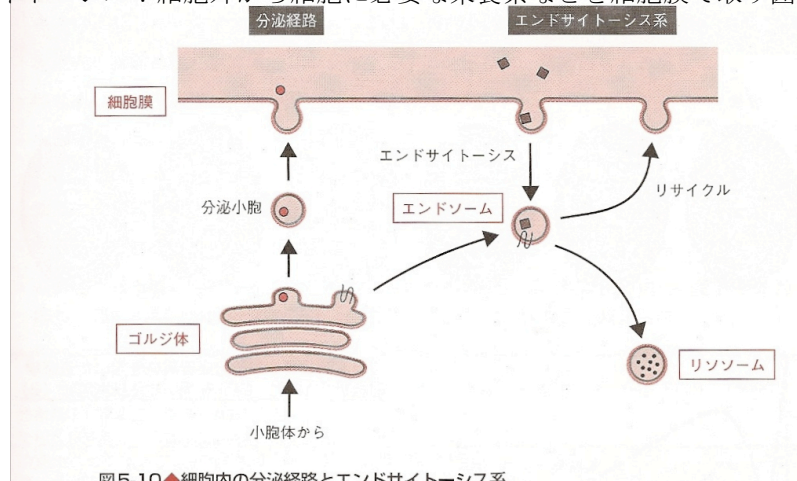
コートタンパク質：小胞を形成する助けをする

<分泌経路>…小胞体→ゴルジ体→分泌小胞→細胞膜



<エンドサイトーシス>…細胞膜→→エンドソーム

エンドサイトーシス：細胞外から細胞に必要な栄養素などを細胞膜で取り囲んで取り込む事



7 章 代謝 (metabolism) …この章はほとんど板書のままです

1. 代謝反応の方向性は自由エネルギー差 ΔG に依存
2. 反応速度を加速する酵素の働き
3. エネルギー通貨としての ATP の役割
4. 代謝反応の調節機構 (アロステリック制御)

・物質代謝 (物質の分解・合成・相互変換)

→異化代謝 (Catabolism) -分解

→同化代謝 (Anabolism) -合成

・エネルギー代謝 (ATP の合成) →→基質レベルでのリン酸化、酸化的リン酸化、光リン酸化

7. 1 ATP は高エネルギー物質

ATP の解離性の OH 基は生理条件(pH=7)では完全に解離し、 O^- となっている



隣接する負電荷の大きな反発



ATP + H₂O → ADP + Pi (リン酸)

ADP の負電荷と Pi の負電荷の距離無限大



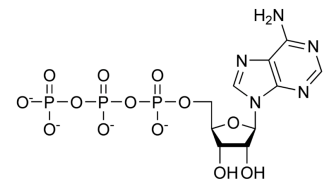
ATP の加水分解によって、ATP 内部にあった静電的反発が緩和され、系が安定化される



大きな負の自由エネルギー変化 ΔG° ,

$^\circ$: 標準状態 (1atm、25℃、反応に関わる全ての物質濃度 1M)、 $'$: pH=7

$$\Delta G^\circ = -30.5 \text{ kJ/mol}$$



・吸エルゴン反応と発エルゴン反応

吸エルゴン反応 : $\Delta G^\circ > 0$ 、反応物 > 生成物

発エルゴン反応 : $\Delta G^\circ < 0$ 、反応物 < 生成物

・反応の平衡状態

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \cdot \ln \left(\frac{[\text{生成物}]}{[\text{反応物}]} \right) = 0$$

R : 気体定数、T : 絶対温度 (K)

- ・非平衡状態： $\Delta G' \neq 0 \rightarrow$ 生きている細胞は必ず非平衡

「反応物 \rightarrow 生成物」 $\Rightarrow \Delta G' < 0$ 、「生成物 \rightarrow 反応物」 $\Rightarrow \Delta G' > 0$

7.2 酵素

7.2.1 代謝反応の方向性と反応速度

代謝反応の方向性：自由エネルギー変化 $\Delta G'$

代謝反応の速度：活性化自由エネルギー ΔG^\ddagger

絶対反応速度論 $k = KT/h \cdot \exp(-\Delta G^\ddagger / RT)$

k ：反応速度定数

h ：プランク定数

K ：ボルツマン定数

7.2.2 酵素の特異性

酵素の反応中心：基質（反応物）結合部位＋触媒部位

基質結合部位：活性中心近傍のアミノ酸と基質との水素結合

静電相互作用、疎水性相互作用による多点認識

\Rightarrow 基質特異性

触媒活性部位：酵素に結合した基質の反応点の近傍に特定の触媒官能基（アミノ酸の

イミダゾール基、OH 基、 COO^- 基、フェノール、SH 基、 NH_2 基など）が配置される

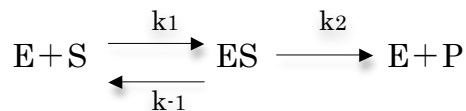
\Rightarrow 反応特異性

7.2.3 キモトリプシンの基質特異性と反応機構

- ・嵩高い疎水性芳香族アミノ酸を認識
- ・そのカルボキシル基側のペプチド結合を加水分解
- ・プロテアーゼ（活性中心の構造）… 3つのアミノ酸が形成する

7.2.4 酵素反応速度論

○Michaelis-Menten 式



E : 酵素、ES : 酵素基質複合体、P : 生成物、 $k_1 \cdot k_{-1} \cdot k_2$: 反応速度定数

$\rightarrow V = V_{\max} / (1 + K_m / [S])$ …Michaelis-Menten 式

V : 反応初速度、 V_{\max} : 最大反応初速度、 K_m : ミカエリス定数、 $K_m = (k_{-1} + k_2) / k_1$

K_m : 酵素と基質の親和性を表す (K_m が小さいほど親和性が高い)

i) $[S] \ll K_m \Rightarrow V = V_{\max} / K_m$

ii) $[S] \gg K_m \Rightarrow V = V_{\max}$

iii) $[S] = K_m \Rightarrow V = V_{\max} / 2$

☆ V_{\max} 自体の値は k_2 の値に左右される

$$1/V = 1/V_{\max} + K_m/V_{\max} \cdot (1/[S])$$

7.3 解糖系の反応の方向性と ATP 消費、生成の関係

7.3.1 可逆反応の例 (ATP の消費・生成無し)

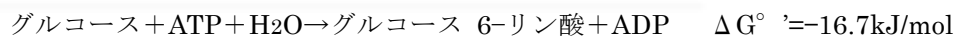
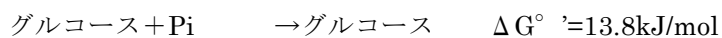
1) グルコース 6-リン酸 \rightleftharpoons フルクトース 6-リン酸

2) 3-ホスホグリセリン酸 \rightleftharpoons 2-ホスホグリセリン酸

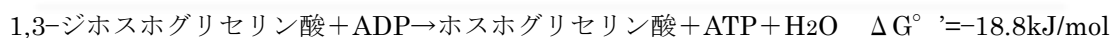
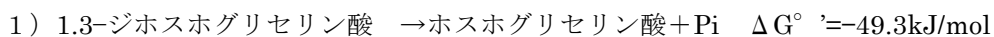
3) 2-ホスホグリセリン酸 \rightleftharpoons ホスホ 絵ノールピルビン酸

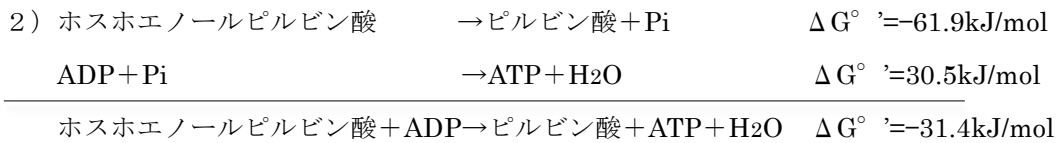
7.3.2 不可逆反応

7.3.2.1 ATP 消費反応と共役した反応

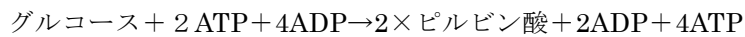


7.3.2.2 ATP 生成反応と共役した反応

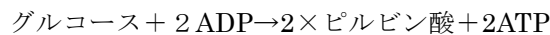




7.4 エネルギー生産系としての解糖系



↓



7.5 糖新生（糖の合成）と解糖系、糖新生におけるアロステリック調節

- i) 解糖系の3ヶ所の不可逆反応に対する糖新生のバイパス反応経路
- ii) これ以外の可逆反応経路は解糖系と共通の経路
- iii) 不可逆反応経路は解糖系と糖新生では異なる
- iv) 不可逆反応経路を触媒する酵素の活性が反応生成物、ATP、アセチル CoA などの濃度によって調節され、解糖と糖新生の代謝の方向の切り替えが行われる

⇒アロステリック調節・フィードバック調節

7.6 酵素活性の調節

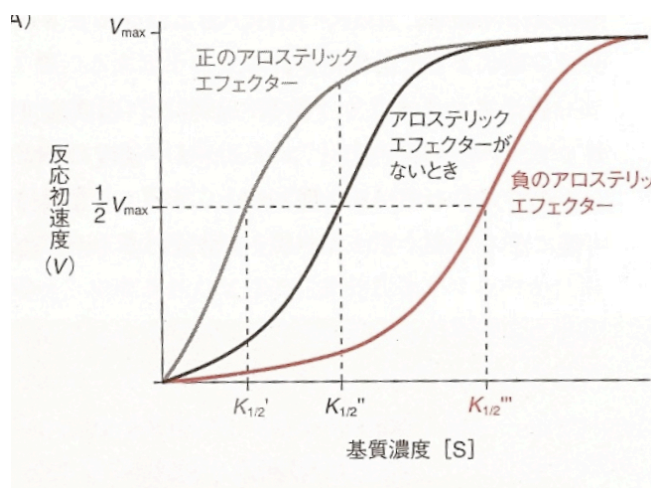
代謝反応速度の調節

① 酵素量の調節：酵素合成（転写、翻訳）

（遅い調節：数分～数十分）

② 酵素活性の調節：アロステリック制御、リン酸化・脱リン酸化による調節

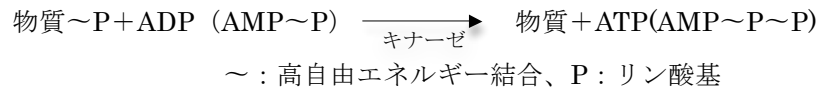
アロステリック制御：酵素の活性中心とは異なる部位（アロステリック部位）にエフェクター分子が結合して酵素の構造が変化し、酵素の触媒活性や基質に対する親和性が変化



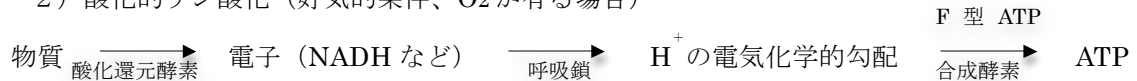
8章 生体エネルギー…この章もほぼ板書でいきます

8.1 生体エネルギーの生産様式

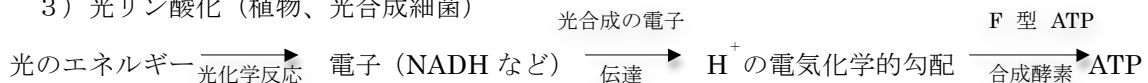
- 1) 基質レベルでのリン酸化 (嫌氣的条件、O₂ が無い場合)



- 2) 酸化的リン酸化 (好氣的条件、O₂ が有る場合)



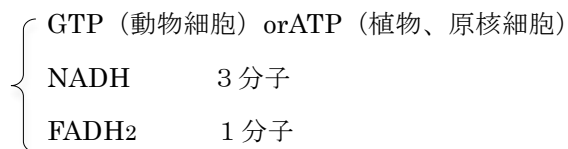
- 3) 光リン酸化 (植物、光合成細菌)



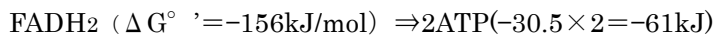
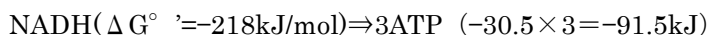
8.2 酸化的リン酸化

8.2.1 TCA 回路 (クエン酸回路)

- 1) TCA 回路の役割：NADH の生産
2) TCA 回路の所在：ミトコンドリア (真核細胞)
細胞膜付近 (原核細胞)
3) TCA 回路での高自由エネルギー物質の生成の収支



- 4) 酸化的リン酸化による NADH, FADH₂ の自由エネルギーの ATP 分子の自由エネルギーへの変換率



8.2.2 呼吸鎖

- 1) 呼吸鎖の役割：NADH の持つ高い自由エネルギー (低い酸化還元電位) をミトコンドリアの膜間部とマトリックスの間の H⁺ の濃度勾配によって生じる化学ポテンシャルに変換する。
2) 呼吸鎖の所在：ミトコンドリア内膜 (真核細胞)、細胞質膜 (原核細胞)
3) 酸化還元反応 (電子伝達) を媒介する補酵素



ユビキノール (QH₂) ,ユビキノン

シトクロム b,c (還元型) /シトクロム b,c (酸化型)

4) マトリックスからの H⁺ の輸送

NADH 1分子当り 複合体Ⅰ、Ⅱ、Ⅲで各 3 H⁺、計 9 H⁺

FADH₂ 1分子当り 複合体Ⅲ、Ⅳで各 3 H⁺、計 6 H⁺

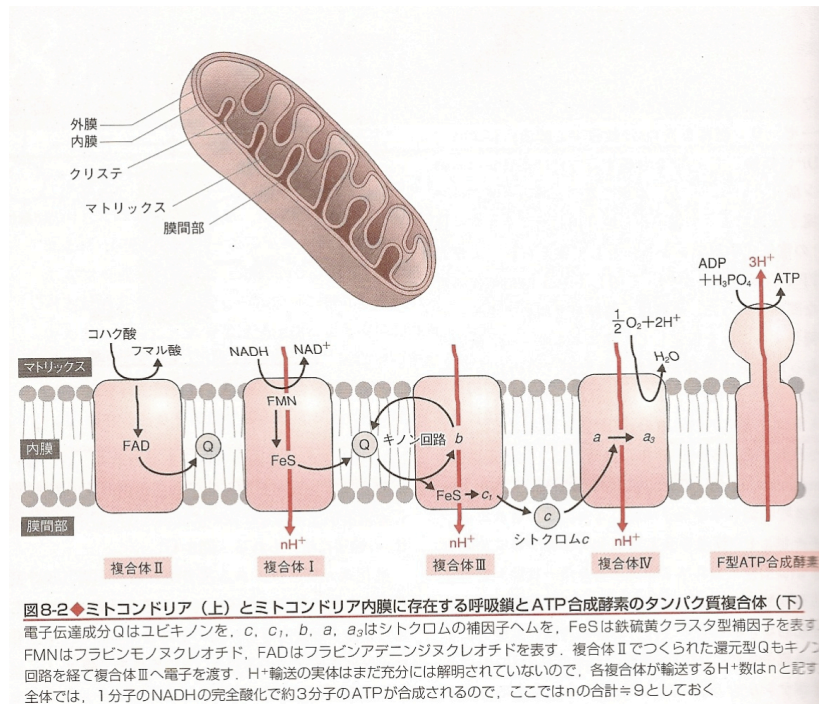


図8-2 ◆ミトコンドリア (上) とミトコンドリア内膜に存在する呼吸鎖とATP合成酵素のタンパク質複合体 (下)
電子伝達成分Qはユビキノンを、c, c₁, b, a, a₃はシトクロムの補因子ヘムを、FeSは鉄硫黄クラスター補因子を表す。FMNはフラビンモノヌクレオチド、FADはフラビンアデニンヌクレオチドを表す。複合体Ⅱでつくられた還元型Qもキノン回路を経て複合体Ⅲへ電子を渡す。H⁺輸送の実体はまだ充分には解明されていないので、各複合体が輸送するH⁺数はnと記す。全体では、1分子のNADHの完全酸化で約3分子のATPが合成されるので、ここではnの合計≒9としておく。

8.2.3 ATP 合成酵素

1) ATP 合成酵素の役割 : H⁺ の濃度勾配に従った H⁺ 輸送に共役して ATP を合成。

3 H⁺ あたり ATP 1 分子

2) ATP 合成酵素の所在 : 真核細胞ではミトコンドリア内膜。原核細胞では細胞膜

3) ATP 合成酵素の構造と機能

F 型 ATP 合成酵素 { F₀ : 膜内在性部位 { ロータ、ストーク : H⁺ の流れに共役して回転
固定子
F₁ : 3 α、3 β : ATP 加水分解酵素

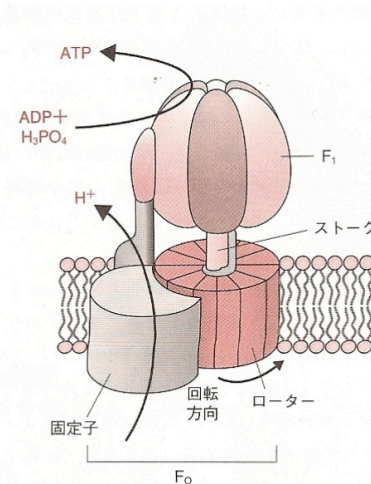


図8-4 ◆F型ATP合成酵素

F₁部分とF₀部分に分かれ、F₀部分はさらに右回転するローターと固定子に分けられる。F₁部分は回転しない

8.2.4 グルコース 1 分子からの ATP 生成量

解糖系	2ATP	} 無酸素条件
	2NADH⇒6ATP(4ATP：真核細胞)	
ピルビン酸→アセチル CoA	2NADH⇒6ATP	} 有酸素条件
TCA 回路	2GTP(ATP)	
	6NADH⇒18ATP	
	2 FADH ₂ ⇒4ATP	
		36ATP (34ATP)

O₂ 存在化では O₂ 非存在下の 18 ～ 19 倍の ATP が生成

8.3 光リン酸化

8.3.1 光合成電子伝達系

1) 役割：光のエネルギーを NADPH の生産と葉緑体の内腔とストロマの間の H⁺ 勾配で生じる化学ポテンシャルに変換

2) 所在：葉緑体のチラコイド膜

3) 酸化還元を媒介するタンパク質、補酵素

NADPH/NADP⁺、クロロフィル a(Mg ポルフィリン)還元型/酸化型

プラストキノール/プラストキノン、プラストシアニン (Cu) 還元型/酸化型

シトクロム c,f (Fe ポルフィリン) 還元型/酸化型

4) ストロマから内腔への H⁺ 輸送

H₂O 2 分子当り シトクロム b₆f 複合体で 9 H⁺

8.3.2 ATP 合成酵素

ミトコンドリアにある ATP 合成酵素と同じ。チラコイド膜に存在。

9 章 細胞周期…配られたプリントを主体にしています。

9.1 細胞周期 (M 期→G₁ 期→S 期→G₂ 期) と G₀ 期

M 期：細胞分裂期

G₁ 期：DNA 合成準備期 (DNA 合成に係るタンパク質の遺伝子の転写、翻訳)

S 期：DNA 合成期

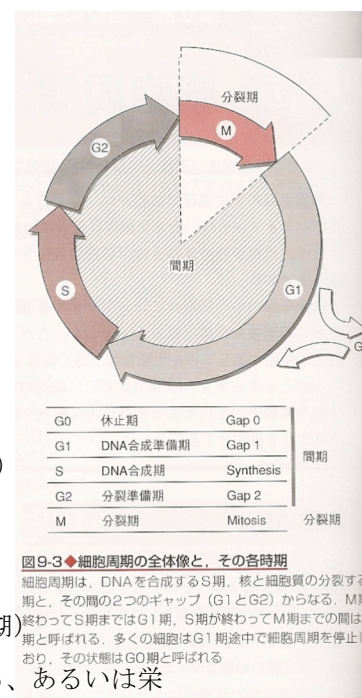
G₂ 期：細胞分裂準備期

G₀ 期：細胞増殖の静止期 (代謝は活発、組織を構成する体細胞の多くは G₀ 期)

G₁ 期の途中→G₀ 期 (細胞が増殖して細胞同士が接するほど高密度になる、あるいは栄

養成分が乏しくなると G₀ 期に入る)

G₀ 期→G₁ 期 (増殖シグナルにより G₀ 期を脱出)



9.2 細胞周期の制御

9.2.1 細胞周期の進行を制御するタンパク質群

1) CDK (サイクリン依存型キナーゼ)

サイクリンと結合した活性型 **CDK** は、転写因子に結合している抑制タンパク質 (**Rb** など) をリン酸化する事によって転写因子 (**E2F** など) から解離させ、それぞれの細胞周期に特有の遺伝子の転写を促進して細胞周期を制御

2) CKI (CDK 阻害因子)

CDK と結合し、**CDK** の活性を阻害

3) サイクリン

CDK と結合し、**CDK** を活性化

「細胞周期の特定の段階で合成→リン酸化→ユビキチン化→プロテアソームでの分解」

によりサイクリン濃度が細胞周期の中で増減、その結果として細胞周期の長さを制御。

9.3 細胞周期のチェックポイント

9.3.1 チェックポイントでの制御

細胞周期の途中に存在し、細胞が正しく細胞周期を進行させているかどうかをチェックし、異常や不具合がある場合に細胞周期の進行を停止もしくは減速させる制御機構

G1/S チェックポイント : 栄養や増殖因子が存在するか？

十分なヌクレオシドが存在するか？

DNA の損傷は無いか？

S 期チェックポイント : **DNA** の損傷は無いか？

DNA 複製は正常か？

G2/M 期チェックポイント : 染色体 **DNA** の分配が可能か？

DNA 複製は完了したか？

DNA 損傷の修復は完了したか？

・ **DNA** 損傷の修復不能等、異常や不具合が回復不可能な場合には
アポトーシス

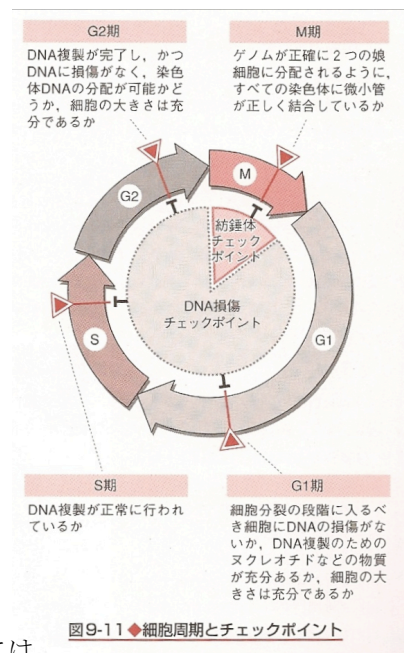
9.3.2 チェックポイントの役割

細胞周期の過程で異常が生じた場合に、細胞周期を一旦停止させて異常の原因を取り除く事で、遺伝子異常が子孫に伝わる事を防ぐ役割

9.4 アポトーシス (プログラム化された細胞死)

9.4.1 ネクローシスとアポトーシス

ネクローシス : 物理的な細胞の破壊や炎症などのその他の要因で引き起こされる一般的



な細胞死。細胞の膨張、破裂により細胞からタンパク質分解酵素が放出されるなどして周りの細胞に迷惑をかける。

アポトーシス：核膜消失、核凝集、染色体断片化、細胞縮小化、細胞断片（小胞体）化して、食細胞に貪食されて周りの細胞に迷惑をかけずに排除される細胞死。

9.4.2 アポトーシスの意義

多細胞生物の体を構成する細胞死の一種で、個体をよりよい状態に保つために積極的に引き起こされる、管理・調節された細胞の自殺すなわちプログラムされた細胞死。本来アポトーシスによって死ぬべき細胞が死なないとがん細胞になる。

- ・がん化した細胞やウイルス感染した細胞の除去
- ・発生過程での形態変化の際の不要になった細胞の除去

9.4.3 アポトーシスのシグナル伝達の2つの経路

(a)Fas リガンド→Fas 受容体→カスパーゼ前駆体活性化→カスパーゼ連鎖反応

(b)シトクロム C 放出（ミトコンドリア→細胞質）→カスパーゼ前駆体活性化→カスパーゼ連鎖反応

9.4.4 がん遺伝子

- ・正常な遺伝子に変異して発現、構造、機能が異常をきたし、その結果、正常細胞のがん化を引き起こすようになった遺伝子
- ・受容体、細胞内シグナル伝達分子、転写因子など増殖シグナル伝達に関連するタンパク質の遺伝子に変異し、恒常的に増殖シグナルを伝達するため細胞ががん化

9.4.5 がん抑制遺伝子

- ・がんの発生を抑制する機能を持つタンパク質をコードする遺伝子
- ・チェックポイント制御、転写因子制御（Rb など）、DNA 修復などに関連するタンパク質の遺伝子が多く、変異により増殖抑制機能が失われ、細胞ががん化。

10章 シグナル伝達…これもほぼプリントのままで。用語がわからなくなったら多分教科書を参照すれば解決します。ごちゃごちゃするので細かい用語の解説は省きました。

10.1 シグナル伝達の基本的な仕組み

シグナル伝達分子：タンパク質キナーゼ、cAMP、脂質メッセンジャー（IP3）、Ca²⁺など
受容体へのリガンド結合→（シグナルリレー・シグナル増幅）→複数の標的へシグナルの分岐

10.2 細胞間シグナル伝達様式

可溶性のシグナル分子が細胞から分泌：オートクリン型（分泌した細胞自身に作用）、
パラクリン型（隣り合った近くの細胞に作用）、
エンドクリン型（体液によって離れた場所に運ばれて作用）、神経型

シグナル分子が細胞膜上に固定：細胞接着型

10.3 細胞内シグナル伝達様式

10.3.1 タンパク質のリン酸化によるシグナル伝達

- 1) キナーゼによるタンパク質のリン酸化部位
セリン、スレオニン、チロシンの側鎖の水酸基
- 2) ホスファターゼによるリン酸化タンパク質の脱リン酸化→シグナルの抑制
- 3) リン酸化の3つの活性化パターン
 - (a) 1次メッセンジャーの結合による受容体キナーゼ部位（細胞内ドメイン）の活性化
 - (b) 細胞内2次メッセンジャー(cAMP)によるキナーゼの活性化
 - (c) タンパク質キナーゼのリン酸化連鎖反応（キナーゼカスケード）

10.3.2 Gタンパク質（GDP/GTP 結合）によるシグナル伝達

- 1) 低分子量 G タンパク質
不活性型 G タンパク質：GDP 結合型、活性型 G タンパク質：GTP 結合型
- 2) 3量体 G タンパク質
 - (a) 不活性型では α 、 β 、 γ サブユニットの3量体を形成し、 α サブユニットには GDP が結合
 - (b) 活性型では α サブユニットには GTP が結合し、 α サブユニットと β - γ サブユニット2量体に解離する

10.3.3 2次メッセンジャーによるシグナル伝達

- 1) 2次メッセンジャーの種類
 - (a) 低分子メッセンジャー
cAMP, cGMP, IP₃（イノシトール3リン酸）
 - (b) 脂質メッセンジャー
DAG（ジアセチルグリセロール）、PIP₂（ホスファチジルイノシトール2リン酸）
PIP₃（ホスファチジルイノシトール3リン酸）
 - (c) イオンメッセンジャー
 Ca^{2+}

2) シグナル伝達様式

低分子、イオンメッセンジャー：細胞内 3 次元拡散

脂質メッセンジャー：細胞膜内 2 次元拡散

10.4 受容体を介した細胞内シグナル伝達経路

10.4.1 キナーゼ型受容体 (EGFR を例として)

- 1) 細胞膜に存在し、細胞内ドメインにキナーゼ領域を有する
- 2) 受容体 (EGFR) にリガンドが結合すると 2 量体化し、相手の細胞内ドメインのチロシン側鎖の水酸基をリン酸化
- 3) SH2 ドメインを持つシグナル伝達分子がリン酸化チロシン部位に結合して活性化され、次にこれが低分子量 G タンパク質 (Ras) を活性化
- 4) 活性化低分子量 G タンパク質がキナーゼカスケード (MAPK 系カスケード) によりシグナルを伝達

10.4.2 G タンパク質共役型受容体 (GPCR)

- 1) ヒトゲノム中にもっとも多種類 (約 1 0 0 0 種類) 存在する受容体
- 2) 細胞膜に存在し、細胞内ドメインに不活性型ヘテロ 3 量体 (GDP 結合 $G\alpha$ - $G\beta$ - $G\gamma$) が結合
- 3) 受容体にリガンドが結合すると GDP 結合 $G\alpha$ が GTP 結合 $G\alpha$ となり、GTP 結合 $G\alpha$ とヘテロ 2 量体 ($G\beta$ - $G\gamma$) に分かれて $G\alpha$ は受容体から解離する。GTP 結合 $G\alpha$ はアデニル酸シクラーゼに結合して活性化し、cAMP シグナル伝達経路を活性化する。ヘテロ 2 量体 ($G\beta$ - $G\gamma$) はホスホリパーゼ C を活性化して、 IP_3 , Ca^{2+} シグナル伝達経路を活性化する。

10.4.3 チャネル型受容体

- 1) 細胞膜や小胞体中存在
- 2) 受容体にリガンドが結合すると構造が変化し、受容体のチャネルが開く
- 3) チャネルを通して流入する Ca^{2+} が Ca^{2+} 依存性キナーゼを活性化

10.4.4 転写因子型受容体

- 1) 細胞質や核内に制御タンパク質との複合体として存在
- 2) 物理拡散により細胞膜を透過した脂溶性リガンド (ステロイドホルモンなど) が受容体に結合すると、受容体から制御タンパク質が解離
- 3) 核内でリガンド結合受容体が転写因子として DNA に結合、遺伝子発現を促進

10.4.5 細胞接着因子受容体

- 1) 細胞膜に存在
- 2) 細胞接着を担う膜タンパク質であり、細胞間接着に関わるカドヘリン、細胞外基質 (マトリックス) との接着に関わるインテグリンが代表的な細胞接着因子受容体

- 3) 細胞内ドメインで細胞骨格のアクチンや様々なシグナル伝達分子と結合
- 4) 細胞増殖、細胞運動、細胞形態、細胞分化、アポトーシスなど様々な細胞機能に影響を及ぼすシグナルを伝達

11章 発生と分化

(個体) 発生：卵が受精して個体ができる事

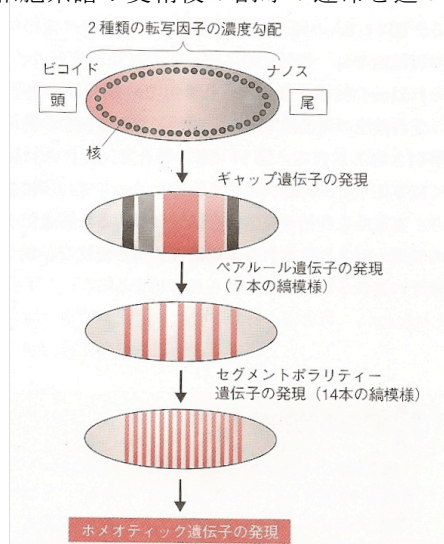
(細胞) 分化：胚細胞が性質を変えて異なった機能の細胞になる

○卵形成

- ・母性因子：卵細胞内にあらかじめ蓄えられている、発生の初期段階において重要な役割を果たす物質。多くは卵形成の過程で卵母細胞内に偏った分布で蓄えられる。卵細胞の細胞分裂（卵割）に伴い、それぞれの胚細胞（割球）に偏って分配される。

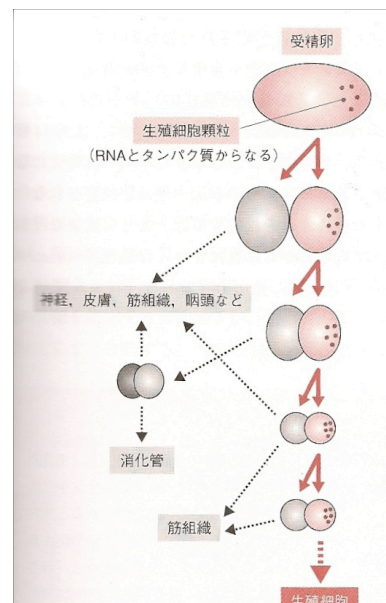
○受精と卵割

- ・発生初期の卵割→細胞周期の一周期に要する時間が短い
- ・卵割の様式→様々なタイプがある（母性因子の不均等な配分に関係する）
- ・生殖細胞顆粒が一方の細胞だけに不均等に分配され、生殖細胞顆粒を含んだ細胞が生殖細胞になる。
- ・細胞系譜：受精後の割球の運命を辿った系図



○胚の方向性の決定

偏って蓄えられている母性因子（転写因子・mRNA）→ギャップ遺伝子の発現→ペアルール遺伝子の発現（7本の縞模様）→セグメントポラリティー遺伝子の発現（14本の縞模様）→ホメオティック遺伝子の発現：各体節を器官へと分化させるマスター遺伝子



⇒転写因子の濃度勾配をもとに引き起こされる

○細胞分化と幹細胞

・未分化細胞

胚細胞：受精卵から発生初期の細胞

幹細胞：各組織の元になる細胞

- 細胞分化：発生過程で1つの卵細胞から分裂して分かれた胚細胞が異なった機能を持つ様々な細胞に分化する事

○誘導作用と形態形成運動

- 誘導作用：隣接した他の細胞や組織に働きかけて、それらの将来の運命を決めるような作用を及ぼす現象。

三胚葉生物…プラナリア～ヒト

- 外胚葉：中枢神経、皮膚
- 内胚葉：呼吸器官、消化器官
- 中胚葉：筋組織、結合組織

- 動物極：予定外胚葉
- 植物極：予定内胚葉

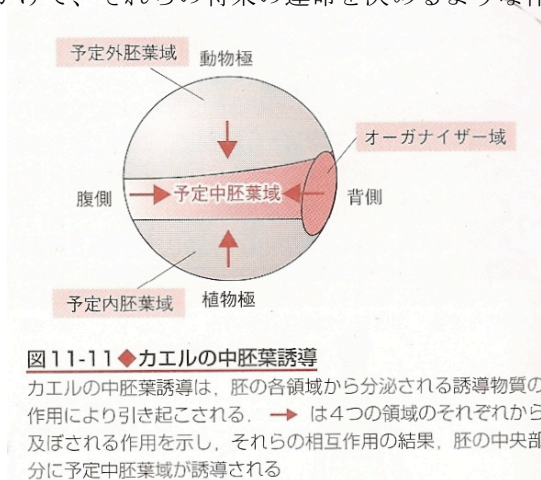


図11-11 ◆カエルの中胚葉誘導

カエルの中胚葉誘導は、胚の各領域から分泌される誘導物質の作用により引き起こされる。→ は4つの領域のそれぞれから及ぼされる作用を示し、それらの相互作用の結果、胚の中央部分に予定中胚葉域が誘導される

※受精前の卵細胞では動物極と植物極の向きしか決まっていないが、受精に伴って卵細胞の細胞質の表層部分が一定の方向に向かって移動する。この移動により、胚の背側を決定する母性因子が、植物極の部分から赤道付近まで移動し、精子の進入した反対側が将来の背側となる。背側となった領域にはオーガナイザーが形成される。

※予定中胚葉は、胚の各所から及ぼされる誘導作用によって引き起こされ、胚の中間部(赤道域)に形成される。誘導を引き起こすのはオーガナイザー、動物極、植物極、そして腹側から分泌される多くの種類の分泌物である。

○形態形成運動

オーガナイザーの形成→予定中胚葉形成→原腸形成(原腸胚)→神経管形成(神経胚)

・運動の種類

湾曲運動…上皮細胞の片側が収縮する事により引き起こされる

陥入運動…折れ曲がった上皮組織が胚の内部に伸びていく

移動運動…上皮細胞から離脱した細胞が引き起こす

伸展運動…上皮細胞の扁平化や細胞の再配置による

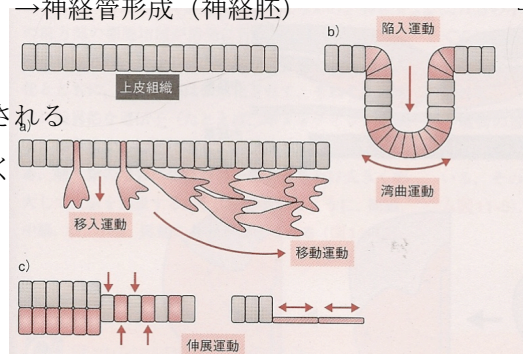


図11-12 ◆形態形成運動

A) 原腸胚や神経胚にみられる胚の形態形成運動。胚を構成する上皮組織の細胞の運動や変形が中心となっている。それらには、a) 上皮組織から遊離(移入)した細胞の移動運動、b) 上皮の湾曲運動と原腸の陥入運動、そして、c) 上皮細胞の再配列や細胞の扁平化による伸展運動などがある。B) ウニと両生類の原腸胚にみられる形態形成運動。a) ウニ胚にみられる湾曲運動と陥入運動。b) 両生類胚にみられる中胚葉

・中胚葉細胞の大移動…外胚葉の中央部分から細胞が離脱して、外胚葉と内胚葉の間に移動して中胚葉を形成する。胚の前方と側面に向かって大移動し、胚全体に分布するようになる。

○神経誘導

神経管の形成に先立って中胚葉から外胚葉にむけて神経誘導作用が及ぼされる。

中胚葉の前方からは脳の形成を誘導するような物質が、後方からは脊髄の形成を誘導するような物質が分泌される。

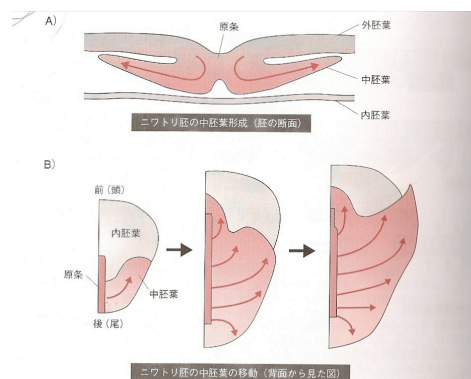


図11-13 ◆ニワトリ胚における中胚葉細胞の移動
外胚葉を取り除いて、胚の背面から中胚葉細胞の移動を見た模式図。中胚葉細胞は胚の前方や側方に向かって大移動する。→ は中胚葉細胞の移動の方向を示す

12章 生殖と減数分裂…図だらけですいません (汗)

○真核細胞のゲノム

体細胞… $2n$ (二倍体)

生殖細胞… n (一倍体)

体細胞分裂… $2n \rightarrow 2n \times 2$

減数分裂… $2n \rightarrow (2n \times 2) \rightarrow (n \times 2 \times 2) \rightarrow n \times 4$

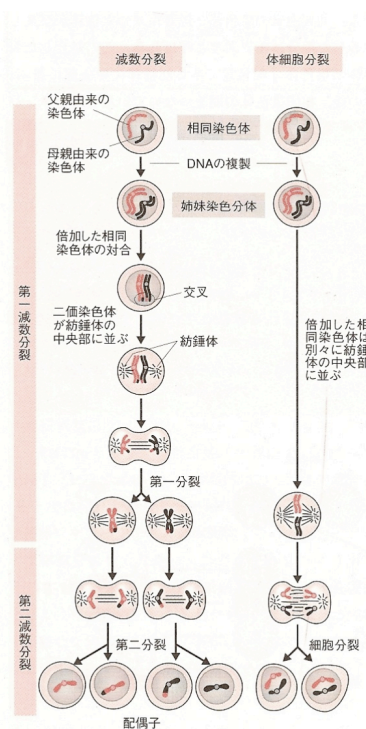
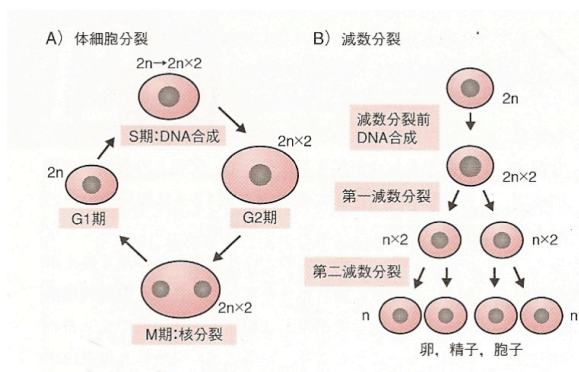


図12-3 ◆減数分裂と体細胞分裂のプロセス

※減数分裂過程では、相同染色体はペア (対合) を作る。性染色体の間でも対合が起き、父親と母親由来の相同染色体間で交叉が起こる。

遺伝子組み換え：交叉のところで染色体の乗り換えが起き、遺伝子の組み合わせが変わる事。

キアズマ：父親由来の染色体と母親由来の染色体が交叉し、付着した部分。

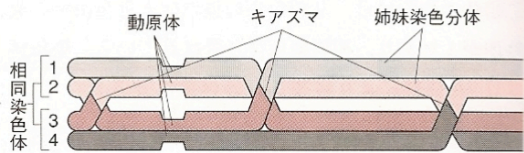


図12-4 ◆交叉

各染色分体 (1, 2) は、相同染色体の染色分体 (3, 4) のどちらとも交叉できる

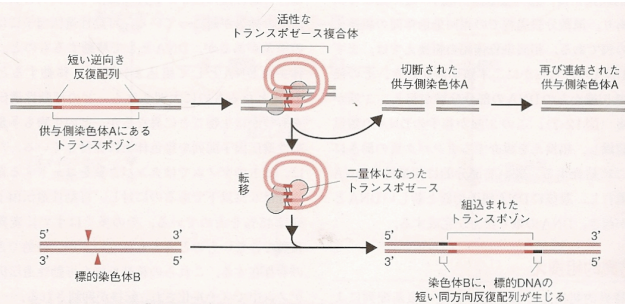


図12-8 ◆転移による部位特異的組換えの分子のプロセス

トランスポゼーンはトランスポゾンの短い反復配列を認識し結合する。それぞれ両端の反復配列に結合したトランスポゼーンが会合し、二量体とDNAループからなる複合体をつくる。このDNA領域が供与側染色体Aから切り出され、標的染色体Bにランダムに組込まれる。このとき染色体Bでは、2本のDNAのずれた位置に切断が起き、ギャップ（隙間）が生じる。そこに、トランスポゾンが入り込む。最後にそのギャップは相補鎖のDNAを鋳型に修復され、結果として、短い同方向の反復配列が生じる。また、トランスポゾンが抜けたことにより切断された染色体Aは、再結合される

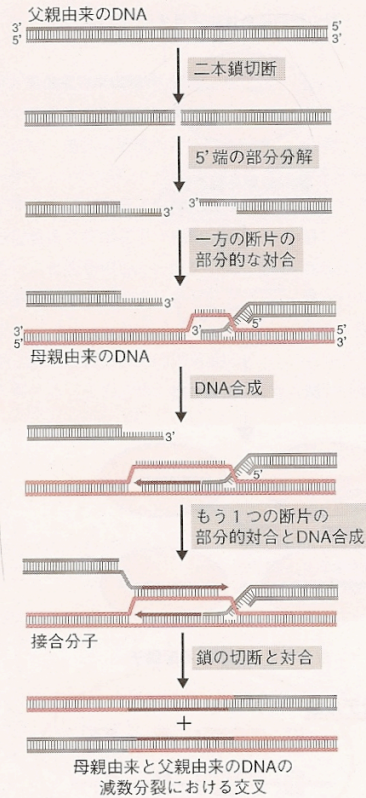


図12-7 ◆減数分裂過程での一般的組換えの分子のプロセス

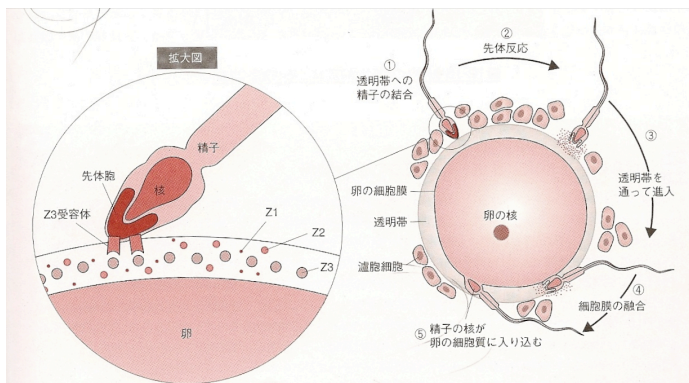


図12-15 ◆哺乳類の精子と卵の受精の過程

哺乳類精子の膜受容体と透明帯の糖タンパク質Z3が結合し、精子の先体反応が①～⑤の順に進行する

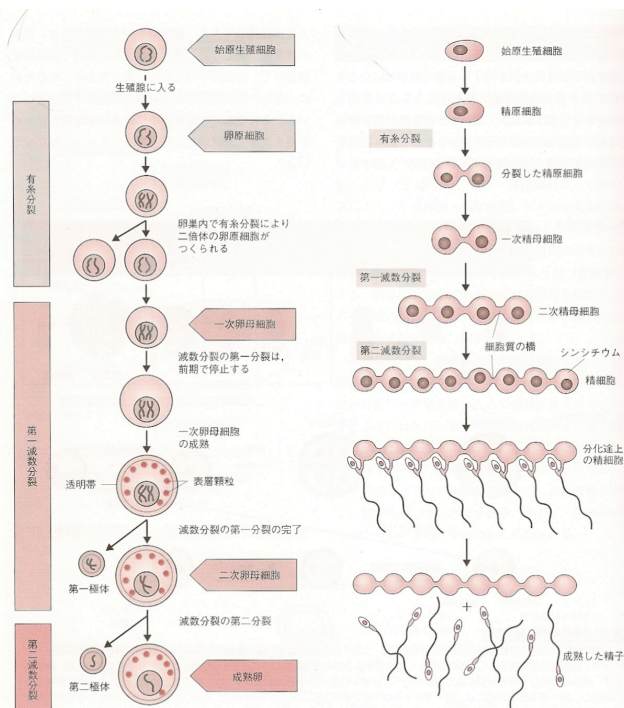


図12-11 ◆哺乳類の卵形成

胚形成の初期に卵巣中に移動してくる始原生殖細胞が、卵原細胞になる。卵原細胞は、有糸分裂を何回も繰り返したのち減数分裂の第一分裂を開始し、一次卵母細胞となる。哺乳類では、一次卵母細胞は非常に早い時期に形成され（ヒトでは胎児期につくられる）、個体が性的に成熟するまで第一分裂の前期で停止している。個体が成熟した時点で、少数の細胞がホルモンの影響下で周期的に成熟し、第一減数分裂を完了して二次卵母細胞となり、さらに第二減数分裂を経て成熟卵になる。この過程で2個の極体が放出される。卵形成のどのステージで、卵あるいは卵母細胞が卵巣から放出され受精するかは種によって異なる。ヒトでは第二減数分裂途中で放出され、受精後に成熟が完了する

図12-12 ◆哺乳類の精子形成

1個の精原細胞に由来する子孫の細胞は、成熟した精子に分化するまでの期間、細胞質の橋によって互いに連結している。この構造をシンチウムと呼ぶ。細胞質の橋のために、減数分裂によって、連結した2個の精原細胞から連結した8個の一価体精細胞が生じたところを示してある。実際は、2回の減数分裂を経て同時に分化する連結細胞の数は、はるかに多い